MÜHENDİSLİKTE YENİLİKÇİ ÇALIŞMALAR

Editör
Doç. Dr. Bayram AKDEMİR

DUVAR

MÜHENDİSLİKTE YENİLİKÇİ ÇALIŞMALAR

Editör

Doç. Dr. Bayram AKDEMİR

Mühendislikte Yenilikçi Çalışmalar
Editör: Doç. Dr. Bayram AKDEMİR

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek
Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design
Yayın Tarihi: Ağustos 2023
Yayıncı Sertifika No: 49837

ISBN: 978-625-6507-42-5

© Duvar Yayınları
853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir
Tel: 0 232 484 88 68

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1.....7
Köpürtülmüş Krema(Krem Şanti) ve
Kahve Kreması Üretim Prosesi Ürünler
Cihat ÖZDEMİR, Salih ÖZDEMİR

Bölüm 2.....25
Susuz Süt Yağı (Sadeyağ)
Salih ÖZDEMİR, Cihat ÖZDEMİR

Bölüm 3.....45
Endüstri Mühendisliğinde Dijital Dönüşüm ve Akıllı Üretim Yaklaşımları
Abdulla SAKALLI

Bölüm 4.....75
Türkiye'de Son Yüzyılda (1923-2023) Meydana Gelen
Yıkıcı Depremler ve Kullanılan Deprem Yönetmelikleri
Ahmet Ferdi ŞENOL, Ayça AKBAŞ, Özlem ÇALIŞKAN

Bölüm 5.....99
Zeolit ve Mühendislikte Kullanımı
Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU, Zülfü GÜROCAK

Bölüm 6.....123
Endüstriyel Malzemelerde Yorulma Dayanımı
Aydın ŞIK, Asena SOYLUK

Bölüm 7.....155
Zirkon Bir Karakutu mu?
Ayşe Didem KILIÇ

Bölüm 8.....167
Yenişehir (Bursa) Ovası Yeraltısularının
Hidrojeokimyasal Özellikleri
Ayşen DAVRAZ

Bölüm 9.....195
Nöral-Bulanık Sistemlerin Sağlık Alanındaki Uygulamaları
Çiğdem İnan ACI, Gizen MUTLU, Mehmet ACI

Bölüm 10.....217
Derin Öğrenme Metotlarını Kullanarak
Arapça Metin Tabanlı Duygu Analizi
Mariam ABAKAR NOKOUR, Eyyüp GÜLBANDILAR

Bölüm 11.....247
Tarımda Modern Teknolojiler: Lidar Görüntüleme
Fatmanur ATEŞ, Ramazan ŞENOL

Bölüm 12.....267
Tarımda Otonom Sistemlerin Önemi
Fatmanur ATEŞ, Ramazan ŞENOL

Bölüm 13.....285
Lojistik ve Tedarik Zincirinde Dijitalleşme
İlknur YARDIMCI COŞKUN

Bölüm 14.....307
Esnek Robot Tutucu Tasarımı ve Kontrolü
Kusay DİB, Muhammet AYDIN

Bölüm 15 325
Batarya Yönetim Sistemlerinde İleri Beslemeli
Sinir Ağları Uygulamaları
Mete ÖZBALTAN, Mehmet KURUCAN

Bölüm 16.....349
Temel Kazı Derinliği Deniz Seviyesi Altında Bulunan
Baraj İçin Geçirimsizlik Perdesi Yapım Tekniği
Murat CAN

Bölüm 17.....369
Üretim Sanayiinde Kullanılan Makine Koruyucularının
İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından Önemi
Mustafa ÖCAL, Okan ÖZBAKIR

Bölüm 18.....411
Termal Konforun Yönetimi:
Çevresel ve Kişisel Faktörlerin Etkileşimi ve İşyeri Performansına Etkileri
Okan ÖZBAKIR

Bölüm 19.....443
Betonarme Binaların Tasarım ve İnşasında Yapılan
Yaygın Uygulama Hatalarının Değerlendirilmesi
Özlem ÇALIŞKAN, Ahmet Ferdi ŞENOL

Bölüm 20.....469
Açık Deniz Üzeri Yüzer Rüzgâr Türbini Platform Konseptleri
Selahattin Alp ERKURTULMUŞ

Bölüm 21.....507
Beyin-Bilgisayar Arayüzleri ve Elektroensefalogram
(EEG) Sinyal İşleme: Temel Prensipler ve Uygulama Yaklaşımları
Selma BULUT, İlhan UMUT

Bölüm 22.....539
Lityumun (Li) Çevre Üzerine Olan Etkileri
Serpil SAVCI, Güllü KIRAT

Bölüm 23.....553
Eğitim Kurumlarının Doğal Işık Performansının İncelenmesi:
Antalya Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Örneği
Sertaç GÖRGÜLÜ, Hatice KOLAK

Bölüm 24.....569
Hibiskusun (*Hibiscus sabdariffa* L.)
Genel Özellikleri ve Mühendislikte Kullanım Alanları
Şule Azime YENİÇERİ, Ebru AKKEMİK

Bölüm 25.....583
Mühendislikte Sürdürülebilir Bir Hammadde: Mermer Tozu
Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU, Zülfü GÜROCAK

Bölüm 26.....601
Yılansı Robotun Tasarımı, Statik, Dinamik Ve Modal Analizi
Yusuf COŞKUN, Muhammet AYDIN

Bölüm 27.....615
Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemlerinin
Karşılaştırılması Üzerine Sistematik Bir Derleme
Hatice ÖZDEMİR

Bölüm 28.....641
Aromatik Bileşiklerden Nirto Aromatik Bileşik Eldesi Mekanizması
Melek GÖKMEN KARAKAYA

Bölüm 29.....665
Bulut Teknolojilerinde Veri Güvenliği
Çiğdem BAKIR

Bölüm 30.....689
Otomotiv Sektöründe Kalite Yönetimi
Sistem Uygulamalarında Sürdürülebilirlik
İkram DAŞTAN, Çiğdem BEKTAŞ

Bölüm 31.....725
Gemi Manevra Matematiksel Modelleri ve
Kontrol Sistemleri
Gökhan BUDAK

Bölüm 32.....741
6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri Sonrası
Yığma Yapılarda Yapısal Hasar Değerlendirmesi
Zeynep ÜNSAL ASLAN

Bölüm 1

Köpürtülmüş Krema(Krem Şanti) ve Kahve Kreması Üretim Prosesi Ürünler

Cihat ÖZDEMİR[1*]
Salih ÖZDEMİR[2]

[1] Atatürk Üniversitesi Oltu Meslek Yüksek Okulu, Gıda Teknolojisi Programı, 25400,OLTU/ Erzurum, Türkiye, cozdemirs@atauni.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-9259-5360,
[*]Sorumlu Yazar

[2] Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum, Türkiye, ozdemirs@atauni.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-9583-4379

ÖZET

Köpürtülmüş krema, sütten kremanın ayrılmasını, ,krema yağ oranının standardizasyonunu, pastörizasyonu ve kremanın olgunlaştırılmasını kapsayan işlemlerdir. Havalandırma işlemi sırasında, ilk aşamada, yağ kürecikleri emülsifiye olurken büyük miktarda hava dahil edilir. Daha sonra kabarcık boyutu küçülür ve daha homojen bir dağılıma ulaşılır. Proteinler, özellikle globüler proteinler ve kazeinler, gıda emülsiyonlarının ve köpüklerinin oluşumu ve stabilizasyonu sırasında fonksiyonel bileşenler olarak yaygın görev yapar. Çırpılmış krema emülsiyonu karmaşık bir sistemdir. Kısmi emülsiyon oluşturma, damlacıkların yüzeyindeki yüzey aktif maddenin miktarına ve tipine bağlı olduğu kadar, katı yağ içeriğine de büyük ölçüde bağlıdır. Krem şanti, karmaşık bir su içinde yağ emülsiyonudur. Krem şanti, tatlılar, hamur işleri, kekler ve dondurmalar için kullanılan bir süt ürünüdür. Kremanın %10 ile %18 arasında süt yağı içermesi yarım krema veya kahve kreması olarak adlandırılır. Sodyum kazeinat ve peynir altı suyu proteinlerinin birlikte kullanılması, çırpılmış kremanın sıkılığının, kararlılığının, yapışkanlığının ve viskozitesinin artmasına neden olur.

Anahtar Kelimeler: Krema, Köpürtülmüş krema,Krem şanti, Yarım krema,Kahve kreması

SUMMARY

Frothed cream is a process that includes separation of cream from milk, standardization of cream-fat ratio, pasteurization and ripening of cream. During the aeration process, in the first stage, a large amount of air is included as the oil globules emulsify. The bubble size is then reduced and a more homogeneous distribution is achieved. Proteins, particularly globular proteins and caseins, serve extensively as functional components during the formation and stabilization of food emulsions and foams. Whipped cream emulsion is a complex system. Partial emulsification is highly dependent on the fat content as well as on the amount and type of surfactant on the surface of the droplets. Whipped cream is a complex oil-in-water emulsion. Whipped cream is a dairy product used for desserts, pastries, cakes and ice cream. If the cream contains between 10% and 18% milk fat, it is called half cream or coffee creamer. The combined use of sodium caseinate and whey proteins results in increased firmness, stability, stickiness and viscosity of whipped cream.

Keywords: Cream, Frothed cream, Whipped cream, Half cream, Coffee cream

1.GİRİŞ

Krema tüketici için farklı yağ oranlarında üretilir. Düşük yağ oranlı krema (%10-18) yarım krema olarak ve kahve kreması olarak adlandırılır. Yüksek yağ oranlı krema (%35-40) genellikle kalınlaştırıcı olarak kullanılır. Bu krema köpürtülebilir ve böylece köpürtülmüş krema olarak adlandırılır. Köpürtülmüş krema tatlılarla pişirme için hacim arttırıcı olarak kullanılabilir.

Ülkemizde mutfaklık tereyağı, krema ve krem şantili pastaların kaynakları ve üretim yöntemleri incelendiğinde tereyağı; süt, krema, yoğurt veya yan ürünlerinden (peynir altı suyu, yayık altı vb.) fiziksel yolla elde edilen, içinde süt yağından başka yağ bulunmayan bir süt ürünü mutfak tereyağı, asitlik derecesi, süt asidi cinsinden ağırlık olarak % 0.63'ü geçmeyen eritilmemiş, pastörize edilmiş veya edilmemiş, tuzlu veya tuzsuz olarak hazırlanmış tereyağı, krema, sütün kendi halinde uzunca bir süre bekletilmesi veya krema makinesinden geçirilmesi esnasında ayrılan yağca zengin kısım olarak, kremşanti ise, % 35 – 40 oranında yağ içeren krema olarak tarif edilmiştir. İyi kalitede tereyağ, krema, krem şanti gibi süt ürünleri elde etmek için, teknolojik yöntemi iyi bilmek ve imalat sırasında hijyenik kuralların eksiksiz yerine getirilmesi gerekmektedir(Anonim,2003;Anonim,2005).

2. KÖPÜRTÜLMÜŞ KREMA (KREM ŞANTİ) ÜRETİM PROSESİ

Tipik bir köpüklü yiyecek türü olan krem şanti, sulu faz boyunca çırpma özelliğiyle hapsolan havayı tutan 3 boyutlu bir yapıdan oluşur. Krem şanti, en az %35 yağ içeriğine sahip su içinde yağ (O/W) emülsiyonu olan süt kremasının çırpılmasıyla oluşturulan havalandırılmış bir emülsiyondur. Krem şantilerin en önemli uygulaması, pasta ve tatlıların süslenmesidir. Yağ, yağ-su emülsiyonun veya krem şanti özelliklerini büyük ölçüde etkileyen bileşendir (Anihouvi vd. 2012). Bitkisel yağ ile oluşturulan krem şanti, susuz süt yağı ile hazırlanan krem şantiye kıyasla daha düşük maliyeti ve daha yüksek stabilitesi nedeniyle popülaritesini artırmaktadır (Munk ve Andersen, 2015). Bununla birlikte, krem şanti yapımında bitkisel yağ miktarı katılım düzeyi sınırlıdır. Yağın su ile birleşme düzeyi, yağın katıya karşı sıvı oranına bağlı olarak değişecektir (Zhao vd. 2013). Öte yandan, kısmi kaynaşma, krem şanti yapısının stabilize edilmesinde önemli bir rol oynar ve bu ürün için arzu edilen dokuyu sağlar. Katı yağ içeriği krem şantilerin fizikokimyasal özelliklerinde kritik rol oynar. Homojenizasyondan sonra yağ globüllerinin ara yüzey zarı, emülsiyonu kararlı bir durumda tutar. Çırpma işleminin başlangıcında, sisteme dövülen dev gaz kabarcıkları, serum fazındaki protein tarafından stabilize edilir. Kümelenmiş yağ kürecik ağlarının oluşturulması, hava-su arayüzeyini adsorpsiyon yoluyla stabilize etmeye ve hava kabarcıklarını yapıya hareketsiz hale getirmeye

yardımcı olur. Yağ partikül membranları, kesme sırasında katı kristalin nüfuz etmesine izin verecek kadar yeterince ince olmalıdır. Tipik olarak, havalandırılmış emülsiyonlarda, uygun membran yapısını sağlamak için sisteme protein ve küçük moleküllü emülgatörler (örn. monogliseritler) eklenebilir. Petrut vd (2016) düşük moleküler ağırlıklı monogliseritlerin varlığı, adsorbe edilmiş protein moleküllerini yağ/su ara yüzünden uzaklaştırır, zarın gücünü zayıflatır ve çırpılmış kremada kısmi birleşme ve hava kabarcığı tutulmasına izin verir. Havalandırılmış emülsiyonları oluşturmak ve stabilize etmek için protein molekülleri ve emülgatörler arasındaki etkileşim hakkında bir çok çalışma yapılmıştır. Emülgatör olarak kullanılan proteinin bileşimi, daha iyi bir çırpma özelliği sağlamak için optimize edilebilir. Protein bileşimini değiştirerek, krem şanti yapısının daha stabil olması sağlanır.

Krem şanti, karmaşık bir su içinde yağ emülsiyonudur. Krem şanti, tatlılar, hamur işleri, kekler ve dondurmalar için kullanılan bir süt ürünüdür. Havalandırma işlemi sırasında, ilk aşamada büyük kabarcıklar olarak ilk yağ kürecikleri emülsiyonuna büyük miktarda hava dahil edilir Daha sonra kabarcık boyutu küçülür ve daha homojen bir dağılıma ulaşılır. Çırpılmış krema emülsiyonu karmaşık bir sistemdir. Kısmi emülsiyon oluşturma, damlacıkların yüzeyindeki yüzey aktif maddenin miktarına ve tipine bağlı olduğu kadar, katı yağ içeriğine de büyük ölçüde bağlıdır (Anonymous,1995).

Emülgatörler ve stabilizatörler gibi bazı gıda katkı maddeleri genellikle süt ürünlerinin kalitesini artırmak için kullanılır. Emülgatörler, havalandırılmış gıda emülsiyonlarının stabilitesini geliştirmede önemli bir rol oynar. Önemli oranda emülgatör içeren damlacıklar, köpükler için iyi bir stabilite sağlayabilir. Stabilizörler, sistem viskozitesini artırarak ve kremanın protein bileşenleri ile etkileşerek görev yaparlar. Yağın homojenizasyonu, krem şanti hazırlanması için önemli bir süreçtir. Yağ fazını çok sayıda küçük damlacıklara bölerek, yüzey alanında büyük bir artışa ve yüzey aktif maddenin spesifik olmayan adsorpsiyonuna yol açarak, ara yüzey gerilimini azaltır ve damlacıkları stabilize eder (Cheng vd.2020).

Proteinler, krem şanti gibi gazlı süt ürünlerinde köpük oluşumunu ve stabilizasyonunu etkileyen önemli emülsiyon stabilizatörleridir. Çeşitli koşullar altında dondurmadaki proteinlerin köpürme davranışını incelemek için birçok çalışma yapılmıştır. Proteinler, özellikle globüler proteinler ve kazeinler, gıda emülsiyonlarının ve köpüklerinin oluşumu ve stabilizasyonu sırasında fonksiyonel bileşenler olarak yaygın şekilde kullanılır. Emülsifikasyon veya köpürme sürecinde, proteinler yüzeyde yeni oluşan yağ damlacıkları veya hava kabarcıkları tarafından hızla absorbe edilir.

Zhao vd(2009) yaptıkları çalışmada, krem şanti hazırlamak için farklı konsantrasyonlarda sodyum kazeinat ve peynir altı suyu proteinleri kullanmışlardır. %0,3 sodyum kazeinat ile çırpılmış kremanın emülsiyon kapasitesi 6 dakika çırpıldıktan sonra %20,28 olurken, %0,9 sodyum kazeinat içeren örneklerin emülsiyon kapasitesi %65,40'a ulaşmıştır. Araştırıcılar çırpılmış kremanın sodyum kazeinat ile kısmi birleşmesinde peynir altı suyu proteinlerine kıyasla daha anlamlı artış olduğunu tespit etmişlerdir. Sodyum kazeinat ve peynir altı suyu proteinlerinin birlikte kullanılması, çırpılmış kremanın sıkılığının, tutarlılığının, yapışkanlığının ve viskozitesinin artmasına neden olmuştur. Sodyum kazeinatla çırpılmış kremalarda, peynir altı suyu proteinli olanlara göre doku özelliklerinde daha büyük bir gelişme tespit edilmiştir. Sodyum kazeinat gibi süt proteini, çırpılmış krema üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır

Soya proteini ayrıca mükemmel besin değeri ve emülsifiye edici özellikleri nedeniyle süt proteinlerine bir alternatif olarak kabul edilmiştir. Hidrofobik ve hidrofilik gruplara sahip bozulmamış soya proteini, yağ/su ara yüzlerinde bir emülgatör olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte, soya proteininin daha az esnek yapısı emülsifiye edici işlevselliğini azaltır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, koyulaştırıcı bir madde olarak ksantan sakızı, çırpılmış kremanın fiziksel özelliklerini ve tekstürel özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilir. Çırpılmış kremanın ortalama parçacık boyutu için doza bağlı bir etki gözlemlendi. Kullanılan her ksantan sakızı seviyesinde (%0,025-0,125), çırpma süresi ortalama parçacık boyutu üzerinde olumlu bir etki göstermiştir. Ksantan sakızı seviyesinin veya çırpma süresinin artmasıyla, yağın kısmi birleşmesi kademeli olarak artmıştır. Bununla birlikte, ksantan sakızı seviyesi, çırpılmış kremanın taşması üzerinde önemli bir etki göstermiştir. Bununla birlikte, çok yüksek bir ksantan sakızı seviyesi, çırpılmış kremanın kıvamında bir azalmaya neden olur(Zhao vd 2009).

Soya proteini izolatının (SPİ) ve hidrolizatlarının farklı konsantrasyonlarda monogliseritlerle etkileşimi ve sinerjik etkisi, rekombine az yağlı çırpılmış kremada (%20) hava-su/yağ arayüzlerinde etkisini araştırılmıştır. Araştırıcılar çalışmalarında doğal soya proteini izolatı ,ticari soya proteini izolatı , pepsinle soya proteini hidrolizatları , papainle soya proteini hidrolizatları ve sodyum kazeinatı kullanmışlardır. Sonuçlar, artan monogliserit konsantrasyonunun, rekombine az yağlı çırpılmış kremanın tekstürel, çırpma özelliklerini ve stabilitesini iyileştirmede etkili olduğunu gösterdi. Karışımdaki artan monogliserit konsantrasyonu, daha sıkı bir yağ agrega yapısı oluşturdu ve rekombine az yağlı krem şanti yapısında hapsolmuş hava kabarcıklarını stabilize etti. Aynı monogliserit seviyesinde, pepsinle elde edilen soya proteini

hidrolizatları ile çırpılmış krema, sodyum kazeinat ile benzer bir hacim artışı stabilite ve yapı meydana getirmiştir. Pepsinle elde edilen soya proteini hidrolizatlarındaki yüksek β-konglisinin oranı nedeniyle, düşük derecede yağ globülü kısmi birleşmesi meydana geldi ve rekombine az yağlı çırpılmış kremada düşük hacim artışına ve zayıflamış yapıya yol açtı(Wang vd.2019).

İyi tat ve yapı özelliklerine ilaveten, köpürtülmüş krema iyi köpük özelliklerine de sahip olmalıdır. Yani köpürtülmüş krema ile yapılan ürünler iyi hacim artışına sahip olmalıdır. Köpürtülmüş krema kremanın yüksek yağ oranına sahip olmasına bağladır. %40'lık köpürtülmüş kremanın genellikle köpürtülmesi kolaydır. Fakat genellikle kremanın yağ oranı %30 'un altına düştüğünde kremanın köpük oranı azalır. Ancak düşük yağlı kremalarda (%25) köpüklenmeyi artırmak için taze yağlı sütten elde edilen lesitin tozunun yüksek oranda ilavesi kremanın köpük oluşumunu arttırabilir.

Susuz süt yağı ve süt proteini konsantresinin yeniden birleştirilmesiyle üretilen rekombine süt kreması gıda endüstrisinde geniş uygulamalara sahiptir. Çırpılmış kremanın önemli bir özelliği, su içinde yağ emülsiyonundan çırpma yoluyla üç fazlı bir sisteme dönüştürülebilme kapasitesidir. Çırpılmış krema, yüzeyinde süt yağı damlacıkları bulunan karmaşık bir hava kabarcıkları sistemidir. İyi kalitede çırpılmış rekombine süt kreması, arzu edilen bir sertliğe, yüksek bir hacme ve yeterli stabiliteye sahip olmalıdır. Kısmen birleştirilmiş süt yağ globülleri ile hava kabarcıklarının verimli bir şekilde sarılmasını sağlayarak optimize edilebilir. Yağ kristallerinin durumu, yani katı yağ içeriği, sıcaklığa göre değişir ve emülsiyonun stabilitesini etkiler. Artan sıcaklık, yağ kristallerinin kısmi erimesine yol açar, bu sırada üç boyutlu kristal ağ kırılır ve kalan yağ kristalleri serbestçe ve enerjik olarak daha uygun bir ara yüze hareket edebilir(Fredrick vd. 2010). Azalan sıcaklık ise, ara yüzün yakınındaki kristallerde büyümeyi sağlar, bu da sulu faza daha fazla nüfuz edebilen daha büyük kristallerle sonuçlanır ve böylece kısmi birleşmeye duyarlılığı artırır (Moens vd 2018). Bu nedenle sıcaklık, susuz süt yağının fiziksel özelliklerini ve dolayısıyla rekombine süt kreması kalitesini kontrol etmek için kritik öneme sahiptir.

Süt kremasının 30°C'de çırpılması, çırpma süresini ve serum kaybını azaltırken, aynı anda hacim artmasını ve sertliğini artırarak çırpma özelliklerini geliştirebilir. Kamath vd. (2008), kremanın 5°C'de yüksek köpürme özelliği gösterdiğini, ancak 25°C'de köpürmediğini bildirmişlerdir. Kremanın viskozitesi ve yüzey gerilimi artan sıcaklıkla azalırken, çırpılmış kremanın elastik davranışının 25°C'de köpürtüldüğünde arttığı tespit edilmiştir (Drelon vd 2006). Bu nedenle sıcaklığın, çırpma işlemi sırasında hava kabarcıklarının yanı sıra kremanın diğer fiziksel özelliklerini etkilediği düşünülmektedir.

Wang vd (2019) yaptıkları çalışmada, susuz süt yağlarının 7ºC ve 15°C sıcaklıklarda ortaya çıktığı faz geçişlerini gözlemlemek için bir diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) testi kullanmışlardır. Araştırıcılar, 7°C'de çırpılan rekombine süt kreması, 15 °C'de bu özelliklere kıyasla önemli ölçüde daha yüksek krema hacim artışı, sertlik ve daha kısa çırpma süresi elde edildi. Ek olarak, 7°C'de çırpılan rekombine süt kreması daha büyük süt yağı kürecikleri üretti ve daha az topaklanma ve daha az problemli hava kabarcığı ile karakterize edildi. 7°C ve 4 °C'de çırpma özelliklerinin karşılaştırmalı analizi önemli bir fark göstermedi. Sonuçlar, rekombine süt kremasının çırpılmasında 7°C'nin 15°C'den daha uygun bir sıcaklık olduğunu ve daha düşük enerji tüketimi için 4°C'ye ideal bir alternatif sıcaklık olduğunu göstermektedir.

Krema üretiminde hava girişi mutlaka sağlanmalıdır. Havanın krema içinde toplanması köpük oluşumuna ve stabilitenin bozulmasına neden olacaktır. Şayet krema ayrıca mekaniksel bir işleme tabi tutulursa,(özellikle soğuk odanın terk edilmesi işlemi) yağ globül membranları hasar görecektir ve sonuçta yağın yapışması (birleşmesi) ve kümelenme meydana gelecektir. Yanlış muameleye maruz kalan krema paket içinde tutulursa, krem haline gelme olayı vuku bulur. Bu durumda krema tabakası daha yoğun ve katı olacaktır. Bu homojenizasyon etkisi büyük oranda kremanın kabarma etkisini azaltacaktır.

Krema havalandırıldığında hava krema içerisine girer. Küçük hava parçacıklarının tamamı köpük oluşturur. Kremadaki yağ globülleri bu hava kabarcıklarının duvarları üzerinde toplanır. Mekaniksel işlem yağ globüllerinin çoğunun membranlarını kırar ve sıvı yağın bir miktarı serbest hale gelir. Bu yağ globülleri daha sonra birlikte katı hale gelir. Yağ globülleri sıvı ve katı yağın istenilen oranlarını içermelidir.

Köpüklü krema yağın uygun kristalizasyonunu elde etmek için düşük sıcaklıklarda (4-6ºC) muhafaza edilmelidir. Muhafaza periyodu olgunlaşma zamanı olarak ta ifade edilir. Krema, genellikle çift ceketli ve karıştırıcılı işlem tankında olgunlaştırılır. Isı, kristalizasyon esnasında serbest bırakılır. Bununla birlikte soğutma ve karıştırma işlem tankının dolmasından yaklaşık 2 saat öncesine kadar vuku bulmaz. Bunun sebebi yağ globüllerinin kristalizasyonu esnasında yağ ve su ayrılmasının kolay olmasıdır. Karışımın soğutulması, dikkatlice ve yavaş yapılmalıdır. Bu süreçte kremadaki yağ globülleri, hava/su arayüzünde serum proteini ve süt yağı globül membranı fraksiyonları tarafından tutulur (Dewettinck vd.2008).

2.1.Köpürtme Metodu

En iyi köpürme işlemi krema sıcaklığının 6ºC'nin altında olduğu zaman gerçekleşir. Köpürtme işlemi doğru ve biri diğeri ile ilgili işlemlerde çabuk

yapılmalıdır. Diğer taraftan sıcaklık köpürtme esnasında arttırılabilir. Köpürtme zamanı ve hacim artışı köpürme özellikleri olarak ifade edilir. Bu testler her zaman yapılmalıdır. Kremanın yoğun hacmi 6±1 ºC' e soğutulduğu zaman meydana gelmektedir. Kremanın hacmi köpürtmeye başlanmadan önce ölçülmelidir. Köpük kabul edilebilir seviyeye geldiğinde, çırpıcı durdurulur. Köpürtme zamanı kronometre ile tespit edilebilir. Bu kronometre çırpıcının hareketi ile başlar durması ile sonuçlanır. Çırpılmış kremanın hacmi, hacim artışı ile ölçülebilir. Şayet hacim ilk önce 5cm3, köpürtüldükten sonra 10,53cm ise hacim artışı (10,5-5)X100=%110 olarak tespit edilecektir. %40'lık kremada köpürtme zamanı yaklaşık 2 dakika sonra hacim artışı %100ile %130 arasında olmalıdır. Köpürtme hacim artışının ölçülmesinden sonra, köpürtülmüş krema düz bir metal üzerine konulur. Sıvının miktarı cam içinde biriken 2 saat sonra okunur(Anonymous,1995).

Sıvı miktarı
0-1ml ise çok iyi
1-4ml ise iyi
>4ml kötü değil (orta)

2.2.Köpürtülmüş Krema Üretim Hattı (Skanya Metodu)

Köpürtülmüş krema üretim metodu kremanın ısıtılmasını (62-64ºC), krema ayrılmasını, krema yağ oranının standardizasyonunu, pastörizasyonu, kremanın ısı değiştiriciden geçirilmesini ve kremanın olgunlaştırılmasını kapsar. Yüksek yağ muhtevalı krema birçok problem içerir. Bu nedenle proses safhaları dikkatlice organize edilmelidir. En çok görülen problem yağın kristalizasyonu esnasındaki türbülans ve kesilmesidir. Globüller içindeki yağ yüksek sıcaklıkta sıvı formdadır. Böylece yağ globülleri 40ºC 'nin yukarısındaki muamelelerde etkisiz olarak görülür. Proses hattında soğutma ile yağ partikülleri kristalleşmeye başlar. 4-5 saat sonra kristalleşme halen devam etmektedir. Kristalleşen yağ, sıvı yağa göre daha düşük hacme sahiptir. Böylece kristalizasyon esnasında yağ globüllerinde gerilim kuvvetleri başlar. 10-40ºC arasındaki sıcaklıkta yağ globülleri daha hassas hale gelir.

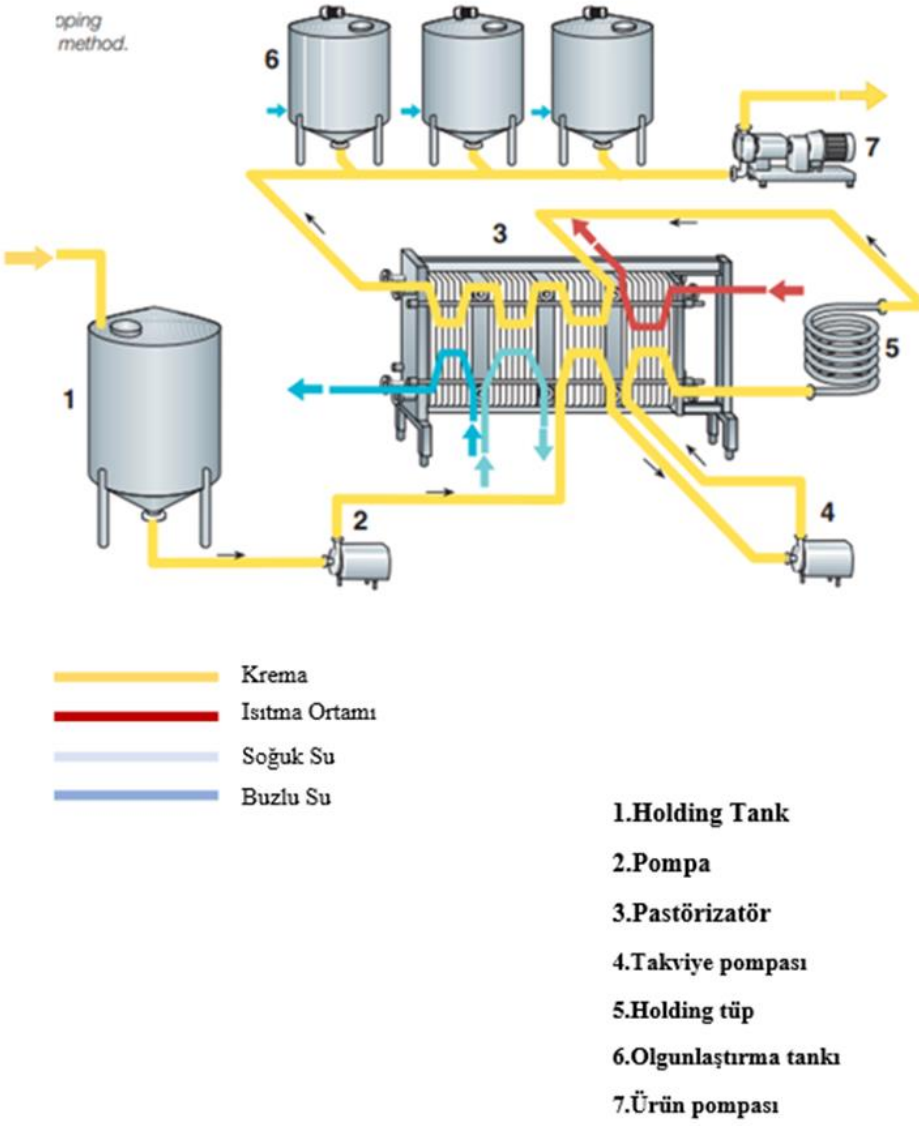
% 40'lık kristalleştirme programı Şekil 1'de verilmiştir. Proses tankı karıştırılırken krema çalkalanmamalıdır. Karıştırma ve soğutma tankının doldurulmasından sonra yaklaşık 2 saat sonra başlar. Kristalizasyon karışımın ısıtılmasıyla azalır.

Kremanın sıcaklığı 2-3ºC düşürülmesiyle işlem tankında son soğutma mutlak uygulanır. Krema normalde 6ºC ve hatta daha düşük dereceye soğutulur. Yağ globülleri bu sıcaklıkta kabaca uygulamalara karşı daha az hassastır. Fakat hala yağ partikülleri 40ºC'nin altındaki sıcaklıktakinden daha hassastır.

İşlenmiş köpük kremanın en büyük problemi kümeleşme oluşmasıdır. Bu durum kremanın emülsiyon stabilitesinin artması ile azaltılabilir. Ayrıca ürünün köpürmesinin azalması da önemli problemdir.

Şekil 1 köpürtülmüş kremanın dövme işlemi elemine edilmiş işlem prosesini göstermektedir. Bu metot bazı İsviçre süt kooperatifleri ve Alfa Laval'in birlikte çalışması ile geliştirildi. Bu metoda"skonya metodu" da denir. Hedef en düşük serbest yağ oranına sahip olan krema üretmektedir. Standardize edilmiş krema 1 nolu holding tankına gönderilir. Tankta optimum pastörizasyonda tutma zamanı 15-30 dakikadır. Bu, kremaya uygulanan karıştırma işlemini minimum düzeye indirir.

Pastörizatördeki kirlenme riski azaltılır. Tankta yaklaşık 63^0C'de tutulan kremadaki çoğu lipaz enzimini inaktif edilir serbest yağın hidrolizi durdurulur. Maksimum tutma zamanı yaklaşık 4 saat olabilir. Daha uzun üretim zamanında, 2 holding tank alternatifli kullanılmaktadır. Krema holding tanktan ısı değiştiriciye (3) rejenatif ısı değiştirmek için gönderilir. Daha sonra krema borulu holding tüpe (5)gönderilir. Pompalama işlemi minimum 60ºC gibi yüksek sıcaklıkta gerçekleşir. Bu sıcaklıkta krema mekaniksel işlemlere daha az hassastır. Pastörizasyonda 80-95ºC'de 10 dakika tutulan krema ısı değiştiricinin soğutma bölümüne sevk edilir. Soğutma bölümünde 8ºC'ye soğutulur ve olgunlaştırma tanklarına (6) gönderilir. %35-40 yağlı kremada optimum soğutma olgunlaştırma sıcaklığı olan 8ºC idealdir. Daha yüksek muhtevalı kremalarda, daha yüksek soğutma sıcaklıkları uygulanmalıdır. Bunun sebebi daha yüksek sıcaklıklarda viskozitenin yüksek olması dolayısıyla meydana gelmesi muhtemel olan kümeleşmenin önlenmesidir. Bu durum, soğutma bölümünde basıncın yükselmesine ve yağ globüllerinde bozulmaya sebep olur. Hatta, bu bölümde sıvı yağın ayrılması meydana gelebilir. Daha sonra sistem durdurulur, temizlenir ve yeniden başlatılır. Taze soğutulmuş yağ globüllerinin kararsızlığından dolayı, kesme ve türbülasyon işlemlerinden kaçınılmalıdır. Kremanın ısı değiştiriciden soğutma bölümüne taşınması esasında türbülanstan uzak durulmalıdır. Bu taşınma işlemi basınç yükseltici pompa ile sağlanmalıdır. Olgunlaştırma sonrası, krema ambalajlama makinasına gönderilir. Sıcaklık hala düşük olup, süt yağının çoğu kristal formdadır. Bu durum kremanın mekaniksel işlemlere halen daha hassas olduğunu gösterir. Kontrollü bir santrifüj pompa düşük basınçta kullanılabilir. Bu durumu sağlamak için basınç düşürücü sistem prosese eklenebilir. Maksimum 250-300 rpm hızda çalışan rotor pompası basınç 1,2-2,5 bardan 3 bar'a yükseltmek için kullanılabilir(Anonymous,1995).



Şekil 1. Köpürtülmüş Krema Üretim Hattı (Skanya Metodu)
(Anonymous,1995)

3.YARIM KREMA VE KAHVE KREMASI

Kremanın %10 ile %18 arasında süt yağı içermesi yarım krema veya kahve kreması olarak adlandırılır. Depolama tankından işlenmiş süt 62-64ºC 'ye ısı değiştirici tarafından ısıtılır. Süt daha sonra separatöre gelir ve yağsız süt ve kremaya ayrılır. Yarım krema yapmak için krema yağsız süt ile istenilen yağ oranı elde edilmek üzere karıştırılır.

Krema daha sonra homojenize edilir. Şekil 2 yarım kremanın işlem prosesini gösterir. Krema ve yağsız sütün karışımı krema akış hattında karıştırılarak istenilen oranda yağlı krema elde edilir. Homojenizasyon sonrası krema ısı değiştiriciye döndürülür. Isı değiştiricide krema 85-90ºC'de pastörize edilir. Daha sonra 5ºC'ye soğutulur ve ambalajlanır. Krema üretiminde krema 2 ana özelliğe sahip olmalıdır.

1) Krema viskoz olmalıdır. (Daha lezzetli bir krema için)
2) Krema iyi bir kahve stabilizesine sahip olmalıdır. (Sıcak kahveye döküldüğünde topaklanmamalıdır.)

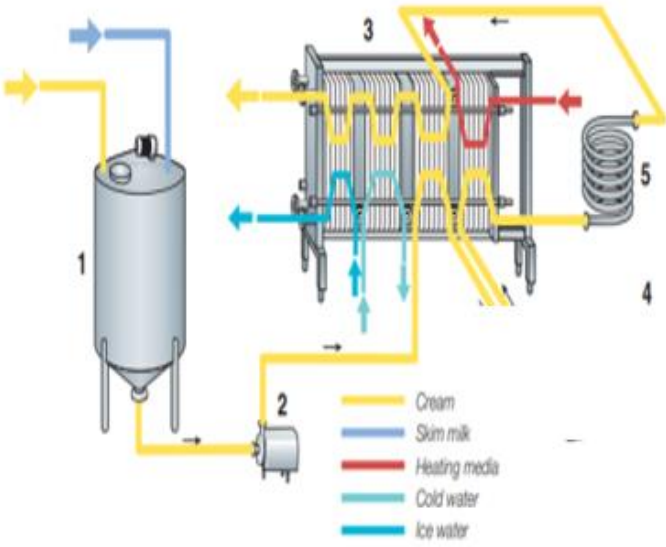
Düşük yağlı krema nispeten düşük viskoziteli olup müşteriler tarafından muhtemelen istenmemektedir. Genellikle krema üretilirken doğru sıcaklığı ve basıncı seçmek zorunludur.

Kremanın viskozitesi homojenizasyon basıncının artması ile birlikte artar. Fakat sıcaklığın artması ile azalır. Kremaya uygulanan homojenizasyon basıncı 10MPa da 15 MPa ve 20MPa (100,150 ve 200 bar) 57ºC'de sabit sıcaklık uygulandığında krema 20MPa basınçta homojenize edilirse en yüksek viskoziteye sahip olmuştur. Kremanın vizkozitesi homojenizasyon sıcaklığının artması ile birlikte azalır. Bununla birlikte homojenizasyon şartlarından etkilenir. Homojenizasyon şartlarında yağ sıvı olmalıdır. Bu homojenizasyon sıcaklığının 35ºC'nin altından olmaması gerektiğini anlatır (Anonymous,1995).

Kahve stabilitesi homojenizasyon şartlarından (sıcaklık, basınç) ve homojenizatörün pozisyonundan (ısı değiştiricisinin karşı veya akıntısı yönünde) etkilenir. Kremanın kahve stabilitesi sodyum bikarbonat(maksimum%0,02) ilavesi ile geliştirilebilir. Sodyum bikarbonat ilavesi o ülke standartlarında legalse müsaade edilir. Kahve stabilitesi termal stabilitenin bir çeşidi olup birçok faktörü içeren kompleks sorunlardan biridir.

1. Kahvenin sıcaklığı: Daha sıcak kahve, kremayı daha kolay pıhtılaştıracaktır.
2. Kahvenin tipi ve hazırlama tarzı: Kahve daha asidik ise krema daha kolay pıhtılaşacaktır.

3. Kahve yapmada kullanılan suyun sertliği: Krema sert sularda yumuşak sulardakinden daha kolayca pıhtılaşacaktır. Kalsiyum tuzları proteinlerin koagüle olma kabiliyetlerini arttırır.



Krema
Yağsız Süt
Isıtma Ortamı
Soğuk Su
Buzlu Su

1.Yağ standardizasyon tankı
2.Ürün pompası
3.Pastörizatör(ısı değiştirici)
4.Homojenizatör
5.Holding tüp

Şekil 2.Yarım Krema ve Kahve Kreması Üretim Hattı
(Anonymous,1995)

4.KÖPÜRTÜLMÜŞ KREMA VE KAHVE KREMASININ AMBALAJLANMASI

Ambalajlamanın esası ve fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

1. Gıda dağıtımının etkinliğini arttırmak için
2. Gıda hijyenini sürdürmek için
3. Besin değerini ve aromayı korumak için
4. Gıdanın faydalılığını arttırmak için
5. Ürün bilgilerini iletmek için
6. Gıdanın bozulmasını azaltmak için

Süt için cam şişeler 20.yy başlarında kullanmaya başlandı bir ambalaj olarak cam bazı dezavantajlara sahiptir. Cam ağır ve kırılgan özelliktedir. Ayrıca cam yeniden kullanım öncesi temizlenmelidir. Bu durum fabrikalarda bazı problemlere yol açar. 1960 yılından beri diğer ambalajlar süt marketlerine girdi. Asıl olarak kağıt bazlı ambalajlar ayrıca plastik şişeler ve plastik poşetler kullanıldı.

Bir ambalaj, ürünün gıda değerini ve vitaminlerini tüketiciye ulaşıncaya kadar korumalı ve muhafaza etmelidir. Sıvı gıdalar bozulmaya meyil eder. Böylece temiz ve bozulmayan ambalaj materyalleri esastır. Ayrıca ambalaj, ürünü mekaniksel etkiden, ışık ve oksijenden korunmalıdır.

Süt çok hassas bir üründür. Gün ışığına ve yapay sütteki bazı vitaminleri parçalar ve hatta bazı istenmeyen farklılıklara sebep olur.

Aromalandırılmış süt gibi diğer ürünler aroma maddesi veya vitamin içerir ki bu sütler oksijene hassastır. Bu durumda bu süt ambalajları oksijen geçirmemelidir.

Bir süt kartonu genellikle bir karton tabaka birde plastik tabaka içerir. Kağıt tabaka odundan gelir ki bu yenilenebilir bir kaynaktır. Kağıt tabaka ambalajı mekaniksel strese karşı dayanıklı yapmak için ambalaja sertlik verir. Kağıt tabaka ayrıca ışığa karşı bir bariyer sağlar.

Gıdalarda kullanılan polietilen ince bir tabaka olup diğer taraftan ambalajı soğutulmuş ürünlerde sızdırmaya karşı önemli bir önlemdir. Kartonun her iki tarafında ince gıda sınıfı polietilen tabakası kartonları sızdırmaz hale getirir. Soğutulmuş ürünler depodan çıkarıldığında polietilen tabakları kartonları ıslanmadan korur. Bu polietilen saflığı nedeniyle minimum çevre kirlenmesine neden olur.

Buzdolabı dışında uzun süre bekletilen ve çok hassas ürünler için alüminyum folyonun ince bir tabakası polietilen plastiklerinin içine yapıştırılabilir. Bu alüminyum folyo tabakası ürünü ışıktan ve atmosferik oksijene karşı tam bir koruma sağlayacaktır. Tüm paketler atık olarak sonlanır. Ev kaynaklı atıkların

büyüyen hacmi çevrede problemlere sebep olabilir. Bu problemlerle mücadele etmenin yolu 5 başlık altında özetlenmiştir.

1.Azaltma: Taze materyalin girişinin azaltılması ve çevresel olarak zararlı olmayan materyalleri seçmek muhafazasına yardım eder.

2.Geri Dönüştürme: Ambalaj materyalleri tekrar kullanılmak üzere toplanabilir. Hatta atık olarak atılan ambalajların yenden kullanılabileceği düşünülmektedir.

3.Yeni Materyal Keşfi: Ambalajlar toplanıp yeni materyaller üretmek üzere kullanılabilir. Fakat yeni materyallerin bir ihtiyaç olup olmadığı çok önemlidir.

4.Enerji Keşfi: Tüm ambalajlar enerji üretir. Bu enerji atıkları yakıldığında elde edilebilir. Potansiyel verim ambalaj materyalinin tipine bağlıdır.

5.Depolama Sahası: Atıklar depolama sahasında depolanabilir ve bu alanlar geri dönüştürme ve diğer maksatlar için kullanılabilir.

Kâğıt kaynaklı paketler çok düşük bir ağırlığa sahiptir. Onların asıl kaynakları dönüştürülebilir bir kaynaktan gelir. Diğer ambalajlarla karşılaştırıldığında, ortaya çıkan atığın miktarı azdır. 1 litre tetrapak ambalajın ağırlığı 27g ve bu ağırlık atığın ağırlığıdır. Kâğıt kaynaklı atıklar yüksek enerji kaynağı için uygundur. Odun ve petrol (plastiğin hammaddeleri) enerjinin geleneksel üretim kaynağıdır. Biz onları yakıt olarak kullanmadan önce ambalajlama için bu taze materyalin kullanıldığını söyleyebiliriz. 2 ton ambalaj materyalin yakılması 1 ton kadar petrol enerjisi verir. Depolama sahası olarak atık oluşturmak atığı idare etmek kadar önemlidir. Bununla birlikte şayet tetrapak ambalajlar bu yolla depolanırsa onları oluşturan toksik maddeleri toprak suyunu kontamine edebilir (Anonymous,1995).

5-KAYNAKÇA

Anonymous,(1995). *Dairy Processing Handbook.Tetra Pak processing Systems* AB, 436s,Sweeden.

Anonim,(2003).Türk Gıda Kodeksi Krema ve Kaymak Tebliği.(2003/09),Tarım ve Köyişleri Bakanlığı,Ankara.

Anonim,(2005).Türk Gıda KodeksiTereyağı, Diğer Süt Yağı Esaslı Sürülebilir Ürünler ve Sadeyağ Tebliği. Tarım ve Köy işleri Bakanlığı, Ankara.

Anihouvi, P. P., Danthine, S., Karamoko, G., and Blecker, C. (2012). Vegetal creams: an alternative to dairy creams. a review. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 16(3), 344-359.

Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kühne, B., Van de Walle, D., Courtens, T. M., and Gellynck, X. (2008). Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. Journal of Cereal Science, 48(2), 243-257.

Drelon, N., Gravier, E., Daheron, L., Boisserie, L., Omari, A., and Leal-Calderon, F. (2006). Influence of tempering on the mechanical properties of whipped dairy creams. International dairy journal, 16(12), 1454-1463.

Fredrick, E., Walstra, P., and Dewettinck, K. (2010). Factors governing partial coalescence in oil-in-water emulsions. Advances in colloid and interface science, 153(1-2), 30-42.

Cheng, J., Dudu, O. E., Li, X., and Yan, T. (2020). Effect of emulsifier-fat interactions and interfacial competitive adsorption of emulsifiers with proteins on fat crystallization and stability of whipped-frozen emulsions. Food Hydrocolloids, 101, 105491.

Kamath, S., Huppertz, T., Houlihan, A. V., & Deeth, H. C. (2008). The influence of temperature on the foaming of milk. International Dairy Journal, 18, 994e1002.

Moens, K., Tavernier, I., and Dewettinck, K. (2018). Crystallization behavior of emulsified fats influences shear-induced partial coalescence. Food Research International, 113, 362-370.

Munk, M. B., and Andersen, M. L. (2015). Partial coalescence in emulsions: The impact of solid fat content and fatty acid composition. European journal of lipid science and technology, 117(10), 1627-1635.

Petrut, R. F., Danthine, S., and Blecker, C. (2016). Assessment of partial coalescence in whippable oil-in-water food emulsions. Advances in colloid and interface science, 229, 25-33.

Wang, Y., Yuan, D., Li, Y., Li, M., Wang, Y., Li, Y., and Zhang, L. (2019). Thermodynamic and whipping properties of milk fat in whipped cream: A

study based on DSC and TD-NMR. International dairy journal, 97, 149-157.

Zhao, Q., Zhao, M., Yang, B., and Cui, C. (2009). Effect of xanthan gum on the physical properties and textural characteristics of whipped cream. Food Chemistry, 116(3), 624-628.

Zhao, Q., Kuang, W., Long, Z., Fang, M., Liu, D., Yang, B., and Zhao, M. (2013). Effect of sorbitan monostearate on the physical characteristics and whipping properties of whipped cream. Food chemistry, 141(3), 1834-1840.

Bölüm 2

Susuz Süt Yağı (Sadeyağ

Salih ÖZDEMİR[1*]
Cihat ÖZDEMİR[2]

[1] Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum, Türkiye, ozdemirs@atauni.edu.tr, https://orcid.org/0000-0002-9583-4379
[*]Sorumlu Yazar

[2] Atatürk Üniversitesi Oltu Meslek Yüksek Okulu, Gıda Teknolojisi Programı, 25400,OLTU/ Erzurum, Türkiye, cozdemirs@atauni.edu.tr, https://orcid.org/0000-0001-9259-5360

ÖZET

Türkiye'de aile içerisinde üretilen susuz süt yağı (sadeyağ), Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde özellikle Şanlıurfa'da yaygınlaşmış ve bu bölgelerde ticari bir değer kazanmıştır. Susuz süt yağına benzeyen süt ürünleri Asya, Orta Doğu ve Afrika gibi dünyanın bir çok bölgesinde de üretilmektedir. Susuz süt yağı Hindistan'da "ghee" olarak bilinmekte, inek veya manda sütü veya bu sütlerin karışımlarından yapılmaktadır. Sadeyağ Orta Doğu'da "maslee" veya "samn" olarak adlandırılmakta, koyun, keçi veya deve gibi farklı sütlerden yapılmaktadır. Susuz süt yağı İran'da ise "roghan" olarak bilinmektedir. Susuz süt yağı; uluslararası literatürde ghee ve saflaştırılmış tereyağı olarak ta adlandırılır. Sıvı ve katı yağlara 60ºC'den daha yüksek sıcaklık uygulaması sonucu ısıl işlem oksidasyonu oluşmaktadır. Otooksidatif reaksiyonlardan farklı olarak hidroperoksitlerin yüksek sıcaklıkta otooksidasyonu sonucunda oluşan doymamış yapıdaki aldehitler yüksek sıcaklıkta kızartma şartlarında hızlıca parçalanmaktadır. Termik oksidasyon sırasında oluşan uçucu maddeler, gıda maddelerindeki kızartma tadına sebep olan doymamış yapıdaki laktonlar olarak adlandırılır.

Anahtar Kelimeler: Süt yağı, Tereyağı, Susuz süt yağı, Sade tereyağı, Sadeyağ,Urfa yağı

SUMMARY

Anhydrous milk fat (clarified fat), which is produced within the family in Turkey, is widespread in the Eastern and Southeastern Anatolia regions, especially in Şanlı Urfa, and gains a commercial value in these regions. Dairy products similar to dehydrated milk fat are also produced in many parts of the world such as Asia, the Middle East and Africa. Anhydrous milk fat, known as "ghee" in India, is produced from cow or buffalo milk or mixtures of these milks. Sadeyağ is called "maslee" or "samn" in the Middle East and is made from different milks such as sheep, goat or camel. Anhydrous milk fat is known as "roghan" in İran. Anhydrous milk fat; In the international literature, it is called "ghee", "clarified butter oil"or "butter oil". In oils and fats, heat treatment oxidation occurs as a result of the application of temperatures higher than 60ºC. Unlike autooxidative reactions, unsaturated aldehydes formed as a result of autooxidation of hydroperoxides at high temperature are rapidly decomposed under high temperature frying conditions. Volatile substances formed during thermal oxidation are called unsaturated lactones, which cause the frying taste in foodstuffs.

Keywords: Milk fat, Butter, Anhydrous milk fat, Clarified butter, Plain oil,Urfa sadeyag

1.GİRİŞ

Türkiye'de hemen hemen her bölgede sadeyağ üretilmektedir. Fakat birçok yörede tüketiciler sadeyağı kendilerinin tüketmeleri için üretmektedirler. Genellikle ülkemizde aile içinde üretilen susuz süt yağı (sadeyağ), Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde özellikle Şanlıurfa'da yaygın olarakyapılmakta ve ticari bir önem arz etmektedir.. Bundan dolayı bu yağa; "Urfa yağı" ismi de verilmektedir. Sadeyağ; süt, krema veya yoğurttan yapılan tereyağının eritilmesi sırasında köpük ve suyun uzaklaştırılması sonrası meydana gelir. Süt ve/veya süt ürünlerinden elde edilen sadeyağ, su ve yağsız kuru madde unsurlarının büyük bir bölümünün(tamamına yakın kısmının) uzaklaştırılması ile elde edilen ve yaklaşık ağırlıkça en az %99 oranında süt yağı içeriğine sahip bir süt ürünüdür(Anonim, 2005). Şanlıurfa bölgesinin çayırlarında (Tek Tek dağları, Karacadağ vd) değişik bitkilerle beslenen küçükbaş hayvan (özellikle koyun) sütlerinden üretilen Urfa yağı, yoğurdun yayıklanması sonucu elde edilen tereyağlardan elde edilir. Sadeyağ Asya, Orta Doğu ve Afrika gibi sıcak iklimlere sahip bölgelerde bulunan ülkelerde binlerce yıldır bilinen bir süt ürünüdür. Asya ülkelerinde, Orta Doğu'da ve Afrika'da Urfa yağına benzer ürünlerin üretildiği bilinmektedir. Genellikle inek veya manda sütü ya da karışımlarından elde edilen bu ürün Hindistan'da "ghee" olarak adlandırılmaktadır. Koyun, keçi veya deve sütünden üretilen bu yağ Orta Doğu'da "maslee" veya "samn" olarak bilinmektedir. İran'da ise "roghan" olarak adlandırılır. Uluslararası kaynakçada bu ürün ghee ve saflaştırılmış tereyağı olarak ta adlandırılmaktadır. Ghee, susuz yağdan daha fazla aromalı ve proteinli bir ürün olup, yüzyıllardır Hindistan ve Arap ülkelerinde bilinmektedir. Hindistanda çok fazla tüketilen bu yağ daha çok uluslararası literatürde bu ülkede kullanılan ismi ile tanınmaktadır. Hindistan'da yılda 900.000 ton Ghee üretilmektedir. Hindistan gibi tropikal bir ülkede yağların lipolitik ve oksidatif bozulmaya oldukça fazla miktarda maruz kalmaktadır. Ghee olarak adlandırılan susuz süt yağının fazla miktarda üretilmesinin sebebi süt yağının bozulmasını önleyen önemli bir ürün elde edilme şekli olarak görülmektedir.

Yapılan bir çalışmada Ghee'nin süt yağı oranının %99.6, su oranının maksimum %0.3 ve serbest yağ asidi içermesi, peroksit değerinin ise 1 meq kg-1 az olması gerektiği belirtilmiştir (Sserunjogi vd., 1998). Ghee antioksidan madde içermesi ve nem içeriğinin az olması sebebiyle oldukça dayanıklı bir süt ürünüdür(Fearon vd., 1998; Sserunjogi ve ark., 1998). Kınake (2011), tereyağının 103, 106, 109, 112, 115, 118, 121, 124°C'de ki farklı sıcaklıklarda eritilmesiyle elde edilen gheenin duyusal özellikleri üzerine etkisini belirlemek amacıyla bir arştırma yapmışlardır.Araştırıcı, 121 °C işlem sıcaklığında gheenin lezzet, renk ve tekstür değerlerinin en yüksek olduğu, nem muhtevasının ise artan sıcaklıkla

nedeniyle azaldığı ve bu sıcaklıkta nem içeriği kalite kriteri açısından uygun aralıkta olduğu saptanmıştır. Ayrıca sıcaklık artışına bağlı olarak serbest yağ asitleri içeriği artarak 121°C'de uygun aralıkta uygun değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada araştırıcılar eritme sıcaklığının 118-121 °C arasında olmasının kalite kriteri açısından en uygun sıcaklık olduğunu bildirmişlerdir. Susuz süt yağı Sudan'da 'samin', Uganda' da 'samuli' ve batı ülkelerinde ise 'beurrenoisse' , beurrenoisette' gibi farklı isimlerle bilinmektedir (Andrewes, 2012). Genellikle dünyanın bazı bölgelerinde, yemeklerde kullanılmak üzere üretilen sadeyağ çoğunlukla yerli yöntemlerle (geleneksel yöntemlerle) üretilmektedir.

Ülkemizde ticari bir değeri olan sadeyağ genellikle büyükbaş hayvan (inek) sütünden elde edilmekle beraber, bazı bölgelerde küçükbaş hayvanların (koyun, keçi veya karışımlarından) sütünden de yapılmaktadır. Şanlıurfa sadeyağı (Urfa yağı), geleneksel metotlarla koyun sütünden yapılmaktadır. Sadeyağ üretiminde, koyunların laktasyon süresinin kısa olmasından ötürü koyun sütünün kolay bulunmaması ve süt yağının ticari değerinin yüksek olmasından dolayı, yılın her mevsimi ulaşılabilir olması nedeniyle uzun laktasyon dönemi olan inek sütleri tercih edilmektedir Bu nedenle Şanlıurfa sadeyağı (Urfa yağı) üretiminde inek sütü hammadde olarak daha fazla değerlendirilmektedir. Bununla birlikte inek ve koyun sütlerinden yapılan sadeyağların tat ve aromaları farklı olmaktadır. İnek sütünden yapılan sadeyağ daha hafif tat ve aromada olmasından dolayı birçok tüketici tarafından tercih edilmektedir. Ayrıca, koyun sadeyağına inek sadeyağı karıştırılarak piyasaya sunulması sadeyağ ticareti ile uğraşanlar arasında haksız rekabete ve tüketicilerin kandırılmasına sebep olmaktadır. Urfa sadeyağı yörede geleneksel yöntemlerle üretilmektedir. Bu yönteme göre; sağılan sütler kaba kirlerinden tülbent yardımıyla süzülür ve bu sütler daha sonra yoğurda işlemek için kaynatılır. Mayalama sıcaklığına soğutulan sütlerden daha sonra yoğurt yapılır. Üretilen yoğurtlar bir gece buzdolabında bekletilerek asitliği artırılır. Aynı miktarda yoğurt ve su karışımı "tuluk" adı verilen tahtadan veya hayvan derisinden yapılan kaplara ya da son zamanlarda olduğu gibi yayıklama makinesine konularak yayıklanır. Yayıklama aşamasında karışımın sıcaklığı tereyağı oluşumuna (kristalizasyon) izin verecek derecede olmalıdır. Yayıklama sonrası oluşan yayık altı (ayran) uzaklaştırıldıktan sonra, oluşan tereyağları temiz su yardımıyla yıkanır. Üretilen tereyağları 100ºC'nin altındaki sıcaklıkta eritilerek su ve yağsız kurumadde bileşenlerinin (köpük) uzaklaşması sağlanarak sadeyağ üretilir.

Sadeyağının kalitesi, tereyağının susuz süt yağına dönüştürülmesi sırasında uygulanan ısıl işlemin derecesi ve süresine bağlı olarak değişmektedir. Afrika, Orta Doğu ve Asya'daki farklı ülkelerde sadeyağ, tereyağının 110-140^{0}C 'de

eritilmesiyle ortaya çıkmaktadır(Özkanlı ve Kaya, 2007). Hindistan'a özgü susuz tereyağı olan 'ghee', genellikle 110-120^{0}C'de tereyağının eritilmesiyle elde edilmektedir . Urfa sade yağı (Urfa yağı) yapımında ise gheeye göre daha düşük eritme sıcaklığı kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklık işlemi esnasında yağda bazı fiziksel ve kimyasal değişmeler görülebilmektedir. Isıl işlemin etkisi ile meydana gelen önemli değişikliklerden biri de oksidasyondur. Ayrıca, ısıl işleme maruz kalan yağlarda kısmi olarak indirgenme ve oksidasyon reaksiyonlarının sonucunda, bazı toksik bileşikler ortaya çıkabilmektedir. Normal şartlar altında meydana gelen oto oksidasyon reaksiyonlarından ayrı olarak yağlar, 60ºC veya daha yüksek sıcaklıklara maruz bırakılması sonucu termik oksidasyon meydana gelmektedir. Otooksidatif reaksiyonlardan ayrı olarak peroksitlerin yüksek sıcaklıkta oksidasyonu sonucunda doymamış yapıdaki aldehitler oluşmakta ve kızartma şartlarında hızlıca parçalanmaktadır. Termik oksidasyon esnasında oluşan uçucu bileşikler, gıda maddelerindeki kızartma tadına sebep olan doymamış yapıdaki laktonlardır. Laktonlar linoleik asidin parçalansıyla oluşmakta önce hoş aroma vermekte yağın ısıtılması devam edildikçe yerini hoş olmayan tat ve aromaya bırakmaktadır. Termik oksidasyon sonucunda doymamış yağ asitleri önce konjuge yapıya dönüşmekte ve daha sonra da siklohekzanlar oluşmaktadır (Saldamlı, 2007).Nitekim, Nawar (1996), yapmış olduğu araştırmada sadeyağ örneklerinde tereyağ örneklerine göre daha yüksek miktarda peroksit içerdiği tespit etmiştir. Bu artış, sadeyağ üretimindeki ısı uygulaması sonucu gerçekleşen ısıl oksidasyonun bir göstergesidir. Tereyağları susuz süt yağına dönüştürülürken, 100^{0}C'ye kadar ısıtıldığında bir oksidasyon ürünü oluşmamakta, ancak sıcaklık 120^{0}C ve üzerine çıkıldığında çok kısa sürede oksidasyon ürünlerinin meydana gelmekte ve 150-200^{0}C arasında 10 dakikalık ısıl işlem uygulandığında ise kolesterolün oksidasyon ürünlerinin miktarlarında önemli artışlar olduğu saptanmıştır (Savage vd. 2001). Özkanlı ve Kaya (2007), pastörize edilmiş ve pastörize edilmemiş koyun sütünden yapılan sadeyağların 60, 70 ve80^{0}C sıcaklıklarda depolanma esnasında fiziksel, kimyasal ve termal dayanıklılıklarını belirlemişlerdir. Araştırıcılar, sıcaklık artıkça peroksit ve tiyobarbitürik asit değerlerinin yükseldiğini saptamışlardır. Araştırıcılar(Özkanlı ve Kaya ,2007), pastörize koyun sütünden yapılan susuz süt yağının, pastörize edilmemiş koyun sütünden yapılan susuz süt yağı örneklerine göre daha yüksek termal stabiliteye sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Bu kitap bölümünde bu ürün için susuz süt yağı veya sadeyağ ismi kullanılacak endüstriyel üretim yöntemleri anlatılacak ve FIL-IDF uluslararası standartlarında (68A: 1977) aşağıdaki özelliklere sahip olan ürün susuz süt yağı olarak değerlendirilecektir**.**

1- Susuz Süt Yağı, en az %99.8 süt yağı içermeli ve taze krema veya tereyağından yapılmalıdır herhangi nötralizasyon ve serbest asitlere gibi bir katkıya müsaade edilmez.
2- Susuz tereyağı ise en az %98. 8 süt ya içermeli fakat muhafaza edilmiş krema veya tereyağından yapılabilir. Bu yağın yapımından nötralizasyon için alkali kullanmaya ve serbest yağ asidi ilavesine müsaade edilmektedir.
3- Tereyağı (Butter oil) %99.3 süt yağ içermelidir. Susuz tereyağının şartları ile aynıdır.

2.SUSUZ SÜT YAĞININ(SADEYAĞ) ÖZELLİKLERİ

Susuz tereyağı, tereyağının depolanması için geleneksel bir form olup tereyağından daha az yer kapladığından dolayı tereyağının muhafaza ve taşınması için daha uygun formdur. Tereyağı taneli bir ürün olarak bilinir. Ancak tereyağı 4^0C'de 4-6 haftanın üzerinde depolanabilir. Şayet 10-12 ayın üzerinde uzun bir peryot için depolanacaksa, depolama sıcaklığı maksimum - 25^0C olmalıdır. Susuz süt yağı tipik olarak 200 LT'lik ambalajlarda inört bir gaz olan azot ile birlikte + 4^0C'de birkaç ay depolanabilir. Susuz süt yağı 36^0C'nin üzerindeki sıcaklıklarda sıvıdır, fakat 16^0C ve 17^0C'nin altında katıdır. Susuz süt yağının diğer süt ürünleri içerisinde kolayca karıştırılmasından dolayı karıştırma esnasında sıvı formu uygundur. Böylece susuz süt yağı, değişik süt ürünlerinin oluşturulmasında, bilhassa çikolata ve dondurma sanayinde kullanılmaktadır. Dünyada tereyağı için talep azalmaktadır. Bunun bir sebebi yağsız süt yağına olan talebin artmasıdır. Yağsız süt yağının farklı yağlarla karıştırılma imkânının da olması önemli avantajdır. Tereyağı ile bitkisel yağlar karıştırılarak farklı yağ muhtevalı bileşikler oluşturulabilir.

3.SUSUZ SÜT YAĞI ÜRETİMİ

Susuz süt yağı üretmek için 2 farklı metot bulunmaktadır.

A. Krema veya sütten direkt oluşla sürekli metot

B. Tereyağından susuz süt yağı üretim metodu

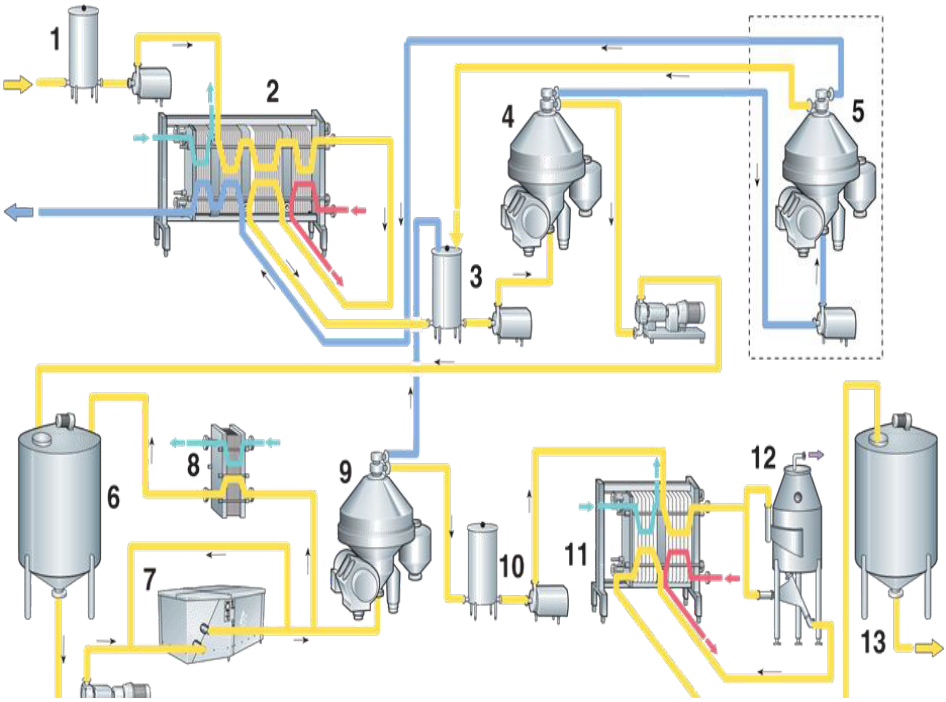
Her 2 metodun işlem basamakları Şekil 1' de verilmiştir.

Şekil 1.Çiğ Sütten Susuz süt Yağı Üretimi Basamakları (Anonymous,1995)

Susuz süt yağının kalitesi, taze sütün ve seçilen metodun doğru olmasının bir sonucudur. Şayet herhangi bir sebeple krema veya tereyağını kalitesi yeterince iyi olmadığı belirlenirse son evaporasyon işlemi de getirilmeden önce yağın yıkanması veya nötralize edilmesi gibi bazı yeni işlemler yapılabilir. Ayrıca, her 2 metodun karşılaştırılması da yapılmalıdır.

3.1.KREMADAN SUSUZ SÜT YAĞI ÜRETİMİ

Kremadan susuz yağ üretim basamakları şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Pastorize edilmiş ve edilmemiş % 35- 40 yağlı krema; susuz yağ üretim işletmesinin balans tankına sokulur. Daha sonra krema plakalı ısıtıcıya gönderilir. Krema konsantre edici santrifüje (4) gönderilir ve bu santrifüj kremanın suyu dışarı atılarak yağ konsantrasyonu %75'e çıkarılır. Daha sonra kremanın sıcaklığı 60^0C'de başka bir santrifüje gönderilerek ve yağlı süt uzaklaştırılarak yağlı süt plakalı ısıtıcıya geri döner daha sonra depolama tankına gönderilir. Krema tankta geçici olarak depolandıktan sonra konsantre krema homojenizatöre gönderilir. Daha sonra krema son konsantre etme ünitesine gönderilir (9). Homojenizatör son ürün konsantre düzeyinden önce ürünü (kremayı) homojenize eder. Konsantre edici santrifüjlerden kaçan yağlı süt tanka (6) geri döner. Homojenizasyon işleminde kullanılan enerjinin bir kısmı fabrikadaki sıcaklık sirkülâsyonunu sağlamak için ısı enerjisine dönüştürülür. Fazla ısı soğutucu (8) tarafından uzaklaştırılır. Sonuçta %95,5'lik katı yağ içeren yağ, 95-98^{0}C 'de ön ısıtma (11) yapılır ve daha sonra %0,1'lik nem muhtevasını uzaklaştırmak amacıyla vakum evaporatöre (12) gönderilir. Susuz süt yağı(sıvı) tipik ambalajlama sıcaklığı olan 35^{0}C -40^{0}C'ye soğutulur. Bu işlemdeki ana unsurlar kremanın suyunu uzaklaştırıp yağı konsantre eden separatörlerdir. Ayrıca,fazları tersine çeviren (yağ- su emülsiyonu) homojenizatörler de önemli makinalardır.



1-Balans Tankı

2-Plakalı ısı değiştirici

3-Balans tankı

4-Ön konsantre edici

5-Konsantre edici seperatör

6- Bafır tankı

7-Homojenizatör

8-Plakalı soğutucu

9-Son konsantre edici

10-Balans tankı

11-Isıtmalı ve soğutmalı ısı değiştirici

12-Vakum çemberi

13-Depolama tankı

Krema

Tereyağı sütü

Isıtma ortamı

Soğutma ortamı

Buhar

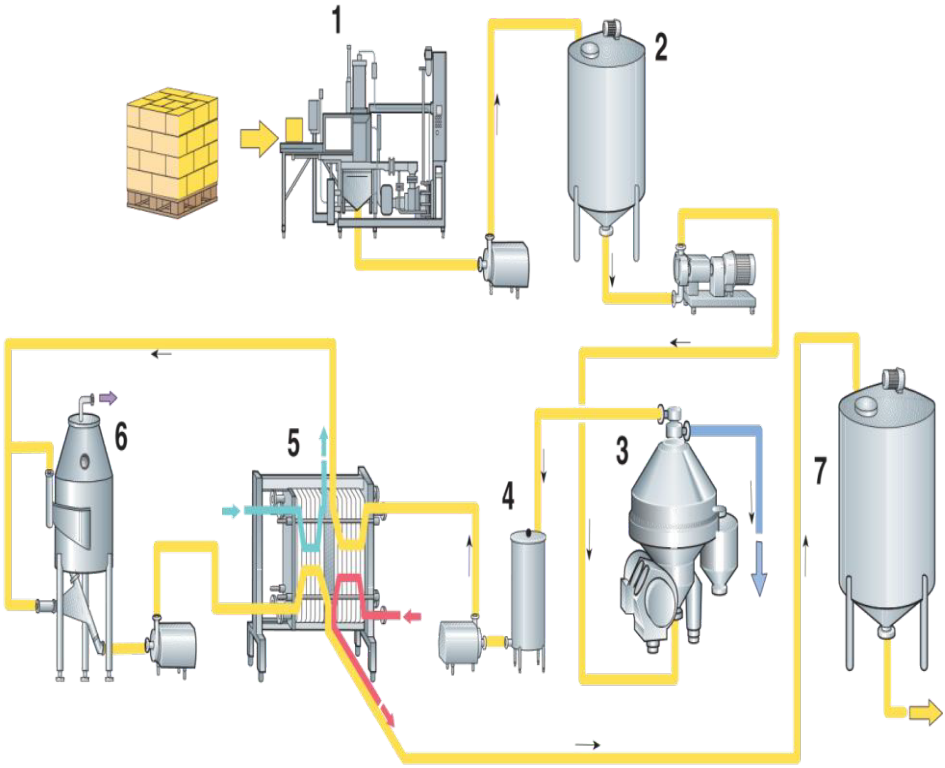
Şekil 2. Kremadan Susuz Süt Yağı Üretim Hattı(Anonymous,1995)

3.2.TEREYAĞINDAN SUSUZ SÜT YAĞI YAPILIŞI

Genellikle susuz süt yağı tereyağından yapıldığından, uzun yıllardan beri bu metot bilinmektedir. Bu metotta tamamen saf bir yağ elde etmek oldukça zordur. Bu metotta ilk basamak yağın konsantre edilmesidir. Yağ, berrak renk elde edilinceye kadar saflaştırılır. Tereyağı örnekleri ısıtıldığında taze tereyağının emülsiyonunun oluşması ve susuz tereyağı üretimi tereyağı üretiminden daha zordur. Taze krema, tuzsuz tereyağı normalde taze materyal olarak kullanılır, fakat kültürleşmiş krema veya tuzlu tereyağı da sade yağ üretiminde kullanılabilir. Şekil 3 tereyağından sade yağ üretiminde standart bir üretim fabrikasının oluş şemasını göstermektedir. Depolanmış kutulardaki tereyağı fabrika ortamına verilir. Taze materyal 25^0C' de depolanmış dondurulmuş tereyağı olabilir. Tereyağı kutulardan çıkarıldıktan sonra, tereyağı değişik ekipmanlarda indirekt ısıtma ile eritilir. Son konsantrasyona ulaşmadan önce eritilmiş tereyağının sıcaklığı 60^0C' ye ulaşabilir. Direkt ısıtma ile (tereyağı içine buhar enjeksiyonu) eritme yapıldığında, emülsiyon fazında hava kabarcıkları görülür ki, bu durumda saf süt yağını ayırmak çok zordur. Bu sonraki konsantrasyonunda yağ bazı maddelerle birlikte konsantre olur ve bu da bulanıklılığa sebep olur. Sıcak ürün ısıtma ve eritme sonrasında tanka (2) gönderilir. Bu tankta 20-30 dakikalık bir peryotta tutulabilir. Özellikle bu tankta tam bir erime sağlanır ve aynı zamanda proteinlerin çökmesi meydana gelir. Ürün muhafaza tankından (2) konsantre edici seperatöre (3) gönderilir. %99,5 süt yağı içeren berrak faz ısı değiştiriciye (5) gönderilerek 90 – 95^0C' ye ısıtılır. Daha sonra vakum tüpüne gönderilir ve sonra eriyik ısı değiştiriciye geri döner ve ambalajlanmak için 35-40^0C 'ye soğutulur.

Ağır faz (yağlı süt) saf olup olmaması ve nötralize edici madde ile teması olup olmamasına göre bir tanka veya atık biriktirme tankını gönderilebilir. Şayet tereyağı sürekli sistemden direkt gelirse bulanıklılık ve hava içermesi gibi problemler görülebilir.

Bununla birlikte son konsantre edici hermetikli dizaynlı olursa, berrak % 95,5'luk yağ fazını elde etmek mümkün olabilir ama ağır fazın (süt fazı) yağ muhtevası nispeten yüksek olacaktır. Ağır süt fazı daha sonra yeniden separatörden geçirilebilir ve elde edilen krema sürekli sistemde tereyağı üretimine verilebilir.



Şekil 3. Tereyağından Susuz Süt Yağı Üretim Hattı(Anonymous,1995)

4.SUSUZ SÜT YAĞININ SAFLAŞTIRILMASI

Susuz süt yağı değişik maksatlarla rafine edilebilir

1- Berraklaştırma
2- Nötralize etme
3- Fraksiyonlarına ayırma
4- Kolesterolü uzaklaştırma

4. 1.Berraklaştırma

Bulanık bir ürünü berraklaştırmak için, su ile yağın yıkanmasını içerir. Bu safhada %20 -30 oranında su son konsantrasyondaki süt yağına gönderilir. Suyun sıcaklığı süt yağının sıcaklığı ile aynı olabilir. Su ile yağın kısa bir teması sonrasında su dışarıya alınır. Su ile suda eriyebilin maddeler bilhassa proteinler dışarıya alınmış olur.

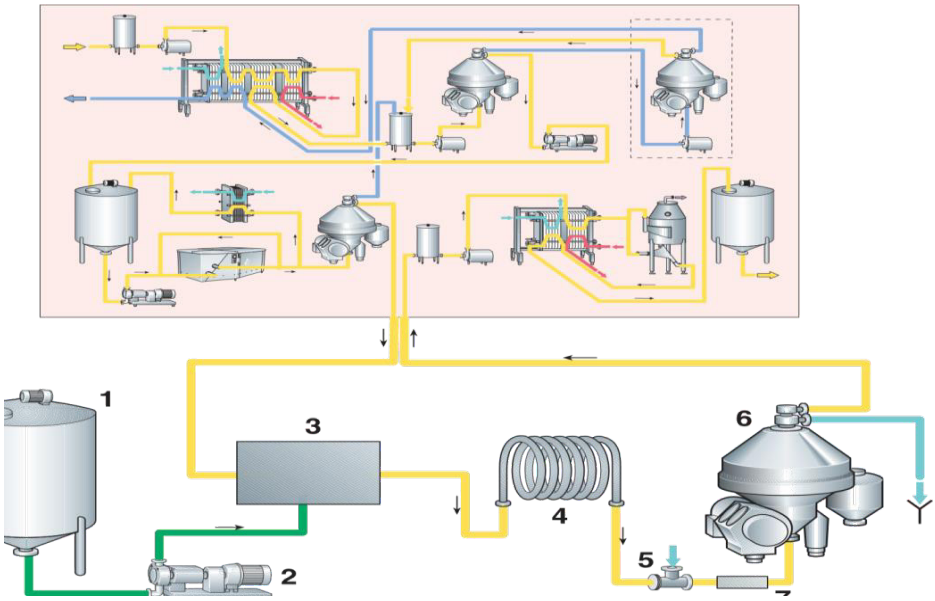
4.2.Nötralizasyon

Nötralizasyon, serbest yağ asitlerinin seviyesini azaltmak için yapılır. Serbest yağ asitlerinin yüksek seviyesi, yağdaki istenmeyen aromanın uzaklaştırılmasına neden olur. %8-10 'luk bir konsantrasyondaki alkali (NaOH) çözeltisi, gereken bir seviyede ilave edilir. Aynı zamanda su aynı miktarda ilave edilir. Sabunlaşan serbest yağ asitleri su fazı ile birlikte elde edilir. Yağ ve alkali iyice karıştırılır. Fakat yağın yeniden emülsikasyonu sağlanmalıdır. Nötralize etme safhasının basamakları Şekil 4 ' te görülmektedir. % 8- 10 alkali solüsyonu aynı sıcaklıktaki yağa verilir. Karıştırma 10 saniye içinde yapılır. Karıştırma sonrası (3) Ürün 10 saniye saklama tankının içerisine geçer. Bu karışım içerisine sıcak su verildikten sonra ikinci bir seperatöre (6) ve daha sonra bir karıştırma ünitesinde gönderilir.

4.3.Fraksiyonlarına ayırma

Fraksiyonu ayırma işlemi yağın yüksek sıcaklıkta eriyen yağ ile düşük sıcaklıkta eriyen yağ diye 2 fraksiyonu ayrılır. Bu ayrı fraksiyonlar farklı ürünlerde farklı özellikler için kullanılmaktadır. Yağı fraksiyonu etmenin farklı metotları vardır. Fakat çok umumi kullanılan fraksiyonları ayırma metotlarından birinde katkı maddeler kullanılmamaktadır.

Taze yağın saflık derecesinin mümkün olduğunca en yüksek düzeyde elde etmek için saf süt yağı eritilir ve daha sonra yavaşça soğutulur. Bu soğutma sıcaklığında fraksiyon kristalleri elde edilirken, düşük erime sıcaklığına sahip olan tabaka (fraksiyon) sıvı kalır. Kristaller özel filtrelerle elde edilir. Filtrat (süzüntü) daha düşük sıcaklıklarda soğutularak diğer fraksiyon kristalize olur ve elde edilir.



1-Alkali tankı

2-Dozlama pompası

3-Karıştırma ekipmanı

4-Borulu holding tüp

5-Su karıştırma

6-Sabunlaşan serbest yağ asitlerini azaltma

Y-Yağ su karışımı

Şekil 4. Susuz süt yağının (Sadeyağ)Sürekli Sistemde Nötralizasyon Akış Şeması(Anonymous,1995)

5.KOLESTEROLÜN AZALTILMASI

Kolesterol, hayvansal hücrelerin zarında bulunan ve insan metabolizmasında önemli olan yağ benzeri bir maddedir. Kanda ve bütün organlarda belirli miktarda kolesterol mevcut olmakla birlikte; safra asitleri, cinsiyet ve adrenalin hormonları gibi bazı steroid hormonlarının sentezinde de kolesterol kullanılır. Vücudumuza gıda maddeleri ile birlikte giren kolesterolden çok daha fazla miktarda, vücut tarafından da oluşturulmaktadır (Nguyen vd.2021). Hayvansal gıdalar önemli bir kolesterol kaynağıdır. Ancak hayvansal gıdalar, biyolojik değerleri de yüksek olan proteinlerin kaynağıdır. Hayvansal gıdaları sağlığımız için yeterli düzeyde yemeliyiz. Tüketiciler, yüksek kolesterol içerikleri nedeniyle daha az süt ve süt

ürünleri tüketmeye başlamış ve düşük kolesterollü süt ve süt ürünleri üretilmesini beklemişlerdir.

Aşırı gıda tüketiminin kandaki kolesterol seviyesiyle birebir ilişkili olduğunu yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Aşırı hayvansal gıdalarla beslenme, kanda kolesterolün artışına neden olarak yüksek kolesterol seviyesine yol açabilmektedir (Nguyen vd.2021). Yapılan çalışmalar, serum kolesterolündeki %1 gibi az bir azalmanın, koroner kalp rahatsızlıkları riskini % 2-3 oranında azaltabileceğini ortaya koymuştur.Yapılan araştırmalarda, her yıl koroner kalp hastalıkları nedeniyle meydana gelen ölümlerin, kanserle meydana gelen ölümlerle paralel olduğunu ortaya koymaktadır (Lanzani vd.1994). Kalp damar hastalıklarının seyri izlendiğinde, bu hastalarda kan kolesterol seviyelerinin sürekli yüksek olması, kolesterol molekülünün sorgulanmasına neden olmuştur. Kandaki yüksek kolesterol seviyesinin ölümlerin yanı sıra felç vakalarına da neden olması, bu yüksek seviyenin düşürülmesi gerektiğini ortaya koymaktadır(Lanzani vd.1994).Farmakolojik ilaçlar kan kolesterol seviyesini düşürmede etkili olmakla birlikte, bu ilaçların birçok yan etkilerinin olduğu da belirlenmiştir. Bu sonuç, bilim adamlarını kolesterolü düşürmek için doğal gıdalar üzerinde durmaya sevk etmiştir(Kumar vd 2012). Kimyasal yöntemler ekonomik açıdan diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır. Kolesterolün fiziksel olarak uzaklaştırılması yönteminde, kolesterol su veya karbondioksit içinde buharlaştırılarak maksimum %95 oranında uzaklaştırılır. Bu yöntemde kolesterolü azaltılmış sütten üretilen tereyağının dokusu normal tereyağından daha sert bulunmuştur(Özdemir 2019).

Yapılan çalışmalarda süt, yağsız süt ve çeşitli süt mamullerinin kolesterolü düşürücü yönde etki gösterdiği belirlenmiştir. Son yıllarda, laktik asit bakterileri, özellikle de laktobasiller antikolesterol, antidiyabetik, antipatojenik ve antikanserojenik özellikleri ve bağışıklık sistemini uyarması gibi sağlık açısından yararlı etkileri nedeniyle büyük ilgi görmüştür(Kumar vd., 2012). Bazı laktik asit bakterileri, kolesterolü ince bağırsaklarda tutma yeteneğine de sahiptir. Kolesterolün uzaklaştırılmasında biyolojik adı verilen yöntemde enzimler ve mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Laktik asit bakterisi ,probiyotik olarak yaygın olarak kullanılanlar bağırsakta yaşayabilen *Lactobacillus* ve *bifidobakterilerdir.* İlk kez bir çalışma, *Lactobacillus* ile fermente edilmiş sütün insanlarda kolesterol düşürücü etkilere sahip olabileceğini gösterdi. Kolesterolü uzaklaştırmak için probiyotik bakterilerin kullanılması çok önemlidir. Laktik asit bakterilerinin probiyotik bakteriler olarak kolesterol seviyesini düşürme, bağışıklık sistemini güçlendirme, kanseri önleme ve ishali azaltma gibi önemli etkileri olduğu gösterilmiştir. Mikroorganizmaların *Nocardia* ve *Rhodococcus* türleri kolesterolü yok eder. Bu yöntemde kolesterolün fragmantasyon ürünleri

toksik ve kanserojen olabilir. İnce bağırsak, insanlarda serum kolesterol konsantrasyonunun kontrolünde potansiyel bir yardım sağlamaktadır. Çünkü ince bağırsak kolesterol absorbsiyonunun yapıldığı ilk yerdir (Kumar vd., 2012). Acar(2014) yaptığı çalışmada, ticari olarak satılan yedi farklı liyofilize yoğurt kültürlerinden izole ettiği *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* ve *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* suşlarının kolesterolü indirgeme yeteneklerini araştırmıştır. Araştırıcı *Lactobacillus* suşlarının % 4,05-24,34 arasında değişen oranlarda besiyerindeki kolesterolü indirgediğini belirlemiştir. En yüksek kolesterol indirgeme yüzdesi % 24,34 oranı ile Y30A kültür suşunda, en düşük kolesterol indirgeme yüzdesi(% 4,05) Y80A kültür no'lu suşta belirlenmiştir. *Streptococcus* suşlarının en yüksek kolesterol indirgeme yüzdesi % 11,02 oranı ile Y80A kültür no'lu suşta belirlenmesine rağmen, en düşük kolesterol indirgeme yüzdesi(% 2,54) Y30A kültür suşunda tespit edilmiştir.

Hosono ve Tono-oka (1995), fermente süt ürünlerinden izole edilen laktik asit bakterilerinin kolesterolü azaltma özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmada *Enterococcus faecalis, Lactococcus mesenteroides* ve *Lactobacillus casei* suşları kullanılmış ve bunlar arasında *Lactococus lactis subsp. lactis biovar diacetylactis* R-43 suşunun %33,91 oranında kolesterolü azalttığı belirtilmiştir.

Lactococcus lactis subsp. lactis N7'nin kolesterolü % 97.3 oranında azalttığı belirlenmiştir(Kimoto vd., 2002).

Taranto ve ark. (1996), yaptıkları bir çalışmada *Enterecoccus faecium'un* kolesterolü azaltma özelliğini incelemişler ve bu bakterinin kolesterolü %12 ile %56 oranında azalttığını belirlemişlerdir.

Dekolesterolizasyon yağsız süt yağından kolesterolün uzaklaştırma işlemidir. En çok kullanılan metotta yağ ve modifiye nişasta (beta siklodekstrin) karıştırılır. Beta siklodekrtrin molekülleri kolesterolleri çevreler ve bu molekül santrifüjleme ile ayrılır. Başka bir metotta, susuz tereyağı 190^0C ve 250^0C arasında 10-3 ve 10-4 basınçta fraksiyonlama işlemine tabi tutulmuştur. En ideal sıcaklık 180^0C' de 30 ile 180 dakika arasında fraksiyonların elde edilmesidir. Susuz yağ içindeki kolesterol 2 saat içinde az molekül ağırlıktaki trigliseritlerin minimum kaybı ile tamamen ayrılabilir (Lanzani et al. 1994).

Beta siklodekstrin ürünlerin beslenme, dokusal lezzet özelliklerini önemli düzeyde etkilemezken, bu metot süt yağı içindeki kolesterolü %98 e kadar etkili bir şekilde uzaklaştırılabilir. Kolesterolü azaltılmış ürünler fonksiyonel gıda ürünlerinin hazırlanmasında önemli olabilmektedir (Kolarik ve Simko, 2022) Psikodekstrinin tereyağı gibi kolesterolü yüksek süt ürününün kolesterol içeriğini başarılı bir şekilde azalttığı belirlenmiştir. Reaksiyon 1400C' de sodyum sülfat ile katalize edilmektedir. Sonuçta kolesterol miktarının %95,4 düzeyde azaldığı belirlenmiştir (Ngugen vd. 2021). Kolesterolün kimyasal uzaklaştırma

yönteminde genellikle β-siklodekstrin tedavisi kullanılmaktadır. Bu yöntemde kolesterol giderim seviyesi %92,1'e kadar çıkabilmektedir.

Başka bir çalışmada kolesterolü azaltmak için probiyotik laktik asit bakterileri kullanılmıştır. *Lb. maltaramicur* Ac 3-16 ve *Lb. casei subsp casei* A B 16-65 ile olgun tereyağına katıldı. Sonuçta bu bakterilerin krema veya tereyağının kolesterol seviyesinin önemli düzeyde azalttığı tespit edilmiştir (Aloğlu ve Öner, 2006).

Araştırıcılar %5 lik PSD kullanılması durumunda tereyağında kolesterol seviyesi 243 mg/ 100 g' dan 61,6 mg/100' a (%75) düşmesine neden olmuştur. Kolesterolü azaltılmış tereyağının tüm özellikler yönünden azaltılmamış tereyağından farklı olmadığı belirlenmiştir. Araştırıcılar PSD Uygulamasının tereyağının kolesterol seviyesini tatmin edici seviyede azalttığı sonucuna varılmıştır (Aryafar ve Zandi,2007).

6.AMBALAJLAMA

Susuz süt yağı değişik boyutlarda ambalajlanır. Ev ve restoranlarda 1 ila 19.5 mg ambalajlarda üretilmektedir. Endüstriyel alanlarda minimum 185 kg'lık veriler kullanılır. Normalde bir inört gaz olan azot(N_2) ilk önce ambalaja enjekte edilir. Azot gazı havadan daha ağır olup ambalajının altına inecektir. N_2' den daha ağır olan susuz süt yağı kabın altına inecek ve azot gazı hava geçirmez bir yüzey tabakası oluşturarak susuz süt yağının hava kaynaklı oksidasyonunu önleyecektir.

7. SUSUZ SÜT YAĞI(SADEYAĞ)I İLE İLGİLİ ÜLKEMİZDE VE YURT DIŞINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çelik vd.(2020) Karacadağ yöresinde üretilen Şanlıurfa Sadeyağı ile Tulum Yağının bazı kalite özelliklerini incelemişler ve sade yağda yağ oranını % 98,106±0,72 ile % 98,796±0,41 arasında, nem oranını % 1,394±0,66 ile %0,740±0.06 arasında, tuz oranını % 0,048±0,05 ile% 0,044±0,02 arasında ve kolesterol içeriğini 222,71±21,46 mg/100g ile 244,76±17,54mg/100g arasında bulmuşlardır.

Kaya(2006) 'Sütten ve Yoğurttan Elde Edilen Sade Yağın Reolojik Özellikleri' adlı çalışmada sütün ve yoğurdun yayıklanması ile ayrılan yağların eritilmesi (70^0C) ile elde edilen sade yağların akışkanlık özelliğini incelemiş ve 30^0C'den yüksek sıcaklıklarda yağların Newtonyen akış özelliği gösterdiği belirlenmiştir. Sütten ve yoğurttan elde edilen yağların akmazlık değerlerinin aktivasyon enerjileri sırasıyla 20,8 ve 21,9 ±0,2 kJ/mol olarak bulundu.

Kirazcı ve Javidipour (2008), Van piyasasında satışa sunulan sadeyağların kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında, sadeyağ

örneklerinde lipolitik bakteri ve maya-küf sayılarını sırasıyla $9,9x10^5$ ve $6,9x10^5$ kob g^{-1} arasında bulmuşlardır.

Şanlıurfa ilinde üretilen sadeyağların serbest yağ asitleri içerik ve bileşimini belirlemek için yapılan bu araştırmada, toplam 20 adet sadeyağ örneği incelenmiştir. Araştırma sonucunda Urfa yağında toplam serbest yağ asidi miktarının 79,99 ile 89,54 mg /100 g^{-1} sadeyağ arasında değiştiği belirlenmiştir. Yağ asitleri bileşiminin ise, %0,31-0,74 bütirik asit, %0,32-1,06 kaproik asit, %0,25-0,79 kaprilik asit, %1,32-2,65 kaprik asit, %2,54-3,70 laurik asit, %11,12-14,38 miristik asit, %27,62-36,82 palmitik asit, %9,14-14,50 stearik asit, %3,.43-38,53 oleik asit ve %0,14-0,54 linoleik asit şeklinde olduğu saptanmıştır(Atasoy ve Türkoğlu,2010).

8. TÜRKİYE'DE SUSUZ SÜT YAĞI ÜRETİMİ İÇİN ÖNERİLER

Ülkemizde susuz süt yağı (Sadeyağ) hemen hemen tüm bölgelerde geleneksel olarak aile işletmelerinde veya küçük mandıralarda yapılmaktadır. Gerek ülkemizde gerekse ülkemizin doğusunda bulunan (İran ve Hindistan) ülkelerde ve bir çok Arap ülkesinde sadeyağ geleneksel metotla yapılmakta ve 100^0C'nin oldukça üzerinde sıcaklıklar kullanılmaktadır. Bu yüksek sıcaklık uygulamalarının sadeyağın otooksidasyon düzeyini artırdığı tespit edilmiştir. Bu durumda otooksidasyon sonucu oluşan serbest aldehit ve ketonlar gibi oksidasyon ürünleri insan sağlığı açısından tehlikeli olabilir. Bu nedenle ülkemizde yukarıda şekillerle anlattığımız modern sadeyağ üretim metodunun daha doğru ve sağlıklı olacağını düşünüyoruz. Ayrıca standartlarının da hazırlanarak sadeyağ özelliklerinin sınır değerleri ortaya konulmalıdır.

9. KAYNAKÇA

Acar, S. Bazı ticari yoğurt starter kültürlerinin in vitro kolesterol asimilasyonu (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Aloğlu, H., and Öner, Z. (2006). Assimilation of cholesterol in broth, cream, and butter by probiotic bacteria. European Journal of Lipid Science and Technology, 108(9), 709-713

Andrewes,P.(2012). Changes in Maillard reaction products in ghee during storage. Food Chemistry,135(3), 921-928

Anonymous,(1995). *Dairy Processing Handbook.Tetra Pak processing Systems* AB, 436s,Sweeden.

Anonim,(2005).Türk Gıda KodeksiTereyağı, Diğer Süt Yağı Esaslı Sürülebilir Ürünler ve Sadeyağ Tebliği. Tarım ve Köy işleri Bakanlığı, Ankara.

Aryafar, M., Zandi, P. (2007). Production of low cholesterol butter with application of β-cyclodextrin. Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology, 2(3), 23-32.

Atasoy,A., Türkoğlu, H. (2010). şanliurfa'da üretilen ve satişa sunulan sadeyağlarin (urfa yağı) serbest yağ asitleri bileşiminin belirlenmesi üzerine bir araştirmA. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 14(2), 9-12.

Çelik, Ş., Ünver, N., and Yakar, Y. (2020). Karacadağ Bölgesinde Üretilen Şanlıurfa Sadeyağı ile Tulum Yağının Bazı Kalite Karakteristikleri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 23(5), 1200-1208.

Fearon, A.M., Mayne, C.S., Charlton, C.T. (1998). Effect of naked oats in the cow's diet on the oxidative stability of the milk fat. Journal of Science of Food and Agriculture, 76, 546–552.

Hosono,A., . Tono-oka,T. (1995). Binding of cholesterol with lactic acid bacteria cells Milchwissenschaft, 50, pp. 556-560

Kaya, S. (2006). Sütten ve yoğurttan elde edilen sadeyağın reolojik özellikleri. 9. Gıda Kongresi, 24(26), 565-568.

Kınake, S. M., 2011. Mechanızatıon of ghee makıng usıng three stage scraped surface heat exchanger. Deemed University, Division of Dairy Engineering National Dairy Research Institute, Master of Technology Dairy Engineering, Havana, 50.

Kimoto, H., Ohmomo, S., & Okamoto, T. (2002). Cholesterol removal from media by lactococci. *Journal of dairy science*, *85*(12), 3182-3188.

Kirazci, A.,Javidipour, I. (2008). Some chemical and microbiological properties of ghee produced in Eastern Anatolia. International Journal of Dairy Technology, 61(3), 300-306.

Kolarič, L., Šimko, P. (2022). Application of β-cyclodextrin in the production of low-cholesterol milk and dairy products. Trends in Food Science and Technology, 119, 13-22.

Kumar,S.2012.Biopesticides: A Need for Food and Environmental Safety . Kumar. J Biofertil Biopestici 2012, 3:4 http://dx.doi.org/10.4172/2155-6202.1000e107.

Lanzani, A., Bondioli, P., Mariani, C., Folegatti, L., Venturini, S., Fedeli, E., and Barreteau, P. (1994). A new short-path distillation system applied to the reduction of cholesterol in butter and lard. Journal of the American Oil Chemists' Society, 71(6), 609-614.

Nguyen, A. T. L., Boakye, P. G., Besong, S. S., Tomasula, P. M., and Alamu-Lumor, E. S. (2021). Improvement of physicochemical properties of reduced-cholesterol butter by the addition of β-sitosteryl oleate. Journal of Food Science, 86(2), 404-410.

Navar, L. G., Inscho, E. W., Majid, S. A., Imig, J. D., Harrison-Bernard, L. M., & Mitchell, K. D. (1996). Paracrine regulation of the renal microcirculation. *Physiological reviews*, *76*(2), 425-536.

Özkanlı,O.,Kaya,A.2007.Storage stability of butter oils produced from sheeps non-pasteurized and pasteurized milk . Food Chemistry 100 (2007), 1026–1031.

Ozdemir, C. (2019, September). The Methods of Cholestrol Remove from Dairy Product. In 3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies (pp. 1601-1604).

Saldamlı, İ. (2007). *Gıda kimyası*. Hacettepe Üniversitesi Yayınları.

Savage, G.P., 2001. Chemical composition of walnuts grown in New Zealand. Plant Food for Human Nutrition 56: 75-82.

Sserunjogi, M.L., Abrahamsen, R. K., Narvhus, J. 1998. A review Paper: Current Knowledge of Ghee and related Products. International Dairy Journal, 8, 677-688.

Bölüm 3

Endüstri Mühendisliğinde Dijital Dönüşüm ve Akıllı Üretim Yaklaşımları

Abdulla SAKALLI[1]

[1] Doç. Dr.; İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü. abdulla.sakalli@iste.edu.tr ORCID No: 0000-0002-2488-7318

ÖZET

Endüstri mühendisliğinde dijital dönüşümün ve akıllı üretim stratejilerinin önemi son yıllarda artarak devam etmektedir. Endüstri 4.0 ve dijitalleşme ilerledikçe, geleneksel üretim süreçleri yerini akıllı, veri odaklı sistemlere bırakmaktadır. Bu sistemler büyük miktarda veriyi gerçek zamanlı olarak toplayıp analiz edebiliyor ve böylece daha verimli ve esnek üretim süreçlerine olanak tanıyor. Ayrıca, dijital dönüşüm makineler arasında daha iyi iletişim ve işbirliği sağlayarak üretkenliği artırıyor ve arıza sürelerini azaltıyor. Endüstri mühendisleri üretim süreçlerini, operasyonel verimliliği ve rekabet gücünü artırmak için yeni teknolojilere ve yenilikçi yöntemlere uyum sağlamalıdır. Otomasyon, robotik, veri analizi ve tahmine dayalı modellemeyi entegre etmek, üretimi optimize etmek için çok önemlidir. Dijital dönüşüm gerçek zamanlı veri analizine, öngörücü bakıma ve çevik üretim planlamasına olanak tanıyarak üretkenliği artırır ve arıza sürelerini azaltır. Endüstri mühendisleri dijital dönüşümden yararlanarak veriye dayalı kararlar alabilir ve bakım ihtiyaçlarını maliyetli arızalara yol açmadan önce proaktif olarak ele alabilir. Bu, yalnızca genel ekipman verimliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda üretim süreçlerinde sürekli iyileştirme sağlayarak pazarda rekabet avantajı sağlar. Bu bölümde dijital dönüşümün endüstri mühendisliği üzerindeki etkisi ve sunduğu fırsatlar ele alınmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Akıllı Fabrikalar, Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi, Dijital Devrim

GİRİŞ

Bu bölümün amacı, endüstri mühendisliğinde dijital dönüşümün ve akıllı üretim stratejilerinin önemini vurgulamaktır. Endüstri 4.0 ve dijitalleşme çağında geleneksel üretim süreçlerinin yerini akıllı, veri odaklı ve optimize edilmiş sistemler almıştır. Bu bölümde, endüstri mühendislerinin üretim süreçlerini iyileştirmek için yeni teknolojilere ve yenilikçi yöntemlere nasıl uyum sağlayabilecekleri incelenecektir. Buna ek olarak, dijital dönüşümün operasyonel verimliliği nasıl etkileyebileceği ve işletmelerin daha rekabetçi olma potansiyeli araştırılacaktır. Bu bölümde ayrıca endüstri mühendislerinin otomasyon ve robot teknolojilerini üretim süreçlerine entegre etmedeki rolünün yanı sıra veri analizi ve tahmine dayalı modellemenin üretimi optimize etmedeki önemi de tartışılacaktır. Ayrıca, ileri teknolojilerin fabrikalarda uygulanmasının yarattığı zorluklara ve fırsatlara ve endüstri mühendislerinin işletmeler için sürdürülebilir büyüme ve başarı sağlamak için bu değişiklikleri nasıl etkili bir şekilde yönetebileceklerine değinilecektir. Endüstri mühendisleri, yeni teknolojileri ve yenilikçi yöntemleri benimseyerek üretim süreçlerini kolaylaştırmak için otomasyon, yapay zeka ve makine öğreniminin gücünden yararlanabilir. Bu gelişmeler gerçek zamanlı veri analizi, öngörücü bakım ve çevik üretim planlamasına olanak tanıyarak üretkenliğin artmasını ve duruş sürelerinin azalmasını sağlar. Dijital dönüşüm, işletmelere özelleştirilmiş çözümler uygulama ve pazar taleplerine hızlı bir şekilde yanıt verme fırsatları sunarak sektördeki rekabet güçlerini artırmaktadır. Bu bölümde ayrıca yapay zeka ve makine öğreniminin üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve insan hatalarının azaltılmasındaki rolü de ele alınacaktır. Ek olarak, hassas verilerin korunmasında ve bu gelişmiş sistemlerin sorunsuz çalışmasının sağlanmasında siber güvenlik önlemlerinin önemi de ele alınacaktır.

Dijital Dönüşümün Endüstri Mühendisliğine Etkisi

Endüstri mühendisliği, işletmelerin etkinliğini ve verimliliğini artırmayı amaçlayan multidisipliner bir mühendislik dalıdır. Günümüzde dijital dönüşümün endüstri mühendisliği üzerinde önemli bir etkisi vardır. Geleneksel endüstriyel süreçlerin yerini dijital teknolojilerin ve veri odaklı metodolojilerin alması dijital dönüşümü oluşturmaktadır (Imran, vd., 2021). Bu bağlamda, akıllı fabrikalar, büyük veri analitiği, Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zeka ve otomasyon gibi en son teknolojilerin dahil edilmesi önem kazanmıştır. Bu makalede, dijital dönüşümün endüstri mühendisliği üzerindeki etkileri ve sunduğu fırsatlar derinlemesine incelenecektir.

Dijital dönüşümün önemi ve anlamı

Rekabet avantajı elde etmek ve bir işletmenin uzun ömürlü olmasını sağlamak artık dijital dönüşüm gerektiriyor. Endüstri mühendisliği, üretim, lojistik ve tedarik zinciri yönetimi operasyonel süreçlerde ve verimlilikte hayati rol oynuyor (Gehrke vd., 2016). Dijital dönüşüm, bu alanlarda dijital teknolojileri geleneksel yaklaşımlarla entegre ederek daha akıllıca, daha verimli ve daha uyarlanabilir çözümler sunmayı amaçlıyor. İşletmeler yapay zeka, büyük veri analitiği ve otomasyon gibi teknolojilerden yararlanarak operasyonlarını optimize edebilir ve veri odaklı kararlar alabilir. Bu sadece verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda işletmelerin değişen pazar taleplerine ve müşteri tercihlerine hızla uyum sağlamasına da olanak tanır. Dijital dönüşüm, işletmelerin manuel görevleri ve fazlalıkları ortadan kaldırarak süreçleri kolaylaştırmasını ve giderleri azaltmasını sağlar. Çalışanlar, tekrar eden görevleri otomatikleştirerek zamanlarını daha stratejik ve katma değerli işlere ayırabilir ve böylece genel üretkenliği artırabilir. Buna ek olarak, dijital teknolojilerin kullanılması, işletmelerin büyük miktarda veriyi gerçek zamanlı olarak toplamasına ve analiz etmesine olanak tanıyarak inovasyonu teşvik edebilecek ve müşteri deneyimlerini geliştirebilecek değerli içgörüler sağlar (Hinings, vd., 2018; Matt, vd., 2015).

Akıllı fabrikalar ve üretim süreçlerinin dijitalleştirilmesi

Akıllı fabrikalar, dijital dönüşüm nedeniyle endüstri mühendisleri için öncelikli odak alanlarından biridir. Sensörler, IoT cihazları ve bulut bilişim altyapısını kullanan fabrikalar, üretim süreçlerini gerçek zamanlı olarak yönetebilir ve izleyebilir. Veri analitiği ve yapay zeka tekniklerinin kullanılması, üretim süreçlerinin optimizasyonuna, verimsizliklerin belirlenmesine ve hata oranlarının azaltılmasına olanak tanıyor. Üretim süreçlerinin bu şekilde dijitalleştirilmesi, makinelerin olası sorunlara karşı izlenebildiği ve bakımın proaktif olarak planlanabildiği kestirimci bakımı da mümkün kılmakta, böylece arıza sürelerini azaltmakta ve genel üretkenliği artırmaktadır. Buna ek olarak, robotik ve makine öğrenimi algoritmaları gibi otomasyon teknolojilerinin entegrasyonu, dalgalanan talebe hızla uyum sağlayabilen esnek üretim hatlarının uygulanmasına izin vermekte ve böylece imalat endüstrisinin çevikliğini ve yanıt verebilirliğini artırmaktadır. Bunların yanında, otomasyon teknolojilerinin kullanımı, fiziksel olarak zorlu veya tehlikeli görevlerde el emeğine olan ihtiyacı azaltarak çalışan güvenliğini artırabilir. Bu sadece işyeri felaketleri riskini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda çalışanları daha karmaşık ve stratejik üretim görevlerine odaklanmaları için serbest bırakır (Matt, vd., 2015).

Büyük Veri Analitiğinin Karar Alma Sürecine Etkileri

Büyük veri analitiği, endüstri mühendisliğinin dijital dönüşümünün bir diğer önemli yönüdür. Sensör teknolojileri ve akıllı cihazlardaki gelişmelerin bir sonucu olarak şirketler, üretim ve iş süreçlerinden elde edilen büyük veri setlerini analiz edebilmektedir. Büyük veri analitiği, üretim sürecini anlama, verimlilik ve karar verme süreçlerini geliştirme potansiyeline sahiptir. İşletmeler, büyük veri analitiğini kullanarak üretim süreçlerine ilişkin değerli içgörüler elde edebilir ve iyileştirme fırsatlarını belirleyebilir. Bu veri odaklı strateji, üretim sonuçlarını etkileyen faktörlerin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağladığından daha bilinçli karar verme imkanı sunar. Buna ek olarak, büyük veri analitiği işletmelerin olası sorunları proaktif olarak çözmelerini ve daha fazla üretkenlik ve verimlilik için operasyonları optimize etmelerini sağlar. İşletmeler büyük miktarda veriyi analiz ederek, başka türlü fark edilemeyecek kalıpları ve eğilimleri belirleyebilir. Bu da pazar avantajı sağlayan yenilikçi çözümler ve stratejilerle sonuçlanabilir. Ayrıca, büyük veri analitiği işletmelerin veriye dayalı tahminler ve öngörüler yapmasını sağlayarak gelecekteki talebi öngörmelerine ve proaktif üretim süreci ayarlamaları yapmalarına olanak tanır (Pires, vd., 2019).

IoT (Nesnelerin İnterneti) ve akıllı sistem entegrasyonu

Nesnelerin İnterneti (IoT) ve akıllı cihazların dahil edilmesi de endüstri mühendisliğinin dijital dönüşümünün temel bileşenleridir. IoT, endüstriyel cihaz ve ekipmanları merkezi sistemlerle ve birbirleriyle entegre ederek veri toplama ve iletişim süreçlerini kolaylaştırıyor. Böylece üretim süreçlerindeki veri akışı hızlanıyor, işletmelerin karar alma süreçleri iyileşiyor ve hızlı hareket etme kabiliyeti kazanıyorlar. Ayrıca IoT ve akıllı cihazların entegrasyonu, gerçek zamanlı izleme ve kestirimci bakıma izin veriyor. Endüstri mühendisleri, makinelere yerleştirilmiş sensörlerden veri toplayarak olası sorunları önceden tespit edebilir, proaktif bakım sağlayabilir ve arıza süresini azaltabilir. Bu sadece genel üretkenliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda beklenmedik onarımlar ve ekipman arızalarıyla ilişkili maliyetleri de azaltır. Buna ek olarak, IoT ve akıllı cihazların endüstriyel bağlamlarda kullanılması uzaktan izleme ve kontrol sağlar. Gerçek zamanlı verilere erişim ve herhangi bir konumdan makinelerde veya süreçlerde değişiklik yapma becerisi, endüstri mühendislerinin uyarlanabilirliğini ve üretkenliğini artırır. Buna ek olarak, tahmine dayalı analitik algoritmalarının dahil edilmesi, toplanan verilerdeki kalıpları ve eğilimleri belirleyerek operasyonları daha da optimize edebilir ve böylece endüstriyel süreçlerin sürekli iyileştirilmesini ve optimizasyonunu kolaylaştırabilir (Bai, C., 2020).

Yapay Zeka ve Robotiğin Önemi

Otomasyon ve yapay zeka, endüstri mühendisliğinin dijital dönüşümü için çok önemlidir. Makine öğrenimi ve yapay zeka algoritmaları kullanılarak tekrar eden üretim görevleri otomatikleştirilebilir, hatalar tespit edilebilir ve üretkenlik artırılabilir. Tahmine dayalı analitik sayesinde üretim süreçleri daha iyi planlanabilir ve kaynaklar daha verimli bir şekilde kullanılabilir. Ayrıca robotik, endüstriyel süreçlerin iyileştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunur. Robotlar karmaşık görevleri hassas ve hızlı bir şekilde yerine getirebildikleri için verimliliği artırabilir ve insan hatalarını azaltabilir. Buna ek olarak, tehlikeli veya fiziksel olarak zorlayıcı görevleri yerine getirerek çalışanların güvenliğini sağlayabilirler. Endüstri mühendisliğinde yapay zeka ve robotik entegrasyonu, operasyonların kolaylaştırılması ve genel performansın artırılmasıyla sonuçlanır.

Dijital dönüşüm nedeniyle endüstri mühendisliği temel bir dönüşüm geçiriyor. Akıllı fabrikalar, büyük veri analitiği, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve yapay zeka gibi teknolojilerin bir araya gelmesinin bir sonucu olarak işletmeler daha verimli, esnek ve rekabetçi hale gelmektedir. Bu nedenle, endüstri mühendisleri dijital dönüşümü benimsemeli ve işletmelerin başarısı için bu teknolojileri etkin bir şekilde uygulamalıdır. Bununla birlikte, dijital dönüşümün zorlukları da göz ardı edilemez. Dijital dönüşüm sürecinin başarılı olabilmesi için veri güvenliği, etik ve yasal hususlar dikkate alınmalıdır. Endüstri mühendisleri dijital dönüşüm sürecinde veri güvenliğine yüksek öncelik vermelidir. Hassas verileri olası ihlallerden ve yetkisiz erişimden korumak için sıkı siber güvenlik önlemleri almalıdırlar. Ayrıca, yapay zeka gibi teknolojilerin kullanımı gizlilik, önyargı ve hesap verebilirlikle ilgili sorular doğurduğundan, etik ve yasal kaygıları ele almak çok önemlidir. İşletmeler için başarılı ve sorumlu bir dijital dönüşüm yolculuğu sağlamak için endüstri mühendisleri bu engelleri dikkatle aşmalıdır.

Endüstri 4.0 ve Endüstri Mühendisliği İlişkisi

Endüstri 4.0, günümüzde endüstriyel dönüşüme yönelik en önemli girişimlerden biridir. Bu dönüşüm, geleneksel endüstriyel süreçleri dijital teknolojiler ve akıllı sistemlerle birleştirerek üretim süreçlerinde devrim yaratmayı amaçlamaktadır. Endüstri mühendisliği, bu süreçleri optimize edip düzene sokarak ve böylece üretkenlik ve verimlilik sağlayarak bu dönüşümde hayati bir rol oynamaktadır. Endüstri mühendisleri, gelişim alanlarını belirlemekten, otomasyon ve robot teknolojilerini uygulamaktan ve veri analitiğini kullanarak bilinçli kararlar almaktan sorumludur. Endüstri mühendisleri, Endüstri 4.0'ı benimseyerek dijital çağda yenilikçiliği ve rekabetçiliği teşvik edebilirler. Endüstri 4.0'ın bu hızlandırılmış evriminin endüstri mühendisliği için önemli etkileri vardır. Endüstri 4.0 ve endüstri

mühendisliği arasındaki ilişkinin yanı sıra bu dönüşümün endüstri mühendisliği uygulamaları ve işyerleri üzerindeki etkilerini derinlemesine incelemektedir. Dördüncü sanayi devrimi olarak da bilinen Endüstri 4.0, siber-fiziksel sistemlerin, nesnelerin internetinin (IoT) ve bulut bilişimin üretim süreçlerine dahil edilmesiyle öne çıkmaktadır. Üretim sistemlerini optimize etmek, verimliliği artırmak ve maliyetleri düşürmek için ileri teknolojilerden yararlanan endüstri mühendisleri, bu devrimde çok önemli bir rol oynamaktadır. Buna ek olarak, Endüstri 4.0'ın uygulanması endüstri mühendislerinin büyük miktarlarda veri elde etmesini ve analiz etmesini sağlayarak veriye dayalı karar verme ve öngörücü bakım stratejileri ile sonuçlanmaktadır (Bai, 2020).

Endüstri 4.0'ın Temel Özellikleri

Endüstri 4.0, dördüncü sanayi devrimi olarak adlandırılmakta ve diğer endüstriyel dönüşümlerden ayrılmaktadır. Bu dönüşüm dijitalleşme, otomasyon, büyük veri analitiği, yapay zeka ve nesnelerin internetini üretim süreçlerine dahil ederek akıllı fabrikaların ve akıllı sistemlerin ortaya çıkmasını kolaylaştırmaktadır. Endüstri 4.0, üretim süreçlerinin uyarlanabilirliğini, etkinliğini, optimizasyonunu ve özelleştirilmesini geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu iyileştirmeler, fiziksel makine ve cihazların birbirleriyle ve insanlarla gerçek zamanlı olarak iletişim kurduğu siber-fiziksel sistemlerin entegrasyonu ile mümkün olmaktadır. Ayrıca Endüstri 4.0, işletmelerin gerçek zamanlı içgörülere ve tahmine dayalı analitiklere dayalı olarak daha bilinçli kararlar almasını sağladığından, veri odaklı karar vermenin önemini vurgulamaktadır.

Endüstri Mühendisliğinin Endüstri 4.0 ile İlişkisi

Endüstri mühendisliği, üretim süreçlerinin tasarımı, planlanması, kontrolü ve geliştirilmesine odaklanan multidisipliner bir mühendislik alanıdır. Endüstri 4.0, endüstri mühendisliği uygulamaları ve çalışmaları üzerinde önemli bir etkiye sahip olmuştur. İleri teknolojilerin ve otomasyonun Endüstri 4.0'a dahil edilmesiyle birlikte endüstri mühendisleri artık gerçek zamanlı veri ve analitik kullanarak üretim süreçlerini optimize edebilmektedir. Bu sayede kısıtlamaları belirleyebiliyor, operasyonları düzene sokabiliyor ve üretim sistemlerinin genel verimliliğini artırabiliyorlar. Buna ek olarak, endüstri mühendisliği siber-fiziksel sistemlerin uygulanmasında ve akıllı fabrikaların oluşturulmasında önemli bir rol oynamakta, üretkenliğin ve rekabet gücünün artırılması için makinelerin, süreçlerin ve insanların sorunsuz bir şekilde entegre edilmesini sağlamaktadır (Pires, vd., 2019).

Akıllı Fabrikaların Tasarımı ve Uygulanması

Endüstri 4.0'ın temel taşlarından biri olan akıllı fabrikalar, dijital teknolojileri üretim sürecine entegre ederek daha verimli ve uyarlanabilir üretim çözümleri sunuyor (Li, vd. 2023). Endüstri mühendisleri, dijital dönüşümün gerektirdiği teknolojik altyapıyı kurarak akıllı fabrikaların tasarımında ve uygulanmasında hayati bir rol oynamaktadır. Üretim iş akışlarını optimize etmekten, otomasyon sistemlerini uygulamaktan ve veri analitiği ile yapay zekanın sorunsuz bir şekilde entegre edilmesini sağlamaktan sorumludurlar. Giderek dijitalleşen üretim ortamında endüstri mühendisleri, uzmanlıklarından yararlanarak işletmelerin daha yüksek üretkenlik ve rekabet gücü seviyelerine ulaşmalarına yardımcı olabilirler.

Veri Odaklı Karar Verme

Endüstri 4.0, üretim süreçlerinden ve işletmelerden elde edilen büyük veri hacminde önemli bir artışa neden oldu. Endüstri mühendisleri bu verileri analiz ederek karar alma süreçlerini desteklemekte ve işletmelerin daha bilinçli ve kesin kararlar almasını sağlamaktadır. Verilerdeki hemen göze çarpmayan kalıpları ve eğilimleri belirleyerek işletmelerin operasyonlarını optimize etmelerini ve verimliliği artırmalarını sağlayabilirler. Ayrıca endüstri mühendisleri, işletmelere gelecekteki sonuçları tahmin etme ve veri analizine dayalı proaktif kararlar alma konusunda yardımcı olmak için algoritmalar ve modeller oluşturabilirler. Bu öngörücü modeller ve algoritmalar, işletmelerin potansiyel zorlukları ve fırsatları öngörmelerine yardımcı olarak riskleri azaltmak veya ortaya çıkan trendlerden yararlanmak için proaktif önlemler almalarını sağlayabilir. Endüstri mühendisleri, veri analizinden yararlanarak işletmelerin sürekli değişen pazar ortamında rekabetçi kalmalarına yardımcı olmada çok önemli bir rol oynar. Verileri analiz etme ve yorumlama konusundaki uzmanlıkları, kuruluşlara büyümeyi teşvik eden ve genel performansı artıran stratejik kararlar alma gücü verir.c. Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Sensör Teknolojileri: Endüstri 4.0, endüstriyel cihazların ve ekipmanların birbirleriyle ve merkezi sistemlerle bağlantılı olmasını sağlayarak nesnelerin interneti (IoT) kavramını geliştirmiştir. Endüstri mühendisleri, sensör teknolojileri ve IoT cihazlarının entegrasyonunu sağlayarak üretim süreçlerinin gerçek zamanlı olarak takip edilmesini ve yönetilmesini mümkün kılmaktadır.

Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Sensör Teknolojileri:

Endüstri 4.0, endüstriyel cihazları ve aparatları merkezi sistemlere ve birbirlerine bağlayarak Nesnelerin İnternetini (IoT) yaratmıştır. Sensör teknolojileri ve Nesnelerin İnterneti cihazlarının birleştirilmesi, üretim

süreçlerinin endüstri mühendisleri tarafından gerçek zamanlı olarak izlenmesini ve yönetilmesini sağlar. Bu sayede işletmeler, makine performansı, enerji tüketimi ve ürün kalitesi de dahil olmak üzere operasyonlarının çeşitli yönleri hakkında büyük miktarlarda bilgi toplayabilmektedir. Gelişmiş algoritmalar ve modeller yardımıyla işletmeler bu verileri analiz ederek kalıpları ve eğilimleri belirleyebilir, böylece bilinçli kararlar alabilir ve daha fazla verimlilik ve üretkenlik için süreçleri optimize edebilirler. Ayrıca, IoT ve sensör teknolojileri, makinelerin potansiyel arıza veya arıza belirtilerine karşı izlenebildiği kestirimci bakımı mümkün kılarak işletmelerin maliyetli arıza sürelerinden kaçınmak için önleyici tedbirler almasına olanak tanır.

Endüstri 4.0, otomasyon ve yapay zekanın önemli bir rol oynadığı bir dönüşümdür. Endüstri mühendisleri, üretim süreçlerini otomatikleştirmek, hata oranlarını azaltmak ve çıktıyı artırmak için makine öğrenimi ve yapay zeka algoritmalarından yararlanır. İşletmeler, IoT ve sensör teknolojilerini Endüstri 4.0'a dahil ederek kestirimci bakım kapasitelerini daha da geliştirebilirler. Bu teknolojiler, verilerin gerçek zamanlı olarak biriktirilmesini ve analiz edilmesini sağlayarak bakımın ne zaman gerekli olacağına dair daha doğru tahminler yapılmasına olanak tanır, böylece beklenmedik arıza riskini azaltır ve genel olarak operasyonel verimliliği optimize eder.

Endüstri 4.0'ın Getirdiği Fırsatlar ve Zorluklar

Endüstri 4.0 endüstri mühendisleri için sayısız fırsat sunuyor. Dijital dönüşüm, üretim süreçlerinin etkinliğini ve uyarlanabilirliğini artırır, bir şirketin rekabet avantajını güçlendirir ve tüketici taleplerine daha etkili bir şekilde yanıt vermesini sağlar. Bununla birlikte, Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanması endüstri mühendisleri için engeller de oluşturabilir. Bunlar arasında yeni ekipman ve altyapı için önemli yatırım ihtiyacı, mevcut çalışanların becerilerinin artırılması veya yeniden eğitilmesi gerekliliği ve artan bağlantı ve veri paylaşımı ile ilişkili potansiyel siber güvenlik riskleri sayılabilir. Bu zorluklara rağmen, Endüstri 4.0'ın benimsenmesi üretkenlik, maliyet tasarrufu ve genel iş performansında önemli gelişmelere yol açabilir. Ancak bu dönüşüm bazı engelleri de beraberinde getirmektedir. Dijital dönüşümün başarılı olabilmesi için veri güvenliği, etik ve yasal hususlar dikkate alınmalıdır. Dijital dönüşüm, endüstri mühendisliğini temelden değiştiren ve reforme eden dönüşümsel bir harekettir. Akıllı fabrikalar, büyük veri analitiği, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve yapay zeka gibi kavramlar, dijital teknolojilerin bir araya gelmesiyle mümkün hale gelerek endüstri mühendislerinin üretim süreçlerini optimize etmesini ve işletmelerin rekabet avantajını artırmasını sağlamaktadır. Dijital teknolojilerdeki bu ilerlemeler, verimliliği artırarak, maliyetleri düşürerek ve genel üretkenliği

geliştirerek endüstrilerde devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, kuruluşların veri güvenliğine öncelik vermesi ve dijital dönüşüm süreci boyunca etik ve yasal yönergelere uyulmasını sağlaması çok önemlidir. Bu sayede işletmeler, hassas bilgileri korurken ve müşteriler ile paydaşların güvenini sürdürürken bu teknolojilerin tüm potansiyelinden faydalanabilir. Ancak bu dönüşümün başarılı olabilmesi için veri güvenliği, etik ve yasal konuların ele alınması gerekir. Bu nedenle endüstri mühendisleri dijital dönüşümü etkin bir şekilde yönetmeli ve bu teknolojileri akıllıca kullanmalıdır.

Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Sensör Teknolojileri

Nesnelerin İnterneti (IoT), modern endüstrinin ve günlük yaşamın önemli bir bileşeni haline gelen bir teknoloji ve kavramdır. IoT, cihazların ve nesnelerin internet üzerinden birbirleriyle ve merkezi sistemlerle iletişim kurmasını ve veri alışverişinde bulunmasını sağlayan bir ağ mimarisini ifade eder. Bu teknoloji, büyük miktarda verinin toplanmasına ve analiz edilmesine olanak tanıyarak optimizasyon için değerli içgörüler ve fırsatlar sağlar. Endüstri mühendisleri, verimliliği, üretkenliği ve karar alma süreçlerini iyileştirmek için sensör ve IoT teknolojilerini süreçlerine nasıl entegre edeceklerini anlamalıdır. Ayrıca, bu teknolojilerin başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlamak için veri güvenliği ve gizliliği ile ilgili zorlukları da ele almalıdırlar. Sensör teknolojileri, fiziksel ortamdan veri toplayarak ve bunları merkezi sistemlere ileterek IoT'nin işleyişinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu sensörler basit sıcaklık sensörlerinden hareket dedektörleri veya nem sensörleri gibi daha karmaşık olanlara kadar çeşitlilik gösterebilir ve akıllı evler, sağlık sistemleri ve endüstriyel otomasyon gibi çeşitli uygulamalar için gerçek zamanlı izleme ve analiz sağlar. Bu sensörler tarafından toplanan veriler genellikle hassastır ve yetkisiz erişime veya kötüye kullanıma karşı korunmaları gerekir. Bu endişeyi gidermek için, iletim ve depolama sırasında verileri korumak amacıyla şifreleme teknikleri ve güvenli iletişim protokolleri kullanılmaktadır. Ayrıca, IoT teknolojisinin avantajlarından yararlanırken bireylerin kişisel bilgilerinin tehlikeye atılmamasını sağlamak için veri anonimleştirme veya kullanıcı onayı mekanizmaları gibi gizlilik önlemleri uygulanmaktadır. IoT ve sensör teknolojileri arasındaki etkileşimi anlamak, verimliliği optimize etmek, karar alma süreçlerini iyileştirmek ve farklı sektörlerde genel üretkenliği artırmak için hayati önem taşımaktadır. Kuruluşlar, IoT ve sensör teknolojilerinden yararlanarak ortamlarından değerli veriler toplayabilir ve bunları bilinçli kararlar almak için kullanabilir. Bu veri odaklı yaklaşım, proaktif bakım, tahmine dayalı analitik ve operasyonları etkileyebilecek kalıpları veya anormallikleri belirleme yeteneği sağlar. Sonuç olarak, IoT ve sensör teknolojilerinin entegrasyonu daha

akıllı, daha verimli sistemler ve süreçler sağlayarak sektörlerde devrim yaratma potansiyeline sahiptir.

IoT ve Sensör Teknolojilerinin Endüstri Mühendisliği Alanındaki Uygulamaları

Akıllı Fabrikalar ve Endüstriyel Otomasyon:

Nesnelerin İnterneti ve sensör teknolojileri, endüstri mühendisliğinde akıllı fabrikaların ve endüstriyel otomasyon sistemlerinin temelini oluşturmaktadır (Li vd., 2023). Fabrikalarda sensörler, üretim süreçlerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesini ve veri toplanmasını sağlayarak üretkenliği artırmak, işgücü verimliliğini geliştirmek ve hataları azaltmak için kullanılır. Bu veriler daha sonra iyileştirme alanlarını belirlemek ve genel üretim sürecini optimize etmek için analiz edilebilir. Ayrıca, Nesnelerin İnterneti makinelerin uzaktan izlenmesine ve kontrol edilmesine olanak tanıyarak daha hızlı tepki süreleri sağlar ve arıza sürelerini en aza indirir. Bu teknolojiler, sensörlerin potansiyel ekipman arızalarını ortaya çıkmadan önce tespit edebildiği, zamanında onarımlara izin veren ve büyük arızaları veya arızaları önleyen kestirimci bakıma izin verir. Ayrıca, yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmalarının IoT cihazlarıyla entegrasyonu, rutin görevlerin ve karar verme süreçlerinin otomasyonunu sağlar. Bu sadece verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda insan hatasını azaltır ve genel üretkenliği artırır. Gerçek zamanlı veri içgörüleriyle üreticiler kaynak tahsisini optimize etmek, israfı azaltmak ve ürün kalitesini iyileştirmek için veriye dayalı kararlar alabilirler. Sonuç olarak, IoT teknolojisindeki bu gelişmeler daha akıllı ve daha verimli üretim süreçleri sağlayarak imalat sektöründe devrim yaratmaktadır. Sensörler tarafından toplanan veriler, üretim süreçlerindeki iyileştirme alanlarını belirlemek için analiz edilebilir, bu da verimliliğin artmasına ve maliyet tasarrufuna yol açar.

Bakım ve Onarım

Sensörler, endüstriyel makinelerin durumunu izlemek ve bakımın ne zaman gerekli olduğunu tespit etmek için kullanılır. IoT ile toplanan veriler, makine performansının değerlendirilmesine ve bakımın planlanmasına yardımcı olur. Bu, rutin bakımın yanı sıra yakın makine arızalarının tespit edilmesine olanak tanır. İşletmeler, bakım ihtiyaçlarını proaktif bir şekilde belirleyerek ve bunları önemli sorunlara dönüşmeden önce ele alarak arıza süresini en aza indirebilir ve maliyetli onarımlardan kaçınabilir. Sensörler tarafından toplanan veriler, bakım programlarını optimize etmek için kullanılabilir ve makinelerin üretim kesintilerini en aza indirmek için en uygun zamanlarda bakıma alınmasını sağlar. Bakıma yönelik bu veri odaklı yaklaşım, şirketlere beklenmedik arızaları

öngörme ve önleme konusunda da yardımcı olarak üretkenlik ve verimliliğin artmasını sağlayabilir. İşletmeler sensör verilerini analiz ederek makine performansına ilişkin değerli bilgiler elde edebilir. Bu bilgiler, işletmelerin makine davranışındaki kalıpları ve eğilimleri belirlemelerine yardımcı olarak ekipman yükseltmeleri veya değiştirmeleri hakkında bilinçli kararlar almalarını sağlayabilir. Ayrıca, sensör verilerinin analizi, işletmelerin süreç iyileştirme için potansiyel alanları belirlemelerini sağlayarak maliyet tasarrufu ve genel performansın artmasına yol açabilir.

Tedarik Zinciri Yönetimi:

Nesnelerin İnterneti ve sensör teknolojileri de tedarik zinciri yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu teknolojiler, işletmelerin tedarik zinciri boyunca ürünlerin hareketini takip etmesini ve izlemesini sağlayarak gerçek zamanlı olarak görünürlük ve şeffaflık sağlar. Bu da şirketlerin envanter yönetimlerini optimize etmelerini, stoksuzlukları azaltmalarını ve teslimat doğruluğunu iyileştirmelerini sağlayarak müşteri memnuniyetini artırır ve maliyet tasarrufu sağlar. Sensörler lojistik ve depolama süreçlerinde ürünlerin konumunu takip etmek, envanteri yönetmek ve ürünlerin nakliye koşullarını izlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. İşletmeler, sensörleri lojistik ve depolama operasyonlarına entegre ederek ürünlerinin doğru sıcaklık veya nem gibi optimum koşullarda depolanmasını ve taşınmasını sağlayabilir. Bu, ürünlerin bozulmasını veya bozulmasını önlemeye yardımcı olarak kalitelerini garanti altına alır ve müşteri memnuniyetsizliği veya mali kayıp olasılığını azaltır. Ayrıca, sensör verileri analiz edilerek tedarik zincirindeki darboğazlar veya verimsizlikler tespit edilebilir ve işletmelerin süreç optimizasyonu ve maliyet azaltma için veriye dayalı kararlar almasına olanak tanır. Böylece ürünler daha verimli bir şekilde taşınır ve tedarik zinciri yönetimi iyileştirilir. Ayrıca sensör verileri, malların konumunu ve hareketini gerçek zamanlı olarak izlemek için kullanılabilir ve işletmelere sevkiyatlarının durumu ve ilerleyişi hakkında değerli bilgiler sağlar. Bu da koordinasyon ve planlamayı iyileştirir, gecikmeleri azaltır ve genel olarak müşteri memnuniyetini artırır. Buna ek olarak, şirketler nakliye sırasında çevresel koşulları izleyerek ürünlerin en uygun koşullarda teslim edilmesini sağlayabilir ve böylece yaralanma veya bozulma olasılığını azaltabilir.

Akıllı Şehirler ve Ulaşım Sistemleri:

IoT ve sensör teknolojileri, akıllı şehirlerde trafik yönetimi, park yönetimi, enerji tüketimi izleme ve hava kalitesi ölçümü gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalar şehirlerdeki yaşam kalitesini yükseltmekte ve kaynak kullanımının verimliliğini artırmaktadır (Batty, 2012). Trafik

yönetiminde IoT ve sensör teknolojileri, trafik akışının ve sıkışıklığının gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlayarak trafik sinyali zamanlamasında ve yönlendirmesinde dinamik ayarlamalar yapılmasına olanak tanır. Bu, seyahat süresini azaltır ve genel ulaşım verimliliğini artırır. Ayrıca, park yönetimindeki IoT ve sensör teknolojileri, park yerlerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesini ve kullanılabilirliğini sağlayarak park yeri aramak için harcanan zamanı azaltır ve trafik sıkışıklığını en aza indirir. Ayrıca, IoT cihazları aracılığıyla enerji tüketiminin izlenmesi, şehirlerin yüksek enerji kullanım alanlarını belirlemelerine ve enerji verimliliğini optimize etmek için stratejiler uygulamalarına yardımcı olarak maliyet tasarrufu ve çevresel etkinin azaltılmasını sağlar. IoT ve sensör teknolojilerinin park yönetimine entegrasyonu, mevcut park yerleri hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlayan, park yeri aramak için harcanan zamanı azaltan ve trafik sıkışıklığını daha da hafifleten akıllı park sistemlerinin uygulanmasını sağlar. Ulaşım yönetiminde IoT ve sensör teknolojilerinin kullanılması, bakım sorunlarının anında tespit edilmesine ve ele alınmasına da yardımcı olabilir. Yetkililer yolların, köprülerin ve diğer altyapıların durumunu sürekli olarak izleyerek, olası sorunları büyük aksaklıklara veya kazalara yol açmadan önce proaktif olarak belirleyebilir ve düzeltebilir. Bu sadece güvenliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda trafik akışı üzerindeki etkiyi en aza indirir ve herkes için daha sorunsuz bir ulaşım deneyimi sağlar (Batty, 2013).

Büyük Veri ve Veri Analitiği Uygulamaları

Büyük veri ve veri analitiği günümüz iş ve sanayi dünyasının en önemli konularından ikisi haline gelmiştir (Bilal vd., 2016). Çok büyük miktarlarda veriyi toplama ve analiz etme becerisi, endüstrilerde devrim yaratma ve iyi bilgilendirilmiş karar vermeyi kolaylaştırma potansiyeline sahiptir. Endüstri mühendisleri, büyük veri ve veri analitiği uygulamalarını kullanarak operasyonları hakkında değerli bilgiler edinebilir, kalıpları tanıyabilir, süreçleri optimize edebilir ve genel verimliliği artırabilir. Bu da maliyetlerin düşmesi, üretkenliğin artması ve müşteri memnuniyetinin yükselmesiyle sonuçlanabilir. Ancak endüstri mühendisleri, potansiyel faydalarını en üst düzeye çıkarmak için bu verileri etkin bir şekilde yönetmek ve analiz etmek için gerekli beceri ve araçlara sahip olmalıdır. Hızla genişleyen veri hacmi ve çeşitliliği, iş karar alma süreçlerini etkileyen önemli faktörler haline gelmiştir. Sonuç olarak, endüstri mühendisleri veri analitiği konusunda bilgili olmalı ve büyük miktarda veriyi yönetebilecek sofistike araç ve teknolojilere erişebilmelidir. Bu kaynaklardan yararlanarak, verilerden değerli içgörüler elde edebilir ve bilinçli kararlar vererek kuruluşlarında sürekli iyileştirme sağlayabilirler. Günümüzün veri odaklı iş

ortamında, endüstri mühendisleri de rekabet güçlerini korumak için veri yönetimi ve analizi alanındaki yeni gelişmeleri takip etmelidir. Büyük veri, veri türlerinin yüksek hacmi, hızı ve çeşitliliği anlamına gelirken, veri analitiği ise bu verileri anlama, araştırma ve faydalı bilgilere dönüştürme sürecidir. Endüstri mühendisleri, kurumsal başarıyı artırmak için büyük veri ve veri analitiğinin gücünden yararlanmada hayati bir rol oynamaktadır. Gelişmiş istatistiksel teknikler ve makine öğrenimi algoritmaları kullanarak, verilerdeki gizli kalıpları ve eğilimleri ortaya çıkarabilir, iyileştirme alanlarını belirlemelerine ve optimize etmelerine olanak tanır. Bu, endüstri mühendislerinin verilere dayalı kararlar almasını sağlayarak verimliliğin artmasına, maliyetlerin düşmesine ve genel performansın artmasına neden olur. Ayrıca endüstri mühendisleri, veri odaklı çözümlerin etkinliğini uygulamak ve izlemek için çapraz fonksiyonel ekiplerle işbirliği yapar. İhtiyaçlarını ve hedeflerini anlamak için paydaşlarla yakın işbirliği yapar ve ardından bu hedeflerle tutarlı stratejiler tasarlamak ve uygulamak için veri analizini kullanırlar. Endüstri mühendisleri, verileri sürekli olarak analiz edip değerlendirerek, uygulanan çözümlerin sürdürülebilir olmasını ve kuruluşun uzun vadeli başarısına katkıda bulunmasını sağlayabilir (Li vd., 2023).

Büyük Veri ve Veri Analitiği'nin Temel Özellikleri

Büyük Veri:

Büyük veri, endüstri mühendisliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Endüstri mühendisleri, çeşitli kaynaklardan gelen büyük miktarda veriyi yakalama ve analiz etme becerisiyle operasyonel süreçler hakkında değerli bilgiler edinebilir, iyileştirme fırsatlarını belirleyebilir ve veriye dayalı kararlar alabilir. Ayrıca veri analitiği, kuruluşların gelecekteki eğilimleri tahmin etmesini ve kaynak tahsisini optimize etmesini sağlayarak verimlilik artışı ve maliyet tasarrufu sağlar. Endüstri mühendisleri, büyük miktarlarda veri toplayıp analiz ederek operasyonları hakkında geleneksel yöntemlerle mümkün olmayacak içgörüler elde edebilirler. Veri analitiği, endüstri mühendislerinin elde edilen verilerdeki kalıpları ve eğilimleri belirlemelerini sağlayarak bilinçli kararlar almalarına ve daha fazla üretkenlik ve verimlilik için süreçleri optimize etmelerine olanak tanır. Buna ek olarak, büyük veri ve veri analitiği tahmine dayalı modellemeyi mümkün kılarak endüstri mühendislerinin gelecekteki zorlukları öngörmelerini ve proaktif çözümler geliştirmelerini sağlar. Bu bilgiler üretkenliği, verimliliği ve kaliteyi artırmak için kullanılabilir. Endüstri mühendisleri büyük miktarda veriyi analiz ederek üretim sürecindeki darboğazları ve verimsizlikleri tespit edebilir ve böylece hedeflenen iyileştirmeleri uygulayabilirler. Ayrıca, veri analitiği işyerindeki potansiyel risk ve tehlikelerin belirlenmesine yardımcı olarak endüstri mühendislerinin önleyici

tedbirler geliştirmesini ve çalışanlar için güvenli bir çalışma ortamı yaratmasını sağlayabilir.

Veri Analitiği:

Veri analitiği, büyük veri setlerinde bulunan bilgilerin yorumlanması ve analiz edilmesi sürecidir. Veri analitiğine istatistiksel ve matematiksel teknikler, makine öğrenimi ve yapay zeka algoritmaları uygulanır. Kuruluşlar büyük verileri analiz ederek değerli içgörüler elde edebilir ve veriye dayalı kararlar alabilir. Veri analitiği, verilerdeki kalıpları, eğilimleri ve korelasyonları tanımlayarak işletmelerin operasyonları optimize etmesine, müşteri deneyimlerini geliştirmesine ve inovasyonu teşvik etmesine olanak tanır. Veri analitiği, büyük miktarlardaki verilerdeki kalıpları, eğilimleri ve ilişkileri tanımlar, bunları eyleme geçirilebilir bilgilere dönüştürür ve karar verme süreçlerine rehberlik eder. Bu içgörüler hedefe yönelik pazarlama stratejileri oluşturmak, ürün geliştirmeyi iyileştirmek ve iş operasyonlarını hızlandırmak için kullanılabilir. Buna ek olarak, veri analitiği kuruluşlara riskleri ve fırsatları belirleme konusunda yardımcı olarak zorlukları proaktif bir şekilde çözmelerini ve pazar trendlerinden yararlanmalarını sağlayabilir. İşletmeler, veri analitiğinin gücünü kullanarak günümüzün hızla değişen iş ortamında rekabetçi kalabilirler.

Büyük Veri ve Veri Analitiği'nin Endüstri Mühendisliği Alanındaki Uygulamaları

Üretim Süreçlerinin Optimizasyonu:

Üretim süreçlerinin optimizasyonu, büyük veri ve veri analitiğinin endüstri mühendisliği uygulamalarından biridir. Kuruluşlar büyük hacimli verileri analiz ederek üretim operasyonlarındaki kısıtlamaları, verimsizlikleri ve iyileştirme fırsatlarını belirleyebilirler. Bu, verilere dayalı kararlar almalarını ve üretkenlik artışı, masrafların azalması ve genel verimliliğin artmasıyla sonuçlanan değişiklikleri uygulamalarını sağlar. Ayrıca, veri analitiği ekipman arızalarının veya bakım gereksinimlerinin öngörülmesine yardımcı olarak proaktif bakım planlamasına olanak tanır ve arıza süresini en aza indirir. Büyük veri ve veri analitiği sayesinde endüstri mühendisleri üretim süreçlerini optimize etme ve verimliliği artırma fırsatına sahip olurlar. Büyük veri analitiği, üretim verilerinin izlenmesini ve gerçek zamanlı analiz edilmesini sağlar. Böylece üretkenliği artırmak, israfı ve hataları azaltmak ve üretim süreçlerini daha esnek hale getirmek mümkündür.

Tedarik Zinciri Yönetimi:

Büyük veri ve veri analitiği, envanter seviyeleri, talep modelleri ve tedarikçi performansı hakkında gerçek zamanlı görünürlük sağlayarak tedarik zinciri yönetiminde devrim yaratabilir. Bu sayede daha iyi tahmin, envanter yönetimi ve lojistik planlama yapılabilir. Ayrıca, büyük veri analitiği tedarik zinciri kısıtlamalarını ve verimsizlikleri belirleyerek işletmelerin operasyonları optimize etmek ve maliyetleri azaltmak için veriye dayalı kararlar almasını sağlayabilir.

Büyük veri analitiği bu alanda önemli bir rol oynamakta ve lojistik, envanter yönetimi, talep tahmini ve tedarikçi performans değerlendirmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır. İşletmeler, büyük miktarda veriyi analiz ederek tüketici davranışları ve tercihleri hakkında değerli bilgiler edinebilir, böylece envanter yönetimi ve talep tahmini stratejilerini buna göre ayarlayabilirler. Buna ek olarak, büyük veri analitiği tedarik zincirindeki potansiyel risklerin ve aksaklıkların belirlenmesine yardımcı olarak işletmelerin bunları proaktif bir şekilde çözmelerine ve operasyonlar üzerindeki etkilerini en aza indirmelerine olanak tanır. Bu, envanter yönetiminin optimizasyonuna, talep tahminlerinin doğrulanmasına ve tedarikçi performansının izlenmesine olanak tanır. Ayrıca, büyük veri analitiği müşteri eğilimleri ve pazar koşulları hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlayarak işletmelerin bilinçli kararlar almasına ve rekabet avantajını korumasına olanak tanır. İşletmeler büyük miktarda veriyi analiz ederek, geleneksel teknikler kullanılarak fark edilemeyebilecek gizli kalıpları ve korelasyonları keşfedebilir. Bu da daha hassas talep tahminleri, daha düşük envanter maliyetleri ve daha yüksek müşteri memnuniyeti ile sonuçlanabilir. Envanter yönetimi ve talep tahmini için büyük veri analitiğinden yararlanmak, işletmeler için önemli operasyonel verimlilikler ve daha yüksek karlar sağlayabilir.

Bakım ve Arıza Önleme:

Büyük veri analitiği, çeşitli sektörlerde bakımı iyileştirmek ve arızaları önlemek için de kullanılabilir. İşletmeler, sensörlerden ve ekipmanlardan gelen verileri analiz ederek potansiyel arızaları veya bakım ihtiyaçlarını gösteren kalıpları belirleyebilir. Bu proaktif yaklaşım, işletmelerin bakım faaliyetlerini planlamasına ve hatalı ekipmanı maliyetli arızalara neden olmadan önce değiştirmesine olanak tanır. Arıza süresini en aza indirerek ve ekipman güvenilirliğini en üst düzeye çıkararak şirketler onarım masraflarından tasarruf edebilir ve sorunsuz operasyonlar sağlayabilir. Ayrıca, bakım için büyük veri analitiğinin kullanılması, işletmelerin ürünlerini veya hizmetlerini kesintisiz olarak sunabilmeleri sayesinde üretkenliğin ve müşteri memnuniyetinin artmasını sağlayabilir.

Müşteri Hizmetleri ve Pazarlama:

Büyük veri analitiği, bakım için fayda sağlamanın yanı sıra müşteri hizmetleri ve pazarlama girişimlerini de geliştirebilir. İşletmeler, müşteri verilerini analiz ederek müşterilerin tercihlerini, davranış kalıplarını ve ihtiyaçlarını daha iyi anlayabilir. Bu bilgiler pazarlama kampanyalarını kişiselleştirmek ve hedefe yönelik teklifler sunmak için kullanılabilir ve sonuçta müşteri sadakatini ve memnuniyetini artırabilir. Ayrıca, büyük veri analitiği, müşteri hizmetleri sürecindeki potansiyel sorunların veya darboğazların belirlenmesine yardımcı olarak işletmelerin bunları proaktif bir şekilde çözmesine ve müşterilere zamanında destek sağlamasına olanak tanıyabilir. Büyük veri ve veri analitiği, müşteri davranışlarını ve tercihlerini anlamak isteyen endüstri mühendisleri için çok önemli bilgi kaynaklarıdır. Tüketici verileri analiz edilerek pazarlama stratejileri geliştirilebilir, müşteri deneyimi iyileştirilebilir ve müşteri memnuniyeti artırılabilir. Buna ek olarak, büyük veri analitiği, işletmelerin pazar eğilimleri ve rakip analizleri hakkında bilgi edinmelerine yardımcı olarak bilinçli kararlar almalarını ve rekabet avantajını korumalarını sağlayabilir. Buna ek olarak, işletmeler veri analitiğini kullanarak tekliflerini ve pazarlama kampanyalarını belirli tüketici segmentlerine göre uyarlayabilir, bu da dönüşüm oranlarının ve gelirin artmasını sağlayabilir.

Bulut Bilişim ve Endüstriyel İnternet Uygulamaları

Günümüzde bulut bilişim ve endüstriyel internet, teknoloji endüstrisinde önemli değişim ve dönüşüm hareketleri olarak kabul edilmektedir. Bulut bilişim, işletmelerin veri ve uygulamaları uzaktan depolamasına ve bunlara erişmesine olanak tanıyarak pahalı donanım ve altyapı ihtiyacını azaltmaktadır. Bu da işletmelerin operasyonlarını daha etkin ve verimli bir şekilde ölçeklendirebilmelerini sağlıyor. Buna ek olarak, ekipman ve cihazları sensörler ve yazılımlar aracılığıyla birbirine bağlayan endüstriyel internet, şirketlerin performans ve verimlilik hakkında gerçek zamanlı veri toplamasına olanak tanıyarak üretkenliğin artmasını ve maliyetlerin düşmesini sağlıyor. Bu teknolojiler, işletmelerin ve sektörlerin dijital dönüşümünü hızlandırarak onları daha verimli, esnek ve rekabetçi hale getiriyor. Dahası, yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmalarının bu teknolojilere dahil edilmesi, işletmelerin süreçleri otomatikleştirmesine, verilere dayalı kararlar almasına ve insan operatörlerin gözden kaçırabileceği kalıpları veya anormallikleri belirlemesine olanak tanır. Bu, operasyonları kolaylaştırmanın yanı sıra çıktıların genel hassasiyetini ve kalitesini de artırır. Nihayetinde donanım, altyapı ve bağlantı alanındaki bu gelişmeler, işletmelerin giderek dijitalleşen bir ortamda gelişebileceği daha akıllı ve birbirine bağlı bir geleceğin yolunu açıyor. Üretim, optimizasyon, karar verme,

kalite kontrol mekanizmaları gibi çok sayıda üretim süreci de bulut bilişimden faydalanabilir. İşletmeler, bulut bilişim tekniklerini üretim süreçlerine dahil ederek verimliliklerini ve çıktılarını artırabilirler. Örneğin, bağlı cihazlardan gelen gerçek zamanlı veriler analiz edilerek üretim optimize edilebilir, proaktif bakım kolaylaştırılabilir ve kesintiler en aza indirilebilir. Buna ek olarak, bulut tabanlı karar verme sistemleri kesin ve zamanında içgörüler sağlayarak üreticilerin genel olarak kalite kontrol mekanizmalarını geliştiren iyi bilgilendirilmiş kararlar almalarını sağlayabilir (Low vd., 2011).

Bulut Bilişim ve Endüstriyel İnternetin Temel Özellikleri

Özellikle bulut bilişim ve endüstriyel IOT'nin temel özellikleri arasında hesaplama kaynaklarının talep üzerine kullanılabilirliği, değişen görevleri yönetmek için ölçeklenebilirlik ve veri ve uygulamalara her yerden erişilebilirlik sayılabilir. Endüstriyel internet bağlamında, bu özellikler üreticilerin operasyonlarını sorunsuz bir şekilde birleştirmelerini ve daha iyi kararlar almak için gelişmiş analitiklerden yararlanmalarını sağlar. Ayrıca bulut bilişim, hassas üretim verilerinin potansiyel siber saldırılara karşı korunmasını sağlayan gelişmiş güvenlik önlemleri sunar (Novais vd., 2019).

Bulut Bilişim:

Bulut bilişim, uzak İnternet sunucularının veri depolama, hesaplama ve veri işleme hizmetleri sağladığı bir hesaplama modelidir. Fiziksel altyapıya ihtiyaç duymadan, üreticilerin verilerine ve uygulamalarına her yerden, her zaman erişebilmelerini sağlar. Buna ek olarak, bulut bilişim, üreticilerin bilgi işlem kaynaklarını gereksinimlerine göre kolayca değiştirebilmelerini sağlayan ölçeklenebilirlik sunar, bu da maliyet tasarrufu ve gelişmiş verimlilikle sonuçlanır Kullanıcılar, bir İnternet bağlantısı aracılığıyla gereksinimlerine uygun kaynaklara erişebilir ve uzak sunuculardaişlem yapabilir. Veriler yüksek güvenlikli veri merkezlerinde depolandığı ve korunduğu için bulut bilişim üreticilere gelişmiş güvenlik önlemleri de sağlar. Buna ek olarak, bulut bilişimin uyarlanabilirliği, üreticilerin çeşitli konumlardaki ortaklar ve paydaşlarla işbirliği yapmasına olanak tanıyarak inovasyonu besler ve operasyonları kolaylaştırır. Bu, işletmelerin fiziksel altyapıya yatırım yapma ihtiyacını ortadan kaldırır ve onlara daha esnek ve ölçeklenebilir bir yapı sağlar. Buna ek olarak, bulut bilişim üreticilerin operasyonlarını talebe göre zahmetsizce büyütüp küçültmelerine olanak tanıyarak maliyet tasarrufu ve verimlilik artışı sağlar. Bu uyarlanabilirlik aynı zamanda üreticilerin pazar değişimlerine ve tüketici taleplerine hızla yanıt vermelerini sağlayarak onlara sektörel bir avantaj kazandırır. Buna ek olarak,

bulut bilişim üreticilere gerçek zamanlı veri ve analitiklere erişim sağlayarak gelişmiş karar alma ve süreç optimizasyonuna olanak tanır.

Endüstriyel İnternet:

Endüstriyel internet, endüstriyel makinelerin, cihazların ve aparatların birbirlerine ve merkezi sistemlere internet tabanlı olarak bağlanmasıdır. Bu bağlantı, büyük miktarlarda verinin toplanmasına ve analiz edilmesine olanak tanıyarak verimliliğin, üretkenliğin ve kestirimci bakımın artmasını sağlar. Ayrıca endüstriyel internet, cihazların uzaktan izlenmesini ve kontrol edilmesini sağlayarak manuel müdahale ihtiyacını azaltır ve genel operasyonel verimliliği artırır. Bu bağlantı, üretim süreçlerini daha akıllı ve verimli hale getiren veri toplama, izleme ve analiz gibi süreçleri mümkün kılar. Buna ek olarak, endüstriyel internet analiz edilen verilere dayanarak gerçek zamanlı karar vermeyi mümkün kılarak proaktif bakım sağlar ve kesintileri en aza indirir. Ayrıca, çeşitli cihazları ve sistemleri birbirine bağlama kapasitesi sayesinde üretim sürecinin çeşitli aşamalarında sorunsuz entegrasyonu kolaylaştırır, kaynak tahsisini optimize eder ve operasyonları hızlandırır Nesnelerin İnterneti (IoT), endüstriyel internet ile yakından ilgilidir. Nesnelerin İnterneti (IoT), veri toplamalarına ve veri alışverişinde bulunmalarına olanak tanıyan sensörler, yazılım ve bağlantı özelliklerine sahip fiziksel cihazlar, araçlar ve diğer nesnelerden oluşan ağı ifade eder. Bu bilgiler daha sonra analiz edilebilir ve üretim de dahil olmak üzere çeşitli sektörlerde bilinçli kararlar almak ve etkinliği artırmak için kullanılabilir. IoT'nin gücünü kullanan endüstriyel internet, cihazların gerçek zamanlı olarak izlenmesini ve kontrol edilmesini sağlayarak öngörücü bakım ve proaktif sorun çözümüne olanak tanır. Bu da sonuçta endüstriyel üretkenliğin artmasını, maliyet tasarrufunu ve genel performansın yükselmesini sağlar. Bu IoT altyapısı, üretkenliği artırmak ve inovasyonu teşvik etmek amacıyla üretim ve tedarik zinciri yönetimi gibi endüstriyel uygulamalar için endüstriyel internet tarafından kullanılmaktadır.

Bulut Bilişim ve Endüstriyel İnternetin Endüstri Mühendisliği Alanındaki Uygulamaları

Bulut bilişim uygulamaları arasında endüstriyel süreçlerin optimizasyonu, gelişmiş tedarik zinciri yönetimi ve gelişmiş kalite kontrolü yer almaktadır. Bulut bilişim ve endüstriyel internet, endüstri mühendisliği uygulamalarının yürütülme biçiminde devrim yaratmıştır. Şirketler, bulut tabanlı teknolojilerin gücünden yararlanarak operasyonlarını kolaylaştırabilir, maliyetleri düşürebilir ve verimliliği artırabilir. Örneğin, gerçek zamanlı veri analizi ve tahmine dayalı analitik sayesinde üreticiler üretim süreçlerindeki darboğazları tespit edebilir ve

üretkenliği optimize etmek için proaktif kararlar alabilir. Ayrıca, bulut tabanlı platformları tedarik zinciri yönetim sistemleriyle entegre ederek, şirketler tüm ağlarında koordinasyonu ve görünürlüğü artırabilir, böylece daha sorunsuz operasyonlar ve daha iyi müşteri memnuniyeti sağlayabilirler. Bu entegrasyon, farklı departmanlar ve paydaşlar arasında daha iyi iletişim ve işbirliğine olanak tanıyarak herkesin aynı sayfada olmasını ve aynı hedefler doğrultusunda çalışmasını sağlar. Şirketler teknolojiden bu şekilde yararlanarak müşteri tercihleri ve pazar eğilimleri hakkında da değerli bilgiler edinebilir, böylece daha bilinçli kararlar alabilir ve rakiplerinin önüne geçebilirler. Bulut bilişim, gerçek zamanlı veri analizini ve çok sayıda taraf arasında işbirliğini kolaylaştırarak daha hızlı karar almayı ve daha verimli kaynak tahsisini mümkün kılmaktadır. Ayrıca endüstriyel internet, fiziksel ve dijital sistemlerin birbirine bağlanmasını sağlayarak otomasyonu artırır ve endüstri mühendisliği operasyonlarını basitleştirir.

Veri Depolama ve Yönetimi

Bulut bilişim, endüstri mühendislerinin büyük miktarlarda veriyi depolama ve yönetme ihtiyacını karşılamaktadır. Üretim süreçlerinden elde edilen veriler bulut tabanlı sunucularda depolanır ve gerçek zamanlı veri izleme ve analizi için merkezi sistemlerle entegre edilir. Bu, endüstri mühendislerinin verilere dayalı kararlar almasını ve geliştirme fırsatlarını gerçek zamanlı olarak belirlemesini sağlar. Ayrıca bulut tabanlı depolama, ölçeklenebilir ve esnek bir veri depolama çözümü sunarak fiziksel sunuculara olan ihtiyacı ortadan kaldırır ve bakım maliyetlerini azaltır. Linux işletim sistemine dayalı dağıtımlar, veri depolama ve yönetimi için en popüler olanlardır. Kapsamlı güvenlik özellikleri ve özelleştirme ve optimizasyona izin veren açık kaynaklı yapıları nedeniyle veri depolama ve yönetimi için tercih edilmektedirler. Buna ek olarak, Linux dağıtımları verimli veri yönetimi için özel olarak tasarlanmış çok sayıda araç ve uygulama sunarak büyük hacimli verileri etkin bir şekilde yönetmesi gereken endüstri mühendisleri için güvenilir bir seçenek haline getirmektedir. Depolama sistemi arızaları sırasında veri kaybını en aza indirmek için veri depolama için uygun bir RAID sistemi seçilmelidir. Uygun bir RAID sistemi, verilerin kullanılabilirliğini ve bütünlüğünü sağlamak için yedeklilik ve hata toleransı da sağlamalıdır. Veri kaybı riskini daha da azaltmak ve beklenmedik olaylar veya sistem arızaları durumunda hızlı bir kurtarma sağlamak için rutin yedekleme stratejilerinin uygulanması çok önemlidir.

Uzaktan Erişim ve Hizmetler:

Bulut bilişim, endüstri mühendislerinin fiziksel olarak orada bulunmalarına gerek kalmadan üretim tesislerine uzaktan erişebilmelerini ve yönetebilmelerini

sağlar. Bu da operasyonların gerçek zamanlı olarak izlenmesini ve kontrol edilmesini sağlayarak verimliliği artırır ve kesintileri azaltır. Ayrıca bulut tabanlı hizmetler, farklı ekipler veya departmanlar arasında sorunsuz işbirliği ve veri paylaşımı sağlayarak gelişmiş karar alma süreçlerini ve kolaylaştırılmış iş akışlarını kolaylaştırır. Uzaktan izleme tekniklerini kullanan bakım ve onarım tesisleri, üretim süreci verimliliğini artırır ve operasyonları kolaylaştırır. Buna ek olarak, uzaktan izleme, potansiyel sorunların veya arızaların önemli sorunlara dönüşmeden önce tespit edilmesine yardımcı olarak proaktif bakım yapılmasını sağlar ve pahalı kesintileri en aza indirir. Buna ek olarak, uzaktan yönetim için bulut tabanlı hizmetlerin kullanılması, veri depolama ve analiz için merkezi bir platform sağlar, böylece kestirimci bakım stratejilerini kolaylaştırır ve ekipmanın genel etkinliğini en üst düzeye çıkarır.

Endüstriyel İnternet ve Akıllı Fabrikalar:

Endüstriyel internet teknolojileri, dijital fabrikaların gelişimi için çok önemlidir. Bu teknolojiler cihazlar, sistemler ve insanlar arasında kesintisiz bağlantı ve iletişimi kolaylaştırarak operasyonel etkinlik ve verimliliğin artmasını sağlar. Ayrıca, akıllı fabrikalarda sensörlerin ve veri analitiğinin entegrasyonu, gerçek zamanlı izleme ve karar verme süreçlerini mümkün kılarak proaktif sorun çözümünü ve sürekli süreç optimizasyonunu kolaylaştırır. Endüstriyel internet üzerinden, sensörler ve akıllı cihazlar aracılığıyla üretim süreçlerinden elde edilen veriler merkezi sistemlere iletilerek üretim süreçleri optimize edilir ve verimlilik artırılır. Bu veriler, kalıpları ve eğilimleri belirlemek için analiz edilebilir, bu da önleyici bakım ve daha az arıza süresi ile sonuçlanır. Buna ek olarak, yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmalarının akıllı fabrikalara dahil edilmesi, otonom karar verme ve uyarlanabilir kontrol sağlayarak operasyonel verimliliği ve üretkenliği artırır.

Büyük Veri Analitiği ve Yapay Zeka Uygulamaları:

Bulut bilişim, büyük veri analitiği ve yapay zeka içeren uygulamalar için uygun bir platform sağlar. Kuruluşlar, bulutun ölçeklenebilirlik ve depolama özelliklerinden yararlanarak büyük miktarda veriyi gerçek zamanlı olarak verimli bir şekilde işleyebilir ve analiz edebilir. Bu da değerli içgörüler elde etmelerini ve belirlenen kalıplara ve eğilimlere dayalı olarak iyi bilgilendirilmiş kararlar almalarını sağlar. Buna ek olarak, bulutun esnekliği yapay zeka algoritmalarıyla sorunsuz entegrasyon sağlayarak işletmelerin süreçleri otomatikleştirmesine, operasyonları optimize etmesine ve inovasyonu teşvik etmesine olanak tanır. Bulut tabanlı sunucularda büyük veri setleri depolanır ve analitiği daha hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirmek için bulut hizmetleri kullanılır. Bulut tabanlı

altyapının ölçeklenebilirliği, işletmelerin verileri arttıkça depolama kapasitelerini genişletmelerine olanak tanır. Buna ek olarak, bulutun gelişmiş güvenlik önlemleri hassas verilerin korunmasını ve gizliliğini sağlayarak işletmelere büyük miktarda veriyi depolarken ve analiz ederken gönül rahatlığı sağlar. Bu şekilde, üretim süreci verileri yararlı bilgiler için çıkarılır ve üretim süreçleri yapay zeka algoritmaları kullanılarak optimize edilir. Bu algoritmalar devasa veri kümelerini analiz edebiliyor ve insan analistlerin kolayca fark edemeyeceği kalıpları ve eğilimleri belirleyebiliyor. İşletmeler yapay zekayı kullanarak verilere dayalı kararlar alabilir ve üretim süreçlerinin etkinliğini artırabilir. Buna ek olarak, yapay zeka algoritmalarının üretim süreçlerine dahil edilmesi, kestirimci bakım ile sonuçlanabilir, böylece arıza süreleri azalır ve genel üretkenlik artar.

Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi ile Üretim Süreçlerinin İyileştirilmesi

Makine öğrenimi, bilgisayar sistemlerinin verilerden öğrenme ve deneyimle gelişme yeteneğini ifade eder. Bu teknoloji, makinelerin büyük miktarda veriyi analiz etmesine ve insanların tespit edemeyeceği kalıpları veya eğilimleri belirlemesine olanak tanır. Makine öğrenimi algoritmaları sürekli öğrenerek ve adapte olarak zaman içinde daha doğru tahminler ve kararlar verebilir. Bu, özellikle veri analizinin karar alma süreçlerinde çok önemli bir rol oynadığı finans, sağlık ve pazarlama gibi sektörlerde faydalı olabilir. Algoritmalar, veriler üzerinde tekrarlanan işlemler yoluyla kalıpları ve bağlantıları öğrenir ve gelecekte benzer sorunları çözmek için kullanılır. İki temel türü vardır (denetimli öğrenme ve denetimsiz öğrenme). Denetimli öğrenme, algoritmanın örneklerden öğrendiği ve tahminleri hakkında geri bildirim aldığı etiketli verilerle eğitilmesini içerir. Öte yandan, denetimsiz öğrenme, önceden tanımlanmış herhangi bir çıktı olmadan kalıpları ve ilişkileri keşfetmek için etiketsiz verilerin analiz edilmesini içerir. Her iki tür makine öğrenimi algoritmasının da kendi avantajları ve uygulamaları vardır ve bu da onları çeşitli alanlarda güçlü araçlar haline getirir (Lee vd., 2018).

Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi'nin Temel Özellikleri

Yapay Zeka (YZ) terimi, makinelerin problem çözme, karar verme ve öğrenme gibi normalde insan zekası gerektiren görevleri yerine getirme kapasitesini ifade eder. Makine öğrenimi ise, makinelerin verilerden öğrenmesini ve zaman içinde ilerlemesini sağlayan algoritmalara ve istatistiksel modellere odaklanan bir YZ alt kümesidir. Bu teknolojilerin temel özellikleri arasında uyarlanabilirlik, ölçeklenebilirlik ve büyük veri hacimlerinin verimli yönetimi yer almaktadır. YZ ve makine öğrenimi, temel özellikleri nedeniyle sürekli süreç

optimizasyonu ve maliyet azaltma için değerli araçlardır. İşletmeler, yapay zeka ve makine öğrenimini kullanarak tekrar eden görevleri otomatikleştirebilir, kalıpları ve eğilimleri belirlemek için büyük miktarda veriyi analiz edebilir ve süreçleri optimize etmek ve maliyetleri azaltmak için veriye dayalı kararlar alabilir. Buna ek olarak, yapay zeka ve makine öğrenimi sistemlerinin verilerden öğrenme yeteneği, zaman içinde performanslarını uyarlamalarını ve geliştirmelerini sağlayarak verimlilikte ve maliyet düşüşlerinde daha da büyük artışlar sağlar.

Yapay Zeka:

Yapay zeka ve Makine Öğrenmesi, üretim süreçlerinden elde edilen verileri analiz ederek ekipman arızalarının tahmin edilmesini sağlar. Bu, üreticilerin bakım gereksinimlerini proaktif olarak ele almalarını sağlayarak beklenmedik arıza riskini azaltır ve genel operasyonel etkinliği artırır. Yapay zeka ve makine öğrenimini kullanan üreticiler, gerçek zamanlı verilere dayanarak bakım programlarını optimize edebilir ve üretim kesintilerini en aza indirmek için onarımların en uygun zamanlarda yapılmasını sağlayabilir. Anormallikler ve düzensizlikler tespit edilebilir ve veri analitiği kullanılarak bakım planları formüle edilebilir. Buna ek olarak, yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmaları, kalıpları ve eğilimleri belirlemek için geçmiş bakım verilerini analiz edebilir ve üreticilerin yaklaşan ekipman arızalarını tahmin etmesine olanak tanır. Bu kestirimci bakım yöntemi yalnızca zaman ve kaynak tasarrufu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda sorunları ciddi hale gelmeden önce ele alarak makinelerin ömrünü de uzatır. Üreticiler, verileri sürekli izleyip analiz ederek üretkenliği en üst düzeye çıkaran ve gecikmeyi en aza indiren proaktif bir bakım stratejisi gerçekleştirebilir. Proaktif bakım, üreticilerin bakım faaliyetlerini planlı boşluklar sırasında planlamasına olanak tanıyarak üretim kesintilerini daha da en aza indirir. Sorunları kritik hale gelmeden önce çözerek, üreticiler pahalı acil onarımlardan ve planlanmamış duruşlardan kaçınabilir ve bu da önemli maliyet tasarrufu sağlar. Bu da ekipman kesintilerini azaltır ve ekipman kullanılabilirliğini artırır (Jan vd., 2023).

Makine Öğrenimi:

Makine öğrenimi, bilgisayar sistemlerinin verilerden öğrenme ve deneyimle gelişme yeteneğini ifade eder. Bu teknoloji, makinelerin büyük miktarda veriyi analiz etmesine ve insanların tespit edemeyeceği kalıpları veya eğilimleri belirlemesine olanak tanır. Makine öğrenimi algoritmaları sürekli öğrenerek ve adapte olarak zaman içinde daha doğru tahminler ve kararlar verebilir. Bu, özellikle veri analizinin karar alma süreçlerinde çok önemli bir rol oynadığı

finans, sağlık ve pazarlama gibi sektörlerde faydalı olabilir. Algoritmalar, veriler üzerinde tekrarlanan işlemler yoluyla kalıpları ve bağlantıları öğrenir ve gelecekte benzer sorunları çözmek için kullanılır. İki temel türü vardır: denetimli öğrenme ve denetimsiz öğrenme. Denetimli öğrenme, algoritmanın örneklerden öğrendiği ve tahminleri hakkında geri bildirim aldığı etiketli verilerle eğitilmesini içerir. Öte yandan, denetimsiz öğrenme, önceden tanımlanmış herhangi bir çıktı olmadan kalıpları ve ilişkileri keşfetmek için etiketsiz verilerin analiz edilmesini içerir. Her iki tür makine öğrenimi algoritmasının da kendi avantajları ve uygulamaları vardır ve bu da onları çeşitli alanlarda güçlü araçlar haline getirir.

Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi'nin Üretim Süreçlerinde Kullanımı

Yapay zeka ve makine öğrenimi, üretkenliği artırarak, maliyetleri düşürerek ve kalite kontrolünü geliştirerek üretim süreçlerinde devrim yaratmıştır. Bu teknolojiler, makinelerin arızaları önceden tahmin edebildiği ve onarımları önceden planlayabildiği, böylece arıza süresini en aza indiren kestirimci bakımı kolaylaştırır. Buna ek olarak, makine öğrenimi algoritmaları, üretim hatlarındaki kalıpları ve anormallikleri belirlemek için büyük miktarda veriyi analiz edebilir ve üreticilerin geliştirme fırsatlarını belirlemelerine ve kaynakları optimize etmelerine olanak tanır (Carvalho vd., 2019).

Veri Analitiği ve Tahmini Bakım

Yapay zeka ve MO, üretim süreci verilerini analiz ederek ekipman arızalarını tahmin etmeyi mümkün kılar. Bu, üreticilerin bakım ihtiyaçlarını proaktif olarak ele almalarını sağlayarak beklenmedik arıza riskini azaltır ve genel operasyonel etkinliği artırır. Yapay zeka ve makine öğrenimini kullanan üreticiler, üretim kesintilerini en aza indirmek için onarımların en uygun zamanlarda yapılmasını sağlamak üzere gerçek zamanlı verilere dayalı bakım programlarını optimize edebilir. Veri analitiği kullanılarak anormallikler ve düzensizlikler tespit edilebilir ve bakım planları geliştirilebilir. Ayrıca, yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmaları, kalıpları ve eğilimleri belirlemek için geçmişten gelen bakım verilerini analiz edebilir ve üreticilerin yakın ekipman arızalarını tahmin etmelerini sağlar. Bu kestirimci bakım yöntemi, sorunları ciddi hale gelmeden önce ele alarak yalnızca zaman ve kaynak tasarrufu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda cihazın ömrünü de uzatır. Üreticiler, verileri sürekli izleyip analiz ederek üretimi en üst düzeye çıkaran ve arıza süresini azaltan proaktif bir bakım stratejisi elde edebilirler. Proaktif bakım, üreticilerin belirlenen duruş süreleri boyunca bakım faaliyetlerini planlamasını sağlayarak üretim kesintilerini daha da azaltır. Sorunları kritik hale gelmeden önce çözerek, üreticiler maliyetli acil onarımlardan ve plansız duruşlardan kaçınabilir ve bu da önemli maliyet tasarrufu

sağlar. Bu, ekipmanın çalışmama süresini azaltır ve ekipmanın erişilebilirliğini artırır.

Üretim Verimliliği ve Optimizasyonu

Yapay zeka ve Makine Öğrenmesi (MO), üretim süreçlerinden elde edilen verileri analiz ederek üretim verimliliğini ve optimizasyonunu artırmak için kullanılabilir. Bu analiz, üretim hattı sınırlamalarını ve verimsizlikleri belirleyerek üreticilerin hedeflenen iyileştirmeleri yapmasını ve genel olarak üretkenliği artırmasını sağlayabilir. Yapay zeka ve MO ayrıca talep modellerini tahmin ederek ve üretim seviyelerini buna göre ayarlayarak üretim programlarını optimize etmeye yardımcı olabilir, böylece israfı azaltır ve kaynak kullanımını en üst düzeye çıkarır. Bu teknolojiler üretim hatalarını azaltır, süreç verimliliğini artırır ve üretim maliyetlerini düşürür. Ayrıca, yapay zeka ve MO, üretim parametrelerini sürekli izleyerek ve herhangi bir sapmayı veya anormalliği hızlı bir şekilde belirleyerek kalite kontrolünü geliştirebilir. Bu proaktif strateji, üreticilerin sorunları gerçek zamanlı olarak ele almasına olanak tanıyarak müşterilere yalnızca yüksek kaliteli ürünlerin teslim edilmesini sağlar. Yapay zeka ve MO'nun üretim süreçlerine dahil edilmesi sonuçta ürün kalitesinde iyileşme, müşteri memnuniyetinde artış ve rekabet avantajı sağlar (Sumiran, 2018).

Tedarik Zinciri Yönetimi

Yapay zeka ve makine öğrenimi, tedarik zinciri yönetimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Envanter seviyelerini optimize etmek, talep modellerini tahmin etmek ve potansiyel tedarik zinciri kısıtlamalarını belirlemek için muazzam miktarda veriyi analiz edebilirler. Bu, üreticilerin operasyonlarını optimize etmelerine, maliyetleri düşürmelerine ve genel ürün teslimat etkinliğini artırmalarına olanak tanır. Dahası, yapay zeka ve makine öğrenimi, sipariş işleme ve sevkiyat izleme gibi sıradan görevleri otomatikleştirerek insan kaynaklarını daha stratejik kararlar için serbest bırakabilir. Veriler analiz edilerek tedarikçi performansı değerlendirilebilir, envanter yönetimi geliştirilebilir ve daha doğru talep tahmini yoluyla stok seviyeleri yönetilebilir. Ayrıca, yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmaları müşteri davranış kalıplarını ve eğilimlerini tanıyarak üreticilerin ürünlerini ve pazarlama stratejilerini kişiselleştirmelerini sağlayabilir. Bu da sonuçta tüketici memnuniyetinin ve sadakatinin artmasına katkıda bulunarak satışların ve gelirin artmasını sağlayabilir. Buna ek olarak, yapay zeka destekli kestirimci bakım sistemleri, üreticilere yaklaşan ekipman arızalarını belirleme konusunda yardımcı olabilir, böylece arıza süresini en aza indirebilir ve üretim verimliliğini en üst düzeye çıkarabilir.

Kalite Kontrol ve Hata Tespiti:

Yapay zeka ve MO, ürünlerin kalite kontrolü için kullanılabilir. Yapay zeka algoritmaları, çeşitli sensör ve kameralardan gelen verileri analiz ederek kusurları veya kalite standartlarından sapmaları hızlı bir şekilde tespit edebilir. Bu da üreticilerin anında düzeltici önlemler almasını sağlayarak pazara ulaşan kusurlu ürün sayısını azaltır ve genel tüketici memnuniyetini artırır. Ayrıca, yapay zeka destekli kalite kontrol sistemleri sürekli olarak yeni kalıpları öğrenip bunlara uyum sağlayarak ürün kalitesinin zaman içinde tutarlı ve güvenilir kalmasını sağlayabilir. Bu sadece zaman ve kaynak tasarrufu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda güvenlik riskleri veya ürün geri çağırma olasılığını da azaltır. Dahası, yapay zeka destekli kalite kontrol sistemleri üreticilere gerçek zamanlı veriler ve içgörüler sağlayarak bilinçli kararlar almalarına ve üretim süreçlerini en yüksek verimlilik ve kalite seviyeleri için optimize etmelerine olanak tanır. Yapay zeka destekli kalite kontrol sistemleri, büyük miktarda veriyi analiz ederek, üretim sürecindeki olası sorunları veya kusurları önemli sorunlar haline gelmeden önce tespit edebilir. Bu proaktif yaklaşım, üreticilerin sorunları hızla çözmesini ve maliyetli üretim kesintilerini önlemesini sağlar. Ayrıca, yapay zeka destekli kalite kontrol sistemleri, ürün kalitesini sürekli olarak artırarak ve tüketici beklentilerini karşılayarak üreticilerin rekabet avantajını korumalarına yardımcı olabilir.

REFERANSLAR

Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. International Journal of Production Economics, 229, 107776

Batty, M. (2012). Smart Cities, Big Data. Environment and Planning B: Planning and Design, 39(2), 191–193

Batty, M. (2013). Big data, smart cities and city planning. Dialogues in Human Geography, 3(3), 274–279

Bilal, M., Oyedele, L.O., Qadir, J., Munir, K., Ajayi, S.O., Akinade, O.O., Owolabi, H.A., Alaka, H. A., Pasha, M. (2016). Big Data in the construction industry: A review of the present status, opportunities and future trends, Advanced Engineering Informatics, 30(3), 500-521

Carvalho, T., Soares, F.A.A.M.N, Vita, R., Francisco, R. da P., Alcala, S.G.S. (2019). A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. Computers and Industrial Engineering, 137, 106024

Gehrke, L., Bonse, R., & Henke, M. (2016). Towards a management framework for thedigital transformation of logistics and manufacturing. 23rd EurOMA Conference, Trondheim, Norway, 1–10

Hinings, B., Gegenhuber, T., Greenwood, R. (2018). Digital innovation and transformation: An institutional perspective. Information and Organization, 28(1), 52–61.

Imran, F., Shahzad K., Butt, A., Kantola, J. (2021). Digital Transformation of Industrial Organizations: Toward an Integrated Framework. Journal of Change Management, 21(4), 451-47

Jan, Z., Ahamed F., Mayer, W., Patel, N., Grossmann, G., Stumptner, M., Kuusk, A. (2023). Artificial Intelligence for Industry 4.0: Systematic Review of Applications, Challenges, and Opportunities. Expert Systems with Applications, 216, 119456

Lee, J., Davari, H., Singh, J., Pandhare, V. (2018). Industrial Artificial Intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters, 18, 20-23

Li, F., Laili, Y., Chen, X., Lou, Y., Wang, C., Yang, H., Gao, X., Han, H. (2023). Towards big data driven construction industry. Journal of Industrial Information Integration, 35, 100483

Low, C., Chen, Y., Wu, M. (2011). Understanding the determinants of cloud computing adoption, Industrial Management & Data Systems, 111(7), 1006-1023

Matt, C., Hess, T., & Benlian, A. (2015). Digital transformation strategies. Business and InformationSystems Engineering,57(5), 339-343

Novais, L., Maqueria, J. M., Ortiz-Bas, A. (2019). A systematic literature review of cloud computing use in supply chain integration, 129, 296-31

Pires, F., Cachada, A., Barbosa, J., Moreira, A. P., Leitão, P. (2019). Digital Twin in Industry 4.0: Technologies, Applications and Challenges. 2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Helsinki, Finland, 721-726, doi: 10.1109/INDIN41052.2019.8972134.

Sumiran, K. (2018). An overview of data mining techniques and their application in industrial engineering (2018). Asian Journal of Applied Science and Technology, 2(2), 947-953

Bölüm 4

Türkiye'de Son Yüzyılda (1923-2023) Meydana Gelen Yıkıcı Depremler ve Kullanılan Deprem Yönetmelikleri

Ahmet Ferdi ŞENOL[1]

Ayça AKBAŞ[2]

Özlem ÇALIŞKAN[3]

[1] Öğr.Gör.; Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ahmetferdi.senol@bilecik.edu.tr, ORCID No: https://orcid.org/0000-0002-6663-3340

[2] İnşaat Yüksek Mühendisi, aycakbas26@gmail.com, ORCID No: https://orcid.org/0000-0003-4810-4952

[3] Dr. Öğr. Üyesi; Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ozlem.caliskan@bilecik.edu.tr, ORCID No: https://orcid.org/0000-0002-5272-9552

ÖZET

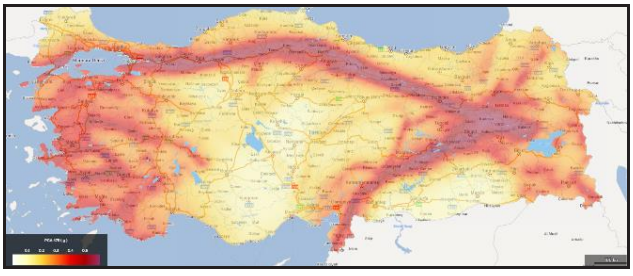
Türkiye, coğrafi konumuna göre dünyanın en önemli deprem kuşaklarından olan Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunmaktadır. Bu deprem kuşağındaki Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayları kısa sürelerde geri dönüş süresine sahip en aktif faylardır. Son yıllarda, ülkemizde meydana gelen depremler neticesinde bu iki faydan kaynaklı önemli can kayıpları ve yüksek miktarlarda yapı hasarları meydana gelmiştir. Türkiye'nin, 1923-2023 yılları arasındaki yüz yıllık deprem geçmişi incelendiğinde birçok yıkıcı deprem meydana geldiği görülmektedir. Meydana gelen yıkıcı depremlerde; konutlar, hastaneler, kamu binaları, tarihi eser niteliği taşıyan ve doğal mirasımız olarak kabul edilen yapılar, yollar ve sanat yapılarının yıkıldığı veya ağır hasar gördüğü tespit edilmiştir. Bu kayıpların en aza indirilebilmesi ve depreme dayanıklı yapılar yapılabilmesi için farklı tarihlerde deprem yönetmelikleri yayımlanmıştır. Bu çalışmada, 1923 yılından 2023 yılına kadar Türkiye'de gerçekleşen yıkıcı (6.2 Ms-Mw ve üzeri) nitelikteki depremler ile farklı tarihlerde yayımlanan deprem yönetmelikleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Türkiye depremleri, Deprem şiddeti, Büyüklük, Deprem yönetmeliği

GİRİŞ

Deprem, yer sarsıntısı, seizma veya halk arasında yaygın olarak bilinen adı ile zelzele; yer kabuğunda beklenmedik bir anda ortaya çıkan enerji sonucunda meydana gelen kırılmalar nedeniyle oluşan sismik dalgalanmaların yeryüzünü sarsması olayıdır (İşçi, 2008:959). Deprem, tabi bir afet olup önlenemez bir olaydır. Ancak deprem öncesi alınacak önlemlerle bu afet mümkün olan en az zararla atlatılabilir. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde büyük ölçüde can ve mal kayıplarına neden olmaktadır.

Türkiye, coğrafik konumu açısından değerlendirildiğinde; dünyanın en önemli deprem kuşaklarından olan Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunmaktadır. Türkiye'nin üzerinde bulunduğu Anadolu Plakası; kuzeyde Avrasya Plakası, güneyde Afrika ve Arap Plakası, doğuda Doğu Anadolu Bloğu ve batıda Ege Bloğu tarafından çevrilmiştir (Bikçe, 2015). AFAD'ın Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması üzerinden Türkiye Deprem Tehlike Haritası incelendiğinde; Türkiye'de, Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı ve Batı Anadolu Fay Hattı olmak üzere 3 adet fay hattı bulunduğu görülmektedir (Şekil 1.) (tdth.afad.gov.tr).



Şekil 1: Türkiye Deprem Tehlike Haritaları
Kaynak: tdth.afad.gov.tr

Türkiye'nin deprem tarihi; Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Bölgesel Deprem–Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM)'nden alınan veriler ile incelendiğinde bu üç fay hattının da tarih boyunca büyük depremler ürettiği ve bu depremlerin de büyük ölçüde can ve mal kayıplarına neden olduğu açıkça görülmektedir (www.koeri.boun.edu.tr). Türkiye'de mevcut yapı stoku incelendiğinde yapıların büyük bir bölümü, betonarme ve yığma yapılardan oluşmaktadır. Betonarme ve yığma yapıların deprem etkisi altındaki dinamik davranışlarının projelendirilme safhasında doğru değerlendirilmesi, deprem sebebiyle meydana gelecek can ve mal kayıplarının önlenebilmesi açısından oldukça büyük önem arz etmektedir (Korkmaz ve Uçar, 2006:65).

Deprem bilgileri verilirken; "depremin magnitüdü (büyüklüğü)" ve "depremin şiddeti" kavramları da sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Depremin magnitüdü kavramı; bir deprem meydana geldiğinde açığa çıkan enerjiyi ifade etmektedir. Bu enerji, sismograflar ve akselograflar ile aletsel olarak ölçülebilmektedir. Depremin magnitüd değeri, belirli bir süre boyunca kaydedilen deprem dalgalarının genliklerinin logaritması olarak tanımlanmaktadır. Depremin magnitüdünü ölçmek için farklı ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden Moment Magnitüdü (Mw), moment büyüklüğünü temsil etmekte ve depremlerin büyüklüğünü ölçmek için kullanılan modern yöntemlerden biridir. Uygulamada belirli bir büyüklüğün üzerindeki, örneğin Moment>4.0, depremleri ölçmek için kullanılmaktadır. Mw, Amerika Birleşik Devletleri'nden Prof. C.Richter tarafından 1930 yıllarında bulunan Richter Ölçeği'nin yerini almıştır ve günümüzde büyük depremleri daha hassas bir şekilde ölçmek için kullanılmaktadır. Diğer bir yöntem ise Yüzey Dalgası Büyüklüğü (Ms) yöntemidir. Bu yöntem, Moment>6.0 büyüklüğünün üzerindeki depremlerin ölçülmesinde kullanılmakta ve ölçüm sırasında depremin yer kabuğunun yüzeyinde oluşturduğu yüzey dalgalarının enerjisini esas almaktadır. Bu yöntem uzak mesafede kullanıldığında daha güvenilir sonuçlar verdiğinden, uzak depremlerin büyüklüklerinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Depremin şiddeti kavramı ise bir bölgede meydana gelen depremin yer yüzünde meydana getirdiği etkileri ifade etmektedir. Şiddetin ölçüsü hesaplanırken, depremin yeryüzünde bıraktığı etkiler göz önüne alınmaktadır. Örneğin; deprem esnasında insanların ve diğer canlıların uykularından uyanması, ev ve iş yeri gibi bölgelerde mobilya ve diğer eşyalarda meydana gelen yer değişimleri, yapıların içinde veya taşıyıcı elemanlarında meydana gelen hasarlar vb. yer yüzünde gözlemlenen etkiler depremin şiddetinin belirlenmesinde birer ölçüt olarak kabul edilmektedir (İşçi, 2008:967-969). Magnitüd ve şiddet değerlerine göre oluşabilecek etkiler Şekil 2'de verilmiştir.

Bu çalışmada, 1923 yılından 2023 yılına kadar Türkiye'de gerçekleşen yıkıcı (6.2 Ms-Mw ve üzeri) nitelikteki tarihi depremler (Şekil 3) ile farklı tarihlerde yayımlanan deprem yönetmelikleri araştırılmıştır.

Magnitüd	Şiddet	Etkileri	
1.0 – 3.0	I	Hemen hemen hiç hissedilmez	
2.0 – 2.9	II	Özellikle üst katlardaki bazı insanlar tarafından hissedilebilir.	
3.0 – 3.9	III	Binalarda bulunanlar, özellikle üst katlarda yaşayanlar açıkça hissederler. Duran araçlar hafifçe sallanır. Başlama ve bitişi insanlar tarafından hissedilebilir.	
4.0 – 4.9	IV	Gündüz vakti binalarda bulunan hemen herkes tarafından hissedilir, dışarda bulunanların çok azı sarsıntıyı hisseder. Gece vakti bazılarını uykudan uyandırır. Duvarlardan çatlıyormuşçasına sesler gelir. Büyük bir tırın binaya çarpmasına benzer bir etki uyandırır. Duran araçlar görünür bir şekilde sallanır.	
	V	Hemen hemen herkes tarafından hissedilir ve gece vakti çoğu insanı uykusundan uyandırır. Dengesiz nesneler devrilir.	
5.0 – 5.9	VI	Herkes tarafından hissedilir ve korku verir. Bazı ağır mobilyalar hareket eder; sıvalarda dökülmeler gözlenir. Genel olarak hafif hasarla sonuçlanır.	
	VII	Herkes tarafından hissedilir ve korku verir. Bazı ağır mobilyalar hareket eder; sıvalarda dökülmeler gözlenir. Genel olarak hafif hasarla sonuçlanır.	
6.0 – 6.9	VIII	Özel olarak dizayn edilmiş binalarda hafif hasar; normal yapılarda orta hasar zayıf binalarda ise oldukça büyük hasara yol açar. Bacalar devrilir, üst üste yerleştirilmiş malzemeler devrilir, duvar ve kolonlar yıkılır. Ağır mobilyalar devrilir.	
	IX	Özel olarak dizayn edilmiş binalarda orta ölçekte hasar oluşurken; iyi dizayn edilmiş kafes yapılar ekseninden kayar. Normal binalarda büyük hasar oluşur ve yer yer yıkılmalar gözlenir. Binalar temellerinden kayarlar.	
7.0 veya daha büyük	X	İyi inşa edilmiş ahşap yapılardan bazıları yıkılırken; taş ve kafes yapıların büyük bir çoğunluğu temelleriyle birlikte yıkılır. Demiryolları eğilir.	
	XI	Birkaç yapı (özellikle taş) dışında tüm binalar ve köprüler yıkılır. Demiryolları büyük oranda eğilir ve bükülür.	
	XII	Bütün binalar yerle bir olur. Ufuk çizgisi oynak bir yüzeye dönüşür. Nesneler havada uçar.	

Şekil 2: Magnitüd-Şiddet Etkileri
Kaynak: https://bilimgenc.tubitak.gov.tr

Şekil 3: 1923-2023 yılları arasında Türkiye'de gerçekleşen yıkıcı depremler

TÜRKİYE'DE MEYDANA GELEN (1923-2023) YIKICI DEPREMLER

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Bölgesel Deprem – Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM)'nden alınan verilere göre Türkiye'de 1923-2023 yılları arasında meydana gelen 5,0 ve üstü büyüklüğündeki depremlerde oluşan can kaybı ve hasarlı bina sayıları Tablo 1'de verilmiştir (www.koeri.boun.edu.tr).

Tablo 1: Türkiye'de meydana gelen depremler (1923-2023 yılları)

TARİH	YER	MAG (Ms)	CAN KAYBI	HASARLI BİNA
13.09.1924	Horasan (ERZURUM)	6,8	60	380
7.08.1925	Dinar (AFYON)	5,9	3	2.043
22.10.1926	KARS - ERMENİSTAN	6,0	355	-
31.03.1928	Torbalı (İZMİR)	6,5	50	2.500
18.05.1929	Suşehri (SİVAS)	6,1	64	1.357
7.05.1930	TÜRK –İRAN SINIRI	7,2	2.514	-
19.07.1933	Çivril (DENİZLİ)	5,7	20	200
4.01.1935	Erdek (BALIKESİR)	6,4	5	600
19.04.1938	KIRŞEHİR	6,6	160	4.066
22.09.1939	Dikili (İZMİR)	6,6	60	1.235
21.11.1939	Tercan (ERZİNCAN)	5,9	43	-
27.12.1939	ERZİNCAN	7,9	32.968	116.720
13.04.1940	YOZGAT -KAYSERİ	5,6	-	1.000
23.05.1941	MUĞLA	6,0	-	200
10.09.1941	Erciş (VAN)	5,9	192	600

12.11.1941	ERZİNCAN	5,9	15	-
15.11.1942	Bigadiç (BALIKESİR)	6,1	16	2.187
21.11.1942	Osmancık (ÇORUM)	5,5	2	150
20.12.1942	Erbaa (TOKAT)	7,0	3.000	32.000
20.06.1943	Hendek (ADAPAZARI)	6,6	336	2.240
27.11.1943	Ladik (SAMSUN)	7,2	4.000	40.000
1.02.1944	Gerede-Çerkeş (BOLU)	7,2	3.959	20.865
25.06.1944	Gediz (UŞAK)	6,0	21	3.476
6.10.1944	Ayvalık (BALIKESİR)	6,8	30	5.500
20.03.1945	Ceyhan-Misis(ADANA)	6,0	13	2.500
21.02.1946	Ilgın (KONYA)	5,5	12	3.349
31.05.1946	Varto-Hınıs (MUŞ)	5,9	839	3.000
23.07.1949	Karaburun (İZMİR)	6,6	7	865
17.08.1949	Karlıova (BİNGÖL)	6,7	450	3.500
8.04.1951	İskenderun(ANTAKYA)	5,8	6	13
13.08.1951	Kurşunlu (ÇANKIRI)	6,9	50	3.354
3.01.1952	Hasankale (ERZURUM)	5,8	41	701
22.10.1952	Ceyhan –Misis (ADANA)	5,6	10	617
18.03.1953	Yenice (ÇANAKKALE)	7,2	265	6.750
7.09.1953	Kurşunlu (ÇANKIRI)	6,0	2	230
16.07.1955	Söke-Balat (AYDIN)	6,8	23	470
20.02.1956	ESKİŞEHİR	6,4	1	2.819
25.04.1957	FethiyeRodos(MUĞLA)	7,1	67	3.200
26.05.1957	Abant (BOLU)	7,1	52	5.200
25.04.1959	Köyceğiz (MUĞLA)	5,9	-	775
23.05.1961	FethiyeRodos(MUĞLA)	6,3	-	61
18.09.1963	Çınarcık (İSTANBUL)	6,3	1	230
30.01.1964	Tefenni (BURDUR)	5,7	-	39
14.06.1964	MALATYA	6,0	8	847
6.10.1964	Manyas (BALIKESİR)	7,0	23	5.398
13.06.1965	DENİZLİ	5,7	14	488
7.03.1966	Varto-Hınıs (MUŞ)	5,6	14	1.100
19.08.1966	Varto (MUŞ)	6,9	2.396	20.007
22.07.1967	Mudurnu(ADAPAZARI)	6,8	89	7.116
26.07.1967	Pülümür (TUNCELİ)	5,9	97	1.282
3.09.1968	Bartın (ZONGULDAK)	6,5	29	2.478
23.03.1969	Demirci (MANİSA)	5,9	-	945
28.03.1970	Alaşehir (MANİSA	6,5	53	3.072
6.04.1969	Karaburun (İZMİR)	5,9	-	1.360
28.03.1970	Gediz (KÜTAHYA)	7,2	1.086	19.291
19.04.1970	Gediz (KÜTAHYA)	5,8	-	1.360
23.04.1970	Demirci (MANİSA)	5,6	-	411

12.05.1971	BURDUR	5,9	57	3.227
22.05.1971	BİNGÖL	6,8	878	9.111
6.09.1975	Lice (DİYARBAKIR)	6,6	2.385	8.149
24.11.1976	Muradiye (VAN)	7,5	3.840	9.232
5.07.1983	Biga (ÇANAKKALE)	6,1	3	85
30.10.1983	ERZURUM – KARS	6,9	1.155	3.241
18.09.1984	Balkaya (ERZURUM)	6,4	3	570
5.05.1986	Doğanşehir(MALATYA)	5,9	7	824
6.06.1986	Doğanşehir(MALATYA)	5,6	1	1.174
7.12.1988	Kars – ERMENİSTAN	6,9	4	546
13.03.1992	ERZİNCAN	6,8	653	8.057
15.03.1992	Pülümür (TUNCELİ)	5,8	-	439
6.11.1992	Doğanbey (İZMİR)	6,0	-	55
28.01.1994	MANİSA	5,1	-	44
1.10.1995	Dinar (AFYON)	6,1	90	14.156
5.12.1995	Kığı (TUNCELİ)	5,7	1	-
14.08.1996	Mecitözü (AMASYA)	5,6	1	2.606
22.01.1997	ANTAKYA	5,4	1	1.841
13.04.1998	Karlıova (BİNGÖL)	5,0	-	148
27.06.1998	Ceyhan (ADANA)	6,2	146	31.463
17.08.1999	Gölcük (KOCAELİ)	7,8	17.480	73.342
12.11.1999	DÜZCE	7,5	763	35.519
6.06.2000	Orta (ÇANKIRI)	6,1	1	1.766
15.12.2000	Sultandağı (AFYON)	5,8	6	547
25.06.2001	OSMANİYE	5,5	-	66
3.02.2002	Çay - (AFYON)	6,4	44	622
27.01.2003	Pülümür (TUNCELİ)	6,2	1	50
1.05.2003	BİNGÖL	6,4	176	6.000
25.03.2004	Kandilli-Aşkale (ERZURUM)	5,6	9	1.280
2.07.2004	Doğubayazıt (AĞRI)	5,1	17	1.000
8.03.2010	Başyurt (ELAZIĞ)	6,1	42	-
19.05.2011	Simav (Kütahya)	5,9	3	-
23.10.2011	Van	7,2	644	17.005
9.11.2011	Edremit (VAN)	5,6	40	-
30.10.2020	Seferihisar (İZMİR)	6,6	117	633
6.02.2023	Pazarcık ve Elbistan (KAHRAMANMARAŞ)	7,7 ve 7,6	44.374	240.000

Son yüzyılda meydana gelen depremlerde BDTİM'den alınan verilere bakıldığında çok fazla can ve mal kaybı yaşandığı görülmektedir.

7 Mayıs 1930 Hakkâri Depremi (Türk-İran Sınırı): 7.2 Ms

7 Mayıs 1930 yılında meydana gelen ve 7.2 Ms büyüklüğündeki bu depremde, 2.514 kişi yaşamını yitirmiş, resmî olmayan kayıtlara ve bazı gazete haberlerine göre 3.000 konut hasar görmüştür (www.koeri.boun.edu.tr).

27 Aralık 1939 Erzincan Depremi: 7.9 Ms

27 Aralık 1939'da Erzincan ilinde meydana gelen bu büyük depremde, 32.968 kişi yaşamını yitirmiş ve resmî kayıtlara göre 116.720 yapı hasar görmüştür (www.koeri.boun.edu.tr).

20 Aralık 1942 Tokat-Erbaa Depremi: 7.0 Ms

20 Aralık 1942'de meydana gelen bu depremde resmî kayıtlara göre 3.000 kişi yaşamını yitirmiş ve 32.000 yapı hasar görmüştür (www.koeri.boun.edu.tr).

27 Kasım 1943 Samsun-Ladik Depremi: 7.2 Ms

27 Kasım 1943'te Samsun'un Ladik ilçesinde meydana gelen bu depremde resmî kayıtlara göre 4.000 kişi yaşamını yitirmiş ve 40.000 yapı hasar görmüştür (www.koeri.boun.edu.tr).

1 Şubat 1944 Bolu-Gerede Depremi: 7.2 Ms

1 Şubat 1944'de meydana gelen depremde, resmî kayıtlara göre 3.959 kişi yaşamını yitirmiş ve 20.865 yapı hasar görmüştür (www.koeri.boun.edu.tr).

18 Mart 1953 Çanakkale-Yenice Depremi: 7.2 Ms

18 Mart 1953'te meydana gelen bu deprem, Balıkesir-Gönen depremi olarak da bilinmektedir. Resmî kayıtlara göre depremde, 265 kişi yaşamını yitirmiş ve 6.750 yapı hasar görmüştür (www.koeri.boun.edu.tr).

24-25 Nisan 1957 Muğla-Fethiye Rodos Depremleri: 7.1 Ms-7.3 Ms

25 Nisan 1957'de meydana gelen bu depremlerde resmî kayıtlara göre 67 kişi yaşamını yitirmiş ve 3.200 yapı hasar görmüştür (www.koeri.boun.edu.tr).

26 Mayıs 1957 Bolu-Abant Depremi: 7.1 Ms

26 Mayıs 1957'de meydana gelen bu depremde resmî kayıtlara göre 52 kişi yaşamını yitirmiş ve 5.200 yapı hasar görmüştür (www.koeri.boun.edu.tr).

6 Ekim 1964 Balıkesir-Manyas Depremi: 7.0 Ms

6 Ekim 1964'te meydana gelen bu depremde resmî kayıtlara göre 23 kişi yaşamını yitirmiş ve 5.398 yapı hasar görmüştür (www.koeri.boun.edu.tr).

28 Mart 1970 Kütahya-Gediz Depremi: 7.2 Ms

28 Mart 1970'de meydana gelen depremde, resmî kayıtlara göre 1.086 kişi yaşamını yitirmiş ve 19.291 yapı hasar görmüştür (www.koeri.boun.edu.tr).

24 Kasım 1976 Van-Muradiye Depremi: 7.5 Ms

24 Kasım 19762'da meydana gelen bu depremde resmî kayıtlara göre 3.840 kişi yaşamını yitirmiş ve 9.232 yapı hasar görmüştür Aynı zamanda bu deprem Van-Çaldıran depremi olarak da bilinmektedir. (www.koeri.boun.edu.tr).

1 Ekim 1995 Afyonkarahisar-Dinar Depremi: 6.2 Mw.

1 Ekim 1995 ve yerel saatle 17:57'de meydana gelmiştir. Afyonkarahisar, Denizli, Isparta, Burdur ve Uşak illerini de içine alan, nispeten geniş bir alanda hissedilen deprem, Dinar ve yakın çevresinde önemli ölçüde tahribata yol açmıştır (Şekil 4). Depremde 90 kişi hayatını kaybetmiş, 243 kişi yaralanmış ve yaklaşık 40.000 konut da hasar görmüştür. Yapısal hasarın ağır olmasının temel nedeni, inşaat üretim hataları ve şehir merkezinin alüvyonlu topraklar üzerine inşa edilmiş olmasıdır. Ana şok sırasındaki deprem kuvvetleri, bu zeminlerin zayıf dinamik özellikleri tarafından büyütülerek binalarda aşırı hasara yol açmıştır (Biricik vd., 1996:63; Çatal H.H., 1997:595).

Şekil 4: 1 Ekim 1995 Afyonkarahisar-Dinar depreminden bir görüntü
Kaynak: dinar.meb.gov.tr

17 Ağustos 1999 Kocaeli-Gölcük Depremi: 7.8 Mw

17 Ağustos 1999'da meydana gelen bu depremde resmî kayıtlara göre 17.480 kişi hayatını kaybetmiş ve 73.342 yapı hasar (Şekil 5) görmüştür. 1939 Erzincan Depremi'nden sonra 1999 tarihine kadar Türkiye'nin en çok can ve mal kaybının yaşandığı ikinci deprem olarak kayıtlara geçmiştir (www.koeri.boun.edu.tr). 17 Ağustos Kocaeli-Gölcük depremi tüm Marmara

Bölgesi'nde, Ankara'dan İzmir'e kadar geniş bir alanda hissedilmiştir. Bu depremden etkilenen başlıca iller; Bolu, Bursa, Eskişehir, İstanbul, Kocaeli, Sakarya, Yalova ve Zonguldak olmuştur.

Şekil 5: 17 Ağustos 1999 Kocaeli-Gölcük depreminden bir görüntü
Kaynak: www.tmmob.org.tr

12 Kasım 1999 Düzce Depremi: 7.5 Mw

12 Kasım 1999'da meydana gelen bu depremde resmî kayıtlara göre 763 kişi hayatını kaybetmiş ve 35.519 yapı hasar görmüştür (www.koeri.boun.edu.tr). Düzce Valiliği'nden yapılan açıklamaya göre Kuzey Anadolu Fayı üzerinde bulunan ve 73 km uzunluğunda olan Düzce fayının 30 kilometrelik batı bölümünün 17 Ağustos 1999 depreminde kırılmış bulunduğu, 12 Kasım 1999 depreminin ise fayın 43 kilometre uzunluğundaki doğu bölümünün kırılması sonucunda oluştuğu belirtilmiştir (www.duzce.gov.tr). Şekil 6'da deprem sonrası yıkılan binalardan bazı görüntüler verilmiştir.

Şekil 6: 12 Kasım 1999 Düzce depreminden görüntüler.
Kaynak: Ateş, 2016:924

1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi: 6.4 Mw

1 Mayıs 2003 günü ve yerel saatle 03.27'de, merkezi Bingöl kenti yakınlarında olan 6.4 büyüklüğünde meydana gelmiştir. Depremin derinliği 10 km olarak belirlenmiştir. Resmi kaynaklara göre bu depremde 176 kişi hayatını kaybetmiş, 521 kişi de yaralanmıştır. Bingöl'deki okulların büyük bir bölümü ağır hasar görmüştür (Doğangün, 2004:841). Afet bölgesinde 308 bina yıkılmış, 2566 bina ağır ve orta hasarlı, 2546 bina da hafif hasarlı olarak tespit edilmiştir. 1998 deprem yönetmeliğinin yürürlüğe girdiği yıldan sonra inşa edilen eğitim binalarının çoğu yıkılmış veya ağır hasar görmüştür. Hasarın nedenleri olarak, deprem yönetmeliğinin gerekliliklerine rağmen dayanıksız beton üretimi ve yetersiz detaylandırma olarak tespit edilmiştir (Kaplan vd., 2004:284).

23 Ekim 2011 Van Depremi: 7.2 Mw

23 Ekim 2011'de meydana gelen bu depremde resmî kayıtlara göre 644 kişi hayatını kaybetmiş ve 17.005 yapı hasar görmüştür (www.koeri.boun.edu.tr). Depremin merkez üssü Van'a 17 km. uzaklıktaki Tabanlı köyü olarak belirtilmiştir. Alüvyon tabakaları üzerinde bulunan Van şehrinde kumlu, çakıllı ve killi zemin tabakaları bulunmaktadır. Yapıların depremde hasar almalarının en önemli nedenlerinden biri bölgenin zemin yapısı olarak vurgulanmıştır (Şekil 7).

Şekil 7: 23 Ekim 2011 Van depreminden bir görüntü
Kaynak: www.ek.yildiz.edu.tr

30 Ekim 2020 Seferihisar İzmir Depremi: 6.6 Mw

Kuşadası Körfezi'nin güney sınırında (Samos adasının kuzey sınırında) meydana gelen büyüklüğü 6.6 Mw olan Sisam depremi, Yunanistan ve Türkiye'nin birçok yerinde hissedildiği gibi, Sisam adasında ve Türkiye'nin üçüncü büyük şehri İzmir'de de hasara neden olmuştur (Şekil 8). İzmir'deki bazı bölgelerde ciddi hasara yol açarak 20'ye yakın binanın yıkılmasına, 117 kişinin ölümüne ve 1000'den fazla kişinin yaralanmasına neden olmuştur (Över vd., 2021:3).

Şekil 8: 30 Ekim 2020 İzmir depreminde yıkılan binalar
Kaynak: https://imop.imo.org.tr

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri Pazarcık: 7.7 Mw ve Elbistan: 7.6 Mw

6 Şubat 2023 tarihinde yerel saat ile 04:17'de AFAD (www.afad.gov.tr) verilerine göre 7.7 Ms büyüklüğünde Pazarcık merkezli deprem meydana

gelmiştir. Bu depremin ardından 9 saat sonra 6 Şubat 2023 tarihinde yerel saat ile 13:26'da, 7.6 Ms büyüklüğünde Elbistan merkezli bir deprem daha meydana gelmiştir (www.afad.gov.tr). Her iki deprem de Türkiye'nin iki aktif fay sisteminden biri olan Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde oluşmuştur. Bu iki deprem 11 ili olumsuz etkilemiştir. Bu iller; Kahramanmaraş, Adıyaman, Hatay, Osmaniye, Gaziantep, Kilis, Şanlıurfa, Diyarbakır, Malatya, Adana ve Elazığ'dır. Ülkemizde yaşanan bu iki depremde Türkiye Cumhuriyeti Tarihi'nin en büyük can ve mal kaybı yaşanmıştır. 25 Şubat 2023 tarihi itibariyle AFAD'dan alınan verilere göre 44 bin 374 kişi hayatını kaybetmiş, 18.200 bina yıkılmış ve 750.000 yapı hasar görmüştür (Şekil 9) (deprem.afad.gov.tr).

Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nin yayınladığı raporda bölgede sismik zemin sıvılaşması gözlemlendiği belirtilmiştir. Hatay-İskenderun ve Adıyaman-Gölbaşı bölgelerindeki birçok konut bina temelleri, sismik zemin sıvılaşması nedeniyle aşırı oturmalara ve taşıma gücü yenilmelerine maruz kaldığı vurgulanmıştır (ODTÜ, 2023)

Şekil 9: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde yıkılan yapılar
Kaynak: Şenol, 2023:76

TÜRKİYE'DE KULLANILAN DEPREM YÖNETMELİKLERİ

Üç adet diri fay sistemine sahip olan Türkiye'nin son yüzyıldaki deprem tarihi incelendiğinde; birçok yıkıcı depremin meydana geldiği, büyük ölçüde can ve mal kayıplarının yaşandığı tespit edilmektedir. Meydana gelen büyük depremlerde; konutlar, kamu binaları, tarihi eser niteliği taşıyan ve doğal mirasımız olarak kabul edilen yapılar ile yol ve köprüler yıkılmış veya ağır hasar almıştır. Bu kayıpların en aza indirilebilmesi ve depreme dayanıklı

yapıların yapılabilmesi için farklı tarihlerde deprem yönetmelikleri yayınlanmıştır.

Türkiye'nin son yüzyıllık tarihi içinde farklı tarihlerde olmak üzere toplam 10 adet deprem yönetmeliği yürürlüğe girmiştir (Şekil 10). 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ise onuncu ve son yönetmeliktir.

Şekil 10: Türkiye'de son yüzyılda yürürlüğe giren deprem yönetmelikleri.

Deprem etkisi ile hasar gören yapıların hasar nedenleri değerlendirilirken, yapıların inşa tarihlerinde uygulanan deprem yönetmeliklerinin ve teknik koşulların (min. beton dayanımı, üretim yöntemleri ve taşıyıcı elemanlarının boyutları vb.) göz önünde bulundurulması, yapılacak değerlendirmeler açısından uygun olacaktır (Şenol, 2023:76)

1940-Zelzele Mıntıkalarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi

1939 yılında Erzincan'da yaşanan 7.9 Ms büyüklüğündeki depremden sonra mevcut İtalyan yönetmeliği alınarak, Türkçeye çevrilip kullanılmıştır. İlgili Yönetmelik'te; genelde mimari konular üzerinde durulmuş, 1'inci ve 2'nci derece deprem bölgelerinden bahsedilmiştir. Ayrıca konu ile ilgili cezai hükümlerde yönetmelikte yer almıştır (Alyamaç ve Erdoğan, 2005:708; Cansız, 2022:60).

1944-Zelzele Mıntıkalarında Muvakkat Yapı Talimatnamesi

Yönetmelikte cezai hükümler ve ruhsat alma işlemleri yer almaktadır. Malzeme ve işçilik konusu ile ilgili yönetmelikte: "en iyi malzeme ve itinalı işçilik kullanılacaktır" denilmiş fakat kavramlar açıklanmamıştır. Yapı inşa edilmemesi gereken arazi durumları, depremin yatay ve düşey bileşenleri, duvar-döşeme-direk gibi taşıyıcı elemanların birbirine bağlanması gerektiği ve sabit yükler için 1.4 katsayısından bahsedilmiştir (Alyamaç ve Erdoğan, 2005:708; Cansız, 2022:60).

1949-Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği

Deprem bölgeleri harita olarak yönetmeliğe işlenmiş ve Yönetmelikte 1. ve 2. Derece deprem bölgelerinde yapılacak yapıların taşıyıcı sistem türlerine göre olması gereken kat adedi ve yapı yükseklikleri verilmiştir. Hareketli yükler bu yönetmelik ile deprem hesabına dahil edilmiştir (Alyamaç ve Erdoğan, 2005:708; Cansız, 2022:61).

1953-Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

1949- Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği'nin revize edilmiş halidir. Deprem hesabı daha detaylı hale getirilmiş ve hesapta bulunan katsayılar, 1. ve 2. Derece deprem bölgeleri için tablo şeklinde sunulmuştur. Bu yönetmelik ile zemin konusuna değinilmiş ve çeşitli zemin sınıfları için zemin emniyet gerilmesi değerleri verilmiştir (Alyamaç ve Erdoğan, 2005:709; Cansız, 2022:61).

1962-Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Bu yönetmelik önceki yönetmeliklerin devamı şeklindedir. Daha önceki yönetmeliklerde verilen eşdeğer yatay deprem yükü hesabında kullanılan hareketli yük katsayısında değişiklik yapılmış, zemin cinsi ve bina yüksekliği de hesaplara eklenmiştir (Alyamaç ve Erdoğan, 2005:709; Cansız, 2022:62).

1968- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Betonarme yapıların önem kazandığı bu yönetmelikte, betonarme elemanların kurallarından, temel hesaplama ve boyutlarından bahsedilmiştir. Deprem hesabı daha ayrıntılı anlatılmıştır. Su baskını ve yangın afetinden korunma konusunda önerilerde bulunulmuştur. Yönetmelikte taşıyıcı elemanlarla ilgili olarak; kolonların en küçük kenarının 24 cm'den ve kat yüksekliğinin 1/20'sinden daha küçük olamayacağı, kirişlerin en az 15×30 cm kesitinde olması gerektiği ve perde duvarlarının kalınlığının en az 20 cm ve kat

yüksekliğinin 1/25'den az olamayacağı gibi kurallardan bahsedilmiştir (Alyamaç ve Erdoğan, 2005:710; Cansız, 2022:62).

1975-Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Bu yönetmelikte, Ülkemiz 1, 2, 3 ve 4'üncü derece deprem bölgelerine ayrılmıştır. Deprem hesabı birçok parametreye göre daha detaylı yapılmaktadır. Kolon-kiriş birleşim bölgelerine değinilmiş ve düğüm noktaları ve sarılma bölgeleri ile ilgili detaylar çizimler ile verilmiştir. Betonarme perdeler konusuna ağırlık verilmiş ve depremlerde ağır hasara sebep olan birçok eksiklik bu yönetmelikte düzeltilmiştir (Alyamaç ve Erdoğan, 2005:711, Cansız, 2022:63, 1975 Yönetmeliği). Ayrıca, birinci ve ikinci deprem bölgelerinde C18'den daha düşük dayanımda beton kullanılamayacağı ve kolon-kiriş sarılma bölgelerindeki etriye kancalarının 135 derecelik açı ile bükülmesi gerektiği bildirilmiştir (Şenol, 2023:263).

1998-Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Yönetmelikte depreme dayanıklı yapı tasarımında dikkat edilmesi gereken düzensizlikler konusu ile ilgili koşullar açıklanmıştır. Deprem kuvvetlerinin belirlenebilmesi için etkin yer ivmesi, bina önem ve spektrum katsayıları tanımlanmıştır. Hesap yöntemleri üzerinde durulmuş ve eşdeğer deprem yükü, mod birleştirme ve zaman tanım alanında hesap yöntemlerinden bahsedilmiştir (Alyamaç ve Erdoğan, 2005:712; Cansız, 2022:64, 1998 Deprem Yönetmeliği).

1975 Deprem yönetmeliğindeki malzemelerin teknik kriterleri geliştirilerek, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, C20 veya daha yüksek dayanımlı beton kullanılmasının zorunlu olduğu, dikdörtgen kesitli kolonların en dar kenarının 25 cm'den daha az olmayacağı ve sarılma bölgelerinde Ø8'den daha küçük çapta enine donatının kullanılamayacağı şeklinde düzenlenmiştir (Şenol, 2023:263).

2007- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

Yaşanan büyük depremler sonucunda can ve mal kayıpları sebebiyle 1998 Deprem Yönetmeliğinden sonra Türkiye'de hazır beton kullanımı 2004 yılında zorunlu olmuş ve yapı denetim uygulamaları 2001 yılında başlatılmıştır.

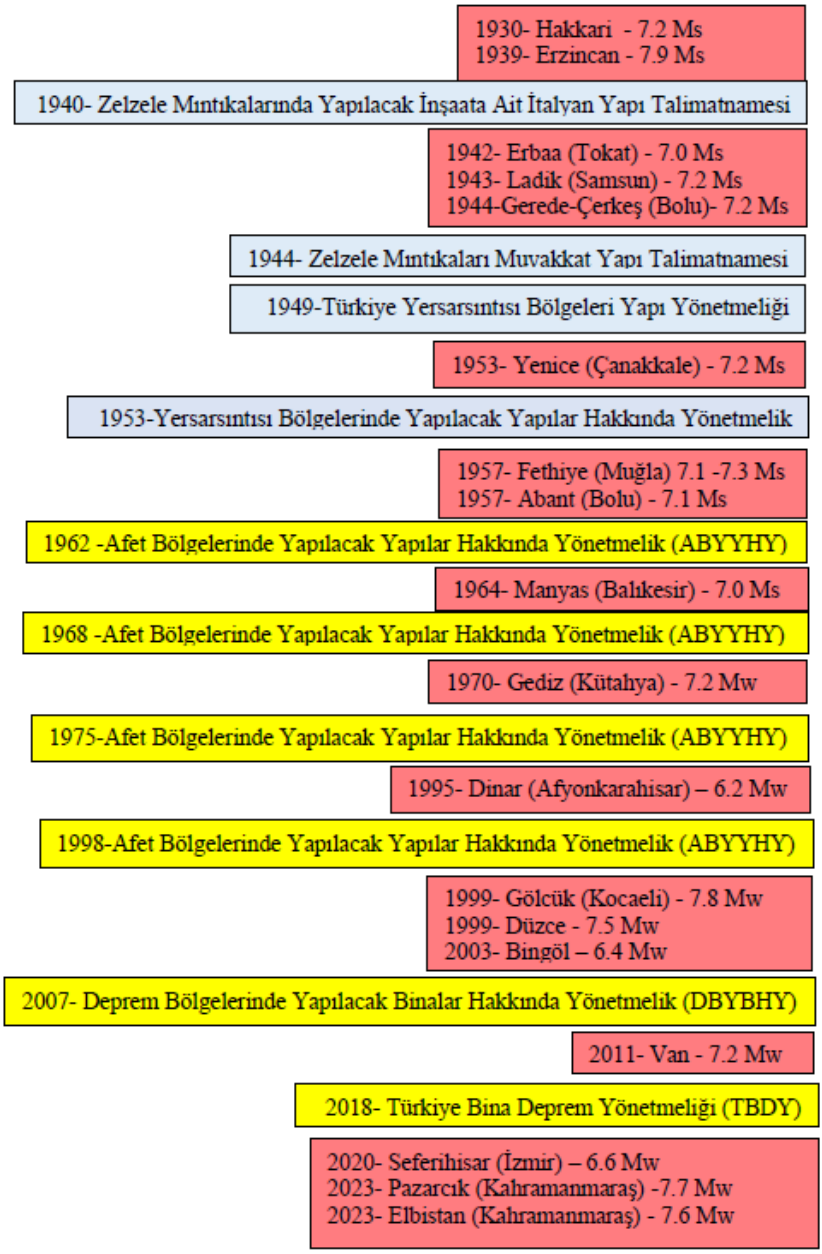
2007 Deprem Yönetmeliği'ndeki deprem hesabında kullanılan yöntemlerde değişiklik olmayıp, genellikle 1998 Yönetmeliği ile aynı kalmıştır. Yönetmelikte ayrıca şekil değiştirme esaslı yaklaşımlar da kullanılmaya başlanmıştır (Cansız, 2022:65; DBYBHY, 2007).

2018-Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

Yönetmelikler içerisinde en kapsamlı olan yönetmeliktir. Bu yönetmelik ile deprem bölgelerine göre değil, noktasal lokasyona bağlı olarak deprem tehlikesi hesaplanmaya başlanmıştır. Yönetmelik, farklı yapıların birden fazla performans hedefine göre tasarıma izin vermektedir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) ile birçok değişikliğe gidilmiştir. Bina kullanım sınıfı, yerel zemin sınıflarının kapsamı, deprem tasarım sınıfları, bina performans düzeyleri, olması gereken minimum beton (tüm yapılarda en az C25 beton kullanılacak), donatı çeliğinin sınıfı, dayanım fazlalığı katsayısı, kolonlarda minimum en kesit boyutlarının artırılarak dikdörtgen kesitler için 25 cm'den 30 cm'ye çıkartılması vb. birçok hususta değişiklik bulunmaktadır.

Türkiye'de 1923-2023 yılları arasında yaşanan 6.2 ve daha büyük depremler ile bu tarihler arasında, yayımlanmış yönetmeliklerin kronolojik sıralaması Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Son yüzyıldaki 6.2 Ms-Mw ve üzeri depremler ile yönetmeliklerin kronolojik sıralaması.

SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye Cumhuriyeti'nde 1923-2023 yılları arasında gerçekleşen yıkıcı nitelikteki depremler (6.2 Ms-Mw ve üzeri) ile aynı tarih aralığında yayımlanarak yürürlüğe giren deprem yönetmelikleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde;

- Türkiye'de günümüze kadar gerçekleşen depremlerde, depremin merkez üssüne yakın olan yerlerdeki yetersiz performansa sahip yapıların bir kısmı, çökerek veya ağır hasar alarak can ve mal kaybına neden olmuştur,
- Deprem etkileri sonrasında, hasar görmüş yapıların hasar nedenleri ve sonuçları değerlendirilerek, uygulanan mevcut deprem yönetmeliklerindeki yetersizlikler iyileştirilerek yeni deprem yönetmelikleri yürürlüğe konmuştur.
- Türkiye'de, özellikle 2000 yılından sonra gerçekleşen yıkıcı depremler sonrasında yapılan hasar tespit incelemelerinde hasarların çoğunlukla; yapısal düzensizliklerden, yapı malzemelerinin yetersiz niteliklerinden, kötü işçilikten ve Deprem Yönetmeliklerine uygun olmayan uygulamalardan kaynaklandığı tespit edilmiştir.
- 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş ilinde meydana gelen ve 11 ili etkileyerek 50 binden fazla can kaybına ve yaklaşık 250 bin binanın yıkımına veya ağır hasar almasına neden olan depremler; mevcut deprem yönetmeliğinin ve özellikle yapı denetim uygulamalarının sorgulanmasına neden olarak, mevcut yapıların deprem performanslarının önceden değerlendirilmesinin önemini bir kez daha ortaya koymuştur.
- Türkiye topraklarının büyük bir çoğunluğunun deprem bölgesinde bulunduğu, depremin doğal bir afet olduğu ve bu gerçeğin değiştirilemeyeceği göz önünde bulundurularak, deprem sonrası can ve mal kayıplarının en aza indirilebilmesi için binaların emniyetli bir şekilde inşa edilmeleri gerekmektedir.
- Mevcut yönetmelikler ile mühendislik ilkelerine uygun olarak tasarlanmamış veya inşa edilmemiş yapıların, gelecekte meydana gelebilecek deprem etkileri sonrasında yıkıcı sonuçlara yol açabileceği unutulmamalıdır.

REFERANSLAR

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1975, İmar ve İskân Bakanlığı, Ankara

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Alyamaç, K. E. ve Erdoğan, A. S., Geçmişten Günümüze Afet Yönetmelikleri ve Uygulamada Karşılaşılan Tasarım Hataları, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 2005.

Ateş, A. (2016). 1999 Düzce Depreminde Zemin Yapı Rezonans Uyuşumuna Bağlı Oluşan Yapı Hasarlarının Araştırılması, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4, 911-925.

Bikçe, M., Türkiye'de Hasara ve Can Kaybına Neden Olan Deprem Listesi (1900-2014), 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 14-16 Ekim 2015, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2015. Retrieved from https://dergipark.org.tr/en/pub/tarihvegunce/issue/35135/389724.

Biricik, A.S., Ceylan, M. A. ve Ünlü, M. (1996). 1 Ekim 1995-Dinar Depremi. Marmara Coğrafya Dergisi, (1), 63-102. Retrieved from https://dergipark.org.tr/en/pub/marucog/issue/448/559501.

Cansız, S. (2022). Türkiye'de Kullanılan Deprem Yönetmeliklerinin Özellikleri ve Deprem Hesabının Değişimi. International Journal of Engineering Research and Development, 14(1), 58-71.

Çatal, H. H. (1997). A report on Dinar earthquake of 1 October 1995, and response spectra. Engineering structures, 19(7), 594-602.

Çatal, H. H. (2019). Deprem Nedeniyle Binalarda Oluşan Hasarlar. In 3rd International symposium on innovative approaches in scientific studies, section: Engineering nd natural sciences, April (Vol. 19, No. 21, pp. 310-315).

DBYBHY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Doğangün, A. (2004). Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey. Engineering Structures, 26(6), 841-856.

İşçi, P.D.C. (2008). Deprem nedir ve nasıl korunuruz. Yaşar Üniversitesi E-Dergisi, 3(9), 959.

Kaplan, H., Yilmaz, S., Binici, H., Yazar, E. ve Çetinkaya, N. (2004). May 1, 2003 Turkey—Bingöl earthquake: damage in reinforced concrete structures. Engineering Failure Analysis, 11(3), 279-291.

Korkmaz, A. ve Uçar, T. (2006). Yumuşak kat düzensizliğinin betonarme binaların deprem davranışında etkisi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik

Fakültesi Dergisi, 11 (2), 65-76 Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/uumfd/issue/21683/233383.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği Araştirma Merkezi, (20 Şubat 2023). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık Mw=7.7 ve Elbistan Mw=7.6 Depremleri Ön Değerlendirme Raporu, Ankara.

Över, S., Özden, S., Demirci, A., ve Gündoğdu, E. (2021). The inferences on the Aegean geodynamic context from 30 October 2020 Samos earthquake (Mw: 6.8). Tectonophysics, 815, 228998.

Şenol, A. F. (2023, April). Kahramanmaraş Depremleri (6 Şubat 2023) Sonrası Hatay İlindeki Yapıların Hasar Durumlarının Değerlendirilmesi. *In International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences (Vol. 1, pp. 75-80).*

Şenol, A. F. (2023, July). Betonarme Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi: Binanız Depreme Ne Kadar Dayanıklı?. *In International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences (Vol. 1, No. 1, pp. 262-267).*

TBDY, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

İNTERNET KAYNAKÇA

http://www.duzce.gov.tr/12-kasim-duzce-depremi

http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/buyuk-depremler/

https://deprem.afad.gov.tr/

https://dinar.meb.gov.tr/www/1-ekim-dinar-depremi/icerik/4214#gallery-1

https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml

https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml

https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/sites/default/files/inline-images/deprem_siddeti_Mercalli_Olcegi_0.jpg

http://www.ek.yildiz.edu.tr//images/images/yayinlar/vandeprem.pdf

https://imop.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/10bbe21c635d042_ek.pdf

http://www.tmmob.org.tr/icerik/jfmo-21-yilinda-17-agustos-1999-golcuk-depremi

Bölüm 5

Zeolit ve Mühendislikte Kullanımı

Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU[1]
Zülfü GÜROCAK[2]

[1] Arş. Gör. Dr.; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü. yaslan@firat.edu.tr ORCID No: 0000-0002-3135-5926

[2] Prof. Dr.; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü. zgurocak@firat.edu.tr ORCID No: 0000-0002-1049-8346

ÖZET

Zeolitler çok uzun yıllardan beri birçok farklı endüstride ve üründe kullanılmakta ve kullanımı gün geçtikçe hızla artmaktadır. Kirlilik kontrolü, enerji, tarım ve hayvancılık, madencilik ve metalürji, inşaat sektörü, ilaç, deterjan, kâğıt sektörü vb. gibi çok çeşitli alanlarda kullanım alanına sahip olan zeolitler özellikle inşaat sektöründe beton ve çimento üretiminde katkı olarak kullanılmakta ayıca problemli zeminlerin stabilizasyonu ve bu zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesinde tercih edilmektedir. Zeolit dışında bu amaçla kullanılabilen çok sayıda malzeme bulunmakta ancak ekonomik ve kolay ulaşılabilir olan, çevre dostu, insan ve tüm canlıların yaşamında olumsuz etki oluşturmayan, sürdürülebilir, bol miktarda doğal olarak bulunan malzemeler oldukça önem taşımaktadır. Türkiye de geniş yayılım gösteren zeolitlerin çimento ve beton üretiminde kullanımı çevresel olumsuz etkilerin azaltılmasında ve ekonomiye katkısından dolayı önem arz etmektedir. Ayrıca zemin stabilizasyonunda alternatif bir katkı malzemesi olarak kullanımı da yapılacak olan yeni çalışmalarla daha fazla geliştirilerek literatüre ışık tutacaktır.

Anahtar Kelimeler: Beton, çimento, zemin stabilizasyonu, zeolit

GİRİŞ

Nüfus ve kentleşme oranındaki artışa bağlı olarak hem yapı sayısı, hem de yapıların inşa edilebileceği uygun yer ve beton imalatında kullanılacak malzeme arayışı gün geçtikçe artmaktadır. Burada yapıların inşa edileceği alanlardaki zeminlerin mühendislik özellikleri ön plana çıkmaktadır. Nitekim her zaman mühendislik özellikleri uygun zemin bulmak mümkün olmamaktadır. Zeminin uygun mühendislik özelliklerine sahip olmaması durumunda ise zemin özelliklerinin iyileştirilmesiyle inşa çalışmalara devam etmek mümkündür. Zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik çok sayıda yöntem bulunmakla birlikte bunlardan bazıları kompaksiyon, patlatma, drenaj, kimyasal stabilizasyon (kireç, çimento, uçucu kül, silis dumanı, volkanik tüf, kül vb.), derin karıştırma, vibro-kompaksiyondur. Kimyasal stabilizasyon yöntemi ile bu anlamda başarılı sonuçlara ulaşılmıştır. Ancak kullanılan katkıların doğal, ekonomik, doğada bol miktarda bulunan ve çevre kirliliğine sebep olmayan malzemelerden seçilmesi oldukça önemlidir. Zeolitler de bu malzemelerden biri olup, mühendislik çalışmalarındaki yeri ve öneminin araştırılması ve geliştirilmesi hem zemin stabilizasyonu hem de çimento ve beton üretimindeki önemi vurgulanmış olacaktır. Türkiye de bol miktarda bulunan zeolitlerin sürdürülebilir bir şekilde çimento ve beton üretiminde kullanımı çevresel olumuz etkilerin azaltılmasında ve zeolitlerin ekonomiye katkılarından dolayı önem arz etmektedir.

Bu çalışmada zeolitlerin oluşumu, üretimi, kullanım alanları ve mühendislik çalışmalarındaki yeri ve önemi konusunda bilgiler verilmiş olup zemin iyileştirme çalışmaları ve inşaat sektöründeki kullanımına dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Böylelikle zeolitin kullanıldığı mühendislik çalışmaların artırılması, zeolitin öneminin daha etkili bir şekilde ortaya konmasına olanak sağlayacak ve gelecekte yapılacak bilimsel çalışmalara ışık tutacaktır.

ZEOLİT

Tanımı ve Bileşimi

Zeolitin bilinen ilk kullanımları Roma İmparatorluğuna kadar uzanmaktadır. Su kemerlerinden şehirlere geçen suların arıtılmasına yardımcı olmak için ayrıca Türkiye ve Yunanistan'da yazın serin, kışın sıcak tutmak için ev yapımında kullanılmıştır. Zeolit ABD'de 1950'lere kadar keşfedilmemişti. 1970'lerde amonyak ve radyoaktif maddelerin arıtılmasında kullanıldı. O zamandan beri, mineralin filtreleme ve emme yeteneği daha iyi anlaşılmış, yüzme havuzlarında kum filtrelerine çok daha üstün bir alternatif olarak ve temiz içme suyu elde etmek için kullanılmıştır (URL-1).

1756 yılında İsveçli mineralog ve kimyacı olan Frederic Cronstedt'ın minerallerin bazılarının ısıtılarak şiddetli su buharı çıkışıyla kaynadığını ve eridiğini gözlemesiyle zeolitlerle ilgili çalışmalar başlamıştır. F. Cronstedt, yapılarında bulunan suyu çıkarırken köpürmesi nedeniyle bu malzemeleri Yunanca "zein" kaynayan ve "lithos" taş anlamındaki kelimelerden oluşan "zeolit" olarak adlandırmıştır (Huxtable ve Poole, 1976; Yörükoğulları, 1985). Zeolitler alkali ve toprak alkali sulu alümina silikat olarak tanımlanırlar. Feldispat ve feldispatoid gibi tektosilikat grubanda olan zeolitler (Kumbasar, 1977; Yörükoğulları, 1985) bileşim ve bulunuşları açısından birbirine benzeyen birçok sulu silikat mineralini kapsamaktadır. Sodyum kalsiyum ve alüminyum sulu silikatlar olan bu mineraller bazen potasyum ve baryum da içerirler (Yazıcıoğlu, 2016).

Zeolitler temelde SiO_4 ve AlO_4 dört yüzeylilerin üç boyutta sonsuz bağlanmaları ile oluşan temel silikat yapısına sahiptir ve yapısındaki her oksijen iki dörtyüzlü tarafından paylaşılır. Böylece O/(Al-Si)=2 atomik oranı gerçekleşir. Üç değerli alüminyumun dört yüzeylilerde yer almasından dolayı açığa çıkan eksi yükün Ca, Na, K gibi artı yüklü alkali metal ve toprak alkali iyonları tarafından dengelenmeleri gerekir. Tam dengeli bir yapıda alüminyum silisyumun yerini en fazla 1/1 oranında alabilir. Bu durum, aynı temel silikat yapısına sahip feldispat grubu minerallerde eksi yükün Ca, Na, K gibi katyonlar tarafından dengelenmesi şeklinde ifade edilebilir. Ancak feldispatlarda artı yüklü katyonlar yapı içindeki küçük boşluklarda yer alırlar ve oksijen atomları ile çepeçevre sarılmaları nedeniyle yapı bozulmadan yer değiştiremezler. Aynı durum zeolitlerde ise farklı durum göstermektedir (Küçükyıldırım, 2013).

Zeolitler kafes yapılarında silis, alüminyum ve oksijen bulundururken, gözeneklerinde su ve katyon bulunduran mikro gözenekli kristal yapıdadır. Silikat minerallerine göre çok açıklıklı bir kafes yapısına sahip oldukları için yoğunlukları daha düşüktür. Ortak oksijen atomu sayesinde, alüminyum ve silis atomları birbirine tetrahedral olarak tutunmuştur (URL, 2; Gülen vd. 2012).

Şekil 1: Zeolitlerden Bir Görünüm

Zeolitin Yapısı ve Türleri

Zeolitin minerolojik yapısı incelendiğinde killerle aynı alümino silikat ailesindendir ancak kristal yapıları farklılık göstermektedir. Killer tabakalı yapıya sahip olarak emilen suyun tabakalar arasındaki hareketi sonucu şişme – büzülme deformasyonu gösterirken zeolitler bir birine kanallar ile bağlı olan, sert ve bal peteği gibi üç boyutlu bir kristal yapıya sahiptir. Ayrıca bu kristal yapı sudan etkilenmez ve kanallar arasında su serbest bir şekilde hareket etmektedir. Zeolit kristal yapısındaki düzgün kanallar ve gözenek yapısı sayesinde moleküler elek özelliği göstermektedir Bu kanallar molekül ve katyonların zeolitin yapısından geçişinde yol görevi üstlenmekte ve sahip olduğu bu özellik ile moleküler elek olarak nitelendirilmektedir. Bir ortamda istenen molekülleri tutmak ya da istenmeyen molekülleri uzaklaştırmak gerektiği durumlarda zeolitlerin bu özelliğinden yararlanılmaktadır. Zeolitler negatif yük taşıyan sadece birkaç mineralden biri olması nedeniyle pozitif yüklü atomlar zeolit kanallarında tutularak sistemden uzaklaştırılır (URL-1).

Bilinen 150 tür zeolit minerali vardır ve bunlardan 40 tanesi saf ve doğal olarak bulunmaktadır. Bu zeolit türlerinden 14 tanesi endüstriyel madde olarak kullanılmaktadır. Doğal zeolitlerden en çok bilinenleri lamontit, natrolit, şabazit, hölantin, klinoptilolit, filipsit ve analsimdir (Köktürk, 1995).

Tablo 1: Bazı Zeolit Minerallerinin Fiziksel Özellikleri (DPT, 1996)

İsim	Formül	Boşluk kısım (%)	Ana kanalların serbest açıklıkları (Å)	Isıl kararlılık
Analsim	Na_{16} ($Al_{16}Si_{32}O_{96}$). $16H_2O$	18	2.6	Yüksek
Şabazit	$Ca_2[(AlO_2)4(SiO_2)_8]$ $18H_2O$	47	3.7x4.2	Yüksek
Klinoptilolit	(Na_3,K_3) $(Al_6Si_{30}O_{72}).24H_2O$	34	3.9x5.4	Yüksek
Erionit	$(Na,Ca,K)_9$ $(Al_9Si_{27}O_{72}).27H_2O$	35	3.6x5.2	Yüksek
Hölandit	$Ca_4(Al_8Si_{28}O_{72})$. $24H_2O$	39	4.0x5.5 4.4x7.2 4.1x4.7	Düşük

Tablo 2: Bazı Zeolit Minerallerinin Fiziksel Özellikleri (Tablo 1 Devamı, DPT, 1996)

İsim	İyon değiştirme kapasitesi (meq/g)	Özgül Ağırlık (g/cm^3)	Çerçeve yoğunluğu (g/cc)	Açıklamalar
Analsim	4.54	2.24-2.29	1.85	Sedimanter kayaçlarda bulunur
Şabazit	3.84	2.05-2.10	1.45	Sedimanter kayaçlarda bulunur
Klinoptilolit	2.16	2.16	-	Sedimanter kayaçlarda bulunur
Erionit	3.12	2.02-2.08	1.51	Sedimanter kayaçlarda bulunur
Hölandit	2.91	2.18-2.20	1.69	Sedimanter kayaçlarda bulunur

Şekil 2: Bazı Zeolit Türleri

Doğal ve yapay zeolitler için geçerli olan özellikler, kristal yapı, adsorblama, iyon değişimi, molekül eleme, silisçe zengin kimyasal birleşimdir (Köktürk, 1995). En çok tercih edilen türü olan klinoptilolit yüksek adsorbsiyon kapasitesi ve katyon değişimi yeteneğine sahiptir.

Doğal zeolit yataklarının oluşumu aşağıdaki gibidir.

1.Suyu tuzlu göllerde biriken volkanik malzemelerin göldeki tuzlu su ile reaksiyonu sonucu oluşan yataklar,

2.Suyu tatlı veya tuzlu olan açık göllerde biriken volkanik malzemelerin göldeki su ile reaksiyonu ile oluşan yataklar

3..Kıyıda veya derin denizel ortamlarda volkanik malzemelerin birikerek deniz suyu ile reaksiyonu ile oluşan yataklar,

4.Al-Si sedimanter veya volkanik malzemelerin düşük ısılı gömülme metamorfizması sebebiyle oluşan yataklar,

5.Al-Si'li malzemelerin sıcak kaynak veya hidrotermal suları ile karşılaşması sonucu bu Al-Si'li içeriğin bozulması sonucunda oluşan yataklar,

6.Çoğunlukla ikinci zaman tortularında rastlanan ve orjinlerinin volkanik olup olmadığı bilinmeyen, gölsel veya denizel ortamlarda meydana gelen zeolit yatakları (Köktürk, 1995, Gülen vd. 2012) şeklindedir.

Tablo 3: Doğal Zeolitlerin Oluşumu (Köktürk, 1995)

Oluşum Tipi	**Sıcaklık (ºC)**	**Cinsi**
Derin Deniz Çökeltileri	4-50	Filipsit Klinoptilolit Analsim
Bozunma		Filipsit Klinoptilolit, Şabazit, Erionit, Mordenit
Alkali ve Tuzlu Göller	20-50	Gismodin Fojasit, Gonaidit, Natrolit, Analsim
Süzülen Yeraltı Suları (bazik tefra)		Holandit
Süzülen Yeraltı Suları (asidik tefra)		Filipsit Şabazit, Erionit, Mordenit, Tomsonit, Mesolit
Sığ Gömülme Diyajenezi (Düşük Isılı Hidrotermal)	25-100	Skolesit, Holandit, Stilbit
Deniz Gömülme Diyajenezi (Orta Isılı Hidrotermal)	100	Lamonit, Analsim
Düşük Metamorfizma	200	Warakit, Yugovaralit, Analsim
Primer Magmatik		Analsim

Dünyadaki zeolit rezervleri 1950'lerden sonra belirlenmeye başlamış ve zeolitin en fazla üretildiği yer Çin'dir. Diğer üretici ülkeler arasında Japonya, Küba, Bulgaristan, ABD, Macaristan ve İtalya bulunmaktadır (Soylu, 2017). Ülkemizde zeolitler 1971 yılında Gölpazarı-Göynük yakınlarında tespit edilmiş olup en fazla hölandit, analsim ve klinoptilolit minerallerinden oluşurken diğer türleri kısmen sınırlı bulunmuştur (Köktürk, 1995, Soylu, 2017). Volkanikler içinde zeolit sınırları henüz bilinmediğinden ülkemizde net rezerv belli değildir. Ancak 50 milyar ton zeolitik tüfün Balıkesir-Bigadiç bölgesinde bulunduğu belirlenmiştir (Esenli, 1998, Akgün, 2016). Türkiye'de belirlenen zeolit yatakları ve türleri Tabloda verilmiştir.

Tablo 4: Ülkemizde Zeolit Türleri ve Yatakları (Köktürk, 1995; Soylu, 2017)

Zeolit Yatakları	Türleri	Zeolit Yatakları	Türleri
Bahçecik, Gölpazarı, Göynük	Analsim	Kütahya-Şaphane	Klinoptilolit
Polatlı, Mülk, Oğlakçı, Avaş, Mallıhan (Beypazarı, Mihalıççık)	Analsim	İzmir-Urla	Klinoptilolit
Kalecik, Çandır, Şabanözü, Hasavaz	Analsim	Gördes	Klinoptilolit
Balıkesir-Bigadiç	Klinoptilolit	Kapadokya yöresi	Klinoptilolit, Şabazit, Mordenit, Erionit
Emel-Yukarı Yoncaağaç	Klinoptilolit	Geniz, Hisarcık	Klinoptilolit

Zeolitin Üretimi

Genel olarak yatay bir şekilde yataklanma gösteren zeolit madeninde yataklanmaların büyük bir çoğunluğunda az örtü bulunurken bir kısmında da bulunmamaktadır. Bundan dolayı bütünüyle açık ocak işletme yöntemi ile işletilmektedir. Zeolit kayaçları, kalite yönünden triyaj ile ayrıldıktan sonra kırma-eleme tesisinden geçirilirek, kullanım alanlarına göre boyutlandırma ve paketlenmeleri yapılmaktadır. Ülkemiz ve dünyadaki zeolit üretim yöntemleri hemen hemen aynıdır. Ocaktan alınan ham cevher kırma-eleme ünitelerinde kırılıp sınıflandırılmaktadır. Dünyadaki ve ülkemizdeki üretim teknolojileri benzerdir ancak tesis büyüklükleri ve ülkemizdeki tesislerde kurutma üniteleri bulunmaması açısından farklılık göstermektedir. Zeolit üretimi ham cevherin doğadan çıkarıldıktan sonra kırma-kurutma, eleme ve boyutlandırma aşamalarından oluşması sebebiyle üretim anlamında hammadde girdisi bulunmamaktadır. Ancak işgücü, elektrik ve akaryakıtın üretim girdisi olarak değerlendirilmesi mümkündür (DPT, 2001).

ZEOLİTİN KULLANIM ALANLARI

Doğal zeolitler endüstriyel hammadde olarak son yıllarda oldukça önem kazanmıştır ve aşağıda sayılan çok fazla kullanım alanı bulunmaktadır. Bu kullanım alanları alt bölümlerde özetlenmeye çalışılmıştır.

Kirlilik Kontrolü

Adsorbsiyon ve iyon değiştirme özelliklerinden dolayı zeolit mineralleri gün geçtikçe kirlilik kontrolünde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (DPT, 2001).

- Radyoaktif Atıkların Temizlenmesi

Çevreye olumsuz etkileri olan ve nükleer santral atıklarında bulunan Co^{60}, Cs^{137}, Sr^{90}, Ca^{45} vb. izotoplar zeolitler ile tutulabilmektedir. Atık sulardan alınan

radyoaktif atıkların, zeolit ile beraber gömülmesiyle zararları ortadan kaldırılabilmektedir. Klinoptilolit ve mordenit asitlere dayanıklı olmaları sebebiyle bu alanda sıklıkla kullanılmaktadır (DPT, 2001).

- Atık Suların Temizlenmesi

Zeolitler atık sularda bulunan azot ve ağır metal katyonlarını tutma özelliğine sahiptir (DPT, 2001).

- Baca Gazlarının Temizlenmesi

Zeolitlerin adsorblayıcı özelliği ile petrol ve kömürün kullanıldığı tesislerdeki baca gazları (CO_2, SO_2 ve diğer kirletici gazlar) ayrılabilmektedir (DPT, 2001).

- Petrol Sızıntılarının Temizlenmesi

Bu alanda aktifleştirilmiş zeolit, genleştirilmiş perlit, sodyum karbonat, tartarik asit ve %20 metilsiloksan içeren bir bağlayıcıyla peletlenmiş halde kullanmaktadır (DPT, 2001).

- Oksijen Üretimi

Göl ve akarsulardaki oksijen az olduğunda bu sularda yaşayan canlıların yok olmasına sebep olmakta ve kapalı ortamdaki oksijenin az olması ise insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Oksijence zenginleştirilmiş hava, zeolitler sayesinde bu tür ortalamalara sağlanabilir (DPT, 2001).

- Çöp Deponi Alanları

Bentonit ve klinoptilolit birlikte kullanıldığında zemin kararlılığı olumlu yönde etkilenmekte ve zemin daha ince astar malzemesi ile oluşturulabilmektedir (DPT, 2001).

Enerji

Dünyada gün geçtikçe artan enerji talebi, petrol ve kömürün yanı sıra güneş enerjisi ve nükleer enerji gibi farklı kaynaklardan giderilmeye çalışılmaktadır. Yapay ve doğal zeolitler bahsedilen bu kaynakların enerjiye dönüştürülmesi aşamasında kullanılmaktadır.

- Yer altında kömürün yakılabilmesi için gereken oksijenin üretilmesinde ve yanma esnasında oluşan SO_2 'nin yanında patlayıcı özellikteki azotoksit ve hidrokarbonların temizlenmesinde zeolitler kullanılmaktadır (DPT, 2001).

- Doğal Gazların Saflaştırılması

Uzun yıllardan buyana zeolitler saf olmayan veya kirli doğal gazlardan CO_2'nin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır (DPT, 2001).

- Güneş Enerjisinden Faydalanma

Zeolitler sıcaklığa bağlı olarak su verip alma özelliğine sahiptir. Şabazit ve klinoptilolit üzerindeki uygulamalarda, küçük yapıların ısıtılması ve klimatize

edilmesi mümkün olmaktadır. Güneş enerjisinin transferinde ısı değiştirici olarak zeolitler kullanılabilmektedir (DPT, 2001).

- Petrol Ürünleri Üretimi

Gaz ve petrol üretiminin yanısıra bunların rafinasyonunda doğal zeolitler kullanılırken şabazit, klinoptilolit ve mordenit kullanılarak tabii gazlardan su ve CO_2 ayrılmaktadır (DPT, 2001).

Tarım ve Hayvancılık

Gübrelerdeki kötü kokunun yok edilmesi, asidik volkanik toprağın pH'ının yükseltilmesi için zeolitli tüfler kullanılabilmektedir (DPT, 2001).

- Gübreleme ve Toprak Hazırlanması

Zeolitler sulamadan dolayı oluşan mantar hastalıklarını engellemektedir. Gübrelerde depolama sırasında nem fazlasını adsorpladığı için pişme ve sertleşmeyi klinoptilolit önlemektedir (DPT, 2001).

- Tarımsal Mücadele

Yüksek absorplama ve iyon değiştirme kapasitesine sahip olduğu için ilaç taşıyıcı olarak doğal zeolitler tercih edilmektedir (DPT, 2001).

- Toprak Kirliliğinin Kontrolü

Bitkiye besleyici iyonların aktarılması ve bazı ağır metal katyonlarının tutulmasında doğal zeolitlerden faydalanılmakta olup bitkinin aldığı S^{90} oranını, toprağa eklenen klinoptilolitin önemli oranda azalttığı belirlenmiştir (DPT, 2001).

- Besicilik

Domuz, tavuk gibi hayvanların yemlerine zeolit katılmasıyla ağırlıklarının arttığı ve üstelik sağlık problemi yaşamadan bunun gerçekleştiği bilinmektedir. Modernit ve klinoptilolitin bu zeolitlerin başında gelmektedir (DPT, 2001).

Organik Atıkların Muamelesi

Dışkılardaki kötü kokunun giderilmesi, nem içeriklerinin kontrolü ve dışkılarının oksijensiz ortamda çürümesiyle oluşan metan gazının diğer gazlardan ayrılması doğal zeolitler ile mümkündür (DPT, 2001).

- Su Kültürü

Klinoptilolitten biyolojik artıklar nedeniyle kirlenen suların temizlenmesinde faydalanılmaktadır. Ayrıca oksijence temiz havanın sağlanmasında doğal zeolitler kullanılmaktadır (DPT, 2001).

Madencilik ve Metalürji

- Maden Yataklarının Aranması

Zeolitler, volkanik malzemenin hidrolizi sonucu oluşmakta cevher aramalarında ve yataklarının oluşumların açıklanmasında kullanılmaktadır. Ülkemizde borat oluşumlarının zeolitik tüfler ile ilişkileri oldukça dikkat çekicidir (DPT, 2001).

- Metalurji

Metalurji ve madencilik uygulamaları sırasında ortaya çıkan atık sular bazı ağır metal katyonları içermektedir ve bunlar çevre sağlığını tehdit etmektedir. Doğal zeolitlerin sahip olduğu katyon değiştirme özelliklerinden yararlanılarak bu suların arıtılması sağlanmaktadır. Ayrıca Cu-Pb alaşımlarının eritilmesinde ortaya çıkan zararlı dumanlar $CaCO_3$ ve doğal zeolit karışımları ile %90 oranında yok edilebilmektedir (DPT, 2001).

İnşaat Sektöründe Kullanımı

İnşaat sektöründe puzolan çimentosu, hafif agrega ve boyutlandırılmış taş uygulamalarında zeolitlerden yararlanılmaktadır. Yol, bina ve su geçidi gibi yapıların yapılması amacıyla bilinen ilk puzolan çimentosu İtalya'da zeolitik tüflerin kullanılmasıyla üretilmiştir. Yapıların su ile devamlı temas halinde olması durumunda zeolitik puzolan çimentoları tercih edilmektedir. Zeolitik tüfler Almanya, Yugoslavya ve Bulgaristan'da puzolan çimentosu üretiminde kullanılmaktadır (Sarıkaya, 2006).

Genleştirilmiş doğal zeolitler, aşınma ve sıkışmaya karşı yüksek dayanıma sahip olmalarından dolayı bu zeolitlerden genleştirilmiş hafif agrega üretimi yapılmaktadır. Yapı endüstrisinde, düşük ağırlık, yüksek gözeneklilik, homojen, sıkı-sağlam yapı gibi özelliklere sahip olan bu doğal zeolitik tüfler hafif yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Zeolitler hidrolik çimentolarda oldukça önemli olmakla birlikte hafif yapı malzemesi üretiminde kullanıldığında depreme karşı yapı güvenliğini artırmaktadır (Sarıkaya, 2006).

Doğal zeolit oluşumu bakımından ülkemiz uygun jeolojik koşullara sahiptir ve Gölpazarı-Göynük çevresinde 1971 yılında ilk defa analsim oluşumları belirlenmiştir. Ülkemizde analsim ve klinoptilolit daha fazladır ve yatakları Ankara'da bulunmuştur. Başka zeolit türleri ise çok daha azdır. En önemli zeolit yatakları Manisa-Gördes ve Balıkesir-Bigadiç'tedir ve toplam zeolit rezervinin ülke genelinde yaklaşık 50 milyar ton olduğu düşünülmektedir (Yazıcıoğlu, 2016).

Diğer Kullanım Alanları

- Kâğıt Endüstrisi

Zeolitin parlaklığı yüksektir ve dolgu maddesi olarak kâğıt endüstrisinde kullanılmaktadır. Kil katkılı kağıtlara göre, klinoptilolit katkılı kağıtlar daha tok ve daha kolay kesilebilme özelliğine sahiptir (DPT, 2001).

- Sağlık Sektörü

Doğal zeolitler parlatıcı katkı malzemesi olarak diş macunlarında tercih edilirken Küba'da ilaç olarak ishal ve ülserin tedavisinde klinoptilolitlerden yararlanılmaktadır (DPT, 2001).

- Deterjan Sektörü

Sentetik zeolitler deterjan katkı malzemesi olarak fosfatın yerine kullanılmaktadır (DPT, 2001).

ZEOLİTİN MÜHENDİSLİK UYGULAMALARINDA KULLANIMI

Zeolitler mühendislik uygulamalarında özellikle beton ve zeminde doğal, doğada bol miktarda bulunmaları nedeniyle katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır ve bununla ilgili yapılmış çalışmalar aşağıda anlatılmıştır.

Zeolit Kullanımı ile İlgili Bilimsel Çalışmalar

Serbest (1999), farklı iki bölgeden alınan, içerisinde klinoptilolit olan zeolitik tüf örneklerinde yapılan deneysel çalışmalarla hafif yapı endüstrisinde klinoptilolitin kullanılabilirliği incelenmiştir. Çalışmada Manisa-Gördes ve Balıkesir Bigadiç bölgelerinden çıkarılan doğal zeolitler kullanılarak hafif yapı malzemesi olarak tanımlanan anafom üretilmiştir. Anafomun kullanılmasının büyük oranda enerji tasarrufu sağlayacağı ayrıca daha sağlam ve ekonomik yapıların inşa edilebileceği belirtilmiştir.

Canpolat ve Yılmaz (2002), uçucu kül ve doğal zeolitin sülfata karşı olan dayanıklılığının incelendiği çalışmada %5 ve %10'luk sodyum sülfat çözeltileri kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar standart harçlarda ve çimento ağırlığının %20 ve %30 oranlarında ikameli olarak doğal zeolit, %15 zeolit + %5 uçucu kül ve %25 zeolit + %5 uçucu kül katılmış harçlarda gerçekleştirilmiştir. 90. güne kadar yüksek konsantrasyonda dahi çimentoya zeolit katılmasıyla harcın sülfata karşı dayanıklılığında olumlu katkı sağladığı ifade edilmiştir.

Okucu (2004), yaptığı çalışmasında zeolitik tüflerin çimento katkı maddesi olarak değerlendirilmesini incelemiş ve yapılan deneysel çalışma sonuçları değerlendirildiğinde zeolitik tüflerin özgül ağırlıklarının düşük, yüksek puzolanik aktivite, basınç dayanımı, özgül yüzey ve kolay öğütülebilirlik özelliği sayesinde katkılı çimento üretiminde kullanılabileceğini belirlemiştir.

Sarıkaya (2006), çalışmasında Atabey agregası ve Manisa-Gördes yöresinde bulunan zeolit agregasını kullanarak elde ettiği betonlarda deneysel çalışmalar yapmış, fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Deneysel çalışmalar

sonucu artan zeolit miktarıyla üretilen betonların ultrases hızı, artmıştır, normal betonla kıyaslandığında katkılı betonun ultrases hızı yüksektir. Zeolit miktarının artmasıyla üretilen betonların Schmidt Sertlikleri azalmış olup, normal betona kıyasla katkılı betonun Schmidt Sertlikleri ise yüksektir. Zeolit miktarının artmasıyla üretilen betonların basınç dayanımları azalma göstermiş, normal betona kıyasla katkılı betonun basınç dayanım değerleri yüksektir. Zeolit miktarının artış göstermesiyle katkılı betonun eğilme dayanım değerleri ise azalmıştır.

Taban ve Şimşek (2009), zeolitik tüf örneğinin tras olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada %0, 10, 20, 30 ve 40 oranında CEM I 42,5 R çimentosu yerine zeolitik tüf ikame edilerek kullanılmış ve kontrol örneklerinden sonra en yüksek eğilme ve basınç dayanım değerinin %10 zeolitik tüf katkılı çimento harçlarından elde edildiği belirlenmiştir.

Demirbaş (2009), tarafından yapılan çalışmada Bigadiç zeolitinin (bor yan ürünü) zeminin şişme potansiyeline olan etkisi incelenmiş ve kullanılan zemin numunesi laboratuvarda kaolin ve bentonit karıştırılarak hazırlanmıştır. Ağırlıkça %0 ile 25 oranında Bigadiç zeoliti eklenmiştir. Deney sonuçlarına göre, Bigadiç zeoliti ilavesiyle laboratuvarda yapay olarak hazırlanan zeminin şişme potansiyelinin ve şişme hızının azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca stabilize edilmiş örneklerin şişme yüzdesi ve şişme hızı değerlerinde kürün olumlu etkileri gözlenmiştir

Gökçe vd. (2010), kırmataş agregaların, harç karışımlarında farklı oranlarda zeolitik tüfün çimento yerine kullanılmasıyla alkali-silika reaksiyonu (ASR) ile ilişkili özelliklerini belirledikleri çalışmada reaktif agregaların ASR'sini önlemede zeolitik tüf ilavesinin etkisi ortaya konmuştur.

Taban (2010), zeolitik tüf ilavesinin beton özellikleri ve betonarme çeliği korozyonu üzerine etkilerini incelediği çalışmada Balıkesir-Bigadiç'te yüzeyleme veren kayalardan aldığı zeolitik tüfün puzolan olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışma sonucuna göre %30 zeolitit tüf katkısıyla betonun özellikle deniz suyunun gel-git etkisi durumunda, betonarme çeliğine lokalize korozyona karşı en iyi koruma sağladığını belirlemiştir.

Sevim ve Okumuş (2011), betonun geçirimlilik ve dayanım özellikleri üzerinde silika dumanı ve doğal zeolitin etkisini araştırmış ve Manisa-Gördes yöresinden elde edilen doğal zeoliti kullanmıştır. Deneysel çalışmalara göre doğal zeolitin mineral katkı olarak çimentoyla ağırlıkça %20 oranında yer değiştirilerek kullanılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca %10 ve %20 zeolit katkılı örneklerinin kontrol betonuna göre su geçirgenliğinin düşük ve dayanımın yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışmada en yüksek basınç dayanımı değerine %10 zeolit ve %8 silis dumanı içeren örneklerde ulaşılmıştır.

Shi (2012), zemin stabilizasyonunda bağlayıcılarda Portland çimentosunun neden olduğu çevresel etkiyi azaltmak için, Portland çimentosunun bir yüzdesinin yerine zeolitin seçildiği çalışmada serbest basınç dayanımı, zemin stabilizasyonunun performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Deney sonuçları, zeolit-portland çimentosu karışımlarının en yüksek serbest basınç dayanımı değerini killi siltte 90 günde, %10 içerik bağlayıcı oranında 1.28 MPa olarak elde edildiğini göstermiştir. Zeolit-portland çimentosu karışımları için en yüksek serbest basınç dayanımı değeri çakıllı kumda 90 günde ve %10 içerikli bağlayıcı oranında 7.65 MPa olarak belirlenmiştir. Pülverize yakıt külü-portland çimentosu karışımları, aynı oran ve aynı deney süresi ile zeolit-portland çimentosu karışımlarından daha düşük serbest basınç dayanımı değerleri vermiştir.

Bideci vd. (2013), %0, 5, 10, 15 ve 20 oranlarında zeolit katkısını portland çimentosunda kullanarak harç özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve %10 zeolit katkılı çimento harçlarının, katkılı çimento açısından en uygun değerleri verdiğini belirlemiştir.

Dayı vd. (2013), yaptıkları çalışmada portland kompoze çimento üretiminde uçucu kül, zeolit ve atık camın kullanılabilirliğini araştırmıştır. Deney sonuçlarına göre, üretilen portland kompoze çimentoların TS EN 197-1'e uygun olduğunu, zeolit, uçucu kül ve atık camın katkı malzemesi olarak çimento üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Özen, (2013), Gördes, Aliağa ve Bigadiç bölgelerindeki klinoptilolit; Foça bölgesindeki mordenit; Ayvacık bölgesindeki analsimin mineralojik özelliklerinin ve puzolanik aktivitesinin incelendiği çalışmada Bigadiç'teki klinoptilolitce zengin tüfün 28 günlük dayanımının kontrol çimentosundan %10 kadar yüksek olduğu belirlenmiştir. Gördes'teki klinoptilolitce zengin tüfün basınç dayanımının ise kontrol çimentosundan biraz daha fazla olduğu ve yüksek dayanımın sadece yüksek kireç bağlama kapasitesine bağlı olmadığı doğrulanmıştır.

Turkoz ve Vural (2013), tarafından yapılan çalışmada çimento ve doğal zeolit katkılarının killi zeminlerin dağılabilirlik özelliklerine ve şişme potansiyeline etkisi incelenmiş ve sabit yüzdeli çimento (%3) ve farklı oranlarda doğal zeolit (%1, 3, 6, 10, 15 ve 20) dört ayrı killi zemin örneğiyle karıştırılmıştır. Bu çalışmada çimento ve zeolit katkılarının karışımının dört farklı plastisite özelliğine sahip killi zemin örneklerinin sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) ve değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerlerine bağlı olarak dağılma ve şişme özelliklerini iyileştirdiği gibi, dayanım değerlerinde de önemli artışlar meydana getirdiği gözlenmiştir.

Mola-Abasi ve Shooshpasha (2016), çalışmalarında deneysel bir programa dayalı olarak zeolitin çimentolu kumların özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonuçlarına göre, 28 gün sonra %30 oranında çimento zeolit ile değiştirildiğinde, çimentolu kumun serbest basınç dayanımında ve bozulma özelliklerinde iyileşmeler olduğu belirlenmiştir. Dayanım iyileştirme oranının yaklaşık olarak %20 ile %78 arasında belirlendiği çalışmada çimento miktarı ve gözeneklilik arttıkça zeolit kullanımının etkinliğinin arttığı ifade edilmiştir.

Yazıcıoğlu (2016), katkı malzemesi olarak Manisa/Gördes bölgesindeki klinoptilolit ve Ordu/Perşembe bölgesindeki analsimin kullanımını incelediği çalışmada her iki doğal zeolitin de katkılı çimento ve beton üretiminde yaklaşık %30 yer değiştirme oranına kadar puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir.

Öncü ve Birsel (2017), doğal rezervlerden kolayca elde edilen zeolit ile karıştırılmış yerel bir zeminin yarı kurak bir iklimde depolama astarı olarak kullanılmasının uygunluğunu değerlendirmiştir. Çalışmada 90 günlük kür süresi içinde şişme potansiyelinin %85 oranında azaldığı gözlemlenirken, büzülme ve sıkıştırılabilirlik özelliklerinde %30-%34 oranında azalma belirlenmiştir. Bundan dolayı, zeolit ile karıştırılmış zeminin, özellikle artan nüfus ve çevresel bozulmanın olduğu bölgelerde iyi bir alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır.

Aftabi vd. (2020), tarafından yapılan araştırmada, zeolit bileşiminin jeoteknik özelliklerine dayanan CaO'nun kumlu silt zemin üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sertleşmemiş örneklerde zeolit yüzdesinin artmasıyla, ince zeolit parçacıklarının zeminin dayanımını artırdığı, ancak kür sonrasında kürlenmemiş duruma göre dayanımın nispeten daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışmacılar zeolitlerin puzolanik özelliğinin, çimentolama özelliklerinden çok daha yüksek bir rol oynadığını ve daha iyi sonuçlar elde etmek için zeolit partikülünü çimento veya kireç gibi aktivatör malzeme ile birleştirmenin daha iyi sonuçlar vereceğini ifade etmişlerdir.

Rajabi ve Ardakani (2020), tarafından yapılan çalışmada, zeolitin kumlu killi zemin ve killi kumlu zemin üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla yaptıkları deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre zeolit yüzdesindeki artış ve kür süresinin uzamasıyla, killi kum ve kumlu killi zemindeki tek eksenli basınç dayanımı değerleri sırasıyla, zeminin başlangıç dayanımının 4 ve 2,5 katı kadar artmıştır. Bu katkı maddelerinin etkisinin killi kum zeminde daha fazla olduğu ayrıca, zeolit eklenmesiyle zeminin dayanım parametrelerinin de iyileştiği belirlenmiştir. Analiz sonuçları zeolit ile yapılan stabilizasyonun, kimyasal reaksiyonların oluşmasına ve zemin dayanımının artmasının ana nedenlerinden biri olan kalsiyum silikat hidrat (CSH) ve kalsiyum alüminat

hidrat (CAH) içeren çimento ürünlerinin üretilmesine neden olduğunu göstermiştir.

Ceylan vd. (2021), tarafından yapılan bu çalışmanın başlıca amacı silis dumanına alternatif olarak yüksek performanslı betonda doğal zeolit mineralinin mikronize edilerek kullanılabilirliğini incelemektir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar %10 silis dumanı kullanımına yakın dayanım değerlerini %15 mikronize zeolit kullanımının verdiğini, mikronize zeolit kullanımı ile silis dumanına yakın geçirimsiz ve durabil beton elde edilebileceğini göstermiş ve ayrıca silis dumanına mikronize zeolitin bir alternatif olabileceği belirlenmiştir.

Rabab'ah et al. (2021), çalışmalarında zeolitik tüf, kireç ve kireç ve zeolitik tüfün kombinasyonu olan farklı katkı maddeleri kullanarak zemin stabilizasyonu potansiyelini deneysel olarak değerlendirmeyi amaçlamıştır. Deneysel sonuçlar, zeolitik tüf katkı maddelerinin maksimum kuru birim ağırlığı, serbest basınç dayanımını ve Kalifornia Taşıma Oranını artırmanın yanı sıra plastisiteyi, doğrusal büzülmeyi ve şişme potansiyelini etkili bir şekilde azalttığını göstermiştir. %4 kireçle stabilize edilmiş zemin için serbest basınç dayanımı ve Kalifornia Taşıma Oranı değerlerinin %25 zeolitik tüf katkısından sonra sırasıyla %22 ve %70 arttığı belirlenmiştir.

ShahriarKian vd. (2021), düşük plastisiteli siltli kumun serbest basınç dayanımı üzerinde çimento içeriğinin, zeolit içeriğinin, ilk nem içeriğinin, donma-çözülme döngülerinin sayısının ve sertleşme süresinin etkisini incelemiştir. Çalışmada çimento ve zeolit içeren örnekler, tek başına çimento veya zeolit ile stabilize edilmiş örneklere göre daha yüksek serbest basınç dayanımı ile daha iyi tepki gösterdiği belirlenmiştir. Zeolit ilavesinin, çimento ile stabilize edilmiş örneğin hem serbest basınç dayanımı değerindeki hem de göçme gerilmesindeki artış üzerinde önemli bir etkisi olduğu ve stabilize edilmiş örneklerin serbest basınç dayanımı değerlerinin, donma-çözülme döngülerinin sayısının artmasıyla azaldığı ifade edilmiştir.

Shirmohammadi vd. (2021), kireç-zeolit stabilizasyonunun, düşük plastisiteli silt zeminin davranışı üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmada çeşitli kireç içerikleri ve zeolit kısmi ikamesi ile karıştırılan doğal zemini ardışık donma ve çözülme döngülerine tabi tutmuşlardır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, güç ve dayanıklılık açısından kısmen zeolit ile değiştirilmiş zemin kireçle karıştırıldığında işlenmiş zeminin mekanik performansında önemli bir gelişme olduğunu göstermiştir.

Yılmaz vd. (2022), atık zeolit ve kireç-atık zeolit karışımlarının, yüksek plastisiteli killi bir zeminin şişme potansiyeli, mekanik ve dayanıklılık performansları üzerindeki etkisini makro ve mikro yönleriyle araştırmıştır. Tüf yapısındaki farklılıkların stabilizasyon performansı üzerindeki etkisini

incelemek için tüfit oluşumunun üç farklı alt tipi dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda, atık zeolitlerin şişme basıncını azalttığı, killi zeminin serbest basınç dayanımı ve durabilite performanslarını sınırlı bir ölçekte arttırdığı belirlenmiştir. Kireç ve kireç-atık zeolit karışımları ile stabilize edilen zeminlerde ise şişme davranışı gözlenmemiştir. Atık zeolit-kireç karışımlarının mekanik ve dayanıklılık performanslarının, kireçle stabilize edilmiş zeminlere göre daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Abdallah vd. (2023), çalışmalarında, farklı katkı malzemeleri kullanarak zemin stabilizasyonunu değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çeşitli kombinasyonlarda %10, 20, 25 ve 30 zeolitik tüf ile %2, 4 ve 6 kireçten oluşan yirmi zemin karışım, üstyapı alt temel uygulaması için zemini stabilize etmek için kullanılmıştır. Zeolitik tüf eklenmesi, puzolanik reaksiyon için gerekli olan silis ve alüminanın mevcudiyetini arttırmakta ve deney sonuçları, zeolitik tüf katkısının maksimum kuru birim ağırlığı, Kalifornia Taşıma Oranını, serbest basınç dayanımını, esneklik modülünü artırdığını, plastisiteyi ve kalıcı deformasyonu azalttığını ortaya koymuştur.

Zeolitin Çimento, Beton ve Killerin Mühendislik Özelliklerine Etkileri

Kimyasal stablizasyon yapılırken katkı olarak kullanılan zeolitin, zeminin mühendislik özellikleri üzerinde iyileşmeler meydana getirdiği yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu çalışmalar çok fazla olmamakla birlikte mühendislik özelliklerindeki değişimlerin incelendiği çalışmalar vardır. Zeolit katkısının şişen zeminlerin şişme potansiyeli ve şişme hızını düşürdüğü (Demirbaş, 2009), killi zeminlerde çimento ve zeolit katkılarının dağılma ve şişme özelliklerini iyileştirdiği gibi, dayanım değerlerinde de önemli artışlar meydana getirdiği (Turkoz ve Vural (2013), zeolit yüzdesinin artmasıyla, ince zeolit parçacıklarının zeminin dayanımını artırdığı, ancak kür sonrasında kür öncesi dayanıma göre daha yüksek olduğu Aftabi vd. (2020), zeolit yüzdesindeki artış ve kür süresinin uzamasıyla, killi kum ve kumlu killi zemindeki tek eksenli basınç dayanımı değerlerlerinin arttığı (Rajabi ve Ardakani, 2020), zeolitik tüf katkı maddelerinin maksimum kuru birim ağırlığı, serbest basınç dayanımını ve Kalifornia Taşıma Oranını artırmanın yanı sıra plastisiteyi, doğrusal büzülmeyi ve şişme potansiyelini etkili bir şekilde azalttığı (Rabab'ah et al. 2021) belirlenmiştir. Ayrıca, atık zeolitlerin şişme basıncını azalttığı, killi zeminin serbest basınç dayanımı ve durabilite performanslarını sınırlı bir ölçekte arttırdığı (Yılmaz vd. (2022), zeolitik tüf katkısının maksimum kuru birim ağırlığı, Kalifornia Taşıma Oranını, serbest basınç dayanımını, esneklik modülünü artırdığı, plastisiteyi ve kalıcı deformasyonu azalttığı (Abdallah vd. 2023) çalışmalarla ortaya konmuştur. Zeminde zeolit

katkısıyla 90 günlük kür süresi içinde şişme potansiyelinin %85 oranında azaldığı, büzülme ve sıkıştırılabilirlik özelliklerinde %30-%34 oranında azalma belirlendiği Öncü ve Birsel (2017) tarafından yapılan çalışmayla ortaya konmuştur.

Zemin stabilizasyonu dışında çimento ve betonda zeolitlerin kullanıldığı birçok çalışma literatürde mevcuttur. Çimentoya zeolit katkısının harcın sülfata karşı dayanıklılığına olumlu etki yaptığı (Canpolat ve Yılmaz, 2002), zeolit katkılı betonda Schmidt Sertliği ve basınç dayanımı değerlerinin normal betona göre yüksek olduğu (Sarıkaya, 2006), %10 ve 20 zeolit içeren örneklerin kontrol betonuna göre düşük su geçirgenliği ve yüksek dayanım değerine sahip olduğu (Sevim ve Okumuş, 2011), iki ayrı bölgedeki klinoptilolitce zengin tüfün basınç dayanımının kontrol çimentosundan daha yüksek olduğu (Özen, 2013) belirlenmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalarda 28 gün sonra %30 oranında çimento zeolit ile değiştirildiğinde, çimentolu kumun serbest basınç dayanımında ve bozulma özelliklerinde iyileşmeler olduğu (Mola-Abasi ve Shooshpasha 2016), doğal zeolitlerin katkılı çimento ve beton üretimlerinde yaklaşık %30 yer değiştirme oranına kadar puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılabileceği (Yazıcıoğlu 2016), zeolit ilavesinin, çimento ile stabilize edilmiş örneğin hem serbest basınç değerindeki hem de göçme gerilmesindeki artış üzerinde önemli bir etkisi olduğu ve stabilize edilmiş örneklerin serbest basınç dayanımı değerlerinin, donma-çözülme döngülerinin sayısının artmasıyla azaldığı ShahriarKian vd. (2021) ifade edilmiştir.

Ayrıca doğal zeolitlerin kullanılması ile elde edilen anafom malzemesinin hafif yapı malzemesi olarak yapı endüstrisinde kullanılabileceği (Serbest, 1999), %30 zeolitli tüf katkılı betonun özellikle deniz suyunun gel-git etkisi (ıslanma-kuruma) durumunda, betonarme çeliğine lokalize korozyona karşı en iyi koruma sağladığı (Taban, 2010) belirlemiştir. %10 zeolitli tüf katkılı çimento harçlarının özelliklerinde iyileşme meydana geldiği Taban ve Şimşek (2008) ve Bideci vd. (2013) tarafından ortaya konmuştur.

SONUÇLAR

Mühendislik çalışmalarında zeminin ya da betonun özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanabilen çok fazla malzeme bulunmaktadır. Fakat kullanılan bu malzemelerin ekonomik olması, kolay ulaşılabilir ya da elde edilebilirliği, kullanımı durumunda çevresel sorunlara sebep olmaması, insan ya da diğer canlıların yaşam kalitesini olumsuz etkilememesi oldukça önemlidir. Zeolit bu anlamda her alanda ve sektörde oldukça yaygın olarak kullanılan ve kullanımı gün geçtikçe artış gösteren bir malzemedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde çoğunlukla çimento ve beton üretiminde zeolitlerin

kullanılabilirliğinin araştırıldığı görülmektedir. Oldukça verimli bir şekilde kullanıldığı da çalışmalarla ortaya konmuştur. Bununla birlikte puzolanik özelliğe sahip olan bu zeolitlerin zemin stabilizasyonunda etkisinin incelendiği çalışmaların daha az olduğu açıktır. Daha fazla sayıda çalışma ile zeolitlerin zemin stabilizasyonunda kullanılması, zeolitin öneminin ortaya konması bakımından önemlidir. Bu konuda yapılacak olan çalışmalar zeolitlerin kullanımının geliştirilmesi, zemin stabilizasyonundaki yeri ve öneminin vurgulanması açısından veri tabanına katkı sağlayacaktır.

REFERANSLAR

Abdallah, HM., Rabab'ah, SR., Taamneh, MM., Taamneh, MO., Hanandeh, S. (2023). Effect of zeolitic tuff on strength, resilient modulus, and permanent strain of lime-stabilized expansive subgrade soil. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 35(5).

Aftabi, S., Fathi, S., Aminfar, MH. (2020). The effect of zeolite on sandy-silt soil mechanical properties. world academy of science. *Engineering and Technology International Journal of Geotechnical and Geological Engineering*, 14(10).

Akgün Y., Yazıcıoğlu ÖF. (2016). İki farklı zeolit katkısının çimento harç aşınma dayanıma etkisi. *Ordu Üniversitesi Bilim Teknik Dergisi*, 6(1), 94-104.

Bideci Sallı, Ö., Bideci, A., Oymael, S. (2013). Zeolit katkılı çimentoların özelliklerinin incelenmesi. *SDU International Journal of Technologic Sciences,* 5(3), 70-76.

Canpolat, F., Yılmaz, K. (2002). Doğal zeolit ve uçucu kül katkılı ve katkısız harçların sülfat dayanıklılığı, *Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi*, C.XVI(2), 11-24.

Ceylan, S., Yazıcıoğlu, S. Turanlı, L. (2021). Usage of micronized zeolite in high performanced concrete. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(1), 163-176.

Dayı, M., Aruntaş, HY., Çavuş, M., Şimşek, O. (2013). Zeolit, uçucu kül ve atık cam malzemelerin portland kompoze çimento üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 28(3), 491-499.

Demirbaş, G. (2009). Şişen zeminlerin bigadiç zeolidi (bor yanürünü) kullanılarak stabilizasyonu. [Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi].

DPT, (1996). Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Diğer Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu Raporu Cilt 1, DPT.

DPT, (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri II (Mika-Zeolit-Lületaşı) Çalışma Grubu Raporu, DPT, 56-70.

Esenli, F., Uz, B., Kumbasar, I. (1998). Şile Bölgesi (İstanbul) Üst Kretase Volkaniklerinde Mordenit Türü Zeolit Oluşumu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 40(1), 49-56.

Gökçe, S., Taban, S., Şimşek, O. (2010). Zeolitik tüf ikamesinin farklı agregalar üzerinde alkali-silika reaksiyonu etkilerinin belirlenmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der*., 25(4), 803-809.

Gülen, J., Zorbay, F., Arslan, S. (2012). Zeolitler ve Kullanım Alanları. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi,* 2(1), 63-68.

Huxtable, DD., Poole, DR. (1976). Thermal energy storage by the sulfuric acid-water system. *Sharing the Sun Solar Technology in Seventies Joint Conference*, ISES, 8, 178-191.

Köktürk, U. (1995). Zeolit Madenciliği ve Çevre Sağlığına Etkileri. *Endüstriyel Hammadeler Sempozyumu*, İzmir-Türkiye.

Kumbasar, I. (1977). Silikat mineralleri. *İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını*, İstanbul.

Küçükyıldırım, E. (2013). Kimyasal veya ısıl işlem görmüş klinoptilolit zeolitinin puzolanik aktivitesinin ve katkılı çimentolardaki performansının incelenmesi. [Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi].

Mola-Abasi, H., Shooshpasha, I. (2016). Influence of zeolite and cement additions on mechanical behavior of sandy soil. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8, 746-752.

Okucu, A. (2004). Zeolitik tüflerin çimento katkı maddesi olarak değerlendirilmesi. Beton kongresi, 682-687.

Öncü, Ş., Bilsel, H. (2017). Effect of zeolite utilization on volume change and strength properties of expansive soil as landfill barrier. *Canadian Geotechnical Journal*, 54, 1320-1330.

Özen, S. (2013). Doğal zeolitlerin puzolanik aktivitesi: mineralojik, kimyasal ve fiziksel karakterizasyon ve hidratasyon ürünlerinin incelenmesi. [Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi].

Rabab'ah, SR., Taamneh, MM., Abdallah, HM., Nusier, OK., Ibdah, L. (2021). Effect of adding zeolitic tuff on geotechnical properties of lime-stabilized expansive soil. *KSCE Journal of Civil Engineering,* 25(12), 4596-4609.

Rajabi, AM., Ardakani, SB. (2020). Effects of natural-zeolite additive on mechanical and physicochemical properties of clayey soils. *J Mater Civ Eng*, 32(10).

Sarıkaya, H. (2006). Zeolit katkılı betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması. [Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi].

Serbest, D. (1999). Doğal zeolitlerin hafif yapı endüstrisinde kullanımı. [Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi].

Sevim, UK., Okumuş, N. (2011). Zeolit ve silika dumanı katkılı betonların mekanik ve geçirimlilik özellikleri. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(2), 57-63.

ShahriarKian, M., Kabiri, S., Bayat, M., (2021). Utilization of zeolite to ımprove the behavior of cement-stabilized soil. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 7(35).

Shi, JX. (2012). The applications of zeolite in sustainable binders for soil stabilization**.** *Applied Mechanics and Materials* 256-259:112-115.

Shirmohammadi, S., Jahromi, SG., Payan, M., Senetakis, K. (2021). Effect of lime stabilization and partial clinoptilolite zeolite replacement on the behavior of a silt-sized low-plasticity soil subjected to freezing–thawing cycles. *Coatings,* 11, 1-21.

Soylu, M., Gökkuş, Ö. (2017). Türkiye'deki doğal zeolitler ve iyon değişimi uygulamaları. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 11-20.

Taban, S. (2010). Farklı oranlarda zeolitik tüf katkısının beton özellikleri ve betonarme çeliği korozyonuna etkilerinin araştırılması. [Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi].

Taban, S., Şimşek, O. (2009). Zeolitik tüf katkı oranı ve deniz suyunun çimentonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 24(1) 145-153.

Turkoz, M., Vural, P. (2013). The effects of cement and natural zeolite additives on problematic clay soils. *Sci Eng Compos Mater*, 20(4), 395-405.

URL-1, (Erişim Tarihi: 10.08.2023), https://gordeszeolite.com/home

URL-2, Zeolyst International, Zeolite. (Erişim Tarihi: 10.08.2023), https://www.zeolyst.com/about-us/faqs.html

Yazıcıoğlu, ÖF. (2016). Çimento ve beton endüstrisinin sürdürülebilir üretimlerinde doğal zeolit (analsim)'in puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. [Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi].

Yılmaz, F., Sadoğlu, E., Kamiloğlu, HA. (2022). Evaluation of the effect of waste zeolite on the strength and micro-macrostructure of a high plasticity clayey soil stabilized with lime-waste zeolite mixtures subjected to freezing–thawing cycles. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(480), 1-12.

Yörükoğulları, E. (1985). Güneş enerjisinin doğal zeolitte depolanması. [Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi].

Bölüm 6

Endüstriyel Malzemelerde Yorulma Dayanımı

Aydın ŞIK[1]

Asena SOYLUK[2]

[1] Prof. Dr. Gazi Üniversitesi Mimarlık Fak. Endüstriyel Tasarım Böl. Öğretim Üyesi, aydins@gazi.edu.tr ORCID: 0000-0002-8977-9094

[2] Doç. Dr. Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fak. Mimarlık Böl. Öğretim Üyesi, asenad@gazi.edu.tr ORCID: 0000-0002-6905-4774

ÖZET

Mühendislik ürünlerinde mekanik arızaların önemi, mühendislik konuları ve bileşenleri ile ilgili herkesi yakından ilgilendirmektedir. Bu nedenle daha iyi malzeme ve mühendislik ürünleri arayışında olanlar için mekanik arıza nedenleri açıkça hayati önem taşımaktadır. Malzeme yorulması, bir malzemenin nihai dayanımının altında uygulanıp tekrarlanan (döngüsel) gerilimler nedeniyle çatladığı veya bozulduğu durumdur. Malzemelerin en kritik arıza nedenlerinden biri "yorulma" olarak adlandırılır. İstatistiklere göre mekanik arızaların %90'ından fazlası metal yorulmasından kaynaklanmaktadır. Malzeme yorulması sonucu ortaya çıkan arızalar genellikle felaketle sonuçlanacak şekilde aniden ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, malzeme biliminde büyük öneme sahip olan metal yorulması araştırılmış ve incelenmiştir.

GİRİŞ

Metal yorulması uygulamaları sanayi devriminin ilk günlerinden beri bilinmektedir. Dünyada teknoloji açısından çelikten mamul araçların kullanımının artması ile birlikte, titreşim ve tekrarlanan yükler altında çalışan taşıtlarda, geçit yollarının, uçak türbinlerinin, köprülerin inşasında ve araçların yapımında yorulma uygulamalarının oluşumu araştırılmaya başlanmıştır. Otomotiv ve uçak endüstrisindeki parçalar ile kompresör, pompa ve türbin gibi makine parçalarında görülen mekanik hasarların yaklaşık %90'ı yorulma sonucu meydana gelmektedir. Güvenlik ve kaliteyi hedefleyen mühendisler, çok yönlü malzeme ve konstrüksiyon testleri yaparlar. Malzeme testleri göz önüne alındığında, araştırmalar, yeterli standartlar ve hizmet koşullarında beklenen veya değerlendirilen yükleme türü dikkate alınarak kesin olarak tanımlanmış numuneler üzerinde gerçekleştirilir. Testler tahribatlı ve/veya tahribatsız olabilir (Kattimani, Igbali, Ghori ve diğerleri, 2020).

Malzemenin yorulma davranışı endüstri devriminin ilk günlerinden beri bilinmektedir. Teknolojik gelişmeler sayesinde daha çok metalden imal edilen araçların kullanımının ilerlemesi örneğin geçiş yollarının yapımı, uçak türbünlerinde kullanım, köprülerde, titreşim ve tekrarlanan yükler altında çalışan araçların güvenliği nedeniyle yorulma dayanımı araştırılmaya başlanmıştır (Güleç, 1983; Madoyag, 1969).

Çeşitli makine parçaları ve yapısal elemanlar, kullanım sırasında tekrarlanan baskılar (yükler) ve titreşimler altında çalışır. Tekrarlanan gerilmeler altında çalışan malzemelerin gerilmesi, parçaların statik mukavemetinden daha küçük olmasına rağmen; genellikle belirli bir tekrar sayısı sonunda yüzeyde meydana gelen bir çatlak ve bunu takip eden kopma olayına yorulma, geçen süreye ise ömür denir. Yorulma geleneksel olarak metal bileşenlerin arızalanmasıyla ilişkilendirilmiştir ve bu da metal yorgunluğu terimine yol açmıştır (Gönen, Oral ve Çakır, 2008; Allah, Abdin, Enayat ve diğerleri, 1997; Anık, 1977; Askeland, 1998; ASM Handbook, 2000; ASM, 1996: Şık, 2002).

Malzeme biliminde yorulma**,** döngüsel yükleme nedeniyle bir malzemede çatlakların başlaması ve ilerlemesidir. Bir yorulma çatlağı başladıktan sonra, her yükleme döngüsünde küçük bir miktar büyür ve tipik olarak kırılma yüzeyinin bazı kısımlarında çizgiler oluşturur. Çatlak kritik bir boyuta ulaşana kadar büyümeye devam eder. Bu da çatlağın gerilim yoğunluk faktörü malzemenin kırılma tokluğunu aştığında meydana gelir ve hızlı yayılma ve tipik olarak yapının tamamen kırılmasına neden olur.

Metal yorgunluğu süreci, malzemeden malzemeye önemli ölçüde değişir. Bazı senaryolarda, kusurlar, malzemeye baskı ve gerinimler uygulanır uygulanmaz ortaya çıkar ve tam bir arıza meydana gelene kadar çok yavaş

büyür. Bazı durumlardaysa kayıp neredeyse gerçekleşene kadar malzemede belirgin bir hasar olmamaktadır. Daha sonra, en son aşamada kusur ortaya çıkar ve tam arızadan önce hızla gelişir. Malzemenin kendisi içindeki ilk faktördür. Birçok malzemenin yorulma limiti malzemenin gerilme mukavemetinin yaklaşık dörtte biri ila dörtte üçü arasında olma eğilimindedir. Malzemeye uygulanan stres veya gerinimin büyüklüğü başka bir faktördür. Stres veya basınç ne kadar büyük olursa, metal yorgunluğunun o kadar erken gelişmesi muhtemeldir. Ayrıca çevresel faktörler de metallerin yorulması ile ilişkilidir.

YORULMA DAYANIMI

Yorulma, bir noktada dalgalanan gerilmeler ve gerinimler üreten ve yeterli sayıda dalgalanmadan sonra çatlaklara veya tam kırılmaya dönüşebilen koşullara maruz kalan bir malzemede meydana gelen ilerleyici kalıcı yapısal değişim sürecidir. Numunedeki maksimum gerilme, ilgili malzemenin elastik sınırını aşmıyorsa, yük kaldırıldığında numune başlangıç durumuna geri döner. Belirli bir yükleme, gerilmelerin elastik aralıkta kalması koşuluyla birçok kez tekrarlanabilir. Bu sonuçlar, birkaç kez daha tekrarlanan yüklemeler için doğrudur. Ancak yüklemeler binlerce veya milyonlarca kez tekrarlandığında doğru değildir. Bu gibi durumlarda kopma, statik kopma mukavemetinden çok daha düşük bir gerilimde meydana gelir ve bu olay yorulma olarak bilinir. Malzemelerin en kritik başarısızlık nedenlerinden biri "yorulma" olarak adlandırılır. Malzemeye uygulanan yük genellikle dinamik olduğu için yük miktarı malzemenin çekme mukavemetinden farklı olabilir. Diğer bir deyişle, malzemenin çekme mukavemetinden daha düşük döngüsel gerilmeler, malzemede çatlak başlangıcına ve çatlak ilerlemesine neden olmaktadır. Yorulmanın zararları malzemeler için oldukça risklidir. Aslında, beş genel hasar mekanizması (korozyon, yorulma, sünek kırılma, yarılma veya gevrek kırılma ve sürünme) arasında yorulma ikinci en tehlikeli mekanizmadır (birincisi korozyon olarak kabul edilir). Bu nedenle, başarısızlık mekanizmalarını anlamak için tatmin edici bir yorulma bilgisi gereklidir. Yorulma kırılmaları, genellikle malzemenin yüzeyinden bir başlangıç ve döngüsel yüklerin yardımıyla yayılma olarak kabul edilir. Çatlakların başlaması ve yayılması, malzemenin son kırılmasıyla sona erer. Yorulma arızaları, malzeme yüzeyindeki plastik akışlar tarafından tetiklenir. Bu nedenle başarısızlıkların kaynağı, tüm başarısızlığı başlatan "yorulma embriyosu" olarak adlandırılır. Yine de yorulma arızalarının karakteristiği konusunda dikkatli olunmalıdır. Malzeme sünek olsa bile yorulma arızaları gevrek olarak tanımlanabilir. Ayrıca, yorulma başlangıcının en başındaki plastik akış hızı sadece küçük bir kırılmayı kapsar. Son kırılma aniden

metal gövdede meydana geldiğinden yorulmanın toplam kırılma davranışı gevrek olarak kabul edilir. Başlangıçtaki mikroskobik (küçük) çatlaklar tüm makine parçasının kopması ile sonuçlanabilir. Malzemenin yapısında bu mikroskobik çatlaklar, döngüsel yüklerin etkisiyle mikro çatlaklara dönüştürülür. Mikro çatlaklar makro çatlaklara dönüşür ve malzemenin tane sınırı boyunca yayılır. Böylece, olası yorulma hatalarını önlemek için istenilen malzemenin yüzey kalitesine dikkat edilmelidir (Fatigue Physics, 2020; Onaran, 1995; Tekin, 1986).

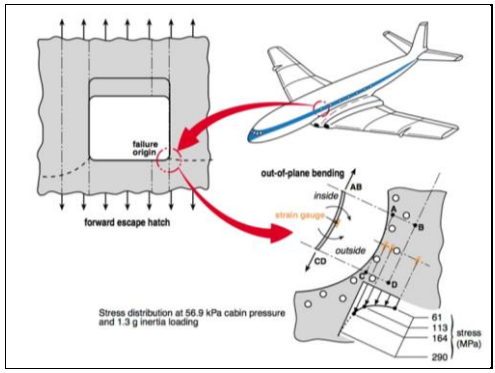
Yorulma arızalarının önemi tarihsel afetlerde görülebilir. Daha önce bahsedildiği gibi mekanik arızaların önemli bir kısmı metal yorgunluğundan kaynaklanmaktadır.

Comet jet uçağı: Bu, ilk ticari jet uçağıydı ve 1952-1953 yılları arasında birçok kıtalararası uçuşla önemli bir başarı elde etti. Ancak esas olarak insan hataları ve olumsuz hava koşullarından kaynaklandığı düşünülen ölümcül yaralanmalı bazı kazalar meydana gelmiştir. 1954 baharında, biri Ocak'ta, diğeri Nisan'da olmak üzere farklı zamanlarda Roma'dan ayrılan iki uçak Akdeniz'de kayboldu. Bu da doğal olarak kapsamlı bir soruşturmaya neden oldu. Yaklaşık 3.000 uçuş döngüsünden sonra (kabinin basınçlandırılması ve basıncının düşürülmesi) dikdörtgen pencerelerin köşelerindeki perçinlerden yorulma çatlakları tespit edilmiştir. Bu köşelerdeki gerilmeler beklenenden çok daha büyüktü ve bu nedenle çatlak ucu köşeye ulaştığında hızlı kararsız çatlak büyümesi meydana geldi ve bu da birkaç ikincil çatlakla kabinin tamamen kırılmasına neden oldu. Perçin delikleri, standartlara göre üretilmemişti. Bu da yorulma çatlakları için küçük başlangıç bölgelerine neden olmuştur. Yani, bu ve benzer kazaların sebepleri;

-Artan gerilim nedeniyle pencerelerin uygun olmayan tasarımı (oval yerine dikdörtgen köşe pencere),

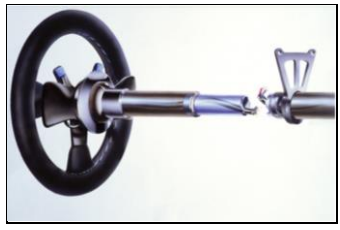
-Perçin deliklerinin başlangıç yerlerinin yorulmasına neden olacak şekilde tasarlanmamış bir şekilde üretilmesi,

-Basınçlı kabinde beklenmedik şekilde büyük yük değişimleri nedeniyle kaza meydana gelmiştir (Suresh, 1992; Demaid ve Lawley, 1985).



Şekil 1: *D*e Havilland Comet Marka Yolcu Uçağı Uçuş Sırasında Arızalanmıştır (The DeHavilland Comet Crash, 2020).

Dünyaca ünlü Formula 1 pilotu Ayrton Senna; Bir başka şok edici felaket de 1994'te San Marino Grand-Prix'si sırasında meydana geldi. Pilot aracını kullanırken kontrolü kaybederek bariyerlere çarpmıştır. Kazaya ilişkin inceleme uzmanlar tarafından yapıldığında, facianın suçlusunun metal yorulması olduğu ortaya çıkmıştır. Pilot Senna direksiyonu tutarken direksiyonun biraz garip olduğunu hissetmiş ve bu garipliği yok etmek için mühendislik ekibi direksiyona bir iç lastik ilave etmişlerdir. İç lastiğin takılması sırasında direksiyonda mikro çatlaklar oluşmuştur. Uzmanlar, sürüş sırasında çatlakların yayıldığını ve direksiyonun görevini yapamadığını iddia etmişlerdir. Bunun sonucunda Senna arabayı kontrol edememiş ve beton bariyerlere çarpmış. Bu felaket, Formula-1 yarış arabalarının tasarım konularının çoğunu değiştirmiştir (Bastianini, 2020).



Şekil 2: Yarış Başlamadan Önce Kaynaklanmış Fazla İç Lastik

SS Schenectady kazası; II. Dünya Savaşı sırasında Amerika Birleşik Devletleri Denizcilik Komisyonu için inşa edilmiş bir T2-SE-A1 tankeriydi. 16 Ocak 1943'te, deniz denemelerinden döndükten kısa bir süre sonra sakin havalarda Swan Island'daki montaj iskelesine demirlendi. Hiçbir uyarı vermeden ve en az bir mil öteden duyulabilen bir sesle gövde üst yapının hemen arkasında neredeyse yarı yarıya çatladı. Çatlaklar iskele ve sancak taraflarından neredeyse

omurgaya kadar uzanıyordu, bu omurga da çatlamış, pruva (burun kısmı) ve kıç (arka kısmı) nehrin dibine doğru sarkmıştır. O sırada kırığın nedeni tam olarak anlaşılmamıştı. Resmi Sahil Güvenlik raporu, başarısızlığın nedenini hatalı kaynak olarak verirken, Soruşturma Kurulu "kilitlenmiş" gerilimler, iklimdeki keskin değişiklikler veya sistemik tasarım kusurları gibi çeşitli faktörleri değerlendirdi. Hatalı kaynak, özellikle sonraki araştırmalar bazı tersanelerde hatalı çalışma uygulamalarını ortaya çıkardığında bu olayların en yaygın açıklaması haline geldi. Ancak o zaman bile tüm büyük kırık vakalarının yalnızca yarısından azında durum olarak açıkça tanımlanabildi. Daha sonraki araştırmalar, başarısızlık yönteminin muhtemelen düşük kaliteli çeliğin neden olduğu bir kırılma olduğunu gösterdi (Peter, 2001; Charles, 2015).

Şekil 3: SS Schenectady Gemisinin Kırılması

19. yüzyılda bir yorulma kırılmasının görünür plastik deformasyon göstermemesi gizemli kabul ediliyordu. Bu, yorulmanın yalnızca bir mühendislik sorunu olduğuna dair yanlış bir inanca yol açıyordu. O zamanın mikroskobik ekipmanının gücü oldukça sınırlı olduğu için o kadar da haksız değillerdi. Ayrıca bu yüzyılda önemli araştırmacılar tarafından birkaç yorulma testi yapıldı. En popüler olanı daha sonra stres-yaşam eğrisi (SN Eğrisi) fikrini ortaya atan August WOHLER'in çalışmasıydı. Yorulma arızası sürecinin anlaşılmasında büyük bir atılım 20. yüzyılda gerçekleşti. Bilgisayar gibi daha güçlü araçlar sayesinde, güçlü mikroskobik alet, gelişmiş sayısal analiz yöntemleri ve çok daha fazla araştırma çalışması yapılmaya devam etmektedir. Yorulma sadece bir mühendislik problemi olarak değil hem malzeme hem de tasarım olgusu olarak görülmeye başlandı. Yorulma arızası üzerine yapılan çok sayıda araştırmaya rağmen gerçek oluşumu net olarak hala bilinmemektedir ve döngüsel yüklerden kaynaklanan hasar, çatlaklar ve hatta tam arızalar sürekli olarak rapor edilmektedir. Sorun, önceki yüzyılda 100 yıllık araştırmalara rağmen hala devam etmektedir.

Yorulma dayanımın özellikleri

Metal alaşımlarında yorulma, makroskobik veya mikroskobik süreksizlikler olmadığında süreç sonunda kısa çatlakların çekirdeği haline gelen kalıcı kayma bantları oluşturan dislokasyon hareketleriyle başlar. Makroskopik ve mikroskobik süreksizliklerin yanı sıra gerilim yoğunlaşmalarına neden olan bileşen tasarım özellikleri (delikler, kama yuvaları, keskin yön değişiklikleri, vb.) yorulma sürecinin başladığı yaygın yerlerdir.

Yorulma, bir dereceye kadar değişkenliğe sahip olan ve genellikle iyi kontrol edilen ortamlarda bile önemli ölçüde dağılım gösteren bir süreçtir. Genellikle çekme gerilimleriyle ilişkilendirilir, ancak sıkıştırma yüklerinden dolayı yorulma çatlakları rapor edilmiştir. Uygulanan gerilim aralığı ne kadar büyük olursa ömür o kadar kısa olur. Yorulma ömrü dağılımı, daha uzun yorulma ömürleri için artma eğilimindedir. Yorulmada hasar kümülatiftir. Malzemeler dinlenince toparlanmazlar. Yorulma ömrü, sıcaklık, yüzey kalitesi, metalürjik mikro yapı, oksitleyici veya inert kimyasalların varlığı, artık gerilimler, sürtünme teması (aşınma), vb. gibi çeşitli faktörlerden etkilenir.

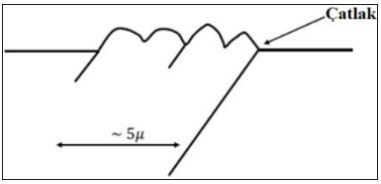
Bazı malzemeler (örneğin, bazı çelik ve titanyum alaşımları), sürekli gerilimler altında yorulma arızasına yol açmadığı teorik bir yorulma sınırı sergiler. Düşük döngü yorgunluğu (tipik olarak 104 döngüden daha kısa sürede arızaya neden olan yükleme) metallerde lokalize plastik davranışla ilişkilidir. Bu nedenle metallerde yorulma ömrü tahmini için gerinime dayalı bir parametre kullanılmalıdır. Test, tipik olarak 0,01–5 Hz'de sabit gerinim genlikleri ile gerçekleştirilir (Rotih, Yashwanth, ve Swarnakiran, 2019).

Hemen hemen her arızada kırılan parçaların incelenmesi, arızaların çoğunun akma dayanımının altındaki gerilimlerde meydana geldiğini ortaya çıkarmaktadır. Bu, endüstride meydana gelen parça arızalarının %90'a varan kısmından sorumlu olduğu tahmin edilen yorulma adı verilen olgunun bir sonucudur. Bir çelik çubuk, akma dayanımının %85'inde art arda yüklenip boşaltılırsa yeterli döngü boyunca yüklenirse sonuçta yorulmada başarısız olur. Ayrıca, tipik bir çekme testinde çelik normalde yaklaşık %30 uzamasına rağmen, yorulma kırılmalarının görünümünde neredeyse hiç uzama görülmez.

Temel yorulma testi, sabit genlikli alternatif gerilim seviyelerinin çeşitli değerlerinde arızaya kadar döngülenen, dikkatlice parlatılmış test numunelerinin (yüzey kusurları gerilim yoğunlaştırıcılardır) hazırlanmasını içerir (Suresh, 2001).

Yorulma davranışının fiziksel nedenlerini bulma çabaları, birçok araştırmacının hem teorik hem de deneysel çabalarını içermiştir. İlk çalışmalarda tekrarlı olarak yüklenen numunelerin yüzeyinde ince bantların oluştuğu ve daha sonra çatlaklara ve kırılmaya dönüştüğü tespit edilmiş olsa da bu bantların ortaya

çıkış nedenleri net değildi. Deneyler, geri döndürülemez harekete ve dislokasyonların kalıcı kayma bantlarına lokalizasyonuna dayalı olarak geliştirildi. Bu daha sonra malzeme yüzeyinde ekstrüzyon ve intruzyonların, yani mikroskobik olarak küçük çatlakların oluştuğu tespit edildi. Etkiler, en azından 1960'ların başında ticari olarak temin edilebilen taramalı elektron mikroskobu olmak üzere çeşitli mikroskop türleri ile incelendi. Ayrıca, küçük iç çatlaklar gibi davranan inklüzyonlar ve mikroskobik çatlak büyümesinin daha fazla gelişmesi için engeller oluşturan tane sınırları gibi diğer mekanizmalar da incelenmiştir. Ekstrüzyon kayma bantlarından oluşan küçük çatlak benzeri bir kusurun mikrografının bir taslağı Şekil 4'te gösterilmektedir.

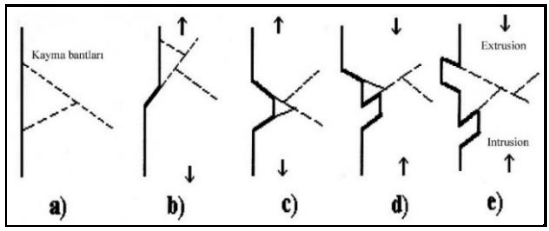


Şekil 4: Bir Dizi Ekstrüzyondan Gelişen Mikroskobik Olarak Küçük Bir Çatlağı Gösteren Bir Mikrograf Taslağı (Anderson, 2021).

Normalde yapının yüzeyinde bulunan bu mikro çatlaklar daha sonra tane sınırlarını aşabilir ve büyüyen çatlaklara sonra da kırılmaya dönüşebilir. Yorulma hasarının başlangıcının yerel doğasının bilgisi, yorulmanın değişken yapısı gereği, malzemenin etkisi, numune boyutu ve yüzey işlemi gibi özelliklerini açıklamak için büyük önem taşır. Ancak sonuçlar, örneğin malzemeler veya yüzey işlemleri arasındaki farklar hakkında yalnızca temel bilgiler verir ve tasarım için farklı nicel sonuçlar vermez.

Metal yorulmasına yol açacak tüm süreci incelemek için, yorulma adımları hakkında ayrıntılı bir anlayışa sahip olmak gerekir. Mikro çatlakların yeterince büyük sayıda değişen plastik gerinim genliğinin bir sonucu olarak başlayabileceği bilinmektedir. Yüzeyde bir dislokasyon belirdiği anda bir kayma adımı meydana gelebilir. Belirli bir alanda birkaç kayma adımı biriktiğinde yüzey pürüzlenmesi gerçekleşir.

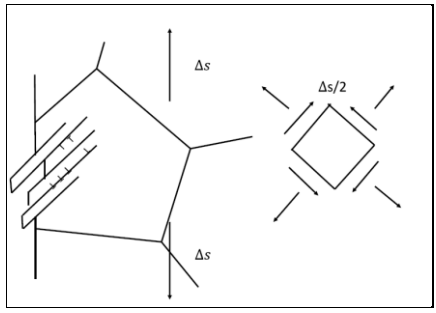
Şekil 5'te gösterilen adımlara göre ekstrüzyon (içe doğru çekme) ve intrüzyonların (dışa doğru itme) görünümü görülmektedir. Başka bir deyişle, kesişen iki kayma sisteminin oluşum sürecinin tasvir edilen aşamalara göre olduğuna inanılmaktadır (Ewalds, 1991).



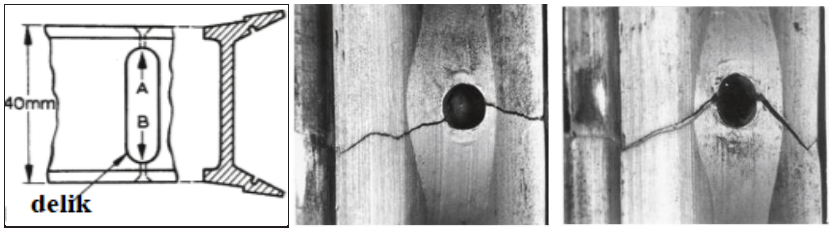
Şekil 5: Cottrell-Hull Modeline Göre İntrusion ve Ekstrüzyon Oluşumu (Cottrell ve Hull, 1957)

Şekil 5'te yorulma çatlağı başlamadan önce döngüsel deformasyon görülmektedir. Bu şekle göre girinti kayma sisteminde (c) üretilir, bu girintiyi veya çentiği çıkıntının görünümü izler ve son olarak ikinci yarı döngü boyunca hem birinci hem de ikinci kayma sistemlerinin tekrar çalıştığı varsayılır ve sonuç olarak görünüm oluşur. Bununla birlikte, kayma bantlarının plastik deformasyonunun bir sonucu olarak ciddi yüzey pürüzlülük alanları üretilir ve bu, farklı metaller için oldukça yaygındır. Ancak kaba veya lokalize plastik gerinimler olan kayma bantları, monoton deformasyondan ziyade döngüsel deformasyonun bir sonucu olarak daha olasıdır (Cottrell ve Hull, 1957).

Bir bileşende veya test numunesinde yorulma hasarının başlaması için kavramsal bir model Şekil 6'da görülmektedir. Δs uygulanan bir malzeme elemanının yüzeyi görülmektedir. Şekil 6'da olduğu gibi bazı konumlarda, yük yönüne yaklaşık 45 derecede tercih edilen kayma düzlemlerine sahip taneler bulunur yani çözülmüş kayma gerilmesinin maksimum olduğu yerlerdir.

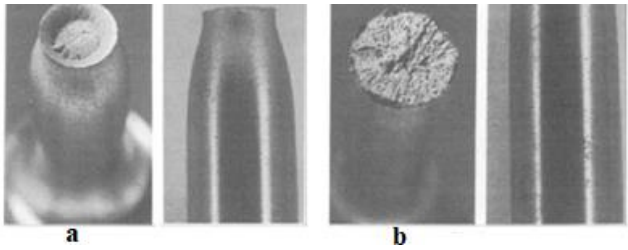


Şekil 6: Malzeme İç Yapısında Kayma Bantlarının Oluşması

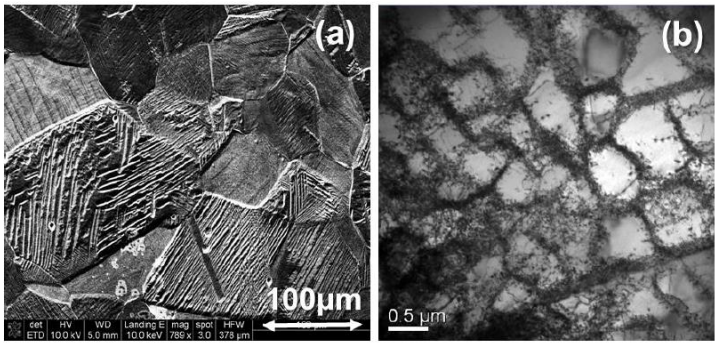


Şekil 7: Bir Helikopter Kanadında Bulunan Delikler Nedeniyle Çatlakların Başlaması

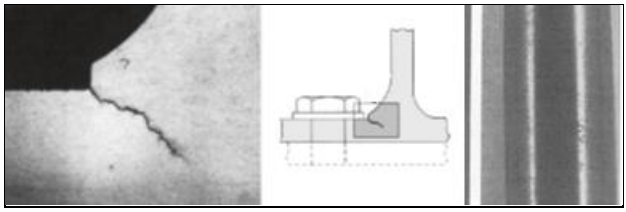
Şekil 7'de bir helikopter kanadında bulunan delikler nedeniyle çatlakların başlaması nedeniyle kalkıştan önceki çalıştırma prosedürleri sırasında helikopterden ayrılır. Helikopter alabora olur ancak herhangi bir patlama ve yaralanma olmaz (Schijve, 1984; Forrest, 1962; Ransom, 1954).



Şekil 8: Çentiksiz Silindirik Numunelerde (a) Sünek ve (b) Kırılgan Çekme Kırılmalarının Görünümü (Wilson, 1979)

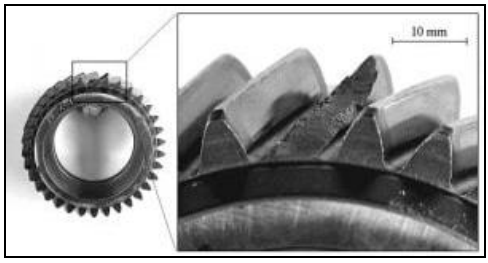


Şekil 9: (a) Taneciklerin ve (b) Dislokasyon Yapılarının Varlığından Kaynaklanan Homojen Olmayan Plastik Deformasyon (Cottrell 1953).



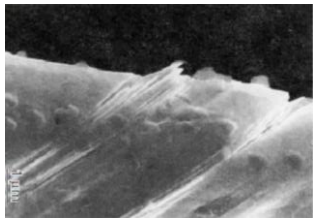
Şekil 10: Keskin Köşede Yorulma Çatlaklarının Kesiti (Heywood, 1952; Jaap Schijve; 2009)

Şekil 11: Alüminyumda Yorulma Çizgilerini Gösteren Transmisyon Elektron Fraktografı. 9000x (Colangelo ve Heiser, 1987)



Şekil 12: Bir Dişlide Oluşan Yorulma Kırılması

Şekil 13'te yorulma çatlaklarının başlamasının, kayma bantları boyunca, tane sınırlarında, ikinci faz partiküllerinde ve matris fazı ile inklüzyon veya ikinci faz arayüzeylerinde meydana geldiği gözlenmiştir. Yorulma çatlağının başlama şekli hangisinin en kolay oluştuğuna bağlıdır. Zayıf, kırılgan çökeltiler varsa muhtemelen baskın bir rol oynayacaklardır. Kayma, tane sınırları boyunca süreksizdir ve tanelerin ayrılmasını önlemek için birçok kayma sisteminin aktif olması gerekir. Bu nedenle, tane sınırları özellikle yorulma çatlağı başlangıcına karşı hassastır. Çatlak başlangıcı genellikle metalin yüzeyinde bir kusurun (bir çentik, bir yüzey çiziği veya çukuru veya başka bir malzemenin inklüzyonu veya çekirdeklenme bölgesi) yakınında gerçekleşir. Şekil 13'te maksimum kayma gerilimi tarafından tahrik edilen mikroskobik seviyede bir kayma bandı görülmektedir.



Şekil 13: Yroulma Çatlağının Başlaması

Şekil 14'te yorulma kırılma hatasından sonra bir test numunesinin yarısı görülmektedir. Test numunesi, havşalı tipik bir uçak bağlantı elemanı deliği olarak tasarlanmıştır. Bir yorulma test cihazı kullanılarak numune üzerinde yorulma testi gerçekleştirilmiştir. Yorulma testi sırasında kritik bir boyuta ulaşana kadar yorulma çatlağı büyümüş ardından numune hızla ikiye bölünmüş ve kopmayla sonuçlanmıştır. Numune üzerindeki yorulma çatlağı, daha açık gri alan olarak tanımlanır. En büyük yük döngüleri, yüzeyde plaj işaretleri olarak adlandırılan belirgin işaretler oluşturur. Bu kenar izlerinin zaman içinde geriye doğru izlenmesiyle, büyük stres yoğunluğunun meydana geldiği bağlantı elemanı deliği ve havşa kesişme noktasından bir yorulma çatlağının büyüdüğü görülmüştür.

Şekil 14: Havşa Kesişme Noktasında Yorulma Çatlağının Başlangıcı

Şekil 14'te malzemedeki herhangi bir değişikliğin, o malzemeden oluşan aletin çalışması sırasında stresin nereye uygulanacağı üzerinde kendi etkisi olacağı unutmamalıdır. Malzemede bu yorulmanın oluşma olasılığının yüksek olduğu belirli bölgeler olacaktır. Bu nedenle bu özel alanın hesaplanması önlem alınması açısından önemlidir.

Yorulma kopmasının meydana gelme faktörleri arasında, malzeme veya bileşeninin geometrisi ile şekli ve boyutu ön plana çıkmaktadır. Geometride veya tasarımda ani bir kesit daralması varsa o alanda kesinlikle daha fazla gerilme oluşacaktır. Bu bölge yorulma kırılmasına karşın daha savunmasız olacaktır. Herhangi bir kusurlu tasarım her zaman gerilmenin daha fazla yoğunlaştığı alanlara sahip olacaktır. Bu alan daha sonra gerilme çatlağının meydana gelmesi için başlangıç noktası olarak hareket edecektir. Bu nedenle, malzemenin

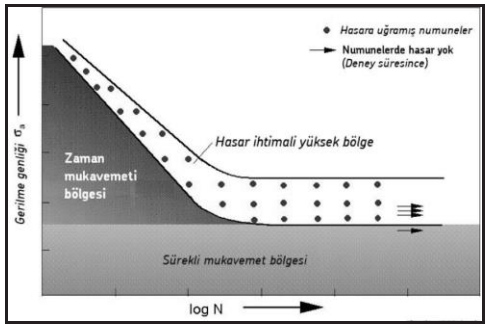
işlenmesi aşamasında yorulma zayıflığını önlemek için uygun tasarıma gitmek hayati önem taşır.

Malzemeler imalatta kullanılmadan önce dayanımlarını artırmak için bazı işlemlere tabi tutulurlar. Bunlarda yorulma dayanımına etki eden faktörlerdir. Karbürizasyon ve nitrürleme işlemleri gibi işlemler, yüzey sertleştirme işlemleridir. Bu işlemde çekirdek malzeme, yüksek sıcaklıklarda karbon ve azot bakımından zengin atmosferik koşullara maruz bırakılır. Böylece yüzey üzerinde sert bir malzeme katmanı oluşturur. Bu, alttaki yüzeyi daha büyük ölçüde korur. Gerilmenin kapsamı, malzemenin yükleme kuvvetine maruz kalma sıklığı da dikkat edilmesi gereken önemli bir noktadır. Bu yüke çok az maruz kalındığında yorulma kırılması oluşmamaktadır. Malzemenin kırılması için çok fazla sayıda tekrara maruz kalması gerekir. Bu nedenle yük etkisi altında oluşan gerilme miktarını ve sıklığını da kontrol etmek önemlidir. Çekme mukavemeti de yorulma zayıflığını önlemek için göz önünde bulundurulması gereken önemli bir faktördür. Çekme dayanımı orta düzeyde ise malzeme kırılmaya daha meyilli olacaktır. Ancak uygun bir basınç mukavemetine sahip olması malzemeyi korur. Ayrıca basınç kuvveti ortadan kaldırılmalıdır. Bu durum malzemede oluşabilecek zayıf noktaların tespitinde önemli ölçüde yardımcı olacaktır. Sürtünme, genel yüzey pürüzlülüğü düzgün olmadığında meydana gelir. Bu nedenle, yorulma olasılığı yüzey pürüzlülüğü arttıkça artar.

YORULMA DAYANIMININ ÖLÇÜMÜ

Yorulma dayanımı, çeşitli yöntemlerle deneysel olarak hesaplanır ve bazen mevcut ampirik verilere dayalı sayısal yorulma analizleri yoluyla tahmin edilir. *S-N* diyagramı, yorulma mukavemetini hesaplarken en yaygın kullanılan kavramdır. Bu, bir malzeme numunesine uygulanan genliğin (S) sabit döngüsel gerilmesini, numunenin nihai olarak bozulmadan önce dayanabileceği (*N)* yükleme çevrim sayısına karşı çizen bir grafiktir. Kırılma için gereken çevrim sayısı, özellikle düşük yük seviyelerinde genellikle milyonlara eşittir ve bu nedenle x ekseni normal olarak logaritmik çizilir (Roylance, 2001).

Bazı malzemelerde, özellikle demir alaşımlarında, Şekil 15'te S-N eğrisi belirli bir değerden sonra düzleşir, böylece belirli bir dayanıklılık sınırının altında yükler ne kadar uzun süre çevrim yapılırsa yapılsın kopma meydana gelmez. 10 Hz (test makinesinin bileşenlerindeki atalet ve numunenin ısıtılması genellikle daha yüksek hızlarda sorunlu hale gelir) ve bu hızda 10^7 çevrim sayısına ulaşmak 11,6 gün sürer. Tam bir S-N eğrisi elde etmek açıkçası sıkıcı ve pahalı bir prosedürdür. Bir deney serisinde çoğunlukla 6-10 adet deney numunesi gereklidir (Şık, 2002).



Şekil 15: Wöhler Eğrisi
(DIN, 1972; Savaşkan, 1999; Stephens, 2000; ASM, 1996)

Laboratuvarlarda bir malzemenin yorulma mukavemetini belirlemek için test numunesi standart yönergelere göre hazırlanır. Daha sonra, yorulma test ekipmanında numuneye bilinen sabit bir gerilim uygulanır. Test numunesi hareket ederken numunenin herhangi bir dış lifine uygulanan gerilim, maksimum gerilmeden sıfıra, maksimum sıkıştırmaya ve geriye doğru değişir. Test mekanizması, numune yorulma mukavemeti sonuçlarını üretemeyene kadar dönme (döngü) sayısını sayar. Çeşitli stres seviyelerinde yorulma testleri gerçekleştirilerek ve arızaya kadar olan döngü sayısı bulunarak bir eğri çizilir. Bu eğri, SN eğrisi olarak popülerdir. Çeşitli kodlar (ASME, BS, CEN, vb), SN eğrisini logaritmik ölçekte sağlar ve buradan belirli bir stres seviyesi için kopmaya kadar olan döngü sayısı kolayca belirlenebilir.

YORULMA DENEYİ İLE İLGİLİ TERİMLER

Yorulma kırılmasından dolayı kaynaklanan malzemelerin görevlerinin yapmaması sayısı oldukça fazladır. Bu nedenle, hasar mekanizmaları hakkında sağlam bilgiye sahip olmak için yorulma mekanizmasının iyi anlaşılması gerekir. Yorulma mekanizmasına (çatlak başlangıcı, çatlak ilerlemesi ve son kırılma) başlamadan önce "döngüsel yükler" terimini bilinmesi gereklidir. Bir malzemeye uygulanan döngüsel yükler, yükler çekme gerilmelerinden daha düşük olsa bile malzemenin kırılmasına neden olabilir. Döngüsel yükler, malzemeye zıt yönlerde (her zaman değil) uygulanan sürekli gerilmeler olarak tanımlanabilir. Bu nedenle çekme ve basma yükleri genellikle metal gövde üzerinde yorulma çatlakları oluşturur. Tekrarlanan çekme ve basma yükleri, stres diyagramlarında sinüzoidal eğriler olarak temsil edilir. Yaygın olarak uygulanan gerilmeler, eksenel (çekme ve basma), burulma ve eğilme gerilmeleri olmak üzere üç kategoriye ayrılır.

Gerilim-zaman diyagramlarının şekli değişebilir (Şekil 16). Ancak yorulma olgusunu tanımlamak için pozitif ve negatif stres değerleri olmalıdır. Negatif gerilme değeri, çevrimin maksimum gerilmesinden daha düşük gerilme değerleri olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla stresin işareti önemli değildir; yük döngüsü tekrar daha yüksek ve daha düşük stres değerleri içermelidir. Bu noktada, uygun öğrenmeyi sağlamak için yorulma döngüsüyle ilgili belirli terimler iyi tanımlanmalıdır (Fatigue Physics*,* 2020; Onaran, 1995; Tekin, 1986).

Ortalama gerilme, gerilme aralığı, gerilme genliği ve gerilme oranı formülleri aşağıda verilmiştir;

- Ortalama stres terimi, bir stres periyodu veya döngüsündeki minimum ve maksimum streslerin ortalaması olarak tanımlanır.

$$\sigma_m = (\sigma_{maks} + \sigma_{min}) / 2 \quad (1)$$

- Stres aralığı terimi, maksimum stres ve minimum stres arasındaki fark olarak tanımlanabilir.

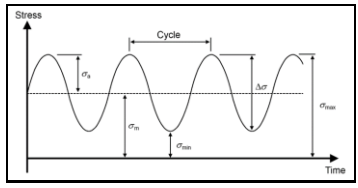
$$\sigma_r = \sigma_{maks} - \sigma_{min} \quad (2)$$

- Gerilme genliği, gerilme aralığının yarısıdır ve şu şekilde hesaplanır;

$$\sigma_a = (\sigma_{maks} - \sigma_{min}) / 2 \quad (3)$$

- Yorulma ile ilgili son bir terim, minimum ve maksimum gerilimlerin oranı olan gerilim oranı olarak tanımlanır.

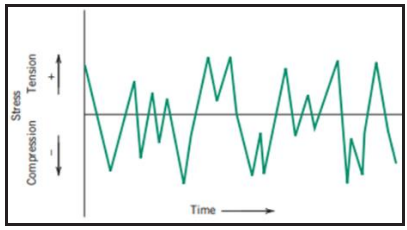
$$R = \sigma_{min} / \sigma_{maks} \quad (4)$$



Şekil 16: Yorulma Testi Gerilme-Zaman Çevrim Diyagramı
(Alsaran, 1997; Zahavi, 1996; Stephens, 2000)

Gerilim-zaman diyagramlarının çoğu, maksimum ve minimum gerilimlerin eşit olduğu ve her işlemin gerilim genliğinin birbirine benzer olduğu ters gerilim

döngülerini gösterir. Ancak maksimum ve minimum basınçlar arasındaki simetri değişebilir. Buna ek olarak, döngülerin sıklığı da birbirinden farklı olabilir. Yüklerin farklı değerlerde tekrarlanması yorulma için esastır. Şekil 17'de diyagram, farklı genlik ve frekanslara sahip stres-zaman döngülerini göstermektedir.



Şekil 17: Değişken Frekans ve Genliklere Sahip Bir Stres-Zaman Diyagramı (Callister, 2001)

Yorulmada Çatlak İlerlemesinin Hesaplanması

Bir malzeme özelliği olan kritik gerilme yoğunluğunun, K_{IC}, altında çatlak kararlıdır. Tekrarlanan gerilmeler çatlağın yorulma mekanizması ile ilerlemesine yol açar. Çatlak tekrarlı gerilmeler altındayken K_{IC}'den çok küçük değerlerde bile oluşabilir (Merdan, 1986).

Yorulma çatlak miktarı;

$$\frac{da}{dn} = C.\sigma_a{}^m.a^n \tag{5}$$

Burada;

C= Malzeme sabiti

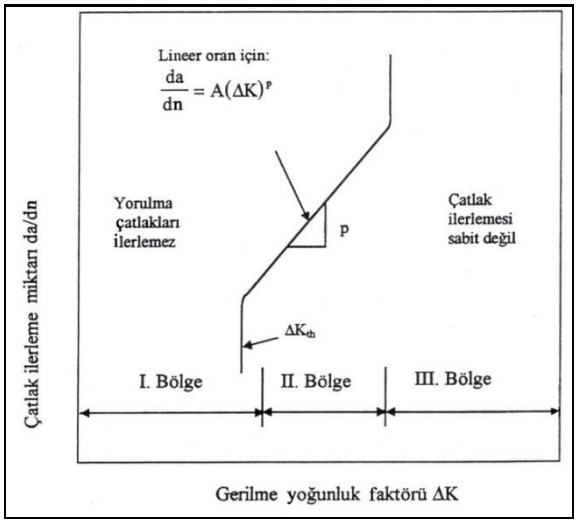
$\sigma_a{}^m$ =Ortalama gerilme

Farklı gerilme miktarlarında, çatlak boyuna karşılık çevrim, gerilim yoğunluğuna karşılık da/dn eğrileri çizilmiştir. Gerilme yoğunluk faktörü;

$$\Delta K = K_{\max} - K_{\min}$$

$$\Delta K = \sigma_{\max}\sqrt{\pi a} - \sigma_{\min}\sqrt{\pi a} = \sigma_r\sqrt{\pi a} \tag{6}$$

Burada σ_r, en büyük gerilme ile en küçük gerilme arasındaki farktır (Cullen, 1980).



Şekil 18: Yorulma Çatlak İlerlemesinde Oluşan Bölgeler (Uygur, 1999; Zahavi,1996; Suresh, 2001)

Şekil 18'de görüldüğü gibi çatlak ilerlemesi üç bölgede oluşmaktadır. I. bölgede, bir başlangıç noktası vardır. Bu ΔK değerinin altında çatlak ilerlemez. Bunun üzerinde çatlak ilerleme hızı artan ΔK ile oldukça hızlı artar. II. bölgede genellikle $\Delta K - da/dn$ eğrisinde lineer bir ilişki vardır. III. bölgede çatlak ilerleme hızı artar ve maksimum gerilme yoğunluk faktörüne erişildiğinde malzeme kırılır.

Çatlak ilerleme hızı Paris ilerleme hızı diye bilinir ve;

$$da/dn = C.(\Delta K)^m \tag{7}$$

ile gösterilir.

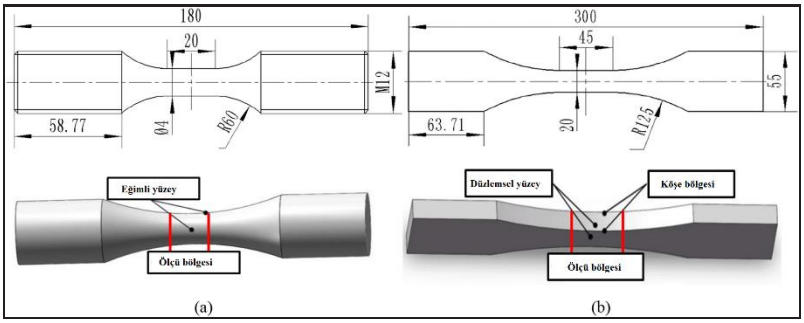
Burada;

$C =$ Malzeme sabiti

$$m = \frac{da}{dn} - (\Delta K) \text{ eğrisinin eğimidir.}$$

YORULMA DENEY NUMUNELERİ VE MAKİNELERİ

Şekil 19'da yorulma dayanımı test numuneleri görülmektedir. Bu numuneler kullanılan test makinelerine göre farklı ölçülerde olabilirler. Farklı standartlarda ve farklı test makinalarında numuneler değişiklik gösterebilir.



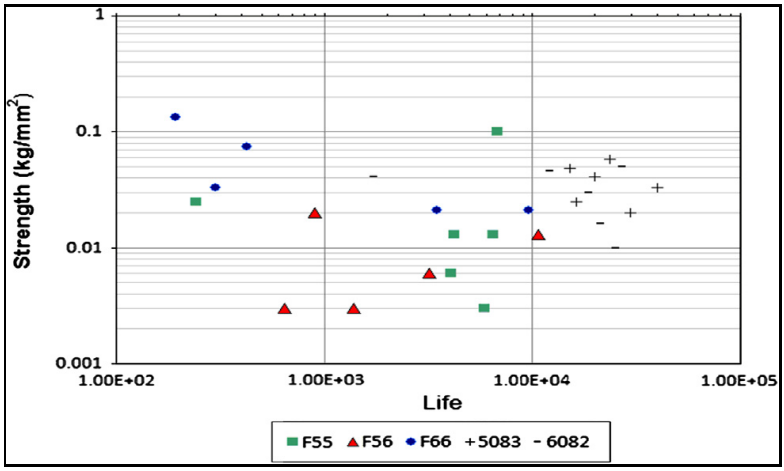
Şekil 19: Gözden Geçirilmiş Stres Alanı Yoğunluğu Yaklaşımı Kullanılarak Alüminyum Alaşımının Yorulma Mukavemeti Üzerinde Yüzey Pürüzlülüğünün Etkisi
(Zhao, Song, ve diğerleri, 2021)

Yorulma testinde kullanılan test makineleri, üreticilerin ve araştırmacıların bir malzeme veya bileşenin zaman içinde gerçek kullanımdaki yükleme senaryolarında nasıl performans göstereceğine dair kritik bir anlayış elde etmelerini sağlar. Yorulma test makinelerinde test gereksinimlerine uygun çok çeşitli yorulma testi sistemleri bulunmaktadır. Bir yorulma test cihazı, testin amacı, gerilme türü, yükü üretme yöntemi, çalışma özellikleri, yük türü, vb. gibi farklı bakış açılarına göre sınıflandırılabilir.

Yorulma testi makinelerinin sınıflandırılması;

1. Genel amaçlı yorulma test makinesi,
2. Özel amaçlı yorulma test makinesi,
3. Parça ve düzenekleri test etmek için kullanılan makinelerdir.

Şekil 20'de bir yorulma test makinesinde elde dilmiş S-N diyagramı görülmektedir.



Şekil 20: Kaynaklı Bağlantılar İçin Yorulma Testi Sonuçları (Güngör, Kaluç ve diğerleri, 2014)

YORULMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Metal malzemenin yorulma mukavemeti, çeşitli dış ve iç faktörlere karşı son derece hassastır. Dış faktörler, parçanın şekli ve boyutunu, yüzey bitişini ve kullanım koşullarını vb. içerir. İçsel faktörler, metal malzemenin kendisinin bileşimini, doku durumunu, saflığı ve artık gerilmeleri içerir. Bu faktörlerdeki küçük değişiklikler, metal malzemenin yorulma performansında dalgalanmalara ve hatta önemli değişikliklere neden olabilir.

Çentik etkisi

Bir malzemede oluşan çentikler gerilim yoğunlaşmasına neden olur, öyle ki çentiğin kökündeki maksimum gerçek gerilim, parça tarafından taşınan nominal gerilimden çok daha büyüktür ve parçanın yorulma hatası genellikle buradan başlar (Şekil 21).

Çentik etkisi davranışı ölçülü olarak yorulma çentik kat sayısı $\beta_{çen}$ gibi bir sayı ile tanımlanır.

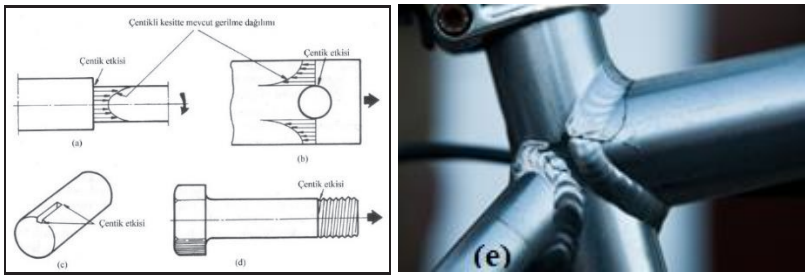
$$\beta_{çen} = \frac{\sigma_y çentiksiz}{\sigma_y çentikli} \tag{8}$$

Yorulma dayanımı σ_y olarak, yorulma üst gerilmesi $\sigma_{üst}$ alınır. $\sigma_{ort}=0$ ise $\sigma_{üst}$ aynı zamanda değişken yorulma dayanımı olacağından bu özel durum için;

$$\beta_{çen} = \frac{\sigma_D çentiksiz}{\sigma_D çentikli} \tag{9}$$

Çentikli parçalarda yorulma dayanımı olarak bu şekilde saptanan gerilme değerine, anma gerilmesi veya hesaplanan gerilme adı verilir. Gerçekte çentik dibinde ve çevresinde bu anma gerilmesinden oldukça yüksek gerilme yığılmaları bulunmaktadır.

Kopma çevrim sayısının azalması (yani gerilme genliğinin artması ve zorlama süresinin azalması) ile $\beta_{çen}$ küçülür. Bu nedenle yorulma çentik katsayısı sürekli yorulma dayanımı bölgesinde daha düşük olup, 10^6 ile $0{,}6.10^6$ çevrim sayıları arasında belirgin bir azalma gösterir.



Şekil 21: Malzemede Oluşan Çentikler: (a) Ani Kesit Değişmesi, (b) Delik, (c) Kama Yuvası, (d) Dişli Cıvata ve (e) Kaynak (Oğuz, 1986)

Boyut faktörünün etkisi

Malzemenin homojen olmaması ve iç hataların varlığından dolayı, boyutun artması malzeme hatası olasılığının artmasına ve dolayısıyla malzemenin yorulma limitinin azalmasına neden olur.

Malzeme yapısının homojen olmaması ve iç kusurların varlığından dolayı boyutun artması malzemenin hatalı olma olasılığını artıracak, dolayısıyla malzemenin yorulma limitini azaltacaktır. Küçük numuneler üzerinde gerçek boyuttaki parçalar üzerinde gerilim konsantrasyonu ve gerilim gradyanını yeniden oluşturmak mümkün olmadığından, laboratuvar sonuçları bazı belirli parçaların yorulma hatasından ayrılmaktadır.

Boyut etkisi deneysel çalışmalarla belirlenmiştir. Çelikler için yorulma ömrü ile boyut etkisi arasındaki ilişki aşağıdaki gibi açıklanır;

$$\sigma_{f1} = \sigma_{f0} \frac{V}{V_0} \tag{10}$$

Burada σ_{f1}, kritik V hacmi için yorulma sınırı; σ_{f0}, V_0 hacimli bir numune için yorulma sınırıdır.

Yüzey işleme durumunun yorulma üzerindeki etkisi

Malzeme yüzeyindeki işaretler, malzemenin yüzeyinde stres konsantrasyonuna sebep olan ve nihayetinde malzemenin yorulma mukavemetini azaltan küçük boşluklara eşdeğerdir. Testler, çelik ve alüminyum alaşımları için kaba işlemenin, uzunlamasına ince işlemeye kıyasla yorulma sınırını %10-20 veya daha fazla azalttığını göstermiştir. Malzeme ne kadar güçlü olursa yüzey kalitesine o kadar duyarlı olur (Şık, 2002).

Parçaların aşınma direncini artırmanın yanı sıra, karbonlama, nitrürleme ve karbonitrürleme gibi yüzey ısıl işlemleri de özellikle korozyon yorgunluğu ve aşınması olmak üzere parçaların yorulma mukavemetini iyileştirmek için etkili bir yöntemdir. Karbonlama, nitrürleme, karbonitrürleme vb. gibi kimyasal ısıl işlemlerin aksine, ısıl işlem sürecinde karbon elementi hariç tutulursa, parçanın yüzey mukavemeti düşecek ve malzemenin yorulma mukavemeti de büyük ölçüde azalacaktır. Düşük sertleştirilebilir çeliğin indüksiyonla su verme, yüzey alevle su verme ve ince kabuklu su verme kullanıldığında, belirli bir yüzey sertlik katmanı derinliği elde edilebilir ve yüzey katmanında uygun artık basınç gerilimi oluşur, bu nedenle aynı zamanda etkili bir yöntemdir.

Kimyasal bileşimin etkisi

Bir takım koşullar altında, malzemenin yorulma dayanımı, çekme dayanımıile yakından ilişkilidir. Bu nedenle, belirli koşullar altında, çekme dayanımı iyileştirebilen herhangi bir alaşım elementi dayanımı iyileştirebilir. Karbon ise malzemenin dayanımını etkileyen en önemli faktördür. Bununla birlikte, çelikte kapanım oluşturan bazı safsızlık elementleri, dayanımda zararlı bir etkiye sahiptir.

Malzemelerin belirli koşullar altında yorulma dayanımı ile çekme dayanımı arasında yakın bir ilişki vardır. Bu nedenle, belirli koşullar altında, çekme dayanımını iyileştirebilen herhangi bir alaşım elementi, malzemelerin yorulma dayanımını iyileştirebilir. Nispeten, karbon, malzemelerin dayanımını etkileyen en önemli faktördür. Ancak çelikte kalıntı oluşturan bazı safsızlık elementlerinin yorulma dayanımı üzerinde olumsuz etkileri vardır.

Isıl işlem ve mikroyapının yorulmaya etkisi

Çeşitli ısıl işlemler ile çeşitli mikro yapılar elde edilmektedir. Bu nedenle ısıl işlemin yorulma dayanımı üzerindeki etkisi esasen mikro yapının etkisidir. Çeşitli ısıl işlemler nedeniyle aynı bileşimdeki malzemeler aynı statik dayanımı elde edebilir, ancak farklı yapılar nedeniyle yorulma dayanımı önemli bir aralıkta değişebilir.

Aynı dayanım seviyesinde, pul perlitin yorulma dayanımı, granüler perlitinkinden önemli ölçüde daha düşüktür. Sementit parçacıkları ne kadar ince olursa, yorulma dayanımı o kadar yüksek olur (Tekin, 1987).

İnklüzyon etkisi

İnklüzyonlar tarafından oluşan delikler küçük boşluklara eşdeğerdir ve alternatif yüklerin etkisi altında, yorulma kırılmasının çatlak kaynağı olacak ve yorulma performansını olumsuz yönde etkileyecek olan stres konsantrasyonu ve gerinim konsantrasyonu meydana gelecektir. İnklüzyonların yorulma mukavemeti üzerindeki etkisi, sadece inklüzyonların tipine, şekline, boyutuna, miktarına ve dağılımına değil, aynı zamanda malzemenin mukavemet seviyesine ve uygulanan stresin seviyesi ve durumuna da bağlıdır. Farklı inklüzyon türleri farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahiptir ve yorulma özellikleri üzerinde farklı etkilere sahiptir. Genel olarak, kolayca deforme olabilen plastikler (sülfürler gibi) çeliğin yorulma özellikleri üzerinde çok az etkiye sahipken, kırılgan kalıntılar (oksitler, silikatlar, vb.) daha zararlıdır. İnklüzyonların ana metale ne kadar sıkı bağlandığı da yorulma mukavemetini etkiler. Sülfürün deforme olması kolaydır ve ana metal ile yakından birleşirken, oksitin ana metalden ayrılması kolaydır, bu da gerilme konsantrasyonuna neden olur. İnklüzyonların türünden sülfitlerin etkisinin küçük olduğu, oksitler, nitrürler ve silikatların ise daha zararlı olduğu görülebilir.

Malzemenin yorulma sınırı stres aralığında, inklüzyonların varlığı, yerel gerinim konsantrasyonunun, malzemenin yorulma mukavemetini güçlü bir şekilde etkileyen plastik deformasyon için kontrol faktörü haline gelmesine neden olur. Başka bir deyişle, kalıntıların mevcudiyeti esas olarak malzemenin yorulma sınırını etkiler ve yüksek gerilimli koşullar altında yorulma mukavemeti üzerinde çok az etkiye sahiptir.

Sıcaklığın yorulma mukavemetine etkisi (termal yorulması)

Termal yorulma, ekipmanın sıcaklığındaki (ısıtma ve soğutma) tekrarlayan dalgalanmalardan kaynaklanan döngüsel stresler (termal genleşme ve büzülme) tarafından indüklenen belirli bir yorulma kırılması türüdür. Bu tür yorulma özellikle enerji mühendisliği, havacılık ve otomotiv mühendisliğinde çok

önemlidir. Sıcaklık değişiminin bir sonucu olarak bir elemanın boyutunda bir değişiklik, kısıtlama (Dieter, 1961; Bhandari, 1985; Şehitoğlu, 1983) ile önlendiğinde, termal gerilmeler ortaya çıkar. Bu kısıtlamaya mekanik araçlar (boru destekleri gibi) veya sadece kalın bir bileşende başka bir sıcaklıkta olabilen bitişik malzeme neden olabilir.

Termal yorulma, sıcaklıktaki döngüsel dalgalanmalar nedeniyle bir malzemenin aşamalı olarak bozulmasını ifade eder. Termal yorulma öncelikle metalleri etkiler, çünkü bunlar son derece iletkendir ve doğal olarak sıcaklık değişikliklerine açıktırlar.

Metal bir cisim ısıtıldığında genleşir ve soğutulduğunda büzülür. Bu nedenle, tekrarlayan sıcaklık dalgalanmaları sonuçta metalin yüzeyinde aşınmaya ve yıpranmaya neden olur. Bu tür metalik bileşenler, diferansiyel termal genleşme nedeniyle orta ve daha şiddetli çatlama yaşayacaktır. Hemen önlem alınmazsa metalin yüzeyindeki bir dizi çatlak yapısal başarısızlığı hızla yayar. Termal yorulma aynı zamanda belirli metallerde ve alaşımlarında yaşanan ve yapısal bütünlüklerini olumsuz yönde etkileyen stres korozyonu çatlamasına neden olan bir faktördür.

Termal yorgunluğu incelemek için bazı test prosedürleri ve uygulamaları kullanılabilir. Manyetik parçacık testi (MPT), sıvı penetrant testi (LPT) ve yüzey dalgası ultrasonik testi (SWUT), metalik maddelerdeki termal yorgunluğu incelemek ve düzeltmek için kullanılan üç ana test sürecidir (Morrow, 1983).

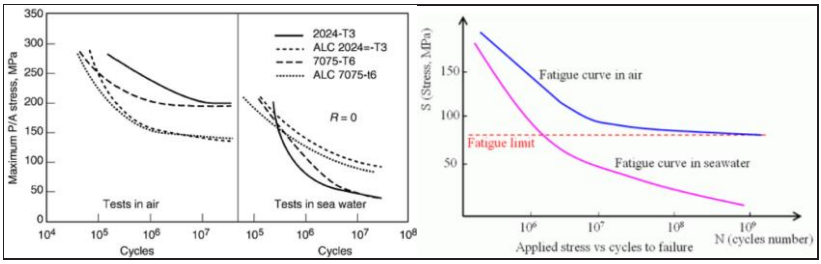
Korozyon yorulması

Korozyon yorulması, kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonların bir sonucu olarak lokalize geri dönüşü olmayan döngüsel plastik deformasyonla sonuçlanan birikmiş yük çevrimi yoluyla meydana gelir.Yorulma zaten genellikle mühendislik hatalarının en yaygın nedeni olarak tanımlanmaktadır ve aşındırıcı bir ortam ortaya çıktığında güvenli bir gerilim aralığı için hiçbir garantisi yoktur (Pedersen, 2018).

Korozyon yorulması, döngüsel yükleme ve aşındırıcı ortamın birleşik sinerjistik eylemleriyle oluşur. Geçici dönemlerde çatlak başlangıcı ve büyümesi ile süreksiz bir süreçtir. Korozyon yorulması, korozyon çukurları ile ilişkili stres konsantrasyonlarında yorulma çatlaklarının çekirdeklenmesi veya çatlakta eş zamanlı korozyon oluşmasıyla yorulma çatlağı büyümesinin hızlanmasıdır.

Korozyon çukurlarından kaynaklanan gerilme konsantrasyonu, kayma adımları bir numunenin yüzeyini kırdığında açığa çıkan taze metal tercihen aşındırıcı türler tarafından saldırıya uğrar. Bu saldırı zaten oldukça gergin olan bu alanda malzemenin yorulma dayanımında düşüşlere neden olan stres konsantrasyonları yaratır.

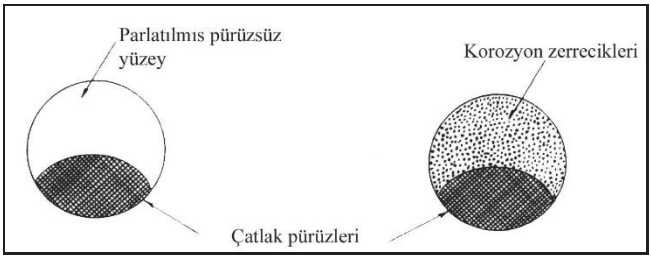
Oksit filmlerin yırtılması ayrıca belirli metallerde ve ortamlarda daha hızlı çatlak başlangıcına neden olabilir. Bu etki öncelikle bakır, alüminyum ve paslanmaz çelik gibi hava ile temas sonucu oksit tabakası oluşan malzemelerde bulunur.



Şekil 22: Hava ve Deniz Suyunda Korozif Ortamın Yorulma Özellikleri Üzerindeki Etkilerine Örnekler (Karim-Khani, 1999)

Aşındırıcı bir ortamda çalışan bileşenler yorulma mukavemeti üzerinde çarpıcı bir etkiye sahip olabilir. Çatlak başlama aşamasında, korozyon çukurları çatlak başlama yerleri olarak işlev görecektir. Benzer şekilde, çatlak ilerleme aşamasında, korozyon genellikle çatlak büyümesini hızlandıracaktır.

Malzemelerde korozyona neden olan ortamların başında hava, deniz suyu ve endüstriyel atmosfer gelir. Havada korozyona sebep olan en önemli etkenler ise oksijen ve nemdir. Bunun yanı sıra sulu çözeltiler, asitler, bazlar, ergimiş tuzlar, inorganik çözücüler ve de sıvı metaller korozyona sebep olan ortamlardır.



Şekil 23: Korozyonun Yorulmaya Etkisi (SAE, 1968).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak mühendisler ve imalatçılar yorulmadan dolayı oluşan arızaları gidermek için bazı önlemleri almak zorundadırlar. Yorulma meydana gelirken, metal yapıların ve parçaların yorulma gerilimlerinden kaynaklanan kritik arızaları azaltmaya çalışmalıdırlar. Bazı uygulamalar ve önlemler; Metal malzemelerde korozyon yüzey pürüzlülüğünü arttırır. Dolayısıyla yorulma dayanımı azalır. Bu

nedenle yüzey pürüzsüz olmalıdır. Delik, çentik, kaynak, vb. durumlarda malzeme kesiti zayıfladığı için yorulma dayanımı azalır. Keskin köşelerden kaçınılmalıdır. Stres konsantrasyon seviyelerini azaltmak için büyük yarıçaplar kullanılmalıdır. Kesitte ani değişikliklerden kaçınılmalıdır. İşlenmiş yüzey kaplamaları mümkün olduğunca pürüzsüz hale getirilmelidir. Yüzeyi pürüzsüz hale getirmek için ince zımpara bezi kullanılmalıdır. Kaynak, herhangi bir kalıntı, çentik ve gözenek olmaksızın iyi kalitede olmalıdır. Kaynaklar bir metalin metalürjik özelliklerini değiştirir (hızlı soğuma oranları büyük tane büyümesine neden olur) ve ana metal ısıdan etkilenen bölgede (HAZ) zayıflar. ITAB kaynağın altına uzanır ve yüzeyin altında yorulma çatlakları gelişebilir. Parça kritik olarak yüklenmişse, metalin mikro yapısını değiştirmek için HAZ'a ısıl işlem uygulanması yapılmalıdır. Gerilim yükselticilerin olduğu yerlerde döngüsel olarak yüklenecek olan parçalara yüzey işlemi uygulanmalıdır. Yorulmaya dayanıklı metalürjik özelliklere sahip malzemeler seçilmelidir. Küçük taneli, homojen mikro yapı, bir dereceye kadar süneklik ile yüksek çekme gerilimi kullanılmalıdır.

KAYNAKÇA

Allah, A., Abdin M.H., Enayat, M., Selmy, A.I., Khashaba, U., (1997). "Short communication effect of mean stress on fatigue behaviour of GFRP pultruded rod composites", *Composites-Part A: Applied Science and Manufacturing,* Vol.28, No.1, 87-91,

Alsaran, A., (1997). *Kaynaklı parçaların yorulması*, Atatürk Ünv. Fen Bil. Enst., Yük. Lis. Tezi, Erzurum

Anık, S., (1977). "*Material ınformation and examination*", Üçer Publisher, İstanbul, 144–147,

Anderson Wedge K., Avery D .Z., Daniewicz, S.R., Sowards, J. W., Allison, P. G., J.B. Jordon, Amaro R.L. (2021). Characterization of the fatigue behavior of additive friction stir-deposition AA2219, *International Journal of Fatigue* Volume 142

Askeland, D.R., Translated; Erdoğan, M., (1998). *"Materials science and engineering materials*", Vol. II, Nobel Publisher, No. 128, Ankara, p, 348

ASM Handbook, (2000). *"Mechanical Testing and Evaluation"*, Volume 8, p. 998,

ASM, (1966). *How components fail*, American Society For Metals, USA

ASM, (1990). *Materials park*, American Society for Metals International, 10th ed., Ohio

Bhandari, S. K, (1985). "Thermal fatigue-thermal stripping", *Fracture, Fatigue and Advanced Mechanics,* Pressure Vessels and Piping Conference Proceedings", PVP-Vol. 98-8, ASME, s. 135.

Callister, W., (2001). *Fundamentals of materials science and engineering* (9th ed., p. 271. New York: Wiley.

Charles M., (2015). "Engineering Disasters: SS Schenectady, a Lesson in Brittle Fracture". *Design News*. Informa Markets. Retrieved

Colangelo V. J.x and Heiser, F. A. (1987). *Analysis of Metallurgical Failures,* 2nd edition. Copyright by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.

Cottrell A. (1953). *Dislocations and plastic flow in crystals*. Oxford: Clarendon Press,.

Cottrell, A., H., Hull, D., (1957). *Proceeding of the royal society*, London

Cullen, H.,W., Torronen, K., (1980). *Report nureg/Cr-1576*, Naval Research Laboratuar, Washington

Demaid, A.P.A and Lawley, A. (1985). "*The Markham Mine Disaster*", in ASTM STP 918

DIN 50 100, (1972). Testing of materials continuous vibration test deutsche normen

Dieter, Jr., GE, 1961, Mechanical Metallurqy, McGraw-Hill, New York, s. 101-1 333 – 334 .

Ewalds, H.L., Wanhill, R.J.H., (1991). *Fracture mechanics, Hodder and Stoughton* Lmtd., Kent U.K.

Fatigue Physics 2020, Fatigue Life LLC. November

Forrest, P.G., (1962). *Fatigue of Metals.* Pergamon Press, Oxford

Gönen, D., Oral, A., Çakır M.C., (2008). "Double Compression Ratio Fatigue Tester Design And Production" *BAÜ FBE Dergisi*, Vol:10, No:1, 98-108,

Güleç, Ş., Aran, A., (1983). Çelik ve dökme demirlerin yorulma dayanımı, *TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü*, MBEAE Matbaası-Gebze

Güngör, B., Kaluç, E., Taban, E., Şık A., (2014). Mechanical, fatigue and microstructural properties of friction stir welded 5083-H111 and 6082-T651 aluminum alloys, *Materials and Design* 5684-90

Heywood, R. B., (1952). *Designing by Photo-Elasticity.* Chapman and Hall, London and Photo-Elasticity for Designers. Pergamon Press (1969).

Jaap S. (2009). Fatigue of Structures and Materials Springer Science+*Business Media*, B.V

Karim-Khani M., (1999). "Ermüdungsverhalten randschichtwärmebehandelter Stähle ohne bzw. mit *Korrosioneinfluß*", Mensch & Buch Verlag, Berlin, ISBN 3-9333-46-55, p. 78-83.

Kattimani, M. A., Khatib, M. I., Ghori M. M., Sajjad M.A, Jahangir, S., Baqtaiyan, H., Sadiq, M., et al., (2020). Design and Fabrication of Fatigue Testing Machine *Int J Sci Res Sci Eng Technol*. 7 (1):295-304 https://doi.org/10.32628/IJSRSET20728

Madoyag, A.,F., (1969), *Metal fatigue:theory and design*, John Wiley and Sons Inc. Newyork, USA

Merdan, J. S., (1986), *Isıl ve kısa ömürlü yorulmanın dizayn açısından etüdü*, Erciyes Ünv. Fen Bil. Enst., Yük. Lis. Tezi, Kayseri

Metal Fatigue Life Prediction Calculation & Analysis Software, (2023). https://fatigue-life.com/fatigue-physics/

Morrow, D. L, (1983), "Component Simulations of Pressure Vessels Subjected to Thermal Fluxes", Thermal and Environmental Effects on Fatigue: Research-Design Interface Presented at the 4th *National Pressure Vessel and Pipe Technology Congress*, ASME, Portland, Oregon, PVP-Cilt. 71, s. 59–73.

Oğuz, B., (1987). *Karbonlu ve alaşımlı çeliklerin kaynağı*, Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş., İstanbul

Onaran, K., (1995), *Malzeme bilimi*, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul

Pedersen, M. M., 2018). Data Sheet Introduction to Metal Fatigue Concepts and Engineering, *Approaches Technical report,* ME-TR-11 Aarhus University

Peter, T., (2001). "How much did the liberty shipbuilders learn? New evidence for an old case study" *The Journal of Political Economy*. The University of Chicago Press. 109 (1): 103-137.

Ransom, J.T., (1954). *The effect of inclusions on the fatigue strength of SAE 4340 steels*. Trans. Am. Soc. Metals, Vol. 46 xpp. 1254–1269.

Rohith, S., Yashwanth N., Swarnakiran S., (2019). Design and fabrication of fatigue testing machine for sheetmetal ınternational *Research Journal of Engineering and Technology* (IRJET) e-ISSN: 2395-0056 Volume: 06 Issue: 12 www.irjet.net p-ISSN: 2395-0072)

Roylance, D. (2001). *Fatigue Department of Materials Science and Engineering,* Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA 02139

SAE, (1968). *Fatigue design handbook*, Society For Automotive Engineers, USA

Savaşkan, T., (1999). Malzeme bilgisi ve muayenesi, Derya Kitabevi, Trabzon

Schijve, J., (1984). *The practical and theoretical significance of small cracks. An evaluation*. Fatigue 84. Proc. Int. Conf. on Fatigue Thresholds, Birmingham. EMAS pp. 751–771.

Sehitoglu, H. ve Morrow, JD., (1983). "Characterization of Thermo-Mechanical Fatigue", Thermal and Environmental-mental Effects in Fatigue: Research-Design Interface, Presented at the 4th *National Pressure Vessel and Pipe Technology Congress,* ASME, Portland, Oregon, June 19-24, PVP- Cilt. 71, s. 93-110.

Stephens, R.I., Fatemi, A., Stephens, R.R., Fuchs, H.O., (2001). *Metal fatigue in engineering*, second edition, John Wiley&Sons, INC., USA

Suresh S. (1992). *"Fatigue of materials"*, Cambridge University Press ISBN 0 521 43763 6.

Suresh, S., (2001). *"Fatigue of materials"*, Cambridge University Pres, Cambridge U.K.36

Şık, A., (2002) .*"Effects of gas compositions on mechanical properties of MIG/MAG welded automobile*", Gazi University Institute of Science and Technology, Doctorate Thesis

Tekin, A., (1987). *Bofors El Kitabı*, Çelik ve ısıl işlemi, FLNS Matbaacılık, İstanbul

Tekin, E., (1986). *Mühendisler için çelik seçimi*, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yayın No:119, Ankara

The DeHavilland Comet Crash, (2020). Havacılık ve Uzay Mühendisliği Blogu *https://aerospaceengineeringblog.com/dehavilland-comet-crash/*

Uygur, İ., (1999). Environmetally assisted fatigue response of Al-Cu-Mg-Mn with SIC particulate metal matrix composites, University of Wales, U.K.

Wilson, A.D. (1979). Calcium Treatment of Plate Steels and Its Effect on Fatigue and Toughness Properties, *Proc. 11th Annual Offshore Technology Conference,* OTC 3465, p 939-948

Zahavi, E.; Torbilo, V., (1996). *Fatigue design life expectancy of machine parts*, CRC Pres, USA

Zhao, B., Song J., Xie L., Hu Z. & Chen J., (2021). *Scientific Reports* volume 11,Article number:19279 www.nature.com/scientificreports https://doi.org/10.1038/s41598-021-98858-0

Bölüm 7

Zirkon Bir Karakutu mu?

Ayşe Didem KILIÇ[1]

1 Doç. Dr.; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Bölümü.
adkilic@firat.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-6804-6764

ÖZET

Doğal kayalardaki yaygın ve önemli bir aksesuar minerali olan zirkon tam bir *karakutu*'dur. Özellikle yüksek U ve Th içeriği ile U–Th–Pb sistemleri için yüksek kapanma sıcaklığının kimyasal ve fiziksel aşınmaya dayanıklılığı özellikleri nedeniyle; Kesin jeolojik yaş vermesi, köken, oluşum ortamı, kabuk asimilasyonu, meteorik suların özelliği gibi birçok jeolojik sürecin sağlam bir göstergesi olarak kullanılır. Zirkon, magmatik, hidrotermal veya metamorfik kökene sahip olabilir. Magmatik zirkon, silisli magmanın neredeyse katılaşma noktasına yakın kristallenme tarihini ayrıntılı şekilde kaydeder. Hidrotermal zirkonlar (magmatik-hidrotermal geçiş sırasında akışkana doygun eriyiklerden kristallenmiş zirkonlar), sonraki akışkan infiltrasyon olaylarını ve su-kaya etkileşimini tarihlendirir. Metamorfik zirkonlar, metamorfik koşullarda subsolidüs ve jeotermik süreçlerde gelişen değişimi, kaya-akışkan etkileşiminde oksijen izotop oranı ile kaydeder. Dolayısıyla, zirkon özgün kristal yapısı, doku ve kimyasıyla farklı ortam, köken ve koşullardaki birçok jeolojik veriyi barındıran özel bir mineral olarak kabul edilir.

Anahtar Kelimeler: NTE, Yama, Zonlanma, Jeokronoloji, İzotop

GİRİŞ

Zirkon magmatik, metamorfik ve sedimanter birçok kayaçta bulunan bir mineraldir. Zirkon mineralinin endüstriyel önemi kadar bilimsel anlamda özellikle jeokronolojik incelemelerde (kristalizasyon yaşı, metamorfizma yaşı, NTE yataklarındaki mineralleşme zamanı gibi) oldukça önemli bir mineraldir. Zirkon (veya zirkonyum silikat), genellikle değerli taş olarak kullanılan bir mineraldir. ZrSiO4 kimyası zirkonyum ile silika (silikon dioksit) bileşimini verir. Çeşitli renklerde (renksiz, mavi, yeşil, sarı, kahverengi ve turuncu) ve dayanıklı kristal yapıdan dolayı elmas kadar kıymetli bir mineraldir.

Zirkon, endüstriyel anlamda yaygın kullanım alanlarından biri mücevher yapımıdır. Renkli zirkonlar, doğal renkleriyle veya ısıl işlemle elde edilen renklerle mücevher olarak kullanılır. Safir ve elmas gibi diğer değerli taşlarla karşılaştırıldığında, zirkon daha yumuşak bir yapıya sahiptir dolayısıyla işlenmesi kolaydır. Ayrıca, yüksek ısıya dayanıklılığı nedeniyle seramik ve refrakter malzeme üretiminde kullanılır. Kimya sanayisinde katalizör olarak, cam üretiminde opaklaştırıcı madde olarak ve çelik üretimi gibi benzeri birçok alanda kullanılmaktadır.

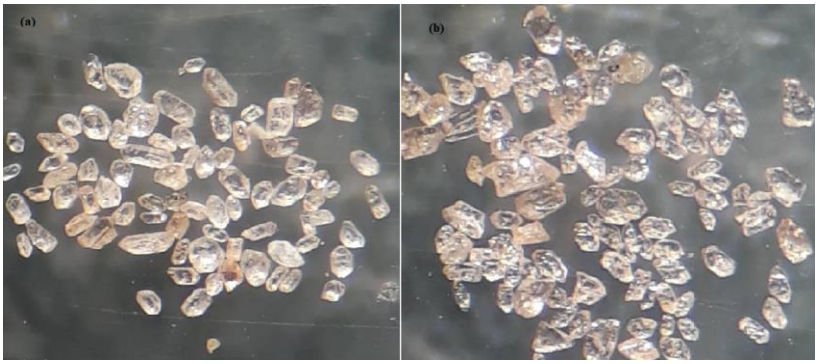
Zirkon farklı kristal yapısı ve kimyasal bileşimle ilgili mineralizasyon süreçleri hakkında önemli bir kaynaktır (Ateş, 2013:76; Sheard vd. 2012:104). Jeokimyasal özellikleri ve jeokronolojisi ile REE mineralizasyonun radyometrik yaş hesaplamaları ve cevherin kaynağı gibi özellikler yüksek alan gerilmeli elementleri (HFSE) uyumlu olması sebebiyle verir (Estrade vd., 2014a:155; Zhang vd., 2003:42; Kılıç, 2016:11). Yüksek teknoloji uygulamalarında nadir bulunan metaller ile nadir toprak elementlerini (REE) de içeren stratejik metaller zirkonun önemini daha artırmaktadır (Nassar et al., 2015:1043).

Yüksek teknoloji ürünlerinin vazgeçilmezi Nadir toprak elementler; Karbonatitler (Cheng, vd.,:74; Geisler, vd.,2001:440), alkalin kayaçlar (Sheard vd., 2012:103), iyon absorpsiyon özelliğine sahip kil mineralleri (Li ve Zhou, 2020:95) ve monazit içeren çökellerde bulunur (Dostal, 2016:50; Nasdala,2013:444). Alkalin magmatik kayaçlarla ilişkili karbonatitlerde genellikle hafif NTE'lerce zengin iken, alkalin kayaçlar ağır NTE ve itriyum bakımından zenginlerdir. NTE mineralizasyonuyla ilişkili alkalin intrusif birimler (Peralkalin granitler) en yüksek NTE'leri içerir. Öyleki alkalin intrüsif birimler ve bu kayaçların aksesuar (veya cevher) mineralleri genellikle toplam NTE'lerin %90'ından fazlasıdır (Bea, 1996:32; Chakhmouradian ve Zaitsev, 2012:348). Peralkalilik granitlerdeki NTE, ANTE ve Y'nin çoklu magmatik evrelerin incelenmesinde önemli bir veri sağladığı bilinmektedir (Chakhmouradian ve Zaitsev, 2012:348; Dostal, 2016:51). Zirkon minerali hem NTE gibi önemli metalik mineralizasyonların belirlenmesinde hemde

radyometrik yaşlandırma ve ortam özelliklerinin yorumlanmasında jeolojik önemi ortaya çıkmaktadır.

Zirkon Morfolojisi

Zirkon ($ZrSiO_4$) minerali magmatikten sedimantere birçok kayaç türünün içerisinde yeralan önemli minerallerden biridir. Mevcut polimer tetrahedra yapısını ayrıştırma işlevlerinde veya bozunmaya karşı dirençli olmasına sebep olur. Önemli bir fiziksel özellik ve kimyasal dayanıklılığa sahip bu mineral, radyasyon hasarı (metamiktizasyon) ve hidrotermal koşullar altında kolaylıkla rekristalize olabilmektedir. Yukarıda ifade edilen metamiktizasyon olayı Na-metasomatizması ile (Geisler vd., 2003b:435; Pelleter vd., 2007:158), yüksek basınç koşullarında asitik ortamlarda veya sıcaklığın 175°C kadar düşük olduğu koşullarda gelişebilir. Bu koşullarda zirkon bileşimindeki radyojenetik Kurşun (Pb), Uranyum (U) ve Toryum (Th) yapıdan ayrılır ve zirkon kristali içinde oksidayona benzer bir oluşumun gerçekleşmesine sebep olur (Zhang vd., 2000:11). Zirkon magmatik, metamorfik ve hidrotermal olarak üç gruba ayrılır. Bu üç tür zirkon kristal yapıları, renk ve özellikle dokuları bakımından birbirinden farklıdır. Cevher alanlarının belirlenmesinde ve cevher kütlesinin element jeokimyasının yorumlanmasında hidrotermal zirkonlar kullanılmaktadır (Hoskin ve Schaltegger, 2003:30;Zhang vd., 2003:9). Hidrotermal zirkonlar süngerimsi doku, oval kristal şekline sahiptir (Şekil 1). Hoskin ve Schaltegger (2003) Anhedral ve yüzlendirilmiş morfolojiler, zonlu ve zonsuz kristaller ve düşük ve yüksek Pb içeren zirkonları hidrotermal olarak tanımlanmıştır. Yeniden kristalleşme ve akışkanlarla etkileşimleri sonucu gelişen büyüme gibi farklı ikincil doku türleri özelliğini gösterir (Şekil 2,3). Özellikle skarn zonlarında, hidrotermal kuvars veya diğer karbonat mineralleri, monazit, flüorit gibi minerallerle birlikte bulunan hidrotermal zirkonlar, süngerimsi dokularını da sıvı ve hidrotermal mineral inklüzyonlarının varlığından dolayı gösterir (Şekil 2). Büyük kırık zonları, yitim zonları veya büyük magmatik kütlelerin kıta içine yükseldiği alanlarda, hidrotermal akışkanlara bağlı olarak magmatik kayalardan çökelen zirkon yüksek konsantrasyonlarda iz elementlere sahiptir ve akışkanlar etkisiyle hidrotermal zirkon gelişir (Toscano, vd., 2014:306; Xu vd., 2012:207).

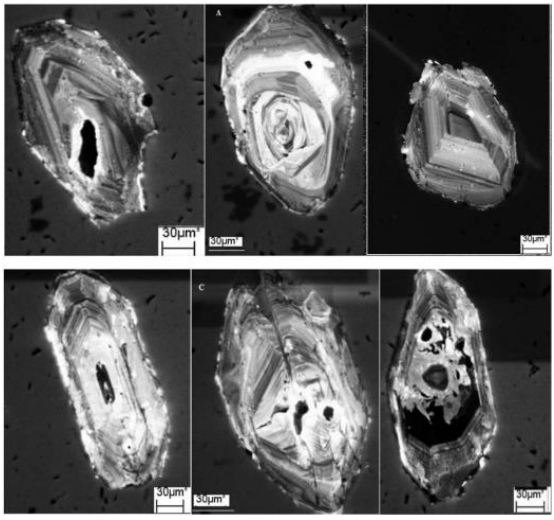


Şekil 1: Düzgün kristal yapısına sahip zirkon örnekleri

Magmatik zirkon doğrudan magmadan kaynaklanan zonlu yapısı ve dörtgen şekli ile diğer zirkonlardan kolayca ayrılır (Şekil 2). Metamorfik zirkon hem düşük dereceli metamorfik kayaçlarda hem yüksek dereceli metamorfik kayaçlarda bulunur. Sedimanter zirkonlar, kumtaşı gibi sedimanter kayaçların birikim ve yerleşim süreçlerinde oluşurlar. Sedimanter kayaçlar, önceden var olan kayaçların aşınması, erozyon, taşınma ve birikme süreçleri sonucu oluştuğundan, sedimanter zirkonlar bu aşınma ve birikim süreçlerinden etkilenir. Daha düşük sıcaklık ve basınç koşullarında oluştuğu için genellikle daha yuvarlak ve masif görünüme sahiplerdir. Sedimanter zirkonlar, çevresel koşulların tarihini ve değişimlerini anlamak için ve özellikle jeolojik evrimin ve paleo-çevrelerin anlaşılmasında önemli bilgi sağlarlar. Dolayısıyla ister magmatik ister metamorfik veya sedimanter zirkonlar olsun, farklı oluşum süreçleri, mineralojik ve kimyasal bileşimleri, radyoaktivite yaşları ve kullanım alanları bakımından, geçmişteki jeolojik olayların anlaşılmasında jeolojik veri kaydedici bir mineraldir.

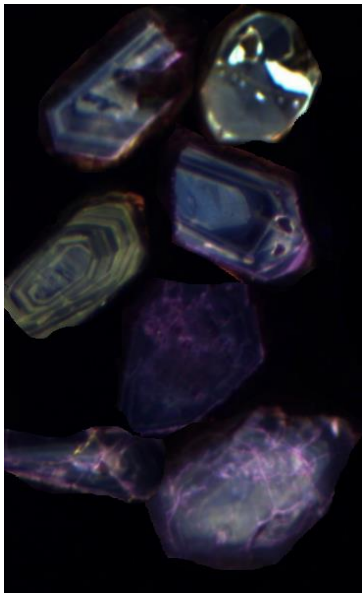
Metamorfik zirkonlarda metamiktizasyon olarak ifade edilen, bir mineralin kristal yapısının radyoaktif bozunma veya yüksek enerjili radyasyon gibi dış etkenlerle atomik düzenin bozulmasıdır. Mineralin kristal yapısı sıkışmış/düzensiz bir görünüm almıştır (Şekil 3). Dolayısıyla, kristal yapısındaki bu bozulma hem optik hem fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından minerallerde değişikliğe sebep olur. Metamiktizasyon zirkon başta olmak üzere turmalin ve monazit gibi genellikle uranyum, toryum veya potasyum içeren minerallerin bu radyoaktif elementlerinin bozunması sırasında ortaya çıkan yüksek enerjili radyasyondur. Metamiktizasyona uğrayan bir mineralin kristal yapısı çürük/oksitik bir görsel yapı gösterir (Şekil 2). Radyometrik yaşlandırmada, metamiktizasyon bozunma sürecinin etkileri göz önünde bulundurularak kullanılmaz. Metamiktizasyonun neden olduğu kristal yapısı bozulması, minerallerin optik ve fiziksel özelliklerinde değişikliklere yol

açabilir. Bu nedenle, metamikt mineraller, bozunma sürecinin etkilerini anlamak için kullanılabilirler.



Şekil 2: Zirkon zonlanma örnekleri ve metamikt zirkon, b) tipik gül yapısı (Kılıç, 2016:11)

Magmatik zirkonlar, metamorfik ve hidrotermal zirkonların dokusal farklılıkları yanında bir diğer ayrımı, iz element değişimleridir. Ortamdaki akışkanlar ve bu akışkanların bileşimi hidrotermal sistemlerin gelişimini etkiler (Yang vd., 2014:460). Zirkon, monazit ve turmalin mineralleri yüksek NTE, Th ve U gibi radyoaktif element içeriklerinden dolayı yaşlandırmada ve jeokimyasal süreçlerde kullanılabilen minerallerdir (Lehmann vd., 2020:75). Zirkon ve ilişkili ANTE fazları tarafından genellikle metamorfik veya magmatik süreçlerle ilgili olarak farklı minerallerle etkileşimde olduğunda da bileşim ve yapı hasarı gelişebilir (Sheard vd., 2012:90). Örneğin, zirkon granat-pirop ile reaksiyonu sonucu psödomorfoz yani zirkon minerallerinin görünümü ve kristal yapısı farklılaşabilir. Psödomorfoz dönüşüm, jeolojik süreçler ve oluşumlar hakkında önemli jeokimyasal veri sağlar.



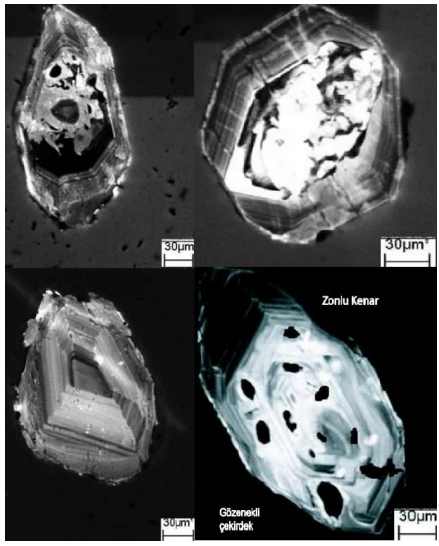
Şekil 3: U ve Th radyoaktif elementlerin yüksek oranı ve zonlu zirkon yapısındaki ışıma

Hidrotermal zirkon, cevher zonunun yaşının belirlenmesinde güçlü bir mineral olarak kabul edilmesine rağmen, hidrotermal kökeninin belirlenmesi, temel özelliklerinin sistematik bir şekilde belgelenmemesi nedeniyle hala net değildir. Hidrotermal zirkonu, magmatik ve metamorfik zirkon tanelerinden ayırt etmek için iz elementler ve oksijen ve hafniyum izotop oranları kullanılır (Fu vd., 2009:136). Hidrotermal damarlarda zirkonun hidrotermal minerallerle birlikte bulunması ve zirkonun içerisinde bulunan hidrotermal inklüzyonlar, zirkonun hidrotermal akışkandan kristalleştiğini işaret eder. Hidrotermal zirkon örneklerinde, hidrotermal süreçlerle ilişkili olarak zirkonun içine dah hidrotermal zirkon örneklerinde, hidrotermal süreçlerle ilişkili olarak zirkonun içine dâhil olan elementler nonformula elementler olarak adlandırılabilir. Ayrıca, metamorfik zirkonda porozite, non-formula elementler ve hareketli katyonları içeren bir akışkan faz ve mineral inklüzyonları bulunması durumunda,elde edilen zirkonun U-Pb yaşları tamamen veya kısmen Pb kaybıyla sıfırlanır (Putnis, 2002; Geisler vd., 2003, 2007; Tomaschek vd., 2003;).

Zirkon Mineralinde Zonlanma

Zirkon kristalinin içyapısı incelendiğinde büyüme zonlanması, parçalı zonlanma, gözenekli zonlanma şeklinde farklı zonlanma görülür (Şekil 2). Büyüme (oscilatory) zonlanması ki; bu yapı kristalizasyonla doğrudan

magmadan (Connelly, 2000:5) veya akışkanların kristal yapı içine sokulumuyla metasomatik yolla gelişebilir (Smith vd.1991:48). Gözenekli (benekli) zonlanma ise kristal kafesinde ve bazı kristallerde ilksel zonlanmayı da kapsayan bir yapıdır. Bu yapıda gözenekler farklı büyüklüklerde olabilir. Bazı zirkon taneleri her iki zonlanmayı birlikte gösterebilirler ve her iki doku arasındaki sınır keskin veya dereceli geçişli olabilir (Şekil 3) (Kılıç ve Ateş, 2015:22). Çift doku koyu renkli masif bir çekirdek ve açık renkli zonlu bir dış çerçeve veya tam tersi olabilir (Şekil 3). Oldukça parlak beyaz benekler genellikle ışıma oranı yüksek U, Th veya Y' dan kaynaklanabilir (Xu vd., 2012:257).



Şekil 4: Zirkonda izlenen farklı dokular (metamikt, çekirdekli, zonlu ve gözenekli/süngerimsi) (Ateş, 2013:45)

SONUÇ

$ZrSiO_4$ bileşimli zirkon jeolojik veri kaydedici bir mineral olarak kabul edilebilir. Çünkü yerkabuğunu oluşturan tüm kayaçlarda bulunu. Bu mineral gerek kristal yapısı ve gerekse dayanıklı olması ile alterasyon ve metamorfizma süreçlerinde değişmeden kalabilir (metamiktizasyon hariç). Kayaçların oluşum ortamı, oluşum koşulları, oluşum süreçleri, kayacın kökeni ve kesin yaş verisi (kristalizasyon yaşı, metamorfizma yaşı, yerleşim yaşı gibi) hakkında en güvenilir kaynaktır.

Zirkon hem bilimsel veri saklama özelliği hem mineralinin endüstriyel önemi zirkonu birçok araştırmanın konusu yapmıştır. Zirkon plajiyoklaz, granat

gibi zonlanma gösteren bir mineraldir. Bilindiği gibi minerallerde zonlanma, içsel yapısal veya kimyasal farklılıkların sonucu olarak aynı mineral kristalinin farklı bölgelerinde meydana gelen bölgesel değişimleridir. Minerallerde zonlanma değişen kimyasal koşullar, kristal büyümesi hızı, difüzyon ve katyon değişimi gibi süreçlerle gelişir. Minerallerdeki zonlanma, kayaçların oluşum süreçlerini ve geçirdiği metamorfik veya magmatik evreleri anlamak için kullanılmaktadır. Zirkonların içerisindeki "zonlar", zirkon kristalinin içyapısındaki bölgesel farklılıkları ifade eder. Zirkon kristallerinin büyüme sırasında veya sonradan oluşan içsel kimyasal veya yapısal farklılıkların sonucudur. Çekirdek üzerine büyüme veya kristal üzerinde büyüme şeklinde izlenebilen bu yapılar, basınç, sıcaklık, magma bileşimi gibi faktörlerden etkilenir. Bu faktörler, kristal içinde farklı kimyasal bileşimlere sahip zonların oluşmasına ve zirkon kristalinin farklı büyüme evrelerinin oluşmasına sebep olur. Bir magma soğudukça veya kristalleştiği sırada kimyasal bileşimi değişmektedir. Magma içerisindeki elementlerin kristalleşme sırasında ayrışması, kristal büyüme oranı ile magmanın bileşim hızı arasındaki farklılıklar bazı elementlerin tüketilmesine ve diğer bazı elementlerin zenginleşmesine sebep olur. Kristal absorpsiyon özelliği bu elementlerin bazılarını yüzeyden geri püskürtebilir veya elementi kristal içine alabilir ki bu kimyasal bir olaydır.

Zirkonlar, içerdikleri elementler ve izotoplar jeolojik tarihlemeler, kayaç oluşumu, magmatik ve metamorfik süreçler hakkında bilgi sağlamaktadır. Zirkon jeokimyası, bu minerallerin kimyasal bileşimini ve izotopik özelliklerini inceleyerek çeşitli jeolojik sorulara cevap bulma amacını taşır. Zirkon jeokimyası ve jeokronolojik çalışmalar için; Lazer uyarılmış kütle spektrometresi (LA-ICP-MS), BSE, kathodoluminesans ve radyoaktif ve kararlı izotoplarının oranları için uranyum-kurşun (U-Pb) izotop analizi gibi yöntemler kullanılır. Zirkonların εHf ve εNd değerleri, kaynağın mantodan veya kabukça olup olmadığını gösterir. Zirkonların termal tarihlemesi ise, metamorfik süreçler ve termal etkiler sonucu oluşan zonların yaşını belirlemek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Zirkon jeokimyası, volkanizma, magmatizma, metamorfizma, sedimanter süreçler, kıtasal sismisite ve çeşitli diğer jeolojik olaylar hakkında ciddi bir kaynak mineraldir. Jeolojik önemi kadar endüstriyel bir mineral olarak kullanılmaktadır.

REFERANSLAR

Ateş, C., (2013). Metamorfik kayaçlarda zirkon mineralinin kristal yapısı ve metamorfizma koşullarının etkisi; Pütürge Metamorfiti,F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 76.

Bea, F., Montero, P., Ortega, M. (2006). A LA–ICP–MS evaluation of Zr reservoirs in common crustal rocks: implications for Zr and Hf geochemistry, and zircon-forming processes. The Canadian Mineralogist 44 (3), 693-714

Belousova, E.A., Griflin, W.L., (2002). Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type. Contrib Mineral Petrol, 143, 602-622.

Chakhmouradian, A.R., Zaitsev. A.N., (2012). Rare earth mineralization in igneous rocks: sources and processe. Elements, 8 (5), 347-353.

Cheng, Z., Zhang Z., Aibai, A., Kong, W. Holtz, F. (2018).The role of magmatic and post-magmatic hydrothermal processes on rare-earth element mineralization: A study of the Bachu carbonatites from the Tarim Large Igneous Province, NW China. Lithos, 314-315, 71-87.

Estrade, G., Salvi, S., Béziat, D., Rakotovao, S. and Rakotondrazafy, R. (2014a) REE and HFSE mineralization in peralkaline granites of the Ambohimirahavavy alkaline complex, Ampasindava peninsula, Madagascar. Journal of African Earth Sciences, 94, 141–155.

Fu, B., Terrence P., Mernagh Noriko, T., Anthony I., Kemp S., Valley, J.W. (2009). Distinguishing magmatic zircon from hydrothermal zircon: A case study from the Gidginbung high-sulphidation Au–Ag–(Cu) deposit, SE Australia. Chemical Geology, 259,131–142.

Hatch, G.P. (2014). TMR Advanced Rare-Earth Projects Index. Technology Metal Research. 124.

Geisler, T., Pidgeon, R.T. 2001. Significance of radiation damage on the integral SEM cathodoluminescence intensity of zircon: an exper-imental annealing study. Neues Jb MinerMonat 2001:433–445.

Hoskin, P.W.O., Schaltegger, U. (2003). The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. Rev. Mineral. Geochem., 53, 27-62.

Krasnobayev, A. A. (1986) Zircon as indicator of geological processes.. Nauka, Moscow

Kılıç, A. D., (2016). Investigation of zircon by CL(Cathodoluminescence) and Raman Spectroscopy. WMESS 2016-IOP Publishing IOP Conferans Series: Earth and Environmental Science, 44.

Kılıç, A. D, Ateş, C., (2014). Metamict zircon and Structural Characters: Pütürge Metamorphite Example. Turkish Journal of Science & Technology, 9 (2), 127-133.

Nasdala, L., Grambole, D., Ruschel, K., 2013. Review of effects of radiation damage on the luminescence emission of minerals, and the example of He-irradiated CePO4, Mineralogy and Petrology,107, 3, 441-454.

Nassar, X. Du, T. (2015). Graedel Criticality of the rare earth elements J. Ind. Ecol., 19,1044-1054.

Sheard, E. R., Williams-Jones, A. E., Heiligmann, M., Penderson,C. and Trueman, D. L. (2012). Controls on the concentration ofzirconium, niobium, and the rare earth elements in the ThorLake rare metal deposit, Northwest Territoris, Canada. Econ.Geol., 107, 81–104.

Speer, J. A. (1980). Zircon. In: Ribbe PH (ed) Orthosilicates. Reviewsin mineralogy. Mineralogical Society of America, Washington,DC, pp 67–112

Toscano, M., Pascual, E., Nesbitt, R.W. (2014). Geochemical discrimination of hydrothermal and igneous zircon in the Iberian Pyrite Belt, Spain. Ore Geol. Rev., 56, 301-311.

Torro, J.A. ,Proenza, Y.R., Agramonte, A.G., Casco, Y., Yang, H., (2018). Recycling in the subduction factory: Archaean to Permian zircons in the oceanic Cretaceous Caribbean island-arc. Gondwana Research, 54, 23-37.

Xu, Xisheng, Zhang, M., Zhu, K-Y., Chen, X. M., He, Z. Y., (2012). Reverse age zonation of zircon formed by metamictisation and hydrothermal fluid leaching. Lithos, 150, 256-267.

Yan L., Zengqian H., Rongqing Z., Ping W., Jianfeng G., Markus B. Raschke. (2019). Zircon Alteration as a Proxy for Rare Earth Element Mineralization Processes in Carbonatite-Nordmarkite Complexes of the Mianning-Dechang Rare Earth Element Belt, China. Society of Economic Geologists, Inc.Economic Geology, 114, 4, 719–744.

Zhang, M., Salje, E.KH, Farnan, I., Graeme-Barber, A., Danield, P., Ewing, R.C., Clark, A. M. and Leroux, H., (2000). Metamictization of zircon: Raman spectroscopic study. Journal of Physics: Condensed Matter, 12, 8.

Zhang, C., Santosh, M., Qun L., Shu J., Luofu L.,, Dongdong L. (2019). Impact of residual zircon on Nd-Hf isotope decoupling during sediment recycling in subduction zone. Geoscience Frontiers,10 (1), 241-2511.

Bölüm 8

Yenişehir (Bursa) Ovası Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Özellikleri

Ayşen DAVRAZ[1]

[1] Prof. Dr.; Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü. aysendavraz@sdu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-2442-103X

ÖZET

Çalışmanın amacı, Yenişehir (Bursa) Ovasında yeraltısuyu kimyasını kontrol eden hidrojeokimyasal süreçleri incelemek ve yeraltısularının farklı amaçlar için kullanılabilirliğinin değerlendirilmesidir. Havzada en önemli soğuk su akiferi alüvyondur. Ayrıca, alüvyon tabanında bulunan İnegöl formasyonunun konglomera ve kumtaşı seviyelerinden de yeraltısuyu elde edilebilmektedir. Havzanın yüzey suyu boşalımını sağlayan Kocasu deresi yeraltısuyu boşalımını da kontrol etmektedir. Yeraltısularının kimyasal yapısı ve kalitesinin belirlenmesi amacıyla bir dönem yerinde ölçümler ve kimyasal analizler yapılmıştır. Yeraltısularının genel olarak Ca-Mg-HCO_3'lı sular sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Bazı örneklerde belirlenen Mg^{+2} ve Na^{+} artışı yeraltısuyunun alındığı İnegöl formasyonu içerisindeki konglomera, killi kireçtaşı, kumtaşı ve kireçtaşı seviyeleri ile ilişkilidir. Ovada, yeraltısuyu kimyasını denetleyen temel etkenin kaya-su etkileşimi olduğu belirlenmiştir. Yeraltısuyunun kayaçlarla teması sırasında hem karbonat hem de silikat ayrışmasının etkin olduğu görülmektedir. Yenişehir Ovası'ndan alınan yeraltısularının sulama suyu amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları ile Sodyum Yüzdesi, Artıksal Sodyum Karbonat, Sodyum Adsorpsiyon Oranı, Magnezyum Tehlikesi, Geçirgenlik İndeksi ve Kelly Oranı parametreleri kullanılmıştır. Bu parametrelere göre suların sulama kullanımının uygun olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Su kalitesi, hidrojeokimya, Yenişehir, Bursa

GİRİŞ

Günümüzde mevcut su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımına yönelik yapılacak her araştırma büyük önem taşımaktadır. Hemen hemen bütün su kaynaklarında iklim koşullarındaki olumsuz değişiklikler ve insan kaynaklı kirlilikler nedeniyle hem kalite hem de potansiyel problemine rastlanmaktadır. Bugün, kontrol altında tutulamayan tarımsal, evsel ve endüstriyel deşarjlar nedeniyle, pek çok havzada su kirliliği önemli boyutlara ulaşmıştır. Havzalarda kirletici kaynakların tümü aynı anda su kalitesini etkilediğinden dolayı havza bazında bir yönetim anlayışının benimsenmesi zorunlu görülmektedir. Bir havzadaki su yönetimi, hidrolojik bakımdan ilişkisi olan komşu havzalar açısından da önem taşımaktadır. Su kaynaklarının doğru ve verimli kullanılabilmesinin ülke ve bölge ekonomisi açısından önemi açıktır.

İnceleme alanı olarak seçilen Yenişehir (Bursa) Ovası Marmara Bölgesinin Güney Marmara Bölümünde yer almaktadır. Ova, Sakarya nehrinin kollarından biri olan Göksu nehrinin getirdiği alüvyonlar ile dolan tektonik kökenli bir ova özelliği taşımaktadır. Yenişehir Ovasının denizden yüksekliği 250 m´dir. Kuzeyinde Katırlı ve Samanlı dağları bulunmakta ve yükseklikleri 940 m´dir. Batıda Dinboz ve Kazancı, güneyde Okuf, Ayaz, Subaşı, doğuda Köprühisar, Hayriye ve İncirli tepeleri bulunmaktadır. Ova, doğu ve batı istikametine uzanan bir elips şeklindedir. Havzanın kuzeyindeki sırtlar Yenişehir Ovasını İznik Ovası'ndan, güneyindeki sırtlar ise İnegöl Ovası'ndan ayırmaktadır. Gerek kuzeyindeki gerekse güneyindeki sırtların Yenişehir Ovası'na bakan yamaçlarında yağışlı mevsimlerde akışı olan yer yer sık akarsu ağları gelişmiştir. Yenişehir Ovası'ndaki en büyük akarsu, Uludağ'ın doğusundan çıkıp havzanın güneyini izleyerek Osmaneli yakınlarında Sakarya Nehri'ne karışan Göksu Çayı'dır. İnceleme alanının güney kesiminden ise, Göksu'nun bir kolu olan Kocasu Deresi geçmektedir (Yılmaz, 2006:20).

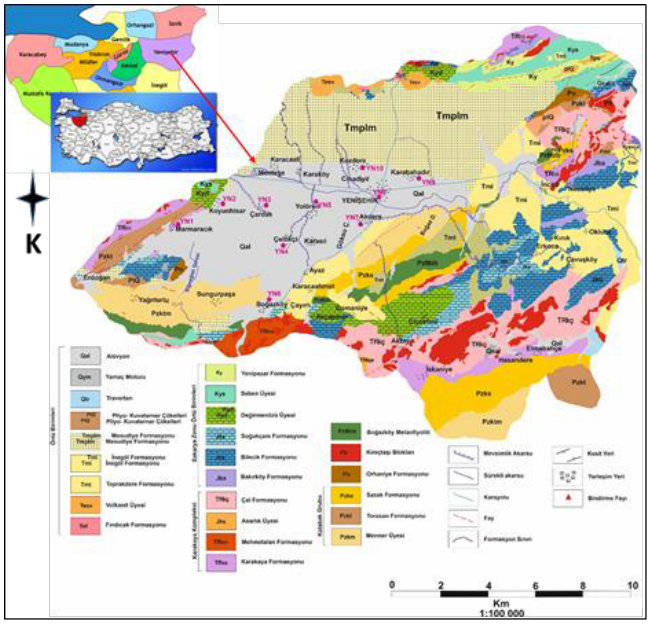
Bu çalışmada, Yenişehir (Bursa) Ovası'nın ayrıntılı hidrojeolojik özelliklerinin incelenmesi yanında yeraltısuyunun kimyasal yapısını kontrol eden etkenler araştırılmıştır. Ayrıca, yeraltısuyu kalite analizleri ile farklı amaçlar için yeraltısularının kullanılabilirliği incelenmiştir.

BULGULAR

Jeoloji ve Hidrojeoloji

Yenişehir ve çevresinde yer alan litostratigrafik birimler, Permiyen öncesinden başlayıp Kuvaterner'e kadar geniş bir dağılım göstermektedir. Yenişehir Ovasında gözlenen en yaşlı birimler Devoniyen-Karbonifer yaşlı Kalabak grubuna ait Torasan ve Sazak formasyonlarıdır (Şekil 1). Torasan formasyonu fillat, kuvars, mika, şist ve mermer seviyelerinden oluşmaktadır. Sazak formasyonu ise metabazik, klorit şist, mermer, serpantinit, metatüf, metavolkanit ve fillat düzeyleri içermektedir. Bu formasyonlar üzerine uyumsuz olarak Permiyen yaşlı kumtaşı, kiltaşı ve silttaşı birimlerinden oluşan Orhaniye formasyonu gelmektedir. Orhaniye formasyonu ovanın kuzeyinde küçük bir alanda gözlenmektedir. Bu formasyon üzerinde Boğazköy metaofiyoliti ve kireçtaşı blokları yüzeylemektedir. Bu seviyelerin üzerinde ise Karakaya kompleksi gözlenmektedir. Karakaya kompleksi Sakarya Zonu temelinin en üst birimini oluşturmaktadır (Duru vd., 2014:1).

İçerisinde Devoniyen-Permiyen yaşlı olistostrom ve olistolitleri kapsayan ve yoğun deformasyondan etkilenmiş, Geç Permiyen-Triyas yaşlı Karakaya kompleksi çeşitli volkanik ve sedimanter kayaç topluluğundan oluşmaktadır (Duru vd., 2014:1). Karakaya kompleksi Yenişehir ovasında Karakaya, Çal ve Mehmetalan formasyonları ve bu formasyonların üyelerini kapsamaktadır. Karakaya formasyonu arkozik kumtaşı, konglomera, çamurtaşı, şeyl, seyrek tüf ve kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır. Çal formasyonu spilitik bazalt, diyabaz ve tüf birimlerinden yapılanmıştır.



Şekil 1: İnceleme Alanının Jeoloji ve Yer Bulduru Haritası

Bölgede, bu formasyona ait kireçtaşı düzeyleri Asarlık üyesi olarak ayırtlanmıştır. Mehmetalan formasyonu ise bazalt, diyabaz ve kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır. Formasyonun Permiyen ve Karbonifer yaşlı kireçtaşı blokları üye mertebesinde haritalanmıştır (Şekil 1). Karakaya kompleksi üzerinde Sakarya zonu örtü birimleri bulunmaktadır. Bu örtü birimleri bölgede Yenipazar, Soğukçam, Bilecik ve Bakırköy formasyonları ile temsil edilmektedir.

Sakarya zonu örtü birimlerinin tabanını oluşturan Bakırköy formasyonu, çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, şeyl ve killi kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bakırköy formasyonu tüm temel birimlerin üzerine transgresif olarak açısal uyumsuzlukla gelmektedir (Kandemir vd., 2014:20). Sakarya Zonu içerisinde yaygın olarak yüzeyleyen Genç Jura- Erken Kretase yaştaki kireçtaşlarından oluşan birim Bilecik formmasyonu olarak adlandırılmıştır (Altınlı, 1973:8). Bilecik formasyonu ile yanal ve düşey olarak geçişli bulunan Soğukçam formasyonu yarı pelajik killi kireçtaşı ve ara düzeyler halinde kiltaşı ve çörtlü kireçtaşlarından oluşmaktadır. Yenipazar formasyonu kumtaşı, konglomera, silttaşı, kiltaşı, marn, mikritik kireçtaşı ve tüf birimlerinden oluşmaktadır. Formasyon içerisindeki ince-orta tabakalı, beyazımsı sarı, beyaz renkli mikritik kireçtaşları Değirmenözü üyesi olarak adlandırılmıştır (Duru vd., 2002:15). Yenipazar formasyonunun kiltaşı, marn, silttaşı, nadiren kumtaşı ve tüf

ardalanmasından oluşan seviyeleri Seben Üyesi olarak ayırtlanmıştır (Kandemir vd., 2014:18).

Yenişehir Ovası'nda örtü birimleri olarak Fındıcak, İnegöl, Toprakdere ve Mesudiye formasyonları ve Kuvaterner birimler bulunmaktadır. Fındıcak formasyonu çakıltaşı, kumtaşı, kiltaşı, silttaşı, marn ve kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bölgede çoğunlukla volkanojenik sedimanter birimler ile bunlarla ardalanan piroklastik kayaçlar ve volkanitlerden oluşan Sarısu formasyonu içerisindeki volkanizma ürünleri Volkanit Üyesi olarak ele alınmıştır (Pehlivan vd., 2014:25). Yenişehir ilçesi güneyinde Mahmudiye köyü çevresinde yüzeyleyen konglomera, kumtaşı, yer yer silttaşından oluşan karasal litoloji topluluğu Toprakdere formasyonu olarak adlandırılmıştır. Bu formasyon üzerinde konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, marn, kiltaşı, killi kireçtaşı ve üst seviyelerinde riyolit ve riyolitik tüf seviyeleri içeren İnegöl formasyonu yüzeylemektedir. Yenişehir Ovası'nın kuzeyinde geniş alanlarda yüzeyleyen Mesudiye formasyonu ise konglomera ve kumtaşları ile başlayıp gölsel marn ve kiltaşı ara katkılı killi kireçtaşlarıyla devam etmektedir (Pehlivan vd., 2011:14). Ovada tutturulmamış, yer yer zayıf tutturulmuş kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı ve konglomeralardan oluşan Pliyo-Kuvaterner Çökeller, genellikle fay hatlarındaki karbonatlı-silisli su çıkışlarına bağlı olarak gelişen beyaz, bej, krem renkli travertenler ile yamaç molozu ve alüvyonlar da gözlenmektedir (Şekil 1).

Ovada yüzeyleyen litolojik birimlerin fiziksel özellikleri ve akifer olabilme kapasitelerine göre geçirimli, az geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz birimler olarak tanımlanmıştır. Ova alanında yüzeyleyen alüvyon ve yamaç düzlüklerinde bulunan yamaç molozu birimleri Geçirimli Birim-1 olarak tanımlanmıştır. Bu birimler içerisindeki özellikle çakıl ve kumlu seviyelerin yeraltısuyu bulundurabilme kapasitesinden dolayı çalışma alanının en önemli akiferidir (Tablo 1). Bilecik formasyonu, Değirmenözü ve Asarlık üyeleri, Permiyen kireçtaşı blokları ve traverten birimi karstik akifer özelliği taşımakta olup Geçirimli Birim-2 olarak tanımlanmıştır. Kireçtaşlarından oluşan bu formasyonlarda açılmış sondaj kuyuları bulunmamaktadır. Ancak, mevsimsel soğuk su kaynak boşalımları bu birimler ile ilişkilidir.

Genel olarak konglomera, çamurtaşı, kumtaşı, silttaşı ve kiltaşı litolojilerinin ardalanmasından oluşan Orhaniye, Bakırköy, Soğukçam, Yenipazar, Fındıcak, Mesudiye, Toprakdere, İnegöl formasyonları ve Pliyo-Kuvaterner çökeller ile Seben üyesi su bulundurma açısından benzer hidrojeolojik özellikler taşıdıkları için Yarı Geçirimli birim olarak ayırtlanmışlardır.

Tablo 1: Jeolojik Birimlerin Litostratigrafik İlişkileri ve Hidrojeolojik Özellikler

Grup	Yaş	Formasyon	Litoloji	Hidrojeolojik Özellik
Örtü Birimleri	Kuvaterner	Alüvyon	Kum, kil, çakıl, silt	Geçirimli Birim-1
		Yamaç Molozu	Kum, kil, çakıl, silt	
		Traverten	Traverten	
	Pliyo-Kuvaterner	Pliyo-Kuvaterner Çökeller	Kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı, konglomeralardan	Yarı Geçirimli
	Üst Miyosen-Pliyosen	Mesudiye	Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı	
	Üst Miyosen	İnegöl	Kiltaşı, killi kireçtaşı, marn, silttaşı	
	Orta-Üst Miyosen	Toprakdere	Konglomera, kumtaşı, silttaşı	Geçirimsiz Birim
		Volkanit üyesi	Bazalt, andezit, trakit, aglomera, tüf	
	İpresiyen	Fındıcak	Bol fosilli kireçtaşı, kiltaşı, kumtaşı, marn, kömür	
Sakarya Zonu örtü birimleri	Albiyen-Maastrihtiyen	Yenipazar	Türbiditik kumtaşı, konglomera, kiltaşı, tüf-tüfit, olistrosrom	Yarı Geçirimli
		Seben üyesi	Kiltaşı, silttaşı, kumtaşı-tüf ardalanması	
	Kalloviyen-Apsiyen	Değirmenözü üyesi	Killi mikritik kireçtaşı, kiltaşı	Geçirimli Birim-2
		Soğukçam	Killi kireçtaşı, kiltaşı, çörtlü kireçtaşı	Yarı Geçirimli
	Kalloviyen-Alt Hotriviyen	Bilecik	Resifal kireçtaşı, kumlu-killi kireçtaşı	Geçirimli Birim-2
Karakaya kompleksi	Liyas	Bakırköy	Konglomera, kumtaşı,çamurtaşı, şeyl, killi kireçtaşı	Yarı Geçirimli
	Triyas	Çal	Spilitik bazalt, diyabaz, tüf	Geçirimli Birim-2
		Asarlık üyesi	Kireçtaşı	
		Mehmetalan	Bazalt, diyabaz, kireçtaşı blokları	
		Karakaya	Arkozik kumtaşı, konglomera, çamurtaşı, şeyl, seyrek tüf, kireçtaşı blokları	Geçirimsiz Birim
	Üst Paleozoyik-Triyas	Boğazköy	Serpantinit, talk, serpantinşist, lisvenit	Geçirimli Birim-2
		Kireçtaşı blokları	Kireçtaşı	
	Permiyen	Orhaniye	Kumtaşı, kiltaşı, silttaşı	Yarı Geçirimli
Kalabak	Devoniyen-Karbonifer	Sazak	Metabazik, klorit şist, mermer, serpantinit, metatüf, metavolkanit,fillat	Az Geçirimli
		Torasan	Fillat, kuvars, mika, şist, mermer	
		Mermer üyesi	Mermer	

Konglomera ve kumtaşı birimleri kalınlıkları ve yayılımlarının artışı oranında yeraltısuyu bulundurabilmektedir. İnceleme alanında bu birimlerden kaynak boşalımları mevcuttur. Ancak, bu birim üzerinde açılmış sondaj kuyusu bulunmamaktadır.

Metatüf, metavolkanit, şist, fillat, kuvars, mikaşist ve mermer litolojilerinden oluşan Sazak ve Torasan formasyonları içerdikleri litolojilerin yeraltısuyu bulundurma kapasitelerinin sınırlı olması nedeniyle Az Geçirimli olarak tanımlanmıştır. Sazak ve Torasan formasyonları içinde üye olarak ayırtlanabilen mermer birimleri birbirini kesen kırık çatlak sistemlerinin varlığı oranında su bulundurabilmektedir. Ancak, mermerlerin metamorfizma geçirmiş olması ve inceleme alanında çok küçük alanlarda bantlar şeklinde yüzeylenmeleri su bulundurma özelliklerini kısıtlamaktadır.

Metakumtaşı, kumtaşı, şeyl, çamurtaşı, metakonglomera seviyelerinden oluşan Karakaya formasyonu ile spilitik bazalt, diyabaz, tüf ve volkanojenik kumtaşlarından oluşan Çal ve Mehmetalan formasyonları ile Boğazköy metaofiyoliti ve volkanit üyesi birirmleri oluştukları litolojilerin su bulundurma özelliklerinin olmaması nedeniyle Geçirimsiz Birim olarak tanımlanmıştır.

Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri

Yeraltısularının hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi için Yenişehir Ovası'nda bulunan yerleşim alanlarında kullanılan kuyu sularından su örnekleri alınmıştır. Yeraltısuyunun kimyasal bileşimi, akiferlerin mineralojik ve kimyasal özelliklerinin, akış koşullarının, akış hızının ve suyun akiferde kalma süresinin bir fonksiyonudur (Freeze ve Cherry, 1979:238; Appelo ve Postma, 1993:185; Davraz ve Özdemir, 2014:1173). Yeraltısuyundaki kimyasal bileşenlerin konsantrasyonunu kontrol eden temel çözünme mekanizmaları ayrışma, iyon değişim süreçleri ile atmosferik ve antropojenik kaynaklardan gelen girdilerdir.

Suda çözünmüş çeşitli iyonların miktarı, ana kaya/akiferdeki bolluklarına ve çözünürlüklerine bağlıdır (Sarin vd., 1989:1003; Singh ve Hasnain, 1999:130). Son yıllarda yapılan araştırmalarda hidrojeokimyasal veriler, suda çözünmüş iyonların olası kaynağı hakkında fikir edinmek için sıkça kullanılmaktadır (Davraz ve Batur, 2020:1079, 2021:6; Tay, 2012:2080; Kumar Singh vd., 2012:2178).

Suyun elektriksel iletkenliği (EC), sudaki çözünmüş katıların konsantrasyonu ile doğrudan ilişkilidir ve suların kullanılabilirlik sınıflandırmaları için önemli bir parametredir. Yenişehir Ovası yeraltısularının EC değerleri 420-895 µS/cm arasında değişmektedir. Suyun asitliği testi, hidrojen iyonu konsantrasyonunun bir ölçüsü olan pH'dır. İnceleme alanında su

kaynaklarının pH değeri 7.30-8.5 arasında olup "Bazik karakterli" olarak tanımlanmıştır. Suların sıcaklıkları 14.4-18.7 °C arasında ve sertlikleri 20.27-40.56 Fr^0 arasında değişmektedir (Tablo 2). Sular sertlik derecesine göre Oldukça sert ile Sert sular sınıflarındadır.

Tablo 2: Su örneklerinin kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları

	YN1	YN2	YN3	YN4	YN5	YN6	YN7	YN8	YN9	YN10
pH	7,7	7,3	8,5	8,05	8,31	7,7	7,48	7,47	7,30	7,69
EC	820	815	720	498	420	693	895	797	830	707
Sıc.	15,3	17,7	14,4	16,4	16,6	18,5	18,3	17,7	18,6	19,7
Na	17,6	14,2	25,8	13,7	18,36	11,9	49,37	19,26	38,9	17,52
Ca	122,9	133,4	87,9	66,5	50,64	90,15	68,18	107,25	109	125,27
Mg	22,6	17,6	28,8	22,5	18,59	33,14	58,86	28,56	26,6	9,00
K	1,1	3,33	1,6	2,10	1,29	0,84	3,96	1,05	0,85	0,41
HCO_3	457,5	488	372,1	268,4	231,8	323,3	402,6	390,4	488	439,2
SO_4	35,5	19,4	25,6	27,9	19,56	21,6	58,26	33,70	24,4	13,96
Cl	14,2	14,0	25,1	8,78	4,76	10,4	37,26	31,56	14,0	7,58
NO_3	21,7	17,7	30,3	8,70	6,14	**83,0**	44,9	37,24	19,5	0,32
F	0,07	0,08	0,1	0,06	0,09	0,42	0,48	0,12	0,30	0,19
% Hata	-1,12	-1,5	0,6	4,04	4,74	2,37	4,38	-0,20	0,60	0,28
Sertlik	40,0	40,5	33,8	25,8	20,27	36,12	41,21	38,50	38,1	34,95

YN1: Marmaracık, YN2: Koyunhisar, YN3: Çardak, YN4: Çeltikçi, YN5: Yolören, YN6: Boğazköy, YN7: Akdere, YN8: Yenişehir, YN9: Karabahadır, YN10: Kozdere

Major İyon İçerikleri

Yeraltısuyu sistemindeki çözünmüş iyonların mevcudiyeti, yeraltı hidrojeolojik sisteminde işleyen farklı jeokimyasal süreçlerden etkilenir. Bu nedenle, akiferlerde bulunan bu iyonların mevcudiyeti, jeokimyasal süreçlerin tanımlanmasında yararlı bir araç olarak değerlendirilmektedir (Nur vd., 2012:105). İnceleme alanındaki yeraltısularında katyonların nispi bolluğu $Ca^{+2}>Mg^{+2}>Na^{+}>K^{+}$, anyonlarınki ise $HCO_3^{-}>SO_4^{-2}>Cl^{-}$ şeklindedir. Katyon konsantrasyonları ve oranları, mineral ayrışması ve katyon değişimi gibi su-kaya etkileşim süreçlerini izleyebilir (Han vd., 2009:248). Su örneklerinin Ca^{+2} içerikleri 50.64-133.43 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 2). Kalsiyum soğuk yeraltısularında en yüksek oranda bulunan elementlerden biridir. Yeraltısularındaki kalsiyum en fazla kalsit, dolomit, aragonit, anhidrit ve jips minerallerinde bulunmaktadır. Ayrıca, metamorfik ve magmatik kaya minerallerinden amfibol ve piroksen grupları, apatit, vollastonit, florit ve bazı

feldispatların bozunumundan ortaya çıkan kalsiyum iyonları yeraltısularına geçer (Şahinci, 1991:334).

Su örneklerinin Mg^{+2} içerikleri 9-58.86 mg/l arasında değişmektedir. Doğal sudaki Mg^{+2}'un varlığı magmatik ve metamorfik kayaçlardaki ferromagnezyen mineraller (olivin, diyopsit, biyotit, hornblend) ve tortul kayaçlardaki magnezyum karbonatlar (dolomit) ile ilişkilidir. Kalsiyum ve magnezyumun yeraltısularının baskın iyonları olması, bunlardan karbonat minerallerinin çözünmesinin sorumlu olduğunu ortaya koymaktadır. İnceleme alanından alınan su örneklerinin Na^{+} içerikleri 11.8 ve 49.37 meq/l arasında değişmektedir. Yeraltısularında sodyum içeriği başta kil mineralleri olmak üzere evaporitler (NaCl gibi), magmatik kayaç mineralleri, feldispat ve feldispatoidlere bağlı olarak bulunmaktadır. Na^{+} ve K^{+} yerkabuğunda birlikte bulunan alkali metallerdir. Mağmatik kayaçlarda Na^{+} baskın iken sedimanter kayaçlarda K^{+} daha baskın olarak gözlenebilir (Şahinci, 1991:326). Ayrıca, lösit, mika, nefelin ve feldispat mineralleri bol miktarda K^{+} içerebilmektedir. İnceleme alanında suların K^{+} içerikleri 0.41-3.96 mek/l arasında değişmektedir.

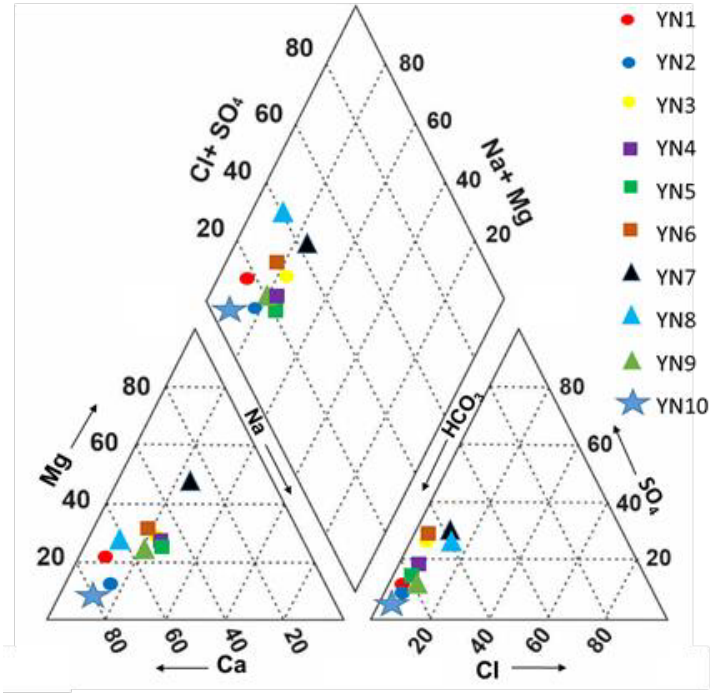
Yenişehir Ovası'ndan alınan su örneklerinde baskın anyon HCO_3^{-}'dır. Suların HCO_3^{-} içerikleri 231.8-488 mek/l arasında belirlenmiştir. Yeraltısularında bikarbonat içeriği karbonatlı kayaçların erimesi ve atmosfer ve topraktaki CO_2 kaynaklıdır (Şahinci, 1991:320). İnceleme alanında suların SO_4^{-2} içerikleri 13.96-58.26 mek/l ve Cl^{-} içerikleri 4.76-37.26 mek/l arasında değişmektedir (Tablo 1). Yeraltısularına sülfat genel olarak anhidrit ve jips kaynaklı olup evsel -endüstriyel atık sular, gübre ve kimyasal ilaç gibi antropojenik kaynaklara bağlı olarak da yüksek miktarda sülfat bulunabilir. Cl^{-} varlığı jeojenik kökenli olarak evaporitlere bağlı olmakla birlikte klorapatit, mikalar, hornblend ve feldispatoid mineralleri ile de ilişkilidir. Sularda antropojenik kökenli olarak da Cl^{-} artışı gözlenmektedir.

Suların majör iyon içeriklerine göre hidrojeokimyasal fasiyeslerinin belirlendiği en yaygın grafiklerden biri olan Piper diyagramı ile sınıflaması yapılmıştır. Bu diyagrama göre su örneklerinin genel olarak Ca-Mg-HCO_3'lı sular sınıfında oldukları görülmektedir (Şekil 2). YN2 (Koyunhisar) ve YN10 (Kozdere) nolu örnekler ise Ca-HCO_3'lı suları temsil etmektedir. Yenişehir ilçesi güneyinde bulunan Akdere köyünden alınan YN7 nolu örnek ise Mg-Ca-Na-HCO_3'lı su sınıfındadır. Bu örnekteki Mg^{+2} ve Na^{+} artışı yeraltısuyunun alındığı İnegöl formasyonu içerisindeki konglomera, killi kireçtaşı, kumtaşı ve kireçtaşı seviyeleri ile ilişkilidir.

Su Kimyasını Denetleyen Hidrojeokimyasal Prosesler

Yeraltısularında bulunan majör iyon içeriklerindeki değişiklikler akifer ortamda ve suyun hareketi boyunca temas ettiği ortamlarda karşılaşılan hidrojeokimyasal süreçlere bağlıdır (Lakshmanan vd., 2003:160). Bu süreçler, iyon değişimi, ayrışma-çözünme ve buharlaşma ile ilişkili olarak gerçekleşmektedir (Singh ve Hasnain, 1999:129). Yenişehir Ovası'ndan alınan yeraltısularında tespit edilen hidrojeokimyasal süreçler aşağıda açıklanmıştır.

Hidrojeokimyasal araştırmalarda suların kimyasal özelliklerini denetleyen unsurlara yaklaşım yapılması amacıyla Gibbs diyagramı çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu diyagramda su içerisinde bulunan bazı majör iyon oranları kullanılarak suyun köken ve bileşimi hakkında tanımlamalar yapılmaktadır.



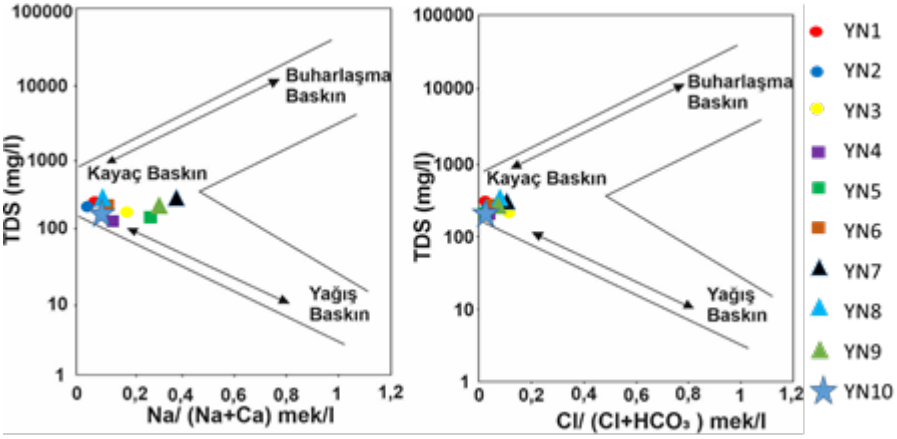
Şekil 2: Piper Diyagramı

Diyagramda suların Toplam Çözünmüş Katı Madde (TDS) değerleri ile anyonlar için $Cl/Cl+HCO_3$ oranı ve katyonlar için Na+K/Na+K+Ca oranı kullanılmaktadır. Bu diyagram ile yeraltısuyu kimyasını denetleyen buharlaşma, kayaç ve atmosferik yağış gibi fonksiyonel kaynaklar tanımlanabilmektedir. Bu çalışma kapsamında Yenişehir Ovası'ndan alınan yeraltısuyu örnekleri Gibbs diyagramı üzerinde "*Kayaç Baskın*" bölgede yeraldığı tespit edilmiştir. Bu

durumda, yeraltısuyu kimyasını denetleyen temel etkenin kaya-su etkileşimi olduğu söylenebilir (Şekil 3).

Ayrışma-Çözünme

Yeraltısuyunda bulunan çözünmüş iyon içeriklerinin olası kaynakları ve kökeni iyonlar arasındaki oranlar veya korelasyonlarına bağlı olarak değerlendirilebilir. Minerallerin çözünme ve ayrışma ilişkileri (Ca^{+2}+Mg^{+2})-(HCO_3^-+$SO_4^{=}$) grafiği ile yorumlanabilmektedir (Aghazadeh and Mogaddam, 2011:188; Kuldip-Singh vd., 2011:1827).



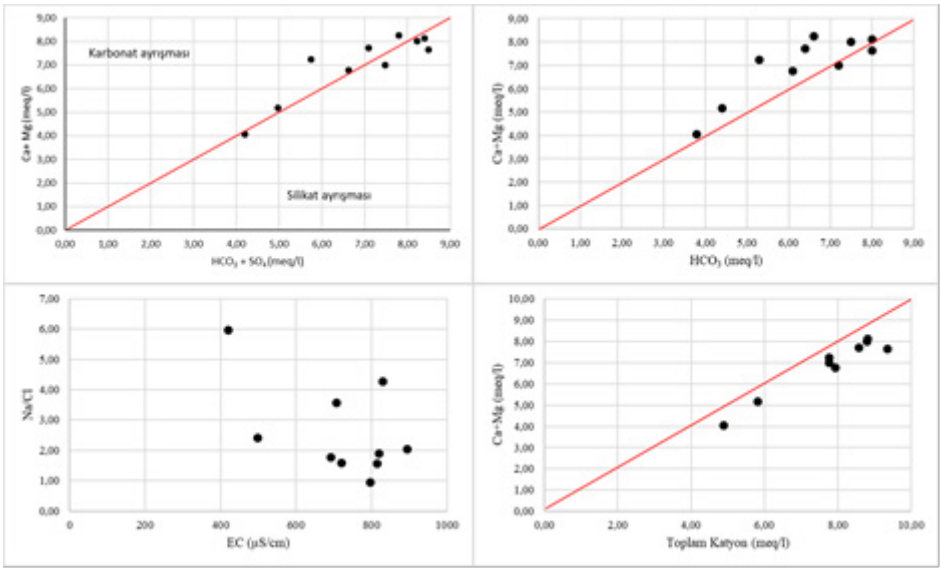
Şekil 3: Gibss Diyagramı

Bu diyagramda örnek noktaları 1:1 doğrusu üzerinde sıralanıyorsa iyonların karbonat ve silikat ayrışması kaynaklı olduğu söylenir (Rajmohan ve Elango, 2004:57). Bu diyagramda 1:1 denge çizgisinin üstünde kalan noktalar karbonat ayrışmasını, altta kalan noktalar ise silikat ayrışmasını yansıtır (Datta ve Tyagi, 1996:185). İnceleme alanından alınan su örnekleri (Ca^{+2}+Mg^{+2})-(HCO_3^-+$SO_4^{=}$) grafiği üzerine yerleştirilmiştir. Grafikte hem karbonat hem de silikat ayrışmasının etkin olduğu görülmektedir (Şekil 4).

İnceleme alanında bulunan su örneklerinde tespit edilen yüksek Ca^{+2} ve Mg^{+2} değerleri karbonatlı kayaçlar ile ilişkilidir. Ca^{+2}/Mg^{+2} oranı ortamda kalsit ve dolomit çözünürlüğü yorumlamalarının yapılmasında kullanılmaktadır. Bu oranın 1'e eşit veya 1'e yakın değerleri kalsit ve dolomitin çözünürlüğünü yansıtırken, 2'den büyük değerler silikat ayrışmasının katkısını göstermektedir (Han vd., 2009:250). İnceleme alanında YN1, YN2, YN8, YN9 ve YN10 nolu örneklerin Ca^{+2}/Mg^{+2} oranlarının 2'den büyük olduğu görülmektedir. Bu durumda yeraltısularındaki baskın Ca^{+2} varlığını sağlayan ikincil prosesin silikat ayrışması

olduğu söylenebilir (Datta ve Tyagi, 1996:186). Diğer örneklerde ise kalsit ve dolomit çözünürlüğü baskındır (Tablo 3).

Yeraltısuyunun $Ca^{+2}+Mg^{+2}/HCO_3^-$ oranı ayrışma türü hakkında bilgi verebilir. Bu oranın 1'den büyük değerleri karbonat ayrışmasının baskın olduğunu, 1'den küçük değerleri ise silikat ayrışmasını göstermektedir (Kumar Singh vd., 2012:2182). $(Ca^{+2}+Mg^{+2})/(HCO_3^-)$ grafiğinde iki örnek dışında (Şekil 4) 1:1 çizgisinin üstündedir. Bu durum sudaki Ca^{+2}, Mg^{+2} ve yüksek HCO_3^- kaynaklarının karbonat ayrışması ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Ek olarak, inceleme alanında YN7 nolu örnek dışında tüm yeraltısuyu örneklerinin $Mg^{+2}/(Ca^{+2}+Mg^{+2})$ oranlarının 0,5'in altında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Bu durum bölgede Mg^{+2} ve Ca^{+2} içeriklerinin kireçtaşı-dolomit ve dolomit ayrışmasından kaynaklandığını düşündürmektedir. Ayrıca, yeraltısuyunun %100'ünün $Ca^{+2}/(Ca^{+2} + SO_4^{=})$ eşdeğer oranları 0,5'ten büyüktür, bu durum jips-karbonatlar, kalsit/dolomit veya silikatlar dışında bir kalsiyum kaynağı olduğunu düşündürmektedir. Bu nedenle, kalsit/dolomit karbonatlar veya silikat çözünmesi, Ca^{+2} ve Mg^{+2} konsantrasyonlarına önemli ölçüde katkıda bulunmuş olabilir (Tay, 2012:2085). Ayrıca, $Na^+/(Na^+ + Cl^-)$ oranının >0.5 olması Na^+ iyonlarının kaynağının plajioklas ayrışması ve iyon değişimi olduğunu göstermektedir (Hounslow, 1995:145). Ek olarak, toplam katyon-$(Ca^{+2}+Mg^{+2})$ grafiğinde çizilen noktaların 1:1 denge çizgisinin altına düştüğü ve yüksek konsantrasyonlarda daha belirgin olduğu görülmektedir (Şekil 4). Bu durum, toplam katyonlardaki artışın Na^+ ve K^+ artışı ile doğru orantılı olduğunu göstermektedir (Ahmed vd., 2019:42).



Şekil 4: Farklı İyon Oranlarına Ait Grafikler

İyon alışverişi

İyon değişimi, yeraltısuyunun dolaşımı sırasında, etkileşimde olunan kayaçlar ile su arasında gerçekleşmekte olup su kimyasını kontrol eden temel faktörlerden biridir. Kloroalkalin indeksi (CAI-I, CAI-II) değerleri suyun dolaşımı sırasında yeraltısuyu ile akifer ortam arasındaki iyon değişimini anlamak için Schoeller (1965:60, 1977:12) tarafından önerilmiştir (Eşitlik 1, 2).

$$CAI\text{-}I=[Cl-(Na+K)]/Cl \quad (1)$$

$$CAI\text{-}II=[Cl-(Na+K)]/(SO_4+HCO_3+CO_3+NO_3) \quad (2)$$

Tablo3: Bazı iyon oranları

Örnek no	CAI-I	CAI-II	Ca/Mg	Na/(Na + Cl)	Na/Cl	Mg/(Ca + Mg)	Ca/(Ca+SO_4)
YN1	-0,97	-0,05	3,29	0,66	1,90	0,23	0,89
YN2	-0,77	-0,04	4,58	0,61	1,56	0,18	0,94
YN3	-0,64	-0,06	1,85	0,61	1,58	0,35	0,89
YN4	-1,63	-0,08	1,80	0,71	2,42	0,36	0,85
YN5	-5,20	-0,16	1,65	0,86	5,95	0,38	0,86
YN6	-0,84	-0,03	1,65	0,64	1,77	0,38	0,91
YN7	-1,14	-0,14	0,70	0,67	2,04	0,59	0,74
YN8	0,03	0,00	2,28	0,48	0,94	0,31	0,88
YN9	-3,32	-0,15	2,48	0,81	4,27	0,29	0,91
YN10	-2,61	-0,07	8,45	0,78	3,56	0,11	0,96

Bu eşitliklerde iyon içerikleri meq/l cinsinden kullanılmaktadır. Kayada Mg^{+2} ve Ca^{+2} iyonları ile suda K^+ ve Na^+ iyonları değişimi olduğunda kloroalkali indeks değerleri pozitiftir. Bu durum doğrudan iyon değişimini yansıtmakta olup sonuç olarak, Mg^{+2} ve Ca^{+2}'un çözünmüş konsantrasyonları yeraltısuyunda artar. CAI endeksleri negatifse, akiferdeki Na^+ ve K^+, sudaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} ile yer değiştirerek ters iyon değişimi meydana gelir (Zaidi vd., 2015:607; Liu vd., 2015:560). Bu durumda, yeraltısularında çözeltideki Na^+ veya K^+ konsantrasyonları artar (Schoeller, 1965:65). Negatif değerler kloroalkali dengesizliğini gösterir ve bu reaksiyon katyon-anyon değişim reaksiyonu olarak bilinir (Aghazadeh ve Mogaddam, 2011:189). İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin CAI-I ve CAI-II değerleri bir örnek dışında negatiftir (Tablo 3). Bu durum bölgede "*ters iyon değişimi*"nin baskın olduğunu göstermekte olup akifer ortamdaki Na^+ ve K^+ iyonları sudaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonları ile yer değiştirmektedir.

Evaporasyon

Buharlaşma yüzey sularında yaygın olarak görülmekle birlikte yeraltısuyu sisteminde de gözlenebilen bir olgudur. Farklı araştırmalarda, Na/Cl oranı, yeraltısularında buharlaşma etkisini tanımlamak için kullanılmıştır. İnceleme alanında yeraltısuyunun Na/Cl oranları 1'den büyüktür (Tablo 3). Bu durum, iyon alışverişi kaynaklı olarak kil minerallerindeki Na^{+} iyonlarının yeraltısuyundaki Ca^{+2} iyonları ile yer değiştirdiğini göstermektedir (Kumar vd., 2006:1036; Tay, 2012:2085). Na/Cl oranının 1'den büyük değerleri Na'un kaynağının silikat ayrışması olduğunu gösterebilmektedir (Mayback 1987:415, Garcia vd., 2001:605).

Buharlaşmanın baskın süreç olması durumunda suların TDS ve buna bağlı olarak EC değerleri artarken Na/Cl oranı aynı kalacaktır. İnceleme alanından alınan su örneklerine ait EC (µS/cm)-Na/Cl diyagramı çizilmiştir. Buharlaşmanın baskın olduğu süreçlerde bu diyagramda örnekler yatay bir doğru oluşturmalıdır (Jankowski ve Acworth, 1997:80; Chebboh ve Allia, 2015:269). EC (µS/cm)-Na/Cl diyagramında örnek noktaları düz bir çizgi halinde sıralanmamıştır (Şekil 4). Bu durum, buharlaşmanın, inceleme alanında yeraltısuyu kimyasını kontrol eden ana jeokimyasal süreç olmadığını göstermektedir. Gibbs diyagramı da yeraltısuyu kimyasını kontrol eden temel sürecin buharlaşma olmadığını doğrulamaktadır.

Major iyonların istatistiksel analizi

Değişkenlerin birbirleriyle ilişkili olarak değişimini belirlemek için kullanılan istatistik yöntemlerinden birisi Korelasyon analizidir. Korelasyon katsayısı -1 ile +1 arasında değerlendirilmektedir. (+) değer değişkenler arasındaki ilişkinin aynı yönde, (-) değer ise zıt yönlerde azalış ve artış eğiliminde olduğunu göstermektedir. 1 veya 1'e yakın korelasyon katsayıları değişkenler arasında iyi bir pozitif ilişkinin olduğunu göstermektedir. 0.7'den büyük değerler değişkenler arasında güçlü korelasyon olduğunu gösterirken, 0.5 ile 0.7 arasındaki değerler orta düzeyde korelasyonu yansıtmaktadır. Korelasyon analizi sularda çözünen iyonların kökeni ve fizikokimyasal özellikleri arasındaki ilişkileri de belirlemek için kullanılabilmektedir (Parizi ve Samani, 2013:1705). İnceleme alanında su örneklerinin korelasyon analizi excel programı ile yapılmıştır (Tablo 4).

Su örneklerinin Elektriksel iletkenlik (EC-µS/cm) değeri ile HCO_3^{-} arasında güçlü pozitif korelasyon tespit edilmiştir. HCO_3^{-} anyonunun su örneklerinde EC iletkenlik değerini denetleyen önemli bir iyon olduğu söylenebilir. Ca^{+2} katyonu

ile HCO_3^- anyonu arasında güçlü pozitif korelasyon karbonat çözünürlüğü ile ilişkilidir (Eşitlik 3).

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \qquad Ca^{+2} + 2HCO_3^- \tag{3}$$

Mg^{+2} iyonu ile $SO_4^=$ ve Cl^- arasında güçlü pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Süperjende magnezyumun göçü, birçok şekillerde sülfat ve klorür tuzlarının suda çözünmesine bağlıdır. $MgSO_4$ jeolojik ortamlarda yaygın olarak bulunan minerallerdir (Şahinci, 1991:340). Kizerit denilen hidratlı bileşiği ($MgSO_4$-H_2O), tabiatta mineral olarak bulunur. Sunî yolla üretilen magnezyum sülfat ($MgSO_4$-$7H_2O$) yapısındadır. Magnezyum sülfat, magnezyum mineralinin suda eriyebilen halidir. Magnezyum sülfat gübre olarak yaygın şekilde kullanılır. Ayrıca, inceleme alanından alınan su örneklerinde Mg^{+2} ile Na^+ iyonları arasında güçlü pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Bu ilişki antropojenik etkenler ile ilişkili olabilir.

Suların Kullanılabilirlik ve Kalite Özellikleri

Yeraltısuyu kalite değerlendirmelerinde farklı amaçlara uygunluk için belirli standartlar kullanılmaktadır. İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin içme ve halk sağlığı amaçlı kullanıma uygunluğunu değerlendirmek için, Türkiye İçme Suyu Standartları (İTASHY, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (2017) tarafından verilen standart değerler kullanılmıştır. Yenişehir Ovası'ndan alınan yeraltısularının majör anyon (HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{-2}) ve katyon (Na^+, Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^+) analizlerine ve fiziksel parametrelerine (EC, pH, sıcaklık) göre genel olarak su standartlarda önerilen limitler içerisinde kaldığı ve içme suyu amaçlı kullanılabileceği söylenebilir. Ancak, Boğazköy'de kuyu suyundan alınan örnekte NO_3 içeriği 83 mg/l olup sınır değer olarak verilen 50 mg/l'nin üzerindedir.

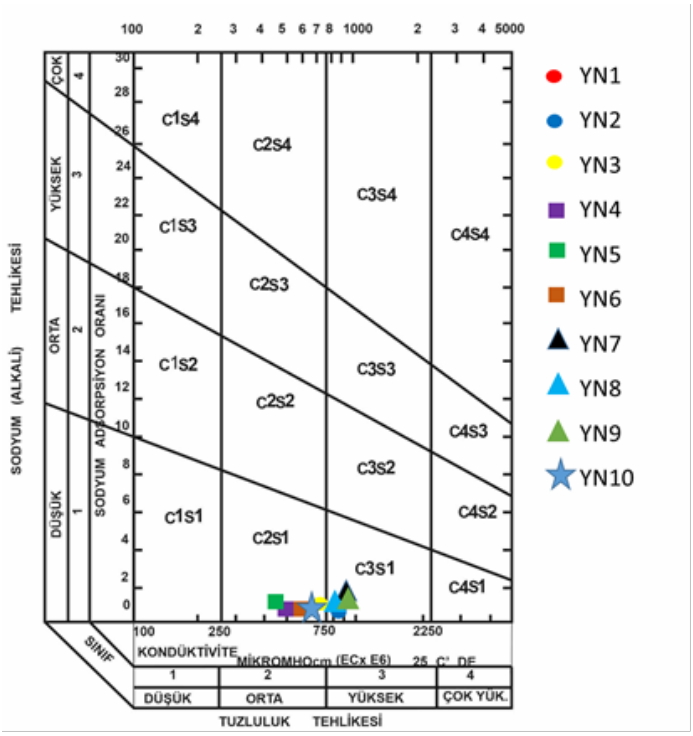
Tablo 4: Su Örneklerinin İstatistiksel Analiz Sonuçları

	Na	**K**	**Mg**	**Ca**	**HCO_3**	**Cl**	**SO_4**	**NO_3**	**pH**	**EC**
Na	1									
K	0,4	1,00								
Mg	**0,7**	0,57	1,00							
Ca	-0,2	-0,2	-0,42	1,00						
HCO_3	0,3	0,08	-0,03	**0,86**	1,00					
Cl	0,6	0,49	**0,77**	-0,05	0,26	1,00				
SO_4	0,6	0,59	**0,87**	-0,29	0,08	**0,79**	1,00			
NO_3	0,08	0,06	0,62	-0,10	-0,07	0,38	0,32	1,00		
pH	-0,2	-0,17	-0,18	-0,57	-0,69	-0,23	-0,21	-0,18	1,00	
EC	0,5	0,27	0,44	0,62	**0,86**	0,65	0,48	0,33	-0,7	1

Yenişehir Ovası'ndan alınan yeraltısularının sulama suyu amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları ile Sodyum Yüzdesi (%Na), Artıksal Sodyum Karbonat (RSC), Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Magnezyum Tehlikesi (MT), Geçirgenlik İndeksi (PI) ve Kelly Oranı (KR) parametreleri kullanılmıştır (Tablo 5).

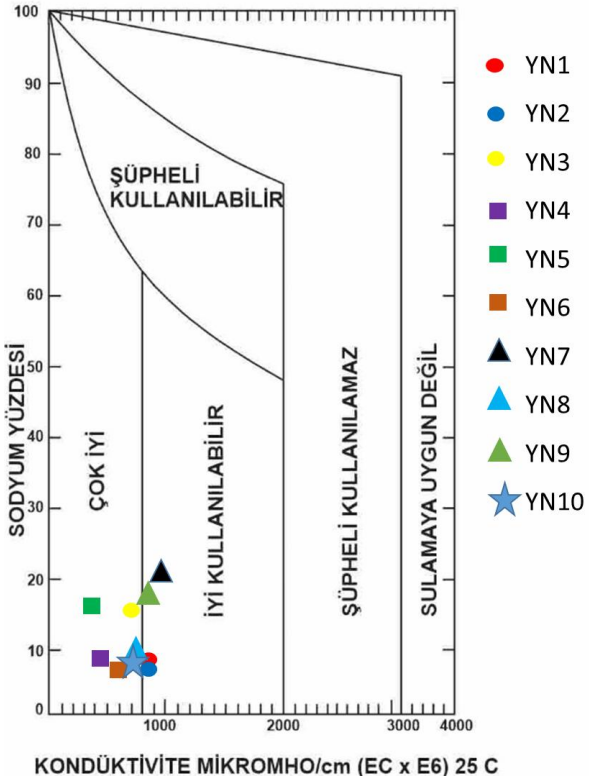
ABD tuzluluk diyagramına göre YN1, YN2, YN7, YN8 ve YN9 nolu örnekler C_3S_1 (fazla tuzlu ve az sodyumlu sular) sınıfında yeralırkan diğer su örnekleri C_2S_1 (orta tuzlu ve az sodyumlu sular) sınıfında yeralmaktadır (Şekil 5). Wilcox diyagramına göre ise YN1, YN2, YN7 ve YN9 nolu örnekler "iyi kullanılabilir sular" sınıfında diğer örnekler ise "çok iyi kullanılabilir sular" sınıfında yeralmaktadır (Şekil 6).

Sulama suyu sınıflamalarında kullanılan önemli ölçütlerden biri Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) değeridir (Tablo 6). İnceleme alanında suların SAR değerleri 0.27-1.06 arasında değişmekte olup "çok iyi özellikte sulama suları" sınıfındadır. Su örneklerinin %Na değeri ise 0.07 ile 0.20 arasında olup sulama suyu açısından "mükemmel" suları temsil etmektedir (Wilcox, 1955; Tablo 6). Sulama suyuna uygunluk değerlendirmeleri için kullanılan diğer parametrelerden biri Geçirgenlik indisi (PI) değeridir. İnceleme alanında su örneklerinin PI değeri %36.42-56.62 arasında tespit edilmiştir. PI değerine göre yeraltısuları II. sınıf suları temsil etmektedir (Tablo 5, 6).



Şekil 5: ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

Artıksal Sodyum Karbonat (RSC) toprak infiltrasyon sorununun tahmini için kullanılan parametrelerden biridir (Eaton, 1950:127; Richards, 1954:120). Yenişehir ovasından alınan yeraltısuyu örneklerinin RSC değeri -1.92 ve 0.21 arasında olup "çok iyi-I. sınıf su" sınıfındadır (Raghunath, 1987:45; Eaton, 1950:128; Richards, 1954:125). İnceleme alanında yeraltısularının Magnezyum Tehlikesi (MT) değerleri %10.59 ile 58.73 arasında değişmektedir (Tablo 6). MT değeri sadece Yolören köyünden alınan YN5 örneğinde 50'den büyüktür. Bu örnekler dışındaki bütün su örnekleri MT değeri açısından sulama suyu olarak kullanıma elverişlidir (Tablo 6). Sulama suyu değerlendirmesinde kullanılan diğer bir oran ise Kelley (1963) tarafından önerilen Kelly oranı (KR)'dır. İnceleme alanında suların KR değerleri 0.08-0.26 arasında olup sulama suyu için uygundur (Tablo 5,6).



Şekil 6: Wilcox Diyagramı

SONUÇ

Yenişehir (Bursa) Ovası Marmara Bölgesinin Güney Marmara Bölümünde yer almaktadır. Yenişehir ve çevresinde yer alan litostratigrafik birimler, Permiyen öncesinden başlayıp Kuvaterner'e kadar geniş bir dağılım göstermektedir. Yenişehir Ovasında yüzeyleyen en yaşlı birimler Devoniyen-Karbonifer yaşlı Kalabak grubuna ait kayaçlardır. Ovada, Kabalak grubuna ait Torasan ve Sazak formasyonları, Permiyen Orhaniye formasyonu ve Boğazköy metaofiyoliti, Karakaya kompleksine ait Karakaya, Mehmetalan ve Çal formasyonları, Sakarya Zonu örtü birimleri olarak Bakırköy, Bilecik, Soğukçam ve Yenipazar formassyonları ile Örtü birimleri olarak Fındıcak, Toprakdere, Mesudiye formasyonları, Pliyo-Kuvaterner çökeller ile Kuvaterner birimler gözlenmektedir. Ovada yüzeyleyen litolojik birimlerin fiziksel özellikleri ve akifer olabilme kapasitelerine göre geçirimli, az geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz birimler olarak tanımlanmıştır. Alüvyon ovada en önemli akiferdir.

Tablo 5: Sulama suyu sınıflamasında kullanılan parametreler

Parametre	Kaynaklar	Formül	Oranlar	Su sınıfı
SAR	Todd, 1980 Richards, 1954	$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{rCa + rMg}{2}}}$	<10 10- 18 18- 26 > 26	Çok iyi özellikte sulama suları İyi özellikte sulama suları Orta özellikte sulama suları Kötü özellikte sulama suları
% Na	Wilcox, 1955	$\%Na = 100 * (\frac{rNa}{rNa + rCa + rMg + rK})$	0-20 20-40 40-60 60-80 >80	Mükemmel İyi İzin verilebilir Şüpheli Uygun değil
RSC	Eaton, 1950 Richards, 1954 Raghunath, 1987	$RSC = (rCO3 + rHCO3) - (rCa + rMg)$	< 1.25 1.25-2.5 > 2.5	Çok iyi-I. Sınıf su İyi-II. Sınıf su Kullanılabilir-III. Sınıf su
PI	Doneen, 1964 Raghunath, 1987	$PI = 100 * \frac{rNa + r\sqrt{HCO3}}{r(Na + rCa + rMg)}$	>%25 %25-75 <%75	I. sınıf II. sınıf III. sınıf
MT	Raghunath, 1987	$MT = 100 * (\frac{rMg}{rMg + rCa})$	<50 >50	Uygun Uygun değil
KR	Kelly, 1963	$KR = \frac{rNa}{rCa + rMg}$	<1 1-2	Uygun Uygun değil

Yeraltısularının hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi için Yenişehir Ovası'nda bulunan yerleşim alanlarında kullanılan kuyu sularından su örnekleri alınmıştır. Yenişehir Ovası yeraltısularının EC değerleri 420-895 µS/cm arasında ve pH değeri 7.30-8.5 arasında değişmektedir. Suların sıcaklıkları 14.4-18.7 °C arasında ve sertlikleri 20.27-40.56 Fr^0 olarak tespit edilmiştir. İnceleme alanındaki yeraltısularında katyonların nispi bolluğu Ca^{+2}>Mg^{+2}>Na^{+}>K^{+}, anyonlarınki ise HCO_3^{-}>SO_4^{-2}>Cl^{-} şeklindedir. Piper diyagramına göre su örneklerinin genel olarak Ca-Mg-HCO_3'lı sular sınıfında oldukları görülmektedir. YN2 (Koyunhisar) ve YN10 (Kozdere) nolu örnekler ise Ca-HCO_3'lı suları temsil etmektedir. Yenişehir ilçesi güneyinde bulunan Akdere köyünden alınan YN7 nolu örnek ise Mg-Ca-Na-HCO_3'lı su sınıfındadır. Bu örnekteki Mg^{+2} ve Na^{+} artışı yeraltısuyunun alındığı İnegöl formasyonu içerisindeki konglomera, killi kireçtaşı, kumtaşı ve kireçtaşı seviyeleri ile ilişkilidir. Yenişehir Ovası'ndan alınan yeraltısuyu örnekleri Gibbs

diyagramı üzerinde "Kayaç Baskın" bölgede yeraldığı tespit edilmiştir. Bu durumda, yeraltısuyu kimyasını denetleyen temel etkenin kaya-su etkileşimidir. Farklı iyon oranlarına göre yapılan değerlendirmelerde hem karbonat hem de silikat ayrışmasının etkin olduğu belirlenmiştir. Su örneklerinin majör iyon içerikleri ile istatistiksel analiz yapılmıştır. Su örneklerinin Elektriksel iletkenlik değeri ile HCO_3^- arasında, Mg^{+2} iyonu ile $SO_4^=$ ve Cl^- arasında ve Mg^{+2} ile Na^+ iyonları arasında güçlü pozitif korelasyonlar tespit edilmiştir.

Tablo 6: Sulama Suyu Sınıflamasında Kullanılan Parametreler

Örnek no	RSC	PI	MT	KR	SAR	%Na
YN1	-0,50	39,97	23,31	0,10	0,38	0,09
YN2	-0,11	39,47	17,93	0,08	0,31	0,07
YN3	-0,66	45,56	35,10	0,17	0,61	0,14
YN4	-0,77	46,72	35,76	0,12	0,37	0,10
YN5	-0,26	56,62	37,69	0,20	0,56	0,16
YN6	-1,92	36,42	37,73	0,07	0,27	0,07
YN7	-1,64	45,40	58,73	0,26	1,06	0,20
YN8	-1,30	39,44	30,50	0,11	0,43	0,10
YN9	0,37	48,48	28,71	0,22	0,87	0,18
YN10	0,21	44,44	10,59	0,11	0,41	0,10

İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin içme ve halk sağlığı amaçlı kullanıma uygunluğunu değerlendirmek için, Türkiye İçme Suyu Standartları ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından verilen standart değerler kullanılmıştır. Yenişehir Ovası'ndan alınan yeraltısularının majör anyon ve katyon analizlerine ve fiziksel parametrelerine göre genel olarak su standartlarda önerilen limitler içerisinde kaldığı ve içme suyu amaçlı kullanılabileceği söylenebilir. Ancak, Boğazköy'de kuyu suyundan alınan örnekte NO3 içeriği 83 mg/l olup sınır değer olarak verilen 50 mg/l'nin üzerindedir.

Yenişehir Ovası'ndan alınan yeraltısularının sulama suyu amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları farklı oranlar kullanılmıştır. ABD tuzluluk diyagramına göre YN1, YN2, YN7, YN8 ve YN9 nolu örnekler C3S1 (fazla tuzlu ve az sodyumlu sular) sınıfında yeralırkan diğer su örnekleri C2S1 (orta tuzlu ve az sodyumlu sular) sınıfında yeralmaktadır. Wilcox diyagramına göre ise YN1, YN2, YN7 ve YN9 nolu örnekler "iyi kullanılabilir sular" sınıfında diğer örnekler ise "çok iyi kullanılabilir sular" sınıfında yeralmaktadır. İnceleme alanında suların SAR değerleri 0.27-1.06 arasında değişmekte olup "çok iyi özellikte sulama suları" sınıfındadır. Su örneklerinin %Na değeri ise

0.07 ile 0.20 arasında olup sulama suyu açısından "mükemmel" suları temsil etmektedir. PI değeri %36.42-56.62 arasında olup bu parametreye göre II. sınıf suları temsil etmektedir. Yeraltısuyu örneklerinin RSC değeri-1.92 ve 0.21 arasında olup "çok iyi-I. sınıf su" sınıfındadır. Suların MT değerleri %10.59 ile 58.73 arasında tespit edilmiş ve sulama suyu olarak kullanıma elverişli sular sınıfındadır. KR değerleri ise 0.08-0.26 arasında olup sulama suyu için uygun suları temsil etmektedir.

REFERANSLAR

Aghazadeh, N. ve Mogaddam, A. (2011). Investigation of hydrochemical characteristics of groundwater in the Harzandat Aquifer, Northwest of Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 176, 183-195

Ahmed, A.A., Shabana, A.R. ve Saleh, A.A. (2019). Using hydrochemical and isotopic data to determine sources of recharge and groundwater evolution in arid region from Eastern Desert, Egypt. Journal of African Earth Sciences, 151, 36-46.

Altınlı, İ.E. (1973). Orta Sakarya'nın Jeolojisi. *Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kongresine sunulmuş Bildiri* (pp.105-114).

Appelo, C.A.J. ve Postma, D. (1993) *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. AA Balkema, Rotterdam

Chebboh, M. ve Allia, Z. (2015). Geochemistry and hydrogeochemical process of groundwater in the Souf Valley of low septentriaonal Sahara, Algeria. African Journal of Environmental Science and Technolog, 9(3), 261-273.

Datta, P.S. ve Tyagi, S.K. (1996). Major ion chemistry of groundwater in Delhi Area: Chemical Weathering Processes and Groundwater Flow Regime. Journal of Geological Society India, 47, 179-188.

Davraz, A. ve Batur, B (2021). Hydrogeochemistry characteristics of groundwater and health risk assessment in Yalvaç–Gelendost basin (Turkey). Applied Water Science, 11:67.

Davraz, A., ve Batur,B. (2020). Yalvaç-Gelendost (Isparta) Havzası su kaynaklarının hidrojeokimyası ve kullanılabilirlik özelliklerinin belirlenmesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(4), 1072 – 1085.

Davraz, A., ve Özdemir, A. (2014). Groundwater quality assessment and its suitability in Çeltikçi plain (Burdur/Turkey). Environmental Earth Science, 72:1167–1190.

Duru, M., Gedik, İ. ve Aksay, A. (2002). 1/100000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Bolu-H29 paftası. No:42, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara

Duru, M., Pehlivan, Ş., Kar, H., Kandemir, Ö., Tok, T., Kanar, F., Çakır, K., Akçay, A.E. ve Eroğlu, G. (2014). Sakarya Zonu temel birimleri ve Karakaya Kompleksinin konumu, https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/c511f7c5caa34d7_ek.pdf

Eaton, F.M. (1950). Significance of Carbonate in Irrigation Water. Soil Science. 69(2), 123–133

Freeze, R.A. ve Cherry, J.A. (1979) *Groundwater*, 1st edn. Prentice Hall, London, p 604

Garcia, M.G., Hidalgo, M. ve Blesa, M.A. (2001). Geochemistry of groundwater in the alluvial plain of Tucuman province, Argentina. Hydrogeology Journal, 9, 597–610.

Han, D., Liang, X., Jin, M., Currell, M.J., Han, Y. ve Song, X. (2009). Hydrogeochemical indicators of groundwater flow systems in the Yangwu river alluvial fan, Xinzhou Basin, Shanxi, China. Environmental Management, 44, 243-255.

Hounslow, A.W. (1995). *Water Quality Data Analysis and Interpretation*. Lewis Publishers, Boca Raton

İTASHY (TS266), 2005. İnsani tüketim amaçlı sular. türk içme suyu standartları, TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü –Ankara.

Jankowski, J. ve Acworth, R.I. (1997). Impact of debris-flow deposits on hydrogeochemical process and the development of dry land salinity in the Yass River catchment, New South Wales, Australia. Hydrogeology Journal, 5(4), 71-88.

Kandemir, Ö., Pehlivan, Ş., Kanar, F., Tok, T. Ve Çakır, K. (2014). 1/100000 ölçekli Türkiye'u, Bursa-H23 paftası. No:204, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara

Kelley, W.P. (1963). Use of saline irrigation water. Soil Science, 95(4), 355-391

Kuldip-Singh H, Hundal, S. ve Dhanwinder, S. (2011). Geochemistry and assessment of hydrogeochemical processes in groundwater in the southern part of Bathinda district of Punjab, Northwest India. Environmental Earth Science, 64, 1823-1833.

Kumar Singh, A., Mondal, G.C., Singh, T.B., Singh, S., Tewary, B.K. ve Sinha, A. (2012). Hydrogeochemical processes and quality assessment of groundwater in Dumka and Jamtara districts, Jharkhand, India. Environmetal Earth Science, 67, 2175–2191.

Kumar, M., Ramanathan, A.L., Rao, M.S. ve Kumar, B. (2006). Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. Environmental Geology, 50, 1025–1039.

Liu, F., Song, X., Yang, L., Zhang, Y., Han, D., Ma, Y. ve Bu, H. (2015) Identifying the origin and geochemical evolution of groundwater using hydrochemistry and stable isotopes in the Subei Lake basin, Ordos energy base, Northwestern China. Hydrology Earth System Science, 19,551–565.

Mayback, M. (1987). Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river-dissolved loads. American Journal of Science, 287, 401–428.

Nur, A., Ishaku, J. M. ve Taiyib, A. (2012). Spatial distribution of chemical facies using geographical information system (GIS) in Michika, northeastern Nigeria. Research Journal in Engineering and Applied Sciences, 1(2), 102-109.

Parizi, H.S. ve Samani, N. (2013). Geochemical evolution and quality assessment of water resources in the Sarcheshmeh copper mine area (Iran) using multivariate statistical techniques. Environmental Earth Science, 69, 1699–1718.

Pehlivan, Ş., Duru, M., Kanar, F. ve Kandemir, Ö. (2011). 1/100000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Bandırma-H20 paftası. No:156, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara

Pehlivan, Ş., Kandemir, Ö., Kanar, F. ve Tok, T. (2014). Karakaya Kuşağı'nın jeolojisi ve jeodinamik evrimi-Bursa Bölümü, MTA raporu.

Piper, A.M. (1944). A Graphic Procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Trans. Amer. Geophys. Union, vol. 25, p. 914-923.

Ragunath, H.M. (1987). *Groundwater*. New Delhi: Wiley.

Rajmohan, N. ve Elango, L. (2004) Identification and evolution of hydrogeochemical processes in the groundwater environment in an area of the Palar and Cheyyar river basins, Southern India. Environmental Geology, 46, 47-61.

Richards, L.A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline Alkaline Soils*, US Department of Agriculture, HandBook 60 (160).

Sarin, M.N., Krishnaswamy, S., Dilli, K., Somayajulu, B.L.K. ve Moore, W.S. (1989). Major ion chemistry of the Ganga–Brahmaputra river system: weathering processes and fluxes to the Bay of Bengal. Geochimica at Cosmochimica Acta, 53, 997–1009.

Schoeller, H. (1965). Qualitative evaluation of groundwater resources. In Methods and techniques of groundwater investigations and development (pp. 54–83). Paris: UNESCO.

Schoeller, H. (1977). Geochemistry of groundwater In Groundwater studies-An International guide for research and practice Paris UNESCO Chap 15 pp1-18

Singh, A.K. ve Hasnain, S.I. (1999). Environmental geochemistry of Damodar river basin- east coast of India. Environmental Geololgy, 37, 124-136.

Şahinci, A. (1991). *Doğal Suların Jeokimyası*, Reform Matbaası, 546, İzmir.

Tay, C.K. (2012). Hydrochemistry of groundwater in the Savelugu–Nanton District, Northern Ghana. Environmental Earth Science, 67, 2077–2087.

WHO (2017). Guidelines for drinking-water quality, fourth edition ıncorporating the first addendum, World Health Organization, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, ISBN 978-92-4-154995-0

Wilcox, L.V. (1955). *Classification and use of irrigation waters*, USDA Circular No. 969, p 19

Yılmaz, M. (2006). Yenişehir (Bursa) havzasının neotektonik dönemdeki yapısal özellikleri ve jeolojik Gelişimi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 98 s.

Zaidi, F.K., Nazzal, Y., Jafri, M.K., Naeem, M., Ahmed, I. (2015) Reverse ion exchange as a major process controlling the groundwater chemistry in an arid environment: a case study from northwestern Saudi Arabia. Environmental Monitoring Assessment, 187:607.

Bölüm 9

Nöral-Bulanık Sistemlerin Sağlık Alanındaki Uygulamaları

Çiğdem İnan ACI[1]

Gizen MUTLU[2]

Mehmet ACI[3]

[1] Doç. Dr. ; Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. caci@mersin.edu.tr ORCID No: 0000-0002-0028-9890

[2] Arş.Gör. ; Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. gmutlu@mersin.edu.tr ORCID No: 0000-0001-7553-2077

[3] Dr. Öğr. Üyesi ; Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. maci@mersin.edu.tr ORCID No: 0000-0002-7245-8673

ÖZET

Son yıllarda, Nöral-Bulanık Sistemler'in (NBS) güçlü öğrenme yeteneği ve diğer algoritmalarla uyumlu çalışmasından faydalanarak örüntü tanıma, nesnelerin interneti, zaman serisi tahminleri gibi çeşitli teknolojik alt dallarda dikkate değer başarılar elde edilmiştir. Bilinen yapay zekâ algoritmalarının karmaşık ve belirsiz veriler üzerinde yetersiz kaldığı noktalarda NBS'nin uzmanlığından yararlanarak mevcut algoritmaların başarıları artırılmıştır. Böylelikle NBS kullanımı daha yaygın hale gelmiştir. Bu çalışmada 2019-2022 yılları arasında sağlık alanında yapılan NBS tabanlı çalışmalar araştırılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, NBS'lerin mevcut yapay zekâ algoritmaları ile birleştiğinde daha yüksek doğrulukla çalıştığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: nöral-bulanık sistemler; bulanık mantık; yapay zeka; sağlık teknolojisi; örüntü tanıma.

GİRİŞ

Yapay Sinir Ağları (YSA) ile oluşturulan modellerin cevaplarının insanların anlayamayacağı şekilde karmaşık olmasından dolayı bu modellerin çıktılarının beklenen şekilde açıklanabilmesi için Bulanık Sistem kavramı ortaya çıkmıştır. YSA'nın eğitim kapasitesi ve sorunların daha yorumlanabilir bir şekilde temsil etme olasılığı arasındaki tutarlılık, Bulanık Sinir Ağları (BSA) veya Nöral-Bulanık Sistemler (NBS) olarak adlandırılan hibrit modeller ile gerçekleştirilir. Bu ağlarda, net topoloji bilgisinin çıkarımı ve yorumlanabilirliği kolaydır. Bulanık küme teorisi ve sinir ağlarının yardımı ile belirsiz bilgi işleme ve öğrenme yeteneğini bir araya toplayan modeller kolaylıkla oluşturulur (de Campos Souza, 2020).

Bulanık Mantık Sistemleri (BMS)

Bulanık Mantık Sistemleri (BMS) 1965 yılında Zadeh tarafından geliştirilmiş olup bulanık mantık kavramlarına dayanmaktadır. BMS'nin ortaya çıkmasında insan kararlarını vermede çok çeşitli kesin olmayan bilgiler motivasyon noktası olmuştur. Bulanık Mantık, matematiğin çeşitli problemlerinde belirsizlik alanındaki bilgileri temsil etmek için kullanılır. Temel olarak, evrensel yaklaşımlar teoremi ile bir fonksiyon yaklaşımı gerçekleştirebilen sistemler oluşturulabilir (de Campos Souza, 2020).

$$F: X \rightarrow Y \tag{1}$$

Denklem 1'de yer alan sistem, eğer X kompakt bir sistem ve f sürekli ise Denklem 2'de yer alan fonksiyona yaklaşır.

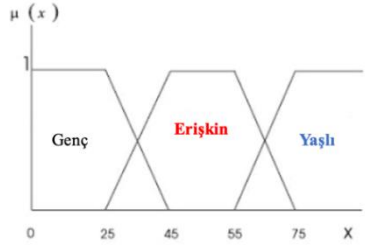
$$f: X \rightarrow Y \tag{2}$$

Bu yaklaşımın nedeni, bulanık bir sistemde her kuralın bir model çıktısını sağlamak için diğer kurallarla bir araya getirilen yerel bir modeli temsil etmesidir. Bir BMS dört faydalı bileşenden oluşur: Bulanıklaştırıcı, Bulanık Çıkarım Sistemi, Bilgi Tabanı ve Durulaştırıcı/Kesinleştirici Süreci. Dilsel ve sayısal değerler BMS için bilgi olarak kullanılabilir. Sayısal veriler uygulanırsa, çıkarım sürecinden önce bulanıklaştırma aşaması uygulanır. Girdi değişkenlerinin içeriği, bulanık koşullu kuralların bilgi tabanı olarak yorumlanan uzman bilgisi kullanılır ve çıkarım motoru çalışarak çıktı değişkeninin dilsel değerleriyle eşlenir. Dilsel değerlerin bir noktasında BMS çıktısı olarak sayısal veriler gerekebilir. Önceden bahsedilen durumlarda, belirsizlik içeren küme çıktılarının elde edilmesine izin veren durulaştırma teknikleri kullanılır. BMS'lerin kullanımı, matematiksel

modelin tam olarak mevcut olmadığı veya net (bulanık olmayan) bir modelin kullanımının ekonomik olarak uygun olmadığı problemleri içerir (de Campos Souza, 2020).

Bulanık Kümeler

Bulanık kümeler, bir öğenin belirli bir kümedeki üyeliğinin kesin olmayıp, belirli bir derecede olasılıkla gerçekleştiği matematiksel kümelerdir. Yani, bir öğenin bir kümeye tam olarak üye olup olmadığı kesin bir şekilde belirlenemeyebilir. Bunun yerine, öğenin kümeye ait üyeliği belirli bir olasılık derecesine göre belirlenebilir. Bu olasılık değeri, genellikle 0 ile 1 arasında bir sayıdır ve öğenin kümeye üyeliği ne kadar yüksekse, olasılık değeri de o kadar yüksek olur. Bulanık kümeler, özellikle karmaşık ve belirsiz sistemlerin modellemesi için kullanılan bir yöntemdir. Genellikle bulanık kümeler üçgen, gauss ve yamuk şeklindedir. Şekil 1, üç bulanık kümenin uygulandığı örnek bir yaş kümesini sunar. Yaş kümelerinde, ilk bulanık küme gençlerin yaşını, ikincisinin olgun insanların yaşını ve son olarak üçüncünün yaşlıların yaşını temsil etmektedir. Ayrıca, bu yaş kümesini tanımlamak için daha fazla bulanık küme kullanılırsa, temsil aralıklarının farklı olacağı ve insanların yaşını değerlendirmek için bir özellik daha eklenmesi gerekir (de Campos Souza, 2020).



Şekil 1: Yaş Grubunu Yansıtan Bulanık Kümeler Örneği

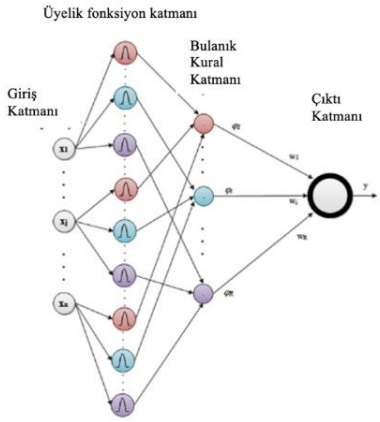
Bulanık Nöronlar

Bulanık nöronlar, bulanık mantık temelli bir sinir ağı yapısına sahip olan YSA modelleridir. Bu modeller, bulanık kümelerin matematiksel işlemlerini yapabilen yapay nöronlardan oluşur. Klasik sinir ağları, kesin matematiksel işlemler yapabilen nöronlardan oluşurken, bulanık nöronlar, bulanık kümeler üzerinde matematiksel işlemler yapabilen nöronlardan oluşur. Bulanık nöronlar, gelen verileri bulanık kümeler olarak kabul eder ve bu kümeler üzerinde işlem yaparak, bir çıktı üretirler. Özellikle belirsizlik içeren verilerin işlenmesinde ve karar verme sistemlerinde kullanılır. Örneğin, bir nesnenin bir kategoriye ait olup olmadığının belirlenmesi gibi problemlerde kullanılabilirler. Bu problemlerde,

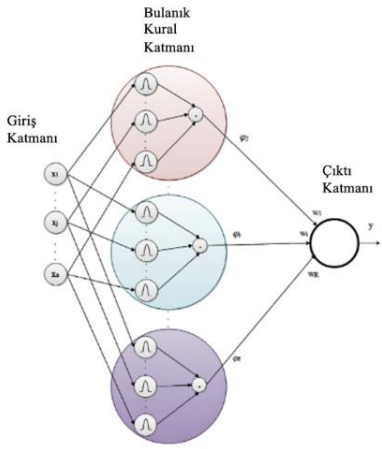
bir nesne bir kategoriye tam olarak uygun olmayabilir ancak belirli bir olasılık derecesiyle o kategoriye ait olabilir. Bulanık nöronlar, bu tür problemlerde, verileri bulanık kümeler olarak kabul eder ve kümeler üzerinde işlem yaparak sonuç üretirler (de Campos Souza, 2020).

Bulanık Sinir Ağı (BSA) ve Nöral-Bulanık Ağ (NBA)

BSA ve Nöral-Bulanık Ağ (NBA)'lar, belirsiz verilerin modelleme ve karar verme problemlerinde kullanılan YSA modelleridir. BSA'lar, girdi olarak verilen belirsiz verileri bulanık kümeler olarak kabul eder ve bu kümeler üzerinde işlemler yaparak bir çıktı üretir. BSA'lar, gelen verilerin belirsizliğini ve kesin bir sınır olmadığını dikkate alarak, kesin sonuçlar yerine olasılıklı sonuçlar verirler. NBA'lar ise, hem bulanık mantık hem de YSA teknolojilerinin bir arada kullanıldığı bir modeldir. Bu model, gelen verileri hem bulanık kümeler olarak kabul eder hem de bu kümeler üzerinde YSA teknolojileri kullanarak işlemler yapar. Bu sayede, NBA'lar daha karmaşık problemleri çözebilirler ve daha doğru sonuçlar üretebilirler. Hem BSA hem de NBA'lar, özellikle belirsizlik içeren problemlerin çözümünde kullanılırlar. Örneğin, bir nesnenin bir kategoriye ait olup olmadığının belirlenmesi, finansal risk yönetimi, trafik kontrolü, robotik gibi alanlarda kullanılabilirler (de Campos Souza, 2020). Şekil 2A ve 2B'de örnek bir BSA gösterilmiştir (Ebadzadeh & Salimi-Badr, 2015).



Şekil 2A: 4 Katmanlı Standart BSA



Şekil 2B: Üyelik Fonksiyonları ve T-Norm Operatörleri Birlikte Gruplanmış 3 Katmanlı Standart BSA

BSA ve YSA gibi iki temel yapay zekâ teknolojisi, birçok uygulama alanında kullanılır: Üretim, kontrol sistemleri, teşhis ve denetim gibi alanları içerir ve

gelişen teknolojik ihtiyaçlara uyum sağlamak için sürekli olarak geliştirilirler. BSA ve YSA'lar sıklıkla birlikte kullanıldıkları için aralarında bir füzyon kavram olan NBA'ların gelişmesine yol açmıştır. NBA'lar, YSA'nın öğrenme ve genelleme yetenekleriyle BSA'nın işlevselliklerini birleştirirler. Bu, giriş-çıkış modelleriyle (öğrenme aşaması) parametrelerini öğrenir ve ayarlarlar, ardından da bir bulanık mantık sistemi (yürütme aşaması) gibi çalışırlar. NBA'lar, karmaşık sorunları çözmek için rahatlıkla kullanılabilmesinin yanı sıra teknik teşhis ve ölçüm uygulamaları için de oldukça elverişlidir (Viharos & Kis, 2015).

NBA'ların tıbbi bozuklukların sınıflandırılmasında ve tahmininde önemli bir rol oynadığı yaygın olarak bilinmektedir. Bu sistemler, tıbbi bozukluklarla ilgilenen alanı otomatikleştirmek ve yanlış teşhisi önlemek için tıp pratisyenlerine yardımcı olmaktadır. NBA, tıbbi teşhis alanında birçok karmaşık araştırma problemleriyle başa çıkmada doğruluğu artırdığı için tercih edilmektedir (Kour vd., 2020).

Literatürde NBA'ların dahil olduğu sağlık alanında birçok çalışma mevcuttur (Jiang vd., 2022; Kalra vd., 2022; Mardani vd., 2019; Shahbeig vd., 2017; Zakharov vd., 2018). NBA'lar karmaşık verilerle ve sorunlarla başa çıkabilme yeteneği ve özellikle teşhis koyabilme başarısı sebebiyle sağlık sektöründe oldukça faydalanılan bir teknolojidir. Bu çalışma ile NBA'ların sağlık alanında son yıllarda yapılmış güncel araştırmalardaki rolü ve katkısı açıklanmaktadır.

NÖRAL-BULANIK SİSTEMLERİN SAĞLIK ALANINDAKİ UYGULAMALARI

Bu bölümde, NBS'lerin genel sağlık, örüntü tanıma teknolojisi, COVID-19 salgını, Nesnelerin İnterneti (Nİ) ile birlikte kullanımı gibi alt alanlarında yapılan çalışmalar detaylıca incelenmiştir.

Genel Sağlık Alanında Yapılan Çalışmalar

Günümüzde, tıp bilimindeki hızlı teknolojik ilerlemeler nedeniyle çeşitli biyomedikal cihazlardan ve deneylerden sürekli olarak büyük hacimde biyomedikal veri üretilmektedir. Bu biyomedikal verilerin etkin bir şekilde analiz edilmesi ve önemli özelliklerinin çıkarılması zorlu bir görevdir. (Das vd., 2022) çalışmalarında, karmaşık biyomedikal verileri analiz etmek için post-öznitelik azaltma ile bir Nöral Bulanık (NB) model önermişlerdir. Önerilen bu NB yaklaşımı, belirsizlik sorunlarını ele almak için giriş desenlerinin sınıf aidiyetine dayalı bulanıklaştırmayı kullanır. Ancak, giriş desenlerinin bu bulanıklaşma genişlemesi nedeniyle modelin karmaşıklığı artar. Öte yandan, tüm genişletilmiş bulanıklaştırılmış desenler her zaman model tanımlama için önemli olmayabilir. Bu sorunu çözmek için, post-öznitelik azaltma, gereksiz, tekrarlayan ve gürültülü

özellikleri elemek için bulanıklaştırılmış desenlere uygulanmıştır. Özniteliklerin ön azaltımının aksine, bu yaklaşım tüm özelliklerin bulanıklaştırma sürecine katılmasına ve ardından gereksiz özellikleri bulanıklaştırılmış desenlerden tanımlamalarına izin verir. Ayrıca, bu yaklaşım güçlü ve zayıf özellik setinden potansiyel bulanıklaştırılmış özellikleri keşfetmeye olanak tanır. Bu önerilen modelin etkinliğini, çeşitli alanlardan toplanan çeşitli ölçüt biyomedikal verileriyle test edip %97.04 doğruluk oranı ile doğrulamışlardır.

Bilgi işlem ve iletişim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, sağlık alanında farklı ve büyük hacimli farklı veri kaynakları mevcuttur ve analitik topluluğunda umut vadeden kullanım örnekleri bulunmaktadır. Bununla birlikte, sağlık sistemleri farklı, karmaşık ve heterojen bilgi kaynakları içermektedir. Bu durum, mevcut sağlık verilerinden potansiyel ilgi alanlarının ortaya çıkarılması için yeni tekniklerin ve hesaplama modellerinin uygulanmasını gerektirir. (Nagarajan & Thirunavukarasu, 2022) çalışmalarında, sağlık kayıtlarının önişleme işlemlerini ve hastalık tahminini gerçekleştirmek için NB tabanlı bir sağlık çerçevesi önermektedir. Önerdikleri çerçevede, sağlık verilerinin ön işlemesini, bulanıklaştırma işlemiyle normalizasyonunu, uygun kuralların uygulanmasıyla hastalık tahminini ve tahmin edilen hastalığa ilişkin bilgilerin elde edilmesi için çıktı değerlerinin tanımlanmasını içeren katmanlı bir yaklaşım oluşturmuşlardır. Bulanık kural tabanı, karar sürecini güçlendirmek için etkili bir şekilde tasarlanmıştır. Bu sistemi, deneysel bir kurulumla doğruluk değeri elde edilerek bulanık tabanlı ve özellik çıkarımıyla NB modellerle karşılaştırmışlardır. Önerilen NB tabanlı yöntem, %87.7 doğruluk değerine ulaşmaktadır ve mevcut yöntemlere göre daha iyi olduğunu öne sürmüşlerdir.

Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, 2050 yılına kadar işitme engeli olan insanların sayısı 2.5 milyara yükselecektir. İşitme cihazı kullanan kişiler için gürültülü ortamlarda konuşma algılamak bir zorluk oluşturmaktadır. (Patil vd., 2022) çalışmalarında, farklı arka planlara sahip işitme cihazı kullanıcılarının konuşma tanıma yeteneğini geliştirmek için yeni bir yöntem geliştirmeyi amaçlamışlardır. Konuşma geliştirmeyi iyileştirmek için geliştirilmiş bir Amplitüd-Magnitude Spektrogram (I-AMS) algoritması ve bulanık bir sınıflandırıcıyla Temel Frekans Dönüşümü (TFD) tabanlı bir yöntem önermişlerdir. İlk olarak, I-AMS yaklaşımı, gürültü içeren konuşma sinyallerini zaman-frekans birimlerine ayırır ve sinyalde bulunan gürültüyü ortadan kaldırır. Ardından, temizlenmiş sinyalden zaman-frekans birimleri, modülasyon frekansı ve merkez frekansı çıkarılır. Bir NB sınıflandırıcı kullanılarak arka plan konuşma ortamı üç farklı sınıfa ayrılmıştır. Önerilen I-AMS algoritması test edildiğinde, duyarlılık için %1.02 ve doğruluk açısından %11.8 iyileştirmeler elde etmişlerdir. Konuşma gürültüsünün azaltılması, konuşma tanıma performansında %1.27'lik bir iyileşme sağlamıştır.

(Arunprakash vd., 2021) çalışmalarında, kalp hastalığı olan hastalar için optimize edilmiş bir NB yöntemi olan Stokastik Gradyan İnişiyle (SGİ) birlikte bir yaklaşım sunmaktadır. Geleneksel insan deneyimine dayalı ve manuel analizin sınırlamaları, doğru teşhis yapmada sorunlara ve farklı tıbbi araçlardan elde edilen çeşitli hastalık verilerinin yanlış olmasına neden olmaktadır. Hastanın sağlık durumunun kesin olarak tahmin edilmesi önemli olduğundan, akıllı cihazlarla tıp bilimini eğitmek ve özel hastalık sonuçlarına göre tedavi sağlamak hata oranını ve cerrahi maliyeti azaltmaktadır. Bu çalışmanın ana amacı, kalp hastalığına yakalanmış hastalar için optimize edilmiş bir SGİ ile Optimize Edilmiş Nöro-Bulanık (SGİOENB) tekniği sunmaktır. Ayrıca SGİ, NB modelinin öğrenme değerini artırmak için uygulanmaktadır. Simülasyon sonuçları, sunulan yaklaşımın maksimum doğruluk elde ettiğini göstermektedir. Ayrıca, karşılaştırmalı analiz, NB modelinin alternatif tekniklerle karşılaştırıldığında daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Ayrıca SGİ, NB modelin öğrenme değerini artırmak için uygulanmaktadır. Simülasyon sonuçları, sunulan yaklaşımın maksimum doğruluk elde ettiğini göstermektedir. Ayrıca, karşılaştırmalı analiz, NB modelin alternatif tekniklerle karşılaştırıldığında daha iyi performans gösterdiğini ima etmektedir. İki farklı veri kümeleri üzerinde gerçekleştirilen ayrıntılı performans doğrulaması, SGİOENB modelinin başarısını doğrulamak için kullanmışlardır. Önerilen SGİOENB modeli, çalışmada kullanılan veri setleri için sırasıyla %90.74 ve %91.41 maksimum doğruluk değerlerine ulaşmıştır.

(Agrawal vd., 2022) çalışmalarında, bilinmeyen protein dizisinin işlevsel karakterizasyonu, hastalık teşhisi ve ilaç tasarımı gibi biyolojik araştırmalar için artırılmış özellikler ve protein dizilerinin hücresel alt bölgesel lokalizasyonu kullanılarak, birinci seviyede bakteriyel veya bakteriyel olmayan protein dizilerinin kategorizasyonunda NB tabanlı bir makine öğrenme çerçevesi önermişlerdir. NB, eğitilmemiş örneklerle denetimli öğrenme algoritmalarının olası tahmin sorununu aşma kabiliyetine olduğunu belirtmişlerdir. İkinci seviyede ise, bakteriyel protein dizilerinin işlevleri protein hücresel alt bölgesel lokalizasyonu modeli kullanılarak karakterize etmişlerdir. Protein dizilerinin fiziko-kimyasal ve evrimsel bilgileri çıkarılmış ve bir protein özellik vektörü olarak artırılarak, protein kalıntı özelliğini ve dizi sırası bilgisini korumuşlardır. PSL modelinin oluşturulması için bir karar ağacı olan C-4.5 KYK, ÇKP, NB, AdaBoost ve Gradyan-Arttıran-Makine gibi çeşitli bireysel ve toplu sınıflandırıcılar kullanılır. Bahsedilen ilk model, bilinen Gram-Negatif Bakteriyel Protein Dizisi (GN_BPD) veri kümesinin artırılmış özellikleri ile 10-kat çapraz doğrulama kullanılarak eğitilir ve C-4.5 sınıflandırıcısıyla %97.94 doğruluk elde etmişlerdir. Doğrulanan model, Bilinmeyen G-Bakteriyel Protein Dizileri

(Blnm_GN_BPD) olarak adlandırılan Blnm _GN_156 ve Blnm _GN_61 veri kümelerinin işlevsel karakterizasyonunda kullanılmış olup Blnm_GN_156 için C-4.5 ile %78.20 doğruluk ve Blnm _GN_61 için KYK ile %79.32 doğruluk elde edilmiştir.

Gradyan tekniği, bir amaç fonksiyonunun gradyanını hesaplayarak, bu gradyanın negatif yönüne doğru en dik inişi takip ederek optimumu bulan bir optimizasyon tekniğidir. Geri yayılım tabanlı öğrenme teknikleri ise gradyan tekniklerinin önemli bir alt kümesidir ve genellikle derin öğrenme algoritmalarında kullanılır. Bu teknikler, ağın katmanları arasında geriye doğru yayılım yoluyla gradyanların hesaplanmasına dayanır (Shihabudheen & Pillai, 2018).

(Lee vd., 2020) çalışmalarında, yerel dönüşüm desen özellikleri ve Kendini Organize Eden Harita (KOEH) sınıflandırma doğruluğunu arttırmak ve harcanan zamanı azaltmak için bir NBS tasarlayıp kalp atışı sınıflandırması yapmayı önermişlerdir. Bu önerilen yöntemde, Elektro Kardiyo Gram (EKG) sinyallerindeki farklı kalp atışı tiplerini doğru bir şekilde sınıflandırmayı amaçladıkları için sınıflandırma yöntemlerini kullanmışlardır. Sınıflandırma yöntemi olarak, öncelikle EKG sinyallerinden Yerel Dönüşüm Desenleri (YDD) elde etmektedir. Bu YDD özellikleri, her bir kalp atışının benzersiz özelliklerini belirleyen bir vektör olarak kullanılmaktadır. Daha sonra, KOEH tabanlı bir sinir ağı kullanılarak YDD özellikleri kümeleme işlemine tabi tutulmaktadır. Bu kümeleme işlemi, benzer kalp atışlarının aynı kümeye atanmasını sağlayarak sınıflandırma işleminin başarısını artırmaktadır. Son olarak, önerdikleri hibrit NBS ile YDD'ye dayalı bir sınıflandırıcı kullanmışlardır. Bu sınıflandırıcı, KOEH tabanlı kümeleme işlemi sonucunda belirlenen kalp atışı gruplarını belirli bir kalp atışı tipine atayan bir bulanık mantık sistemidir. Bu sayede, farklı kalp atışı tipleri doğru bir şekilde sınıflandırılmaktadır. Önerilen yöntemin performansını farklı iki veri setleri üzerinde test etmişlerdir. Elde edilen sonuçları, önerilen yöntemin diğer sınıflandırma yöntemlerine göre daha iyi performans gösterdiğini ve literatürdeki diğer güncel çalışmalardaki konumunu ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak, bu hibrit algoritma en iyi sonucu Hibrit NBS ve tek Boyutlu yerel gradyan modeli ile, %87 hassasiyet, %73.8 pozitif öngörü, %1.1 yanlış pozitif oranı ve %98.64 doğruluk oranı elde etmişlerdir. Hibrit bir NBS ve KOEH tabanlı kümeleme işlemi ile kalp atışı sınıflandırmasında daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamışlardır.

(Le vd., 2019) çalışmalarında, tıbbi teşhis için K-Ortalama Aralıklı Tip-2 Bulanık Sinir Ağını (KAT2BSA) kullanan yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem ile K-Ortalama kümeleme algoritmasını ve Aralıklı Tip-2 Bulanık Sinir Ağını (AT2BSA) birleştirmişlerdir. K-Ortalama ile eğitim verilerini özelliklerine

bağlı olarak k gruba sınıflandırarak her sınıf için AT2BSA'yı eğitmişlerdir. K-Ortalama ile test verileri en uygun AT2BSA sınıflandırıcılarıyla sınıflandırılmak üzere tekrar işlenmiş olup sınıflandırma için ilgili sınıflandırıcıyı tekrar kullanarak iki katmanlı bir sınıflandırıcı kullanmışlardır. AT2BSA için parametreler, en dik iniş gradyan yaklaşımı kullanılarak güncellemişlerdir. Lyapunov Teorisi, önerilen yöntemin yakınsamasını ve kararlılığını doğrulamak için de kullanmışlardır. Önerilen KAT2BSA'nin etkinliğini göstermek için, gerçek dünyadaki tıbbi veri kümeleri kullanılarak sayısal deneyler yapmışlardır. Bu çalışmada kullanılan veri kümeleri, literatürde iyi bilinen Meme Kanseri, Kalp Hastalığı ve Fetal-Kardiyotokografi'den oluşmaktadır. Her veri kümesi üzerinde 10-Kat Çapraz Doğrulama uygulamışlardır. Meme Kanseri veri kümesinden %97.73, Kalp Atışı veri kümesinden %87.62 ve Fetal-Kardiyotokografi veri kümesinden %92.17 Doğruluk Oranlarını elde etmişlerdir.

Örüntü Tanıma Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar

NBS'ler, geniş bir uygulama yelpazesine sahip olan görüntüleme analizi alanında da kullanılmaktadır. Görüntüleme analizi, görüntülerden veri veya bilgi çıkarmanın yapıldığı bir süreçtir ve genellikle karmaşık hesaplama gerektiren nicel bilgilerin çıkarılmasını içerir. Bu süreçte, bilgisayarlar veya yapay görme ve tıbbi görüntüler alanlarındaki örüntü tanıma, dijital geometri ve sinyal işleme teknikleri kullanılmaktadır. Görüntü işleme ve öznitelik çıkarma teknikleri, duygu tanıma, görüntü steganalizi, gürültülü görüntü işleme, yüz tanıma ve görüntü sıkıştırma gibi birçok uygulama alanında kullanılmaktadır (Kar vd., 2014).

(Reddy vd., 2019) çalışmalarında, kalp hastalığı teşhisi için hibrit bir genetik algoritma ve bulanık mantık sınıflandırıcısı kullanılarak bir model sunmuşlardır. Bu model, EKG sinyalleri, tansiyon değerleri ve kolesterol seviyeleri gibi çeşitli klinik verileri analiz ederek kalp hastalığı tanısı koymayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada, kaba küme tabanlı özellik seçimini veya özellik boyut azaltma işleminden sonra bulanık mantık sınıflandırıcısı ile birleştirilerek kurallar oluşturmuşlardır. Bu kuralları genetik algoritmanın optimizasyon yeteneklerini kullanarak optimize etmişlerdir. Bu yaklaşım, doğruluk oranını artırmak ve modelin performansını iyileştirmek için kullanılmaktadır. Bu hibrit model ile ilk olarak veri kümesinde kalp hastalığını etkileyen önemli özellikler kaba küme teorisi ile seçilmiştir. İkinci adımda, hibrit modeli kullanarak kalp hastalığı tahmini gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda hibrit modelin geleneksel yöntemlere kıyasla daha iyi bir doğruluk oranı (%90 doğruluk, %93 hassaslık ve %84 özgüllük) sağladığını ve kalp hastalığı teşhisinde başarılı sonuçlar elde ettiğini göstermişlerdir.

(de Campos Souza & Lughofer, 2021) çalışmalarında, örüntü sınıflandırma problemlerini çözmek için sinir ağları, bulanık sistemler ve n-uninormlara dayalı ENFS-Uni0 adını verdikleri hibrit bir model önermişlerdir. Gelişen Sinirsel Bulanık Sistem'lerinin (GSBS) eğitim süreci, bulanık mantık ve genetik algoritmaların birleşimi ile gerçekleştirilmektedir. GSBS, eğitim sırasında yeni verileri alabilir ve bu verileri kullanarak kendini yeniden yapılandırabilir. Bu sebeple, önerdikleri model verilerin yorumlanmasını kolaylaştırmaktadır. Bu modeli çeşitli karmaşık veri kümeleri (sağlık, endüstri vb. alanlarda) üzerinde test etmişlerdir ve İmmünoterapi veri kümesinde örüntülerin çevrimdışı sınıflandırılmasında %88.89 doğruluk oranı elde etmişlerdir. Sonuç olarak, Uni-Null nöronlar kullanılarak geliştirilen GSBS gibi yüksek yorumlanabilirlik kabiliyetine sahip sinirsel bulanık sistemlerin, karmaşık veri kümelerinin analizinde etkili olabileceğini göstermişlerdir. Ayrıca, bu sistemlerin, özellikle tıp, mühendislik ve finansal alanlarda kullanılması gibi, farklı endüstrilerde uygulama potansiyeline sahip olduğunu da belirtmişlerdir.

COVID-19 Kapsamındaki Çalışmalar

(Melin vd., 2020) çalışmalarında, COVID-19 vakalarının zaman serilerini tahmin etmek için bulanık yanıt birleştirme yöntemi kullanarak çoklu topluluk YSA modelleri önermişlerdir. Meksika'da COVID-19 vakalarını tahmin etmek için önerilen modelin performansı değerlendirilmiştir. Modelin ilk bileşeni, her biri farklı bir YSA modeli olan alt modellerden oluşan bir topluluktur. Her alt model, belirli bir zaman aralığındaki COVID-19 vakalarının tahmin edilmesine odaklanır. Topluluk, alt modellerin tahminlerini birleştirerek daha doğru bir tahmin elde etmek için ikinci bileşen olan bulanık bir yanıt birleştirme yöntemi kullanır. Bu yöntem, alt modellerin tahminlerinin belirsizliği ve doğruluğunu dikkate alarak bir bulanık mantık sistemi kullanarak son tahmini hesaplar. Bu yöntem, alt modellerin performansındaki değişikliklerden etkilenmeyen daha istikrarlı bir tahmin elde etmeyi amaçlar. Model, Meksika'daki COVID-19 vakalarının tahmininde diğer modellerden daha iyi performans gösterir. Ayrıca, modelin tahminleri, mevcut verilere dayanarak gelecekteki COVID-19 vakalarının sayısı hakkında bir fikir vermektedir. Bulanık yanıt birleştirme yönteminin çoklu topluluk YSA modellerinin performansını artırabileceğini göstermişlerdir. Bulanık toplayıcı, sinirsel tahminlerin bireysel hatalarının bilgisini kullanarak tahmin hatasını azaltacak şekilde tasarlamışlardır. Önerilen hibrit modelin benzetim sonuçları diğer yaklaşımlara göre oldukça iyi olduğunu göstermişlerdir. Doğrusal Olmayan Otoregresif sinir ağı, gelecekteki değerleri tahmin etmek için zaman serisi geçmiş değerlerini kullanır. İşlev Uyumlama Sinir Ağı ise, bir çeşit Çok Katmanlı Algılayıcı veya bir gizli katman içeren ileri-

beslemeli sinir ağıdır. Yapılan eğitimlerde önerilen modelin Meksika'daki COVID-19 vakalarının tahmininde diğer modellere göre daha iyi performans gösterdiğini Karekök Ortalama Hata (%) (KOH) ile kanıtlamışlardır. Sonuçlara göre, Meksika'daki 12 şehir için ayrı ayrı yapılan KOH (%) değerlerine göre, diğer iki modele göre önerilen modelin ortalama %9.08 oranında daha az hata değeriyle başarısını kanıtlamıştır. Bununla birlikte, modelin daha geniş bir örneklem üzerinde test edilmesi ve doğruluğunun daha fazla incelenmesi gerekmektedir.

(Ghosh & Biswas, 2021) çalışmalarında, Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemi aracılığıyla Hindistan'da COVID-19'dan etkilenen eyaletlerin ve illerin mevcut durumunu tahmin etmek için eyalet bazında hesaplamalı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Nüfus yoğunluğu, COVID-19 test sayısı, doğrulanmış COVID-19 vakaları, iyileşme oranı ve ölüm oranı gibi faktörler önerilen girdi parametreleri olarak kabul edilmekte ve girdi parametrelerinin pozitif ve negatif faktörlerini dikkate alarak, modelle ilgili belirsizlikleri yakalamak için üçgen bulanık sayılar kullanarak bulanıklaştırmışlardır. Önerilen yöntemi, Pearson'un korelasyon katsayısı ile doğrulamışlardır. Girişlerin tolerans aralıklarını değiştirerek nihai çıktıdaki değişiklikleri gözlemlemek için bir duyarlılık analizi de yapmışlardır. Bazı illerin Hindistan'da COVID-19'un yayılmasını kontrol etmede çok düşük performansa sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

(Ocampo & Yamagishi, 2020) çalışmalarında, COVID-19 pandemisi ile mücadele etmek için Filipinler hükümetinin uyguladığı karantina önlemlerinin gevşetilmesi protokollerinin modellemesi üzerine odaklanmışlardır. Sezgisel Bulanık Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı (SBKVDDL) analizi kullanarak, Filipinler hükümetinin karantina önlemlerinin gevşetilmesi ile ilgili politikalarının bir ağırlıklandırma matrisi ile modellemişlerdir. Ardından, SBKVDDL analizi kullanılarak, politikalar arasındaki neden-sonuç ilişkileri belirlemek için bir ağırlıklandırma matrisi oluşturmuşlardır. Bu matris ile politikaların birbirleriyle ilişkilerini ve bu politikaların ne ölçüde birbirine bağımlı olduğunu göstermişlerdir. SBKVDDL analizinin, karmaşık karar verme süreçlerinin modellemesi için etkili bir araç olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, Filipinler hükümetinin karantina önlemlerinin gevşetilmesi protokollerinin sıralamasını belirlemede kullanabileceği pratik bir yöntem ele almışlardır.

Vaka sayısının artması ve yönetim ile sağlık uzmanları üzerindeki baskı nedeniyle, hastalardaki COVID-19 hastalığının varlığını tahmin etmek için, (Mydukuri vd., 2022) çalışmalarında farklı tahmin teknikler geliştirmişlerdir. Bununla birlikte, doğruluk artırılmamış ve hastalık tahmininde zaman tüketimi azaltılmamıştır. Bu sorunları ele almak için, bu makalede En Küçük Kare Regresif Gauss Nöro-Bulanık Çok Katmanlı Veri Sınıflandırması Tekniği

(EKKRNB-ÇKVST) tanıtılmaktadır. EKKRNB-ÇKVST tekniği, özellik seçimi ve sınıflandırma yoluyla daha iyi doğruluk ve daha az zaman tüketimi ile etkili COVID-19 tahmini yapmışlardır. Ön işleme, giriş özelliklerinde istenmeyen verileri ortadan kaldırmak için kullanılmış ve zaman karmaşıklığını azaltmak için uygulanmıştır. Ardından, Deming En Küçük Kareler Regresyon Öznitelik Seçimi işlemi, en uygun özellikleri seçmek için en iyi uyum çizgisini belirleyerek gerçekleştirilmiştir. Özellik seçimi işleminden sonra, EKKRNB-ÇKVST tekniğindeki Gauss NB sınıflandırıcısı, tahmin işlemini gerçekleştirmek için bulanık eğer-ise kurallarından yararlanarak veri sınıflandırma işlemini gerçekleştirir. Son olarak, bulanık eğer-ise kuralı, hastanın verilerini daha yüksek doğruluk ve daha az zaman tüketimiyle düşük risk seviyesi, orta risk seviyesi ve yüksek risk seviyesi olarak sınıflandırır. Deneysel değerlendirme, COVID-19 tahmini için Novel Corona Virus 2019 veri kümesi kullanılarak tahmin doğruluğu, tahmin süresi ve hata oranı gibi farklı metriklerle gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, EKKRNB-ÇKVST tekniğinin, %96 doğruluk oranı tahmini ile mevcut çalışmalardan daha yüksek doğruluk sağladığını, zaman tüketimini azalttığını ve hata oranını düşürdüğünü göstermektedir.

Nesnelerin İnterneti (Nİ) Kapsamındaki Çalışmalar

Nesnelerin İnterneti (Nİ), terimi, her türlü nesnenin internete bağlanarak birbirleriyle etkileşim kurmasını sağlayan bir kavramdır. Bu teknolojinin hedefi, sadece bilgisayarların değil, tüm nesnelerin ve insanların birbiriyle iletişim kurabildiği bir bağlam yaratmaktır. Her bir cihazın çevresini algılayabildiği, topladığı bilgiye dayanarak karar verebildiği ve sonuçlarını diğer cihazlar ve nesnelerle paylaşabildiği bir ortam oluşturmaktadır. Bu teknoloji, zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlamaktadır. Nİ altyapısı, akıllı ev ve şehirler, sağlık, ulaşım, tarım, hükümet, spor ve kaynak yönetimi gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır.

Nİ, sadece teknolojinin belirli alanlarında değil, sağlık hizmetleri alanında da oldukça büyük rol oynamaktadır. Örneğin, sağlık sektöründe Nİ kullanarak bir kullanıcı, akıllı cihazlarındaki bir uygulama aracılığıyla insanların sağlık durumunu izleyebilir. Yapılan çalışmalar da bu tür ihtiyaçlardan şekillenmiştir (Haghparast vd., 2021).

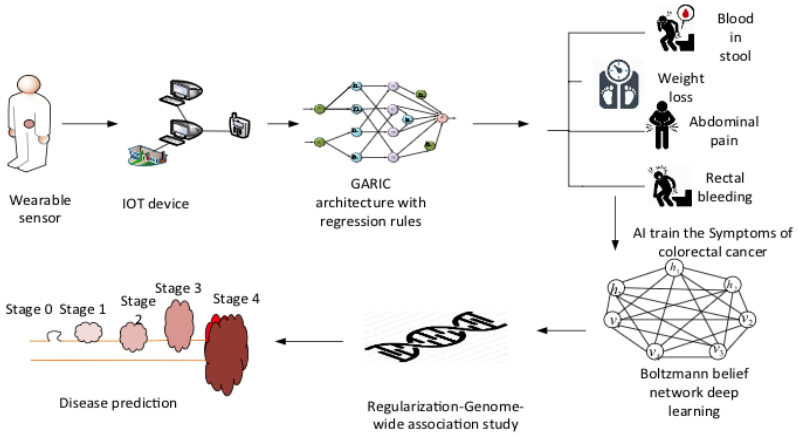
(Ullah vd., 2021) çalışmalarında, Nİ tabanlı sağlık hizmeti sistemlerinden hastaların verilerini çeşitli sensörler yardımıyla toplamışlardır. Mevcut sağlık ve izleme sistemleri, algılanan verilerdeki tutarsızlık ve belirsizlik nedeniyle yetersiz olan Tip-1 Bulanık Mantığa (T1BM) dayanmaktadır. Kesin ve doğru çıkarımlar yapmak için Tip-2 Bulanık Mantık (T2BM) ve Dempster-Shafer Teorisi (DST) entegrasyonu ile T2BMD (Dempster–Shafer ile Tip-2 Bulanık

Mantık Teori) önermişlerdir. Bu sistem, farklı sensörlerden gelen verileri toplayarak ve bu verileri işleyerek hastaların sağlık durumları hakkında bilgi toplamaktadır. Daha sonra, T2BM kullanılarak veri belirsizliği ele alınır ve sensörler tarafından elde edilen hasta verilerinin üyelik değerlerini çıkartıp DST aşamasına kanıt olarak iletirler. T2BM, belirsizlikleri daha iyi ele alabilen bir yöntem ve daha doğru sonuçlar ürettiği için bu aşamada kullanmışlardır. Ardından, DST kullanılarak farklı veri kaynaklarından gelen çıkarımlar bir araya getirilmektedir. DST, çoklu sensörlerden toplanan kanıtların birleştirilmesi ve sentezi için doğal ve güçlü bir yöntem sağlamıştır. Önerdikleri yöntemde, hasta verilerinin üyelik değerlerine etkin bir şekilde T2BM ile karar verilmiş ve üyelik değerlerinden elde edilen kanıtlar, karar verme sisteminde DST tarafından uygun şekilde birleştirip ve işlemişlerdir. Kalp hastalığı ve diyabet veri kümesi ile önerdikleri yöntemin, karar doğruluğu açısından ontolojiye ve T1BM dayalı mevcut yöntemlerden önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak, çalışmada önerilen yöntem, Nİ tabanlı sağlık hizmeti sistemlerinde doğru çıkarımlar yapmak için etkili bir yöntem olarak öne çıkmıştır. 10-Kat Çapraz Doğrulama sonunda, Kalp atışları veri kümesinde T2BMD ile %95.1 doğruluk, %95.1 kesinlik, %98.1 hatırlama, %96.6 F1-skor elde etmişlerdir. Diyabet veri kümesinde ise %96.0 doğruluk, %96.0 kesinlik, %96.0 hatırlama ve %97.5 F1-skor elde etmişlerdir. T2BMD, belirsizlikleri ve çelişkileri ele alarak daha doğru sonuçlar ürettiğini gözlemlemişlerdir.

(Satpathy vd., 2019) çalışmalarında, Nİ tabanlı bulanık sınıflandırıcı ve Saha Programlanabilir Kapı Dizisi (SPKD) kullanılarak yeni bir sağlık teşhis sistemi önermişlerdir. Önerdikleri sistem, sensörler aracılığıyla toplanan verileri işlemek için bir Nİ ağı kullanır. Bu veriler, SPKD ile donatılmış bir bulanık sınıflandırıcıya aktarılır. SPKD, yüksek hızlı işlemler için tasarlanmış bir mikro-denetleyici olarak hizmet eder. Bulanık sınıflandırıcı, verilerin doğrusal olmayan etkileşimlerini ve belirsizliklerini ele aldığı için, verileri işleyerek bir sonuç üretir ve hastanın sağlık durumunu tanımlayan bir teşhis koyar. Elde ettikleri sonuçlar, önerilen sistemin doğru teşhis koymada diğer teşhis sistemlerine göre daha yüksek başarı oranları elde ettiğini göstermiştir. Doğruluk oranı yaklaşık %95, hassaslık yaklaşık değeri %95, kesinlik yaklaşık değeri %95 ve F1-skor ise yaklaşık %92 olarak elde edilmiştir. Bu sistem, sağlık hizmetleri alanında daha doğru ve hızlı teşhisler yapılmasına yardımcı olabileceğini ve ayrıca uzaktan teşhis ve takip gibi diğer uygulamalarda da kullanılabileceğini göstermişlerdir.

(Muthu vd., 2020) çalışmalarında, sağlık sektöründe Nİ tabanlı bir giyilebilir sensörün kullanımını ele almışlardır. Sensör, bir dizi farklı vücut sıcaklığı, nabız, kan basıncı ve oksijen seviyesi gibi parametreleri ölçmek için kullanılmıştır. Sensörler tarafından hasta hakkında toplanan veriler, Şekil 3'te yer alan Akıl

Yürütme Tabanlı Zeka Kontrolü (AYTZK) mimarisinde hastalıkların tahmini ve semptom analizi için analiz edilir. Daha sonra veriler Boltzmann İnanç Ağı ile eğitilir. Doğru hastalık teşhisi ve semptom analizi yapabilmek için verilerin doğrusal olmayan etkileşimlerini ve belirsizliklerini ele almak için bulanık mantık kullanmışlardır. Bu sistemin sağlık sektöründe hastaların sağlık durumunu daha etkili bir şekilde takip etmeye yardımcı olabileceğini ve teşhis ve tedavi süreçlerini iyileştirebileceğini göstermişlerdir. Ayrıca, bu tür giyilebilir cihazların kullanımı, uzaktan tıbbi danışmanlık ve tele-tıp gibi diğer uygulamalar için de uygun olabilirliğine değinmişlerdir. Kullanılan modelde, tahmin oranı %96 ve doğruluk oranı %96.33 olarak elde edilmiştir.



Şekil 3: AYTZK Mimarisinde Hastalıkların Tahmini ve Semptom Analizi (Muthu vd., 2020).

Son zamanlarda Nİ hem akademik hem de sektörel alanda oldukça yaygınlaşmaya başlaması halinde uygun enerji ve kaynak yönetimi mekanizmalarının geliştirilmesinin de önünü açmıştır. Nİ ortamlarında üretilen büyük miktarda veri nedeniyle, veri toplama, enerji tüketimini azaltma ve ağ ömrünü uzatma konuları bakımından kritik bir öneme sahiptir. Bulanık mantık, niteliksel verileri nicel verilere dönüştürebildiği, karmaşık doğrusal olmayan fonksiyonları uygulayabildiği ve tek bir optimal yanıtın olmadığı durumlar için yaklaşık çözümler sunabildiği ve mevcut koşullarda küçük bir değişikliğe adapte olabildiği için bu senaryolarda etkili olacağını varsaymışlardır (Sajedi vd., 2022).

(Sajedi vd., 2022) çalışmalarında, Nİ kullanan sistemlerde veri toplamak için yenilikçi bir şema olan Bulanık tabanlı Düşük Enerjili Uyarlanabilir Kümeleme Hiyerarşisi (B-DEUKH) önermektedirler. Bulanık mantık temelli teknikleri

kullanarak sağlık Nİ sistemlerinde veri toplama doğruluğunu ve verimliliğini artırmayı amaçlamışlardır. B-DEUKH şeması giyilebilir cihazlar, sensörler ve mobil uygulamalar gibi birden fazla kaynaktan gelen verileri birleştirmek ve toplamak için bir dizi bulanık kural ve üyelik fonksiyonu tanımlamayı içermektedir. Ayrıca benzerlikleri ve yakınlıkları temelinde veri kaynaklarını gruplamak için kullanılan kümeleme algoritmasını açıklarlar. B-DEUKH şemasının performansını doğrulamak için bir benzetim çalışmasını sunmuşlardır. Doğruluk, verimlilik ve enerji tüketimi açısından B-DEUKH şemasının diğer veri toplama şemalarına göre %5-%20 daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Sunulan bu yaklaşım ile sağlık hizmetlerinin kalitesini iyileştirmek için sağlık sağlayıcıları ve araştırmacılar tarafından birden fazla kaynaktan veri toplamak ve analiz etmek için kullanılabileceğini ele almışlardır.

Sağlık bakım ekosistemleri, hastalara yardımcı ve kişiselleştirilmiş bakım sağlamak için son teknolojileri benimsemektedir. Ancak, bu vizyon, hastanelere yatış olmaksızın hastaların erken teşhis ve tedavisini sağlayabilen (makine öğrenimi, büyük veri analitiği gibi) veri odaklı mekanizmaların benimsenmesi olmadan eksiktir (Sharma vd., 2021). Son zamanlarda, hastalığın ciddiyetiyle ilgili hastalara yardımcı öneriler ve zamanında uyarı verme eğilimi artmaktadır. Hatta günümüzde, doktorlar tarafından Nİ cihazları kullanarak hastaların mevcut sağlık durumunun uzaktan izlenmesi mümkündür. Bu gerçeklerden hareketle, (Sharma vd., 2021) çalışmalarında, hastalık riski ve ciddiyetiyle ilgili çok seviyeli kararlar sağlayan bir sağlık öneri sistemi tasarlamışlardır. Önerilen sistem, bir hastanın hayati parametrelerine dayalı olarak farklı hastalıkları ayırmak için Konvolüsyonel Sinir Ağı (KSA) dayanan bir tüm hastalık sınıflandırma mekanizması kullanır. Sınıflandırmadan sonra, hastalar için risk seviyelerini hesaplamak için bulanık çıkarım sistemi kullanılır. Son adımda, risk analizi tarafından sağlanan bilgilere dayanarak, hastalara zamanında ve uygun tedavi için ilişkili hastalıkların ciddiyet aşamaları hakkında potansiyel öneriler sunulur. Sağlık öneri sistemleri için çok seviyeli bir karar alma çerçevesi tasarlanmış olan bu çalışmada sistem, hastaların verilerinin farklı özelliklerini tanımlayarak onları hastalık sınıflarına ayırmaktadır ve bunun için KSA kullanmaktadır. Daha sonra, risk analizi için Tip-2 bulanık mantık motoru kullanılmış ve son olarak hastalığın ciddiyet aşamasına dayanarak hastalara öneriler sunan bir öneri algoritması tasarlanmıştır. Değerlendirme amacıyla, kalp, karaciğer ve böbrek olmak üzere üç hastalık dikkate alınmıştır. Sonuçlar doğruluk, özgüllük, hassasiyet ve kök ortalama kare hatası temelinde analiz etmişlerdir. Test ve eğitim verilerindeki çeşitli değişikliklerden sonra sonuçlar %90 ile %99 arasında doğruluk elde etmişlerdir.

SONUÇ

Son yıllarda, sağlık alanında diğer yardımcı metot ve algoritmalarla birlikte kullanılan NBS'lerin özeti Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'e göre araştırmacılar son yıllarda NBS'lerin güçlü öğrenme yeteneği ve diğer algoritmalarla uyumlu çalışmasından faydalanarak örüntü tanıma, Nİ, zaman serisi tahminleri gibi çeşitli teknolojik alt dallarda dikkate değer başarılar elde etmişlerdir. Bilinen yapay zekâ algoritmalarının karmaşık ve belirsiz veriler üzerinde yetersiz kaldığı noktalarda NBS'nin uzmanlığından yararlanarak mevcut algoritmaların başarılarını artırmışlardır.

Tablo 1: NBS'nin Sağlık Alanındaki Araştırmalarda Kullanım Durumu

Yazar ve Yılı	**Araştırma Alanı**	**Araştırma Yöntemleri**	**En İyi Sonuçlar**	**Analiz**
(Le vd., 2019)	Örüntü Tanıma	K-Ortalama Aralıklı Tip-2 Bulanık Sinir Ağı	%92.17 Doğruluk	Tıbbi Teşhis
(Reddy vd., 2019)	Örüntü Tanıma	Hibrit Genetik Algoritma ile Bulanık Mantık Sınıflandırıcı	%90 Doğruluk	Kalp Hastalığı Tıbbi Teşhis
(Satpathy vd., 2019)	Nİ Giyilebilir Teknoloji	SPDK ile Bulanık Sınıflandırıcı	%95 Doğruluk	Tıbbi Teşhis
(Muthu vd., 2020)	Nİ Giyilebilir Teknoloji	AYTZK	96.33%	Sensörler Aracılığıyla Hastadan Veri Toplama.
(Lee vd., 2020)	Örüntü Tanıma	YDD, KOEH	%98.64 Doğruluk	Kalp Atışı Sınıflandırma
(Melin vd., 2020)	COVID-19	DOO, İUSA	%90.92 Doğruluk	Zaman Serisi Tahmini
(Ullah vd., 2021)	Nİ	DST, T2BM	%96 Doğruluk	Sensörlerden Toplanan Veri Belirsizliği
(Arunprakash vd., 2021)	Sağlık	SGİOENB	%91.41 Doğruluk	Kalp Hastalıklarında Doğru Teşhis Yapmak

(de Campos Souza & Lughofer, 2021) (Sharma vd., 2021)	Örüntü Sınıflandırma Nİ	ENFS-Uni0 KSA	%88.89 Doğruluk %99 Doğruluk	Karmaşık Veri Kümeleri Hastaların Risk Seviyelerini Hesaplama
(Sajedi vd., 2022)	Nİ	B-DEUKH	%5-%20 Doğruluk	Veri Toplama Doğruluğu ve Verimliliği
(Mydukuri vd., 2022)	COVID-19	EKKRNB-ÇKVST	%96 Doğruluk	Hastalardaki Korona virüs Hastalığının Varlığını Tahmin Etmek
(Das vd., 2022)	Biyomedikal	NB ile Post-öznitelik Azaltma	%97.04 Doğruluk	Karmaşık Biyomedikal Verileri Analiz Etmek
(Nagarajan & Thirunavukarasu, 2022)	Sağlık	YSA, NB	%87.7 Doğruluk	Sağlık Kayıtlarının Önişleme İşlemlerini ve Hastalık Tahmini
(Patil vd., 2022)	Sağlık	I-AMS ve TFD	%86.6 Doğruluk	İşitme Cihazı Kullanıcılarının Konuşma Tanıma Yeteneğini Geliştirmek
(Agrawal vd., 2022)	Sağlık	C-4.5 KYK, ÇKP, NB, AdaBoost ve GAM	%79.32 Doğruluk	Birinci Seviyede Bakteriyel veya Bakteriyel Olmayan Protein Dizilerinin Kategorizasyonu

REFERANSLAR

Agrawal, S., Singh Sisodia, D., & Kumar Nagwani, N. (2022). Functional characterization of unknown protein sequences using Neuro-Fuzzy based machine learning approach and sequence augmented feature. Expert Systems with Applications, 205, 117760. https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2022.117760

Arunprakash, R., Bhavadharini, R. M., Vinoth Kumar, K., & Jayasankar, T. (2021). Intelligent Heart Disease Detection and Classification Method Using Optimal Neuro-Fuzzy with Stochastic Gradient Descent Model for Smart Societies. 179-193. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63068-3_12

Das, H., Naik, B., Behera, H. S., Jaiswal, S., Mahato, P., & Rout, M. (2022). Biomedical data analysis using neuro-fuzzy model with post-feature reduction. Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, 34(6), 2540-2550. https://doi.org/10.1016/J.JKSUCI.2020.01.007

de Campos Souza, P. V. (2020). Fuzzy neural networks and neuro-fuzzy networks: A review the main techniques and applications used in the literature. Applied Soft Computing Journal, 92. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106275

de Campos Souza, P. V., & Lughofer, E. (2021). An evolving neuro-fuzzy system based on uni-nullneurons with advanced interpretability capabilities. Neurocomputing, 451, 231-251. https://doi.org/10.1016/J.NEUCOM.2021.04.065

Ebadzadeh, M. M., & Salimi-Badr, A. (2015). CFNN: Correlated fuzzy neural network. Neurocomputing, 148, 430-444. https://doi.org/10.1016/J.NEUCOM.2014.07.021

Ghosh, B., & Biswas, A. (2021). Status evaluation of provinces affected by COVID-19: A qualitative assessment using fuzzy system. Applied Soft Computing, 109. https://doi.org/10.1016/J.ASOC.2021.107540

Haghparast, M. B., Berehlia, S., Akbari, M., & Sayadi, A. (2021). Developing and evaluating a proposed health security framework in IoT using fuzzy analytic network process method. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 12(2), 3121-3138. https://doi.org/10.1007/S12652-020-02472-3/FIGURES/13

Jiang, Q., Zhou, X., Wang, R., Ding, W., Chu, Y., Tang, S., … Xu, X. (2022). Intelligent monitoring for infectious diseases with fuzzy systems and edge computing: A survey. Applied Soft Computing, 123, 108835. https://doi.org/10.1016/J.ASOC.2022.108835

Kalra, G., Rajoria, Y. K., Boadh, R., Rajendra, P., Pandey, P., Khatak, N., & Kumar, A. (2022). Study of fuzzy expert systems towards prediction and detection of fraud case in health care insurance. Materials Today: Proceedings, 56, 477-480. https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.02.157

Kar, S., Das, S., & Ghosh, P. K. (2014). Applications of neuro fuzzy systems: A brief review and future outline. Applied Soft Computing, 15, 243-259. https://doi.org/10.1016/J.ASOC.2013.10.014

Kour, H., Manhas, J., & Sharma, V. (2020). Usage and implementation of neuro-fuzzy systems for classification and prediction in the diagnosis of different types of medical disorders: a decade review. Artificial Intelligence Review 2020 53:7, 53(7), 4651-4706. https://doi.org/10.1007/S10462-020-09804-X

Le, T.-L., Huynh, T.-T., Lin, L.-Y., Lin, C.-M., & Chao, F. (2019). A K-means Interval Type-2 Fuzzy Neural Network for Medical Diagnosis. International Journal of Fuzzy Systems, 21. https://doi.org/10.1007/s40815-019-00730-x

Lee, M., Song, T. G., & Lee, J. H. (2020). Heartbeat classification using local transform pattern feature and hybrid neural fuzzy-logic system based on self-organizing map. Biomedical Signal Processing and Control, 57, 101690. https://doi.org/10.1016/J.BSPC.2019.101690

Mardani, A., Hooker, R. E., Ozkul, S., Yifan, S., Nilashi, M., Sabzi, H. Z., & Fei, G. C. (2019). Application of decision making and fuzzy sets theory to evaluate the healthcare and medical problems: A review of three decades of research with recent developments. Expert Systems with Applications, 137, 202-231. https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2019.07.002

Melin, P., Monica, J. C., Sanchez, D., & Castillo, O. (2020). Multiple ensemble neural network models with fuzzy response aggregation for predicting covid-19 time series: The case of mexico. Healthcare (Switzerland), 8(2). https://doi.org/10.3390/HEALTHCARE8020181

Muthu, B. A., Sivaparthipan, C. B., Manogaran, G., Sundarasekar, R., Kadry, S., Shanthini, A., & Dasel, A. (2020). IOT based wearable sensor for diseases prediction and symptom analysis in healthcare sector. Peer-to-Peer Networking and Applications, 13(6), 2123-2134. https://doi.org/10.1007/S12083-019-00823-2/FIGURES/10

Mydukuri, R. V., Kallam, S., Patan, R., Al-Turjman, F., & Ramachandran, M. (2022). Deming least square regressed feature selection and Gaussian neuro-fuzzy multi-layered data classifier for early COVID prediction. Expert Systems, 39(4), e12694. https://doi.org/10.1111/EXSY.12694

Nagarajan, R., & Thirunavukarasu, R. (2022). A neuro-fuzzy based healthcare framework for disease analysis and prediction. Multimedia Tools and Applications, 81(8), 11737-11753. https://doi.org/10.1007/S11042-022-12369-2/TABLES/8

Ocampo, L., & Yamagishi, K. (2020). Modeling the lockdown relaxation protocols of the Philippine government in response to the COVID-19 pandemic: An

intuitionistic fuzzy DEMATEL analysis. Socio-Economic Planning Sciences, 72. https://doi.org/10.1016/J.SEPS.2020.100911

Patil, P. G., Jaware, T. H., Patil, S. P., Badgujar, R. D., Albu, F., Mahariq, I., … Nayak, C. (2022). Marathi Speech Intelligibility Enhancement Using I-AMS Based Neuro-Fuzzy Classifier Approach for Hearing Aid Users. IEEE Access, 10, 123028-123042. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3223365

Reddy, G. T., Reddy, M. P. K., Lakshmanna, K., Rajput, D. S., Kaluri, R., & Srivastava, G. (2019). Hybrid genetic algorithm and a fuzzy logic classifier for heart disease diagnosis. Evolutionary Intelligence, 13(2), 185-196. https://doi.org/10.1007/S12065-019-00327-1

Sajedi, S. N., Maadani, M., & Nesari Moghadam, M. (2022). F-LEACH: a fuzzy-based data aggregation scheme for healthcare IoT systems. Journal of Supercomputing, 78(1), 1030-1047. https://doi.org/10.1007/S11227-021-03890-6/FIGURES/20

Satpathy, S., Mohan, P., Das, S., & Debbarma, S. (123M.S.). A new healthcare diagnosis system using an IoT-based fuzzy classifier with FPGA. The Journal of Supercomputing, 76, 5849-5861. https://doi.org/10.1007/s11227-019-03013-2

Shahbeig, S., Helfroush, M. S., & Rahideh, A. (2017). A fuzzy multi-objective hybrid TLBO–PSO approach to select the associated genes with breast cancer. Signal Processing, 131, 58-65. https://doi.org/10.1016/J.SIGPRO.2016.07.035

Sharma, D., Singh Aujla, G., & Bajaj, R. (2021). Deep neuro-fuzzy approach for risk and severity prediction using recommendation systems in connected health care. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 32(7), e4159. https://doi.org/10.1002/ETT.4159

Shihabudheen, K. V., & Pillai, G. N. (2018). Recent advances in neuro-fuzzy system: A survey. Knowledge-Based Systems, 152, 136-162. https://doi.org/10.1016/J.KNOSYS.2018.04.014

Ullah, I., Youn, H. Y., & Han, Y. H. (2021). Integration of type-2 fuzzy logic and Dempster–Shafer Theory for accurate inference of IoT-based health-care system. Future Generation Computer Systems, 124, 369-380. https://doi.org/10.1016/J.FUTURE.2021.06.012

Viharos, Z. J., & Kis, K. B. (2015). Survey on Neuro-Fuzzy systems and their applications in technical diagnostics and measurement. Measurement, 67, 126-136. https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2015.02.001

Zakharov, A. O., Ndii, M. Z., Amarti, Z., Wiraningsih, E. D., & Supriatna, A. K. (2018). Rabies epidemic model with uncertainty in parameters: crisp and fuzzy approaches. Materials Science and Engineering. https://doi.org/10.1088/1757-899X/332/1/012031

Bölüm 10

Derin Öğrenme Metotlarını Kullanarak Arapça Metin Tabanlı Duygu Analizi

Mariam ABAKAR NOKOUR[1]
Eyyüp GÜLBANDILAR[2]

[1] Mühendis, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Müh. ABD, mariam.abakar.nokour@gmail.com , ORCID No: https://orcid.org/0000-0002-1739-1082 .

[2] Prof.Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fak., Bilgisayar Müh. Böl., egulbandilar@ogu.edu.tr , ORCID No: https://orcid.org/0000-0001-5559-5281 .

Özet

Yapay zekânın, özellikle derin öğrenmenin büyük ve hızlı gelişimi, metinlerin sınıflandırılmasına ve içeriklerinin analiz edilmesine yol açmıştır. Bu çalışmada, Çad Arapçasının duygu analiz modeli oluşturmak için evrişimli sinir ağları uygulanmıştır. Veriler TikTok uygulamasından el ile "manuel olarak" toplanmıştır. Beş yüz sekiz olumsuz yorum ve 500 olumlu yorum olmak üzere 1.008 yorum içeren bir veri seti oluşturulmuştur. Verilerin %80'i eğitim için ayrılırken kalan %20 teste için ayrılmıştır. Bu çalışmada, derin öğrenmede en iyi sınıflandırma modelini bulmak için iki çeşitli ağ yapısına sahip modeller kullanılmıştır. Her birinde farklı optimizasyon ve aktivasyon fonksiyonları, farklı epoch ve nöron sayısı kullanılarak 96 farklı model oluşturulmuştur. İlk model, temel katmanlarından oluşan basit bir evrişimli sinir ağından oluşurken, ikinci grup için üç gizli katmana sahip daha karmaşık yapıdaki bir model seçilmiştir. Modellerimiz, Google tarafından piyasaya sürülen python kodu çalıştırmaya izin veren Google Colaboratory ortamında; Tensorflow, Keras ve Numpy kütüphaneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; üç gizli katmanlı, 64 nöronlu, epoch sayısı 10 olan, aktivasyon fonksiyonu Tanh ve optimizasyon yöntemi SGD olarak belirlenen modelimiz ile en yüksek doğruluk oranı (%98) elde edilmiştir. Buna karşılık, en düşük doğruluk oranı, epoc sayısı 5 olan, aktivasyon fonksiyonu Tanh ve optimizasyon yöntemi RMSPROP sahip model ile elde edilmiştir (%48).

Abstract

The great development in the field of artificial intelligence, especially over deep learning, has helped to classify texts and analyze their content. In this study, convolutional neural networks are applied to analyze sentiments in Chadian Arabic. The data was collected manually from the TikTok application. This data set containing 1.008 comments, of which 508 negative comments and 500 positive comments. When creating models, 80% of the data in the dataset is used for training, while the remaining 20% of the data is reserved for testing. In this study, models with two different network structures are used to find the best classification model in deep learning. In each of them, 96 different models were created using different optimization and activation functions, different epochs and number of neurons. While the first model consists of a simple convolutional neural network consisting of fundamental layers, the second group is a more complex model with three hidden layers. Developing of models are implemented using Tensorflow, Keras and Numpy libraries in the Google Collaboratory environment which allows running python code released by Google. According to the results obtained; the high accuracy rate (98%) was

obtained with our model with three hidden layers, 64 neurons, epoch number of 10, activation function Tanh and optimization method SGD (98%). On the other hand, the lowest accuracy rate (48%) was obtained with the model with epoc number of 5, activation function Tanh and optimization method RMSPROP.

GİRİŞ

Bilgisayar bilimlerinde makine öğrenmesi uygulamaları yaparken sonuç alabilmek için bir model tanımlanmakta veya öznitelik (özellik) vektörü çıkarılmaktadır. Bu öznitelik vektörü üzerinde çalıştığımız nesneyi ifade etmemizi sağlayan parametreleri içermektedir. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle derin ağlar ortaya çıkmış ve öznitelik vektörü yerine ham veri setleri kullanılmaya başlanmıştır. Çünkü öznitelik vektörlerinin oluşturulması içinalanında uzman kişilere ihtiyaç duyulmakta ve bu süreç zaman almaktadır. Karşılaştırılan nesneler için veri seti oluşturulması gerekebilir veya üzerinde çalışılan konu hakkında oluşturulmuş hazır veri setleri kullanılabilir. Örneğin; görüntü, ses veya metin tabanlı işlemler için oluşturulmuş özel veri setleri bulunmaktadır. Bu veri seti, makine öğrenmesi veya derin öğrenme modelleri ile bilgisayarlara karşılaştırma ve matematiksel çözümlemeler yapabilmesi için tanıtılır.

Farklı diller için daha önce yapılan çalışmalar, bu çalışmada kullanılabilecek yöntemleri belirlemek için veri oluşturmuştur. Çalışmada oluşturulan örnek veri seti kullanılarak metin tabanlı duygu analizi işleminin yüksek doğruluk oranlarında yapılabileceği kanıtlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulguların geliştirilmesi ile, ülke çapında sosyal medya analizi, ekonomi, sağlık, savunma, askeri vb. gibi alanlarda metin analizi işlemlerinin uygulanması da kolaylaşacak ve yaygınlaşacaktır.

Doğal dil işleme (Natural Language Processing - NLP), bilgisayarların insan dilini anlamasına, yorumlamasına ve manipüle etmesine yardımcı olan bir yapay zekâ dalıdır. Günümüzde sosyal medya kullanımının, blog yazmanın ve online alışverişin hızla yaygınlaşmasıyla olaylarla ilgili duygu ve düşünceler giderek daha önemli hale gelmektedir. Elektronik ortamdaki verilerin hızla büyümesi ve her gün 2,5 milyon bayt veri üretilmesi nedeniyle bu metinlerin otomatik olarak analiz edilmesi ihtiyacını da arttırmıştır. Dolayısıyla NLP kavramının bir alt araştırma alanı olan duygu analizi ortaya çıkmıştır. Duygu analizi, şirketlerin pazarlama analizi, halkla ilişkiler, ürün incelemeleri ve müşteri hizmetleri gibi birçok süreci otomatikleştirmesine yardımcı olmuştur (Pervan, 2019).

İnternette, özellikle sosyal medyada yer alan video, ses ve metinler başta olmak üzere, kullanıcıları olumsuz etkileyebilecek çok sayıda içerik

bulunmaktadır. Ayrıca bu içeriğin miktarı her dakika da artmaktadır. Ne yazık ki bu kadar hızlı büyüyen içeriğin niteliğini kontrol etmek ve incelemek geleneksel yöntemlerle mümkün değildir. Bu nedenle yapay zekâ ve dil işleme yöntemlerini kullanan bir otosansür uygulaması geliştirilebilir. Ayrıca pazarlama sektörü gibi metin tabanlı analize ihtiyaç duyulan alanlarda yazılı geribildirimlerin analiz edilmesi ve hizmet kalitesinin artırılması amacıyla çalışma yapılmasına gerek duyulmuştur. Aynı zamanda yapay zekâ alanında yürütülen bilgisayar bilimi çalışmalarına katkı sağlamakta hedeflenmiştir.

Bu çalışmada, mühendislik alanında son yıllarda yaygınlaşan derin öğrenme algoritmalarına ait Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN) yöntemi kullanılmıştır. Çad ülkesinde yaygın olarak kullanılan bir dil olan Çad Arapçasını işlemek için olumsuz yorumları, küfür ve hakaret gibi ifadeleri ve olumlu yorumları tanıyan bir model oluşturulmuştur. Çalışmamızın sonunda, literatürde bulunmayan, Çad Arapçası üzerinde Doğal dil işleme ile duygu analizi yapılmıştır.

Literatürde ve uygulamada derin öğrenme teknikleri kullanılarak birçok çalışma yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Aşağıda bu alanda yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanarak Duygu Analizi Yapılan Çalışmalar

El-Masri vd. (2017) bu konuda önemli bir çalışma yapmıştır. Bir dizi kriter kullanarak Arapça metin tweetlerine duygu analizi uygulayan yeni bir araç sunmuşlardır. Kullanılan parametreler: tweet zamanı, türetme ve retweetler gibi ön işleme yöntemleri, n- gram özellikleri, sözlük tabanlı yöntemler ve makine öğrenme yöntemleridir. Çalışmada 8000 tweet'i makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak, Rweka uygulamasıyla sınıflandırmışlardır. Algoritmaların sonuçları karşılaştırılmış, Naive Bayes algoritmasının %70 ile en yüksek doğruluk oranına sahip olduğunu bulmuşlardır.

Al-Tamimi vd. (2017), YouTube'dan manuel olarak toplanan yorumları, Destek Vektör Makineleri-Radial Basis Function (SVM-RBF), K-En Yakın Komşu Algoritması (KNN) ve Bernoulli Naive Bayes Sınıflandırıcısı (NB) kullanarak bir Arapça duygu analiz çalışması yapmışlardır. Deneyler hem birincil setler hem de veri setleri ile yapılmıştır. Standart bir bipolar veri seti kullanarak SVM-RBF'nin diğer F-ölçekli sınıflandırma yöntemlerinden %88.8 daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Al-Moslmi vd. (2018) çalışmalarında Arapça metinleri sınıflandırmak için makine öğrenmesi algoritmalarını kullanmışlardır (KNN, SVM, Log-likelihood Ratio (LLR), NEUNET). Deneyler iki farklı türde veri seti üzerinde gerçekleştirilmiştir. İlki 3880 ve ikincisi 8860 pozitif ve negatif olarak

sınıflandırılmıştır. En yüksek performans %92,2dir. NEUNET sınıflandırıcı tarafından tüm cümle düzeyindeki özellikler kullanılarak eğitildiğinde elde edilmişlerdir. Çalışmaya göre, cümle düzeyinde öznitelikler kullanmanın dört makine öğrenimi sınıflandırıcısının genel performansını önemli ölçüde iyileştirdiği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, cümlelerin duygu analizinde öznitelik kullanımının önemli olduğu sonucuna varmışlardır.

Gamal vd. (2019) çalışmasında, Arap dilinin karmaşık morfoloji problemini çözmeye çalışmıştırlar. Özellik çıkarmak için N-GRAM kullanıp makine öğrenimi algoritmaları ile verileri sınıflandırmışlardır. Deney sonuçları, Pasif Agresif (PA) veya Ridge Regresyon (RR) içeren unigramın en yüksek doğruluğu verdiğini göstermiştirler.

Derin Öğrenme Algoritmaları Kullanarak Duygu Analizi Yapan Çalışmalar

Gridach vd. (2017) çalışmalarında, CNN-ASAWR adlı bir model geliştirmişlerdir. Bu model ile Arapça veri kümesi üzerinde evrişimli sinir ağlarını kullanma performansını test etmişlerdir. Deneysel sonuçlar, herhangi bir manuel mühendislik özelliği kullanmadan veri setlerinde önceki sistemlerden daha iyi performans elde edildiğini göstermişlerdir.

Heikal vd. (2018) tarafından sunulan çalışmada, Arapça tweetlerin duygu analiz etmek için (CNN) ve uzun süreli bellek (LSTM) modellerini birleştiren bir toplu model kullanılmışlerdır. Bu hibrit model, %64,46'lık bir F1 puanı elde etmiştir. Bu hibrit modelin sonucu, her model için ayrı ayrı F1 puanına göre üstünlük olduğunu göstermektedir.

Alayba vd. (2018) çalışmalarında, Arapça metinlerden duygu analizi yapmak için CNN katmanlarını ve LSTM'leri birleştirmişlerdir. Ayrıca Arapçadaki morfoloji karmaşıklığı nedeniyle farklı düzeylerde duygu analizi kullanmanın etkinliğini de araştırmışlardır. Modeli oluşturmak için ideal bir seçim olmayan kısa metinler ile çalışıldığı için, tweet başına özellik sayısı az olmuştur. Özellik sayısını artırmak içinkarakter seviyesini kullanmışlardır.

Beseiso ve Elmousalami (2019) çalışmalarında, karakter düzeyinde CNN ve sınıflandırma mimarisi olarak birbiri üzerine yığılmış tekrarlayan bir sinir ağı modeli oluşturmuşlardır. Bu iki teknik, veri setinde yüksek bir doğruluk oranı sağladığını göstermiştir.

Mohammed ve Kora (2019) tarafından sunulan diğer bir çalışmada, Arapça metinlerden duygu analiz etmek için CNN, LSTM ve Bölgesel Tabanlı Konvolüsyonlu Sinir Ağı (RCNN) gibi üç farklı derin öğrenme modelleri kullanılmıştır. Kırk bin Arapça tweet'i kullanarak her model için ayrı ayrı deneyler planlamışlardır. Deneysel sonuçlar, ortalama %81,31 doğrulukla

LSTM'nin CNN ve RCNN'den daha başarılı olduğunu göstermektedir.

Ombabi vd. (2020) çalışmalarında, uzun vadeli bağımlılıkları korumak için iki katmanlı LSTM'ye dayalı Arapça dil duyarlılığını analiz etmek amacıyla derin öğrenme yöntemleri uygulamıştırlar. Özellikleri çıkarmak için tek katmanlı CNN mimarisini kullanmışlardır. CNN ve LSTM tarafından eğitilen verileri, son modeli oluşturmak için SVM sınıflandırıcısına aktarmışlardır. Sonuç olarak yüksek bir doğruluk oranı sağladığını ortaya koymuşlardır.

Abu-Farha ve Magdy (2020) çalışmalarında, Arap dilindeki sarcasm (iğneleyici söz) duygularını incelemişlerdir. Toplam verilerinin %16'sı Sarcasm olan 10.547 tweet içeren bir Arapça veri setini kullanmışlardır. Sarcasm, dolaylı ifadeler kullandıkları için duygu analizi sistemlerinin ana zorluklarından biri olduğunu bahsetmişlerdir. BiLSTM adını verdikleri bir model kullanarak Sarcasm duygularını tespit etmek için bir derin öğrenme modelini eğitmişlerdir. Model, görevin zorlu doğasını gösteren 0,46 F1 puanına ulaşmıştır.

Mhamed vd. (2022) çalışmalarında, Arapça'da duyguları analiz etmek için bir model önermektedir. YouTube, Facebook ve Twitter'dan toplanan 4550 veriden oluşan bir veri seti üzerinde çalışmışlardır. Bu model, yeni bir montaj katmanı olan MMA ile beş CNN katmanından oluşmaktadır. Sonuçlar doğruluk performansının %92,75 olduğunu göstermiştir.

Arapça duygu analizinde önceki yaklaşımların bir özetin Tablo 1'de sunulmaktadır. Arapça metinlerden duygu analiz etmek için tanıtılan birçok yaklaşım olmuştur. Ancak bu yaklaşımların en iyi performans konusunda bir farklılık görülmektedir. Çünkü her bir çalışmada farklı bir veri seti, veri sayısı ve veri türü vardır. Bu nedenle, doğruluk oranı karşılaştırmasına dayanarak değerlendirme yapılamamalıdır. Ancak Oussous vd. tarafından (2020) yapılan çalışmada, 2,000 veri setine hem makine öğrenimi algoritmalarının hem de derin öğrenme algoritmalarının uygulayarak performanslarını değerlendirerek bir karşılaştırma yapmışlardır. Çalışmalarında CNN ve LSTM modelleri olmak üzere iki derin öğrenme modelini uygulanıp değerlendirmişlerdir. Makine öğrenimi için SVM, NB ve maksimum entropi algoritmalarını kullanmışlardır. Bu karşılaştırmanın sonucunda, derin öğrenme algoritmalarının makine öğrenimi algoritmalarına göre daha yüksek bir doğruluk oranı gösterdiğini ifade etmişlerdir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Veri Seti

Bu çalışmada, Çad Arapçası kullanılan metinlerde duygu analiz modelleri kurulmuştur. Veri seti (olumlu ve olumsuz yorumlar içeren) TikTok uygulamasından alınmıştır. Arapça harfleriyle yazılan Çad Arapçası ile yazılan yeterli yorum bulunmadığı için Latin harfleri kullanılarak yazılan yorumlar toplanmıştır. Çalışmada oluşturulan veri seti duygu analizi metotlarının daha iyi sonuçlar verebilmesi amacıyla 0: Olumlu, 1: Olumsuz yorum ifadesi olarak sınıflandırılmıştır. Şekil.1'de kullanılan veri seti örneği görülmektedir.

Tablo.1: Arapça duygu analizi üzerine yapılan çalışmalar

Çalışma	Veri seti		Kullanılan Yöntem	Doğruluk oranı
	Kaynak	Veri miktarı		
El-Masri vd., 2017	Tweetler	8000	Makine öğrenmesi/ Rweka	%70
Al-Tamimi vd., 2017	YouTube Yorumları	8053	Makine öğrenmesi/KNN, NB.	%88.8
Gridach vd., 2017	Tweetler	13365	Derin öğrenme / CNN	%72.14
Alayba vd., 2018	Tweetler	5684	Derin öğrenme / CNN, LSTM	%95
Al-Moslmi vd., 2018	Film yorumları	8860, 3880	Makine öğrenmesi KNN, SVM, LLR, NB ve NEUNET	%92.2
Heikal ve El-Makky, 2018	Tweetler	10000	Derin öğrenme / CNN, LSTM	%65.05
Beseiso ve El-Mousalami, 2019	Tweetler, kitap yorumları	73000	Derin öğrenme / CNN, RNN	%95
Gamal vd., 2019	Tweetler	151548	Makine öğrenmesi /RR, PA, NB, SVM, BNB, MNB, SGD, LR, ME, Ada-Boost	%99.96
Mohammed ve Kora, 2019	Tweetler	40000	Derin öğrenme /CNN, LSTM ve RCNN	%81.31
Ombabi vd., 2020	Web siteleri, kitap yorumları	4000	Derin öğrenme / CNN ve LSTM	%90.75
Abu-Farha ve Magdy, 2020	Sarcastic, Tweetler	10547	Derin öğrenme / BiLSTM	%62
Mhamed vd.,2022	Facebook, YouTube, Tweetler	4550	Derin öğrenme /CNN ve MMA	%92.75

```
Shape of dataset  (1008, 2)
Index(['message', 'class'], dtype='object')
No. of unique classes 2
```

	message	class
0	inta rasak ma adil hayiiii miskine chotane kh...	1.0
1	insha'Allah tadoum aleiki	0.0
2	damboula hanak inti koula	1.0
3	nihoubouki ketir habibti ana	0.0
4	damboula hanakou	1.0
5	Hum salut frr damboula hanam koula	1.0
6	Adam habibi ana bes tara	0.0
7	Damboula hanak inti Zata Zata yakhay	1.0
8	Machilh lek	0.0
9	akhouy	0.0

Şekil.1: Veri seti örneği

Çad'daki katılımcılar bir yorumda her iki dili, Çad Arapçası ve Fransızcayı birlikte kullandıklarından, yorumların Fransızca yorumlarla karıştırılmaması için tamamen manuel olarak toplanmıştır. Tik Tok platformundan manuel olarak 13 Kasım 2021 ile 14 Mayıs 2022 arasında toplam 508 olumsuz, hakaret ve küfür içeren yorum ve 500 olumlu yorum içeren veriler toplanarak veri seti oluşturulmuştur.

Metin Önişleme Süreci

Metin tabanlı duygu analizinde veri seti oluşturulurken metin sadeleştirme işlemi yapılmalıdır. Kullanılan veri setinde doğru sonucu elde etmek için, büyük harflerin küçük harflere dönüştürülmesi, noktalama işaretlerinin kaldırılması, sayısal ifadelerin kaldırılması, Tekdüzen Kaynak Konumlandırıcı (URL) bilgilerinin temizlenmesi, tekrarlanan harflerin çıkarılması, alfabetik olmayan çeşitli karakterleri temizlenmesi örneğin, hashtag (#) ile başlayan kelimeler ve username @ ile başlayan kelimelerin temizlenmesi işlemleri yapılmıştır.

Öznitelik Çıkarma

Metin ön işlemeden sonraki adım, özellik (öznitelik) seçimidir. Öznitelik seçme tekniğinin amacı, alakasız, fazlalık ve gürültülü verileri kaldırarak sınıflandırma görevi için en uygun öznitelikleri bulmaktır. Öznitelik seçiminin ikinci bir amacı da hem öznitelik uzayının boyutunun hem de işlem süresinin azaltılmasıdır.

Duygu analizi için n-gram modelleri ve POS gibi birçok metin özniteliği göz

önünde bulundurulur. POS, fikir bilgisi içeren sıfatları bulmak için kullanılır. n-gram ise, belirli bir metin dizisinden gelen bitişik bir N terim dizisidir. Bir boyutundaki bir n-gram, unigram olarak adlandırılır. iki boyutlu bir n-gram, bigramdır. üç boyutlu bir n-gram, trigramdır. Daha büyük boyuttaki N-gramlar, N değeri ile adlandırılır ve en yüksek puana sahip sözcükleri önceden tanımlanmış bir eşiğe göre tutar (kelimenin öneminin önceden belirlenmiş ölçüsü).

İlk deneylerde, performansı test etmek için n-gramın üç türü uygulanmıştır. Unigram için %77, bigram için %68 ve trigram için %42 doğruluk yüzdesi elde edilmiştir. En iyi performansı sağladığı için çalışmada unigramları kullanılmıştır. Tablo 2. "I Reside In Turkiye" cümlesi için n-gramın üç türü çalışması örnek olarak gösterilmektedir.

Tablo.2: Örnekle üç tür n-gram nasıl çalışması

N-Gram Türü	**Üretilen N-Gram**
Unigram	["I","Reside","In","Turkiye"]
Bigram	["I Reside"," Reside In"," In Turkiye"]
Trigram	["I Reside In","Reside In Turkiye"]

Öznitelik çıkarma adımında, metin bir vektör temsiline dönüştürülür. Bu modelde kelimenin (özniteliği) ağırlığı o kelimeyi içeren belgeye göre hesaplanır. Bizim çerçevemizde, sınıflandırıcıya uygulanan öznitelik vektörleri ikili bir ağırlıktan (varlık) oluşur. Her kelimenin bir ağırlığı vardır. O kelime yorumda varsa ağırlığı 1'e eşit aksi takdirde ona 0'a eşit bir ağırlık verilir. Duygu analizi için, ikili model birçok araştırmacı tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır; bu yüzden bizde çalışmamızda kullanılması tercih ettik. Özellik çıkarmanın nasıl çalıştığına dair örnek Tablo 3'de gösterilmektedir:

- good movie
- not a good movie
- did not like

Tablo.3: Örnekle öznitelik çıkarma işleminin gösterimi

Good	movie	not	a	Did	Like
1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	1
...	...	...	...	...	...

Tokenization

```
[ ] tokenizer = Tokenizer(num_words=MAX_NB_WORDS)
    tokenizer.fit_on_texts(texts)
    sequences = tokenizer.texts_to_sequences(texts)

    word_index = tokenizer.word_index
    print('Number of Unique Tokens',len(word_index))

    Number of Unique Tokens 2521
```

Şekil 2: Çalışmadaki token sayısı

Metin verilerini kategorilere ayırmaya çalışırken, en önemli görevlerden biri Token'dir. Bir cümleyi veya metin belgesini kelime veya tek tek terimler gibi küçükbirimlere ayırma işlemine kodlama denir. Bu küçük birimlerin her birine Token denir. Şekil 2'de mevcut çalışmamızdaki Token (kelime) sayısını görülmektedir.

Hiper Parametreler

Çalışmada veri setinin %80'i eğitim için ve %20'si test için ayrılmıştır. Modellerin performansı, test verilerinin doğruluğu (test_acc) ve hata (test_loss) değerlerine göre değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan nöron sayıları, Epoc sayıları, aktivasyon fonksiyonları ve optimizasyon yöntemleri kullanılarak iki farklı grup nöron yapısına sahip her birinde 48 model olan toplamda 96 model oluşturulmuştur (Tablo 3).

Çalışmada kullanılan aktivasyon fonksiyonlarının özellikleri Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 5'de çalışmada tercih edilen modellerin oluşturulmasında

kullanılan optimizasyon yöntemlerinin özellikleri açıklanmıştır.

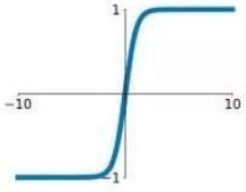
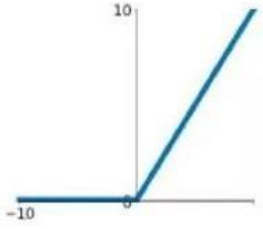
Tablo 3: Çalışmada oluşturulan modellerin hiper parametreleri

Parametreler	**Değerler**
Aktivasyon Fonksiyonları	Tanh ReLU
Nöron Sayıları	32 64
Epoc Sayıları	5 10 15
Optimizasyon Yöntemleri	Adam RmspropSgd Adagrad

Derin Öğrenme Modeli

Bu çalışmada iki sinir ağı modeli kullanılmıştır. İlki, basit CNN modeldir ve temel ağ katmanlarından oluşmuştur. Diğeri ise üç gizli katman içermektedir. Metin ön işleme adımı yapıldıktan sonra tahminleme tabanlı kelime gösterimi işlemi yapılmıştır. Tahminleme yaklaşımı yapmak için ilk adım, kelime ve vektör ilişkilendirmesinin yapılmasıdır. Bunun için kelime gömülmeleri metodu kullanılmıştır. Keras'ta Conv2d katmanı bilgisayarlı görü çalışmalarında kullanılırken, Conv1d katmanı ise metin çalışmalarında kullanılmaktadır. Conv1d, metin, zaman serileri ve ses analizlerinde tercihedilmektedir. Önerilen modellerin temel mimarisi Şekil 3'te gösterilmektedir.

Tablo 4: Çalışmada kullanılan aktivasyon fonksiyonlar ve özellikleri (Ser ve Bati,2019)

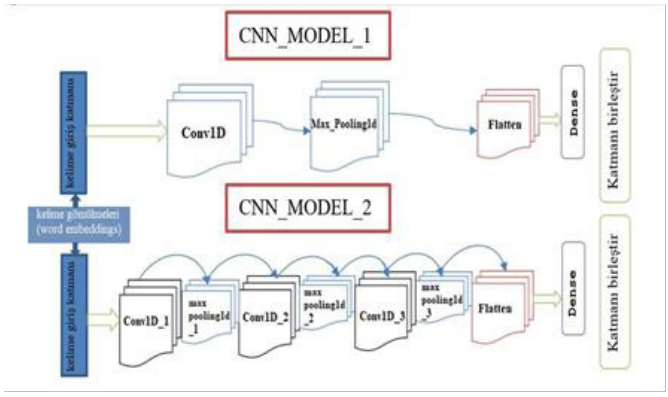
Aktivasyon fonksiyon	Grafik	Açıklama
Tanh		Bu fonksiyon girdi değerlerinin herbiri için -1 ile +1 arasında değer üretir.
Rectified linear (ReLU)		Bu fonksiyonda giriş değeri sıfırın altında iken çıktı sıfırdır, ancak girişdeğeri sıfırın üzerinde ise çıkış giriş değerine eşittir ve bağımlı değişkenle doğrusal bir ilişki oluşmaktadır.

Tablo 5: Çalışmada kullanılan optimizasyon algoritmaları ve özellikleri (Ser ve Bati,2019)

Optimizasyon Yöntemi	Formül*	Açıklama
Sgd	$\theta_{t+1} = \theta_t - \eta \nabla_\theta \left(\theta_t; x^{(i)}; y^{(i)}\right)$	Sgd algoritmasında, tüm eğitim verisi yerine bir eğitim örneği üzerinden hesaplama yapılmaktadır. Böylelikle oluşabilecek hafıza yetersizliği problemlerinin de önüne geçilmiş olunur.
Adagrad	$\theta_{t,i} = \nabla_{\theta_t} J\left(\theta_{t,i}\right)$ $\theta_{t+1,i} = \theta_{t,i} - \frac{\eta}{\sqrt{G_{t,ii} + \epsilon}} g_{t,i}$	Adagrad, her parametre için her adımda t farklı öğrenme katsayısı kullanarak, her bir parametre için farklı güncelleme yapmaktadır. Böylece, öğrenme katsayısını manuel olarak ayarlama ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Adagrad'da her parametrenin kendi öğrenme hızı vardır ve güncelleme işleminde öğrenme katsayısı değerinin bölündüğü ifadenin eğitim süresince büyümeye devam etmesi sonucunda öğrenme katsayısı aşırı küçülmektedir.
Rmsprop	$E(g^2)_t = 0{,}9.E(g^2)_{t-1} + 0{,}1.g_t^2$ $\theta_{t+1} = \theta_t - \frac{\eta}{\sqrt{E(g^2)_t + \epsilon}} g_t$ $g_t = \nabla_{\theta_t} J(\theta_t)$	Rmsprop, Adagrad algoritmasında öğrenme katsayının aşırı küçültme sorununa bir çözüm yolu olarak geliştirilmiştir. Adagrad'daki geçmiş bütün eğimlerin karelerinden elde edilen değerlerin tamamını kullanmak yerine, değer miktarını belli bir çerçeve boyutu ile kısıtlanmıştır.

Adam	$m_t = \beta_t m_{t-1} + (1-\beta_1).g_t$ $\vartheta_t = \beta_2 \vartheta_{t-1} + (1-\beta_2).g_t^2$ $m'_t = \frac{m_t}{1-\beta_1^t} \qquad \vartheta'_t = \frac{\vartheta_t}{1-\beta_2^t}$ $\theta_{t+1} = \theta_t - \frac{\eta}{\sqrt{\vartheta'_t + \epsilon}} m'_t$	Bu yöntemde, Rmsprop'ta yapıldığı gibi geçmiş eğimlerin karelerinin üssel olarak ağırlıklandırılmış ortalamalarının (ϑ_t) kullanılmasının yanında, momentum değişikliklerini (m_t) de ön bellekte saklar. Yani Rmsprop ve momentumu birleştirir. Varsayılan değerler β_1 için 0,9; β_2 için 0,999 ve ϵ için 10^{-8} olarak belirtilmiştir.

$^*\theta \in \mathbb{R}^d$: model parametreleri; η: öğrenme katsayısı; $\nabla_\theta(\theta_t; x^{(i)}; y^{(i)})$: parametrelere bağı olarak hedef fonksiyonun eğimi; $G_{t,ii}$:her bir köşegen elemanı, θ_i parametresine göre, t. iterasyona kadar hesaplanmış eğim değerlerinin kareleri toplamı; ϵ: öğrenme katsayısının 0'a bölünmesini engellemek için atanan sabit değer.

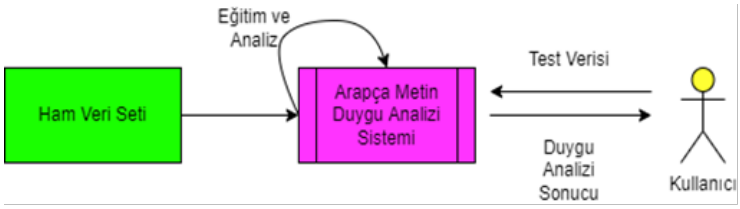


Şekil 3: Önerilen CNN iki modelin mimarisi

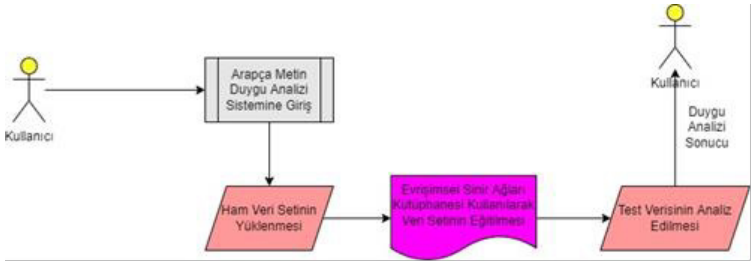
Kullanılan Teknolojiler

Geliştirilen çalışma doğal dil işleme ile metin tabanlı duygu analizi üzerine yapılan araştırmaların halen devam etmesinden ötürü güncel bir konudur. Çalışmada kullanılacak olan verilerin sistemin mantığı ve veriler arasındaki ilişkinin belirlenmesi için veri akış şemaları ve iş akış şemaları kullanılmıştır (Şekil 4 ve Şekil 5). Uygulamanın ayrıntıları, işlem akışının adım adım ilerleyişinin görülebilmesi için oluşturulan olay tablolarında gösterilmiştir (Şekil 6). Veri işleyip eğitilmesi ve sonuçları değerlendirmesi gibi tüm

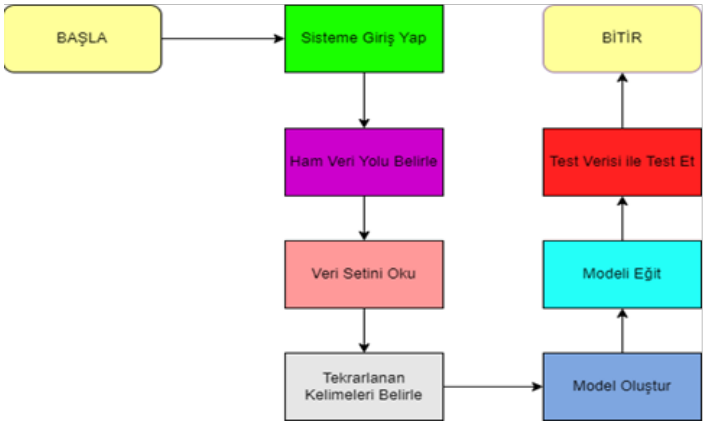
aşamalarıyla bir evrişimsel sinirağı oluşturabilmek için yazılımsal kaynaklarına ihtiyacımız vardır.



Şekil 4: Kavramsal veri akış şeması



Şekil 5: Mantıksal veri akış şeması



Şekil 6: İş akış şeması

Python

Python, hızlı, entegre ve verimli iş yaratmaya izin veren bir programlama dilidir. Masaüstü uygulamalarınız, web uygulamalarınız ve mobil uygulamalarınız tümü Python ile tasarlanabilir. Python, diğer programlama dillerinin avantajları ve dezavantajları göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir. Bu sayede programdaki teknik hatalar en aza indirgenir. Python'un genel özellikleri şu şekilde sıralanabilir (Malkoç, 2012).

Aktif kullanıcı toplulukları: Python, uzun süreli kullanım avantajına sahiptir ve amatörden uzman seviyesine kadar geniş bir kullanıcı ağına sahiptir. Gerekli bilgi ve belgelere erişim, bireysel programcılar için, özellikle de bunları kendi başlarına elde etme söz konusu olduğunda bir sorundur. Python'un devasa kullanıcı tabanı ve bu kitleler tarafından oluşturulan aktif kullanıcı topluluğu sayesinde Python ile ilgili bu sorun büyük ölçüde çözülmüştür. Bu topluluğunun kullanıcıları, programlamada karşılaşılan sorunları hızlı bir şekilde çözebilir veya kullanıcılar bu platformlarda eğitim dosyalarını paylaşabilir (Cerebro, 2018).

Büyük Veride Python: Python, veri biliminde R'den sonra en çok kullanılan ikinci programlama dilidir. Yapay zekâ, derin öğrenme ve bulut sistemleri dahil olmak üzere daha yeni teknolojilerdeki kullanımları da artmıştır. Python'un verileri kolayca analiz edebilmesi ve kullanışlı kullanıcı arayüzü tercih edilme sebepleri arasındadır (Cerebro, 2018).

Kapsamlı kütüphanesi: Python, kapsamlı kütüphane tabanı ile yazılım sürecini hızlandırır. SciPy ve NumPy gibi bilimsel hesaplamalardan Django gibi web geliştirme araçlarına kadar gerekli belgesel desteği sağlayabilir (Cerebro, 2018).

Güvenilir ve etkili: Python, farklı platformlarda verim kaybı olmadan kullanılabildiği için de kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir. Web geliştirmeden masaüstü uygulamalarına, mobil uygulamalara veya donanım araçlarına kadar aynı kod farklı platformlarda sorunsuz bir şekilde çalışabilir (Cerebro, 2018).

Erişilebilir: Python, kolay kullanımının yanı sıra, aynı zamanda en erişilebilir programlama dillerinden biridir. Sponsor desteği, Eğitim programlarından belirli alanlardaki araçlara kadar her türlü uygulamaya kolayca ulaşabilirsiniz (Cerebro, 2018).

Keras

Keras, Theano veya Tensor kitaplıklarında çalışan derin öğrenmeye yönelik bir Python kitaplığıdır. Uygulamaları geliştirmek Theano ve Tensorflow kitaplıklarından daha kolaydır, ancak bu temel kitaplıklar aracılığıyla CPU veya GPU üzerinde çalışmalarına da olanak tanır. Keras, kullanıcıların kendi aktivasyon, kayıp ve öğrenme algoritmalarını geliştirmelerini ve çalıştırmalarını sağlayan kütüphane desteği de sağlar (Uğurluoğlu, 2021).

Tensorflow

Tensorflow, Google'ın veri akış diyagramlarını kullanan, makine öğrenimi için açık kaynaklı bir kitaplıktır. Tensorflow, oluşturulan yapay sinir ağı

modelini birçok sunucuda çalıştırma olanağı sunar. Tensorflow iki terimden oluşur: Tensör ve akış. "Tensör" terimi, n boyutlu bir matris olarak tanımlanırken "akış" terimi, bir tensör üzerinde gerçekleştirilen bir dizi işlem olarak tanımlanır. Tensorflow, bir tensör üzerindeki işlevlerin tanımlanması ve türevlerinin otomatik olarak hesaplanması için ilkeler sağlar (Pişkin, 2017).

NumPy

NumPy, dizilerle hızlı ve kolay bir şekilde çalışmanıza izin veren bir kitaplıktır. Bu yazılım, Fourier dönüşümü, lineer cebir ve matris alanlarında çalışmak için işlevlere sahiptir. NumPy, Python üzerindeki çalışmaları ile tanınan bir bilgisayar bilimcisi olan Travis Oliphant tarafından 2005 yılında oluşturulmuştur (Anonim, 2022). Proje açık kaynak kodludur ve serbestçe kullanılabilir. NumPy, Sayısal Python anlamına gelir. Python'da diziler işlenir, ancak NumPy dizilerin işlemesi söz konusu olduğunda daha verimlidir. NumPy, geleneksel Python listelerinden 50 kat daha hızlı dizi nesneleri sağlamak için tasarlanmıştır. NumPy'deki dizi nesnelerine ndarrays denir ve ndarray'lerle çalışmayı çok kolaylaştıran bir dizi destekleyici işlev sağlar. Hız ve kaynaklar önemli olduğunda, veri biliminde genellikle diziler kullanılmaktadır (Anonim, 2022).

Pandas

Pandas, veri analizi ve makine öğrenimi görevleri için yaygın olarak kullanılan açık kaynaklı bir Python paketidir. Çok boyutlu diziler için destek sağlayan Numpy adlı başka bir paketin üzerine inşa edilmiştir. Pandas, aşağıdakiler de dahil olmak üzere, verilerle hızlıve verimli bir şekilde çalışmayı, tekrarlayan görevlerin çoğunu gerçekleştirmeyi kolaylaştırır:

- Veri temizleme.
- Veri doldurma.
- Veri normalleştirme.
- Veri görselleştirme.
- İstatistiksel analiz.
- Veri inceleme.
- Veri yükleme ve kaydetme.

Aslında Pandas, dünyanın önde gelen veri bilimcilerinin Pandas mevcut en iyi veri analizi ve işleme aracı olarak seçmesini sağlayarak her şeyi yapma imkanı vermektedir (Anonim, 2021).

Değerlendirme Kriterleri

Nesneleri kategorilere ayırmak için sınıflandırma algoritmaları kullanılır. Performans çeşitli şekillerde ölçülebilir. Sınıflandırıcı, bazı örneklerin doğru olduklarında yanlış olduğunu ve bazı örneklerin yanlış olduklarında doğru olduğunu belirleyebilir. Sınıflandırma doğruluk oranları ve karmaşıklık matrisleri, çeşitli durumlar dikkate alınarakhesaplanır (Cengiz, 2020).

Karmaşıklık matrisi

Karmaşıklık matrisi, çeşitli sınıflandırma modelinin performansını tanımlamak için oluşturulmaktadır. Test sonuçları, hangi modellerin en iyi performansı gösterdiğini belirlemek için gerçek değerlerle karşılaştırılır. Karmaşıklık matrisleri, sonuçların veri görselleştirme yoluyla okunmasını kolaylaştırmak ve istatistiksel verilerin analizini hızlandırmak için kullanılır. Karmaşıklık matrisi, sınıflandırma modelinin ne tür hatalar yapıldığı ve ne kadar doğru olduğu hakkında daha iyi fikir verebilir. Karmaşıklık matrisi istatistik, veri madenciliği, makine öğrenimi modelleri ve diğer yapay zekâ uygulamalarında kullanılan bir araçtır. Aşağıda matrisin temsili Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Karmaşıklık Matrisi

Tahmin Değeri Gerçek Değeri	Negatif	Pozitif
Pozitif	Yanlış negatif	Gerçek pozitif
Negatif	Gerçek negatif	Yanlış pozitif

- Yanlış Pozitif (FP - False Positive): Gerçek değer negatif, ancak tahminin değerininpozitif olması durumudur.
- Yanlış Negatif (FN - False Negative): Gerçek değer pozitif, ancak tahminin değerininnegatif olması durumudur.
- Gerçek Pozitif (TP - True Positive): Gerçek değerin pozitif ve tahmin değerinin pozitifolması durumudur.
- Gerçek Negatif (TN - True Negative): Gerçek değerin negatif ve tahmin değerininnegatif olması durumudur (Cihan, 2020).

Doğruluk (Accuracy)

Doğruluk, belirli bir ölçüm kümesinin gerçek değerlerine ne kadar yakın veyauzak olduğunun göstergesidir (Demir, 2017). Doğruluğun hesaplanmasında Denklem 1 kullanılmaktadır.

$$Doğruluk = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (1)$$

İncelenen Belgeler

Yapılan incelemeler sonucu çalışmanın uygulama kısmında Google Colab arayüzü kullanılarak Makine Öğrenmesinin alt dalı, Derin Öğrenme mimarisi olan Evrişimsel Sinir Ağları Tensorflow matematik kitaplığının Keras Sinir Ağı Kütüphanesi kullanılarak önceden hazırlanmış veriseti eğitilerek analiz edilmek istenen metinlerin test işlemine tabi tutulmasına karar verilmiş ve bu çalışmaların gerçekleştirilme yöntemleri hakkında bilgi edinilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bölüm 2.2'de belirtilen hiperparametrelerle hazırlanmış ağ modelleri; 5, 10 ve 15 epoch sayıları ve her epochta 2 iterasyonlu bir örnek veri seti ile eğitim sürecine uygulanmıştır. Modellerin eğitim doğruluk, eğitim kayıp, test doğruluk (test_acc) ve test hatası (test_loss) değerleri Tablo 7'de gösterilmiştir.

Bölüm 2.3'te bahsettiğimiz gibi, iki tür sinir ağı modeli oluşturduk ve her birinde 48 model oluşturduk, biri diğerinden gizli katman sayısıyla farklıdır. Model_1, sinir ağının yalnızca temel katmanlarından oluşurken, Model_2'de üç ek gizli katman bulunur. Sonuçları, Tablo 7'nin Model_1'in sonuçlarını ve Tablo 8'in Model_2'nin sonuçlarını sunacak şekilde düzenledik.

Model_1

Kelime gömülme katmanında (embedding layer) Max-Features = num-unique- word, embedding- boyutu = 128 ve max-len = 1000. Kelime gömülme katmanından sonra, 128 filtreli bir Evrişimsel sinir ağı katmanı vardır. Modellerin kernel boyutu = 2, Aktivasyon Fonksiyonu = "ReLU/Tanh" ve adımlar "bir" olarak ayarlanmıştır. Pooling işlevinde, 1D pool boyutu = 5, ardından Dense = 128, activationu = 'ReLU / Tanh' olarak yapılmıştır. Son olarak bir Flatten ve softmax katmanı gelmektedir. İki sınıf (Pozitif, Negatif) arasındaki duyguyu analiz etmek için katmanları tamamen bağlanmıştır. Tablo 7'de, Model_1'in 48 farklı modeli için eğitim ve test sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 7: Model_1'in eğitim ve test sonuçları

Model no	Nöron sayısı	Aktivasyon fonksiyonu	Epoch sayısı	Optimizasyon yöntemi	Eğitim kayıp	Eğitim doğruluk	Test_kayıp	Test_doğruluk	Model no	Nöron sayısı	Aktivasyon fonksiyonu	Epoch sayısı	Optimizasyon yöntemi	Eğitim kayıp	Eğitim doğruluk	Test_kayıp	Test_doğruluk
1	32	ReLU	5	Sgd	0.09	0.96	0.66	0.67	25	32	Tanh	5	Sgd	0.06	0.96	0.56	0.73
2				Adagrad	0.63	0.67	0.68	0.55	26				Adagrad	0.08	0.96	0.47	0.71
3				Adam	0.14	0.94	0.97	0.76	27				Adam	0.11	0.95	0.49	0.75
4				Rmsprop	0.12	0.94	1.93	0.69	28				Rmsprop	0.10	0.96	0.95	0.74
5			10	Sgd	0.06	0.96	0.71	0.70	29			10	Sgd	0.06	0.96	0.58	0.74
6				Adagrad	0.11	0.96	0.51	0.72	30				Adagrad	0.07	0.96	0.50	0.73
7				Adam	0.06	0.96	1.30	0.69	31				Adam	0.11	0.94	0.48	0.78
8				Rmsprop	0.12	0.96	3.71	0.64	32				Rmsprop	0.11	0.95	0.70	0.77
9			15	Sgd	0.06	0.96	0.70	0.71	33			15	Sgd	0.06	0.96	0.62	0.71
10				Adagrad	0.08	0.95	0.53	0.72	34				Adagrad	0.06	0.96	0.52	0.74
11				Adam	0.06	0.96	1.20	0.75	35				Adam	0.09	0.95	0.71	0.70
12				Rmsprop	0.07	0.96	2.63	0.70	36				Rmsprop	0.10	0.96	1.12	0.75
13	64		5	Sgd	0.06	0.96	0.58	0.75	37	64		5	Sgd	0.06	0.96	0.53	0.72
14				Adagrad	0.10	0.95	0.45	0.77	38				Adagrad	0.07	0.95	0.49	0.69
15				Adam	0.06	0.96	1.03	0.69	39				Adam	0.08	0.94	0.76	0.77
16				Rmsprop	0.07	0.95	1.75	0.70	40				Rmsprop	0.10	0.94	0.75	0.73
17			10	Sgd	0.06	0.96	0.63	0.73	41			10	Sgd	0.06	0.95	0.59	0.70
18				Adagrad	0.07	0.95	0.50	0.77	42				Adagrad	0.07	0.95	0.49	0.74
19				Adam	0.06	0.96	1.03	0.71	43				Adam	0.08	0.96	0.75	0.50
20				Rmsprop	0.08	0.96	1.93	0.73	44				Rmsprop	0.11	0.95	0.88	0.73
21			15	Sgd	0.06	0.95	0.63	0.72	45			15	Sgd	0.06	0.95	0.61	0.72
22				Adagrad	0.06	0.96	0.51	0.72	46				Adagrad	0.06	0.96	0.52	0.70
23				Adam	0.06	0.96	1.17	0.75	47				Adam	0.09	0.95	0.48	0.73
24				Rmsprop	0.08	0.96	2.22	0.73	48				Rmsprop	0.11	0.96	0.84	0.73

Tablo 7'de gösterilen sonuçlara göre model_1 tarafından elde edilen en yüksek eğitim doğruluk oranı %96'dır. 48 modelden 28'i bu oranı göstermiştir.

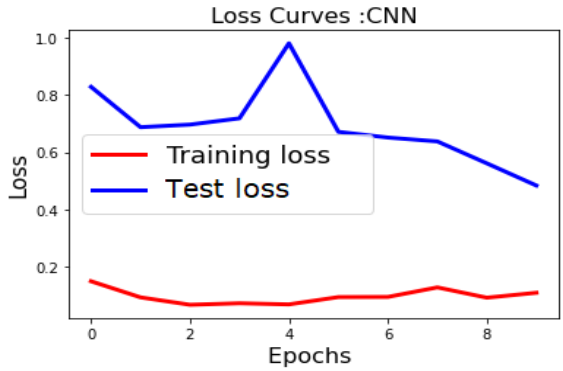
No.2 model %67 ile, diğer 48 model arasında en düşük eğitim doğruluk oranına sahiptir. Eğitim verilerinin doğruluk değerleri %96, %95 ve %67 yüzdeleri arasında değişmektedir.

Test doğruluk oranı için model No.31, aktivasyon fonksiyonu "Tanh", gizli katmanı32 nöronlu, epoch sayı "10" ve optimizasyon tekniği "Adam" olan, %78 test doğruluk oranıyla en yüksek doğruluk oranını göstermiştir. Model No.43 %50 doğruluk oranı göstererek diğer 48 model arasında en düşük test doğruluk oranına sahiptir. Test verilerinin doğruluk değerleri %50 ile %78 arasında değişmektedir.

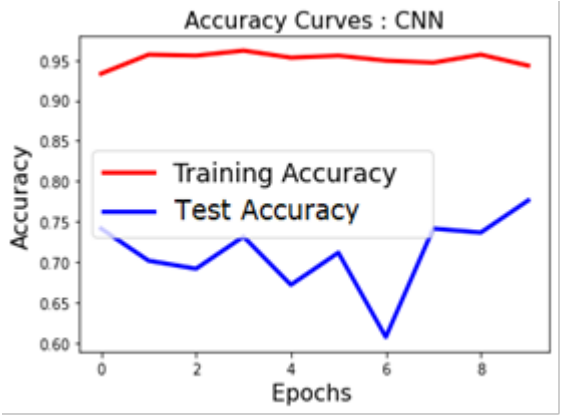
Tablo 7 incelendiğinde en başarılı modeller Sgd, Adam ve Rmsprop optimizasyon yöntemleri kullanılarak oluşturulurken, en az başarılı olan model Adagrad optimizasyon yöntemi kullanılarak elde edilmiştir.

Model No.31'in doğruluk grafiği Tablo 7'de ve hata grafiği Şekil 7'de gösterilmiştir. Grafikteki sonuçlara bakıldığında test verilerinin eğitim verileri kadar iyi olmadığını fark edilmektedir. Bu nedenle sinir ağına ek katmanlar ekleyerek nihai sonuçları karşılaştırılacaktır.

Model No.31'in performansı Epoch sayısıyla farklı aşamalarını gösteren Şekil 8'e bakıldığında, süreci epoch 6'da durdurulursa, modelin en düşük performansında durdurulmuş olacaktır. Epoch 6'dan sonra olumlu değişikliği fark edilmektedir. Model oluşturma sürecinde Epoch sayısını artırmanın önemi açıkça görülmektedir.



Şekil 7: Model_1'in en yüksek performans gösteren No.31 modeline ait hata grafiği



Şekil 8: Model_1'in en yüksek performans gösteren No.31 modeline ait doğruluk grafiği

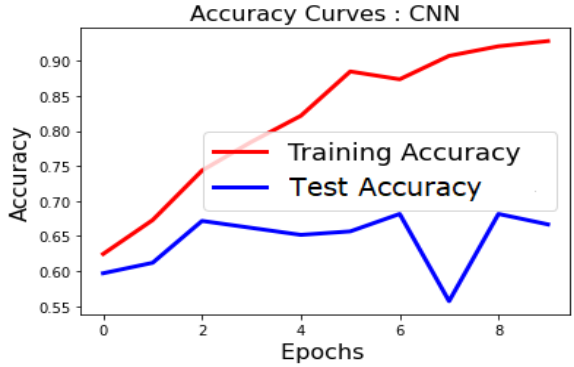
Model_2

Kelime gömülme katmanında (embedding layer) Max-Features = num-unique- word, embedding-boyutu = 128 ve max-len = 1000. Kelime gömülme katmanından sonra, 128 filtreli bir Evrişimsel sinir ağı katmanı vardır. Modellerin kernel boyutu = 2, Aktivasyon Fonksiyonu = "ReLU/Tanh" ve adımlar "bir" olarak ayarlanmıştır. Pooling işlevinde, 1D pool boyutu = 5, ardından Dense = 128, activationu = 'ReLU / Tanh' olarak yapılmıştır. Son olarak bir Flatten ve softmax katmanı gelmektedir. İki sınıf (Pozitif, Negatif) arasındaki duyguyu analiz etmek için katmanları tamamen bağlanmıştır. Tablo 8'de, Model_2'in 48 modeli için eğitim ve test sonuçlarını göstermektedir.

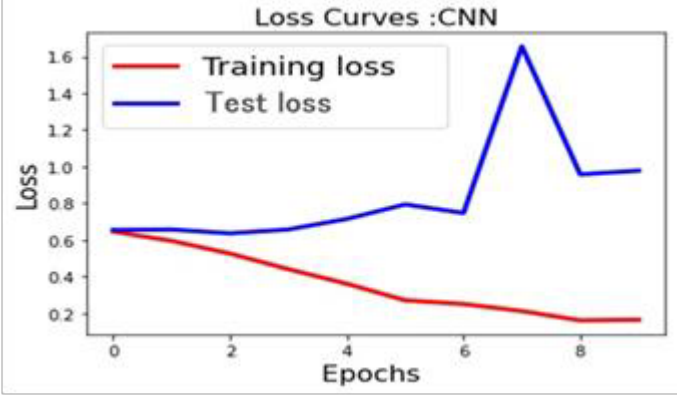
Tablo 8: Model_2'nin eğitim ve test sonuçları

Model no	Nöron sayısı	Aktivasyon fonksiyonu	Epoch sayısı	Optimizasyon yöntemi	Eğitim kayıp	Eğitim doğruluk	Test_kayıp	Test_doğruluk	Model no	Nöron sayısı	Aktivasyon fonksiyonu	Epoch sayısı	Optimizasyon yöntemi	Eğitim kayıp	Eğitim doğruluk	Test_kayıp	Test_doğruluk
1	32	ReLU	5	Sgd	0.56	0.71	0.74	0.63	25	32	Tanh	5	Sgd	0.08	0.95	0.57	0.75
2				Adagrad	0.68	0.56	0.69	0.55	26				Adagrad	0.11	0.95	0.49	0.76
3				Adam	0.25	0.89	0.95	0.70	27				Adam	0.08	0.94	0.95	0.73
4				Rmsprop	0.49	0.74	0.83	0.65	28				Rmsprop	0.60	0.95	0.64	0.77
5			10	Sgd	0.08	0.95	1.17	0.69	29			10	Sgd	0.07	0.95	0.56	0.75
6				Adagrad	0.35	0.89	0.56	0.69	30				Adagrad	0.08	0.95	0.51	0.76
7				Adam	0.07	0.95	1.64	0.72	31				Adam	0.07	0.94	1.02	0.74
8				Rmsprop	0.09	0.95	7.53	0.70	32				Rmsprop	0.10	0.96	0.93	0.75
9			15	Sgd	0.07	0.95	0.98	0.71	33			15	Sgd	0.07	0.95	0.57	0.75
10				Adagrad	0.09	0.95	0.54	0.73	34				Adagrad	0.07	0.95	0.50	0.76
11				Adam	0.07	0.95	3.18	0.73	35				Adam	0.07	0.95	0.95	0.76
12				Rmsprop	0.08	0.95	4.17	0.71	36				Rmsprop	0.09	0.95	1.00	0.76
13	64		5	Sgd	0.07	0.95	0.65	0.74	37	64		5	Sgd	0.66	0.59	0.65	0.62
14				Adagrad	0.10	0.95	0.52	0.70	38				Adagrad	0.43	0.79	0.63	0.69
15				Adam	0.07	0.95	1.57	0.73	39				Adam	0.71	0.50	0.69	0.50
16				Rmsprop	0.07	0.94	2.51	0.76	40				Rmsprop	0.72	0.48	0.86	0.45
17			10	Sgd	0.07	0.95	0.71	0.74	41			10	Sgd	0.16	0.98	0.97	0.67
18				Adagrad	0.08	0.95	0.53	0.76	42				Adagrad	0.56	0.73	0.64	0.69
19				Adam	0.07	0.95	1.33	0.75	43				Adam	0.71	0.52	0.69	0.50
20				Rmsprop	0.08	0.95	2.81	0.76	44				Rmsprop	0.71	0.54	0.69	0.55
21			15	Sgd	0.07	0.95	0.81	0.73	45			15	Sgd	0.07	0.95	1.35	0.69
22				Adagrad	0.08	0.95	0.59	0.75	46				Adagrad	0.65	0.60	0.68	0.53
23				Adam	0.07	0.95	2.30	0.75	47				Adam	0.71	0.51	0.70	0.50
24				Rmsprop	0.09	0.95	3.12	0.73	48				Rmsprop	0.71	0.50	0.70	0.50

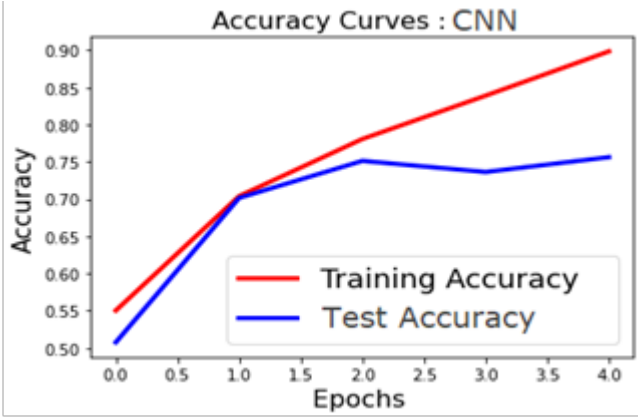
Tablo 8'de gösterilen sonuçlara göre model_2 tarafından elde edilen en yüksek eğitim doğruluk oranı %98'dir. Burada, bir önceki modele göre eğitim doğruluk yüzdesinde %2'lik bir iyileşme sağladığını görülmektedir. Model No.41; aktivasyon fonksiyonu 'Tanh", gizli katmanı 64 nöronlu, epoch sayı "10" ve optimizasyon tekniği "Sgd" olanı %98 eğitim doğruluk oranıyla en yüksek doğruluk oranını göstermiştir. Model No.41'in doğruluk grafiği Şekil 9'da ve hata grafiği Şekil 10.'da gösterilmiştir. Model No.40 %48 doğruluk oranı göstererek diğer 48 model arasında en düşük eğitim doğruluk oranına sahiptir. Eğitim verilerinin doğruluk değerleri %48 ile %98 arasında değişmektedir.



Şekil 9: Model_2'nin eğitim sürecinde en yüksek performans gösteren No.41 modelineait doğruluk grafiği

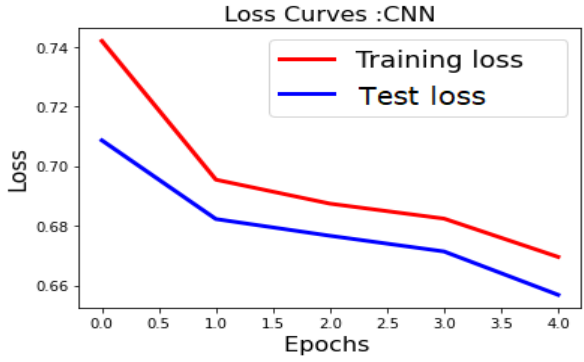


Şekil 10: Model_2'nin eğitim sürecinde en yüksek performans gösteren No.41 modelineait hata grafiği



Şekil 11: Model_2'nin test sürecinde en yüksek performans gösteren 28 numaralı modele ait doğruluk grafiği

Tablo 8'de gösterilen sonuçlara göre model_2 tarafından elde edilen en yüksek test doğruluk oranı %77'dir. Model_1'e göre test doğruluk yüzdesinde %1'lik bir düşme görülmektedir. Model No.28; aktivasyon fonksiyonu 'Tanh", gizli katmanı 32 nöronlu, epoch sayı "5" ve optimizasyon tekniği "Rmsprop" olanı %77 test doğruluk oranıyla en yüksek doğruluk oranını göstermiştir. Model No.28'in doğruluk grafiği Şekil 11'de ve hata grafiği Şekil 12'de gösterilmiştir. Model No.40 %45 doğruluk oranı göstererek diğer 48 model arasında en düşük test doğruluk oranına sahiptir. Ayrıca bu modelin eğitim aşamasında da en düşük doğruluk oranına sahip olduğu dikkat çekmektedir. Test verilerinin doğruluk değerleri %45 ile %77 arasında değişmektedir.



Şekil 12: Model_2'nin test sürecinde en yüksek performans gösteren 28 numaralı modeleait hata grafiği

Tablo 8 incelendiğinde, en başarılı modeller Adagrad, Adam ve Rmsprop optimizasyon yöntemleri kullanılarak oluşturulurken, en az başarılı olan model Sgd optimizasyon yöntemi kullanılarak elde edilmiştir.

Model_2'de sinir ağılarındaki gizli katman sayısını arttırıldığında, önceki modele göre eğitim doğruluğunda %2 yükselme ve test doğruluğunda %1'lik bir azalma görüyoruz. Ayrıca Model_2'de test ve eğitim sonuçları arasında bir tutarlılık varken Model_1'in sonuçlarının aksine, eğitim ve test sonuçları arasındaki değerlerde büyük bir tutarsızlık olduğunu fark edilmektedir ve bunun grafiklerde açıkça görülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERILER

Arap dilinin Çad versiyonu üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için, derin öğrenmede en iyi sınıflandırma modelini bulmak üzere 96 farklı derin sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Bu çalışmada farklı aktivasyon ve optimizasyon yöntemleri, farklı nöron ve epoch sayıları kullanılmıştır. Biri basit, diğeri üç ek gizli katman içeren iki tür CNN sinir ağı karşılaştırılmıştır. Her biri 48 modelden oluşmaktadır, yani toplam 96 model kurulmuştur. İki grup CNN ağında; Adam ve Rmsprop optimizasyon yöntemler arasında en yüksek doğruluk sonuçlara sahip iken Adagrad ile Sgd en düşük doğruluk oranı göstermiştir. Eğitim sürecinde Model_2, model_1'den %2 daha yüksek bir yüzdeye ulaşmıştır. Oysa model_1'de en yüksek eğitim oranı %96 iken ve model_2'ninki %98 bulunmuştur. Model_2'nin test sonuçlarında %1'lik bir düşüş olmasına rağmen, test ve eğitim sonuçlar arasında tutarlılık görülmektedir. Model_1'in sonuçlarında grafikte görüldüğü gibi belli bir tutarsızlık olduğunu fark edilmektedir.

Derin sinir ağı çalışmalarında; model performansının kullanılan veri setinin yapısına, boyutuna, optimizasyon yöntemlerine ve aktivasyon fonksiyonlarına bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Ayrıca, optimizasyon algoritmalarının performansı, parametre seçimine ve sinir ağının nasıl oluşturulduğuna bağlı olarak farklılık gösterir.

Derin öğrenme uygulamalarında optimizasyon algoritmaları için seçim kriterleri iyi bilinmemekle birlikte, algoritmalar problem yapısına ve parametrelerine bağlı olarak farklı performanslar göstermektedir. Bu nedenle, derin öğrenme uygulamalarında bir model oluştururken farklı optimizasyon algoritmaları, aktivasyon fonksiyonları, nöron sayıları ve Epoc kombinasyonları oluşturmak, veri kümesi için daha uygun bir mimari ile sonuçlandırılmaktadır. Sınıflandırma doğruluk oranı, bu çalışma için değerlendirme temeli olarak hizmet eder.

Gelecekteki çalışmalar ayrıca sıralama hızı ve maliyet gibi kriterlere odaklanacaktır. Ayrıca derin öğrenme algoritmaları (CNN, LSTM, GRU, RNN) aynı parametre ve değerlerle karşılaştırılacak ve analiz edilecektir.

Kaynaklar

Abu-Farha, I., & Magdy, W. (2020). From Arabic Sentiment Analysis to Sarcasm Detection:The ArSarcasm Dataset. *Proceedings of the 4th Workshop on Open- Source Arabic Corpora and Processing Tools, with a Shared Task on Offensive Language Detection*.

Alayba, A.M., Palade, V., England, M., & Iqbal, R. (2018). A Combined CNN and LSTM Model for Arabic Sentiment Analysis. *In International cross-domain conference for machine learning and knowledge extraction*.

Al-Moslmi, T., Albared, M., Al-Shabi, A., Omar, N., & Abdullah, S. (2018). Arabic senti- lexicon: Constructing publicly available language resources for Arabic sentiment analysis. *Journal of Information Science*.

Al-Tamimi, A.-K., Shatnawi, A., & E. B.-I. (2017). Arabic Sentiment Analysis of YouTube Comments. *IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT)*.

Anonim. (2019). *Derin Öğrenme (Deep Learning) Nedir*. 05 25, 2022tarihinde https://www.beyaz.net:https://www.beyaz.net/tr/yazilim/makaleler/derin_ogrenme_deep_learning_nedir.ht ml adresinden alındı.

Anonim. (2021). *Türkçe Doğal Dil İşlemenin Markanız için Önemi*. 03 15, 2022 tarihinde starlang: https://starlangyazilim.com/?gclid=Cj0KCQiA6NOPBhCPARIsAHAy2zDTmciRS 6HTxHwSVsEsozaUJrG55oPozaDYl2oXiEldVYGLUqqllEIaAvSrEALw_wcB adresinden alındı

Anonim. (2021). *What Is Pandas In Python?* 6 9, 2022 tarihinde www.activestate.com: https://www.activestate.com/resources/quick-reads/what-is- pandas-in-python-everything-you-need-to-know/ adresinden alındı

Anonim. (2O22). *NumPy Introduction*. 6 9, 2022 tarihinde https://www.w3schools.com: https://www.w3schools.com/python/numpy/numpy_intro.asp adresinden alındı

Beseiso, M., & Elmousalamı, H. (2019). Subword Attentive Model for Arabic Sentiment Analysis:A Deep Learning Approach. *ACM Trans. Asian Low-Resour. Lang. Inf. Process*.

Cengiz, E. (2020). *Endoskopi görüntülerindeki poliplerin derin öğrenme algoritması kullanılarak incelenmesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Cerebro. (2018). *Python Neden Bu Kadar Popüler?* 5 18, 2022 tarihinde https://medium.com: https://medium.com/kodcular/python-neden-bu-kadar-popüler-d7f0f6819de5 adresinden alındı

Cihan, P., Kalipsiz, O., & Gökçe, E. (2020). Yenidoğan kuzularda bilgisayar destekli tanı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *26*(2), 385-391.

Demir, M. (2017, 1 19). Analitik Verilerin Değerlendirilmesi*,* 6 9, 2022 tarihinde silo.tips: https://silo.tips/download/analtk-verlern adresinden alındı

Doğan, F. (2019). Derin Öğrenme Modelleri ve Uygulama Alanlarına İlişkin Bir Derleme. *DÜMF Mühendislik Dergisi*.

Doğan, Ö. (2020). *Derin Öğrenme Nedir? Yapay Sinir Ağları Ne İşe Yarar?* 05 25, 2022 tarihinde https://teknoloji.org: https://teknoloji.org/derin-ogrenme-nedir-yapay-sinir-aglari-ne-ise-yarar/ adresinden alındı

El-Masri, M., Altrabsheh, N., H. M., & Ramsay, A. (2017). A web-based tool for Arabic sentiment analysis. *Procedia Computer Science*, s. 8.

Gamal, D., Alfonse, M., El-Horbaty, E. S. M., & Salem, A. B. M. (2019). Implementation of machine learning algorithms in Arabic sentiment analysis using n-gram features. *Procedia Computer Science*, *154*, 332-340.

Gridach, M., Haddad, H., & Mulki, H. (2017). Empirical Evaluation of Word Representations on Arabic Sentiment Analysis. *International Conference on ArabicLanguage Processing*.

Heikal, M., Torki, M., & El-Makky, N. (2018, jan). Sentiment Analysis of Arabic Tweetsusing Deep Learning. *Procedia Computer Science*.

Malkoç, B. (2012). Temel bilimler ve mühendislik eğitiminde programlama dili olarak python. *XIV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, *201*.

Mhamed, M., Sutcliffe, R., Sun, X., Feng, J., Almekhlaf, E., & Afele Retta, E. (2022). A Deep CNN Architecture with Novel Pooling Layer Applied to Two SudaneseArabic Sentiment Datasets. *arXiv preprint arXiv*.

Mohammed, A., & Kora, R. (2019). Deep learning approaches for Arabic sentiment analysis. *Social Network Analysis and Mining*.

Ombabi, A.H., Ouarda, W., & Alimi, A.M. (2020). Deep learning CNN–LSTM framework for Arabic sentiment analysis. *Social Network Analysis and Mining*.

Oussous, A., Benjelloun, F. Z., Lahcen, A. A., & Belfkih, S. (2020). ASA: A framework for Arabic sentiment analysis. *Journal of Information Science*, *46*(4), 544-559.

Pervan, N. (2019). *https://www.sisasoft.com.tr*. 03 15, 2022 tarihinde sisasoft: https://www.sisasoft.com.tr/duygu-analizi-neden-onemli/ adresinden alındı

Pişkin, M. (2017). *TensorFlow ile Sınıflandırıcı Eğitimi ve Görüntü Sınıflandırma*.5 19, 2022 tarihinde https://mesutpiskin.com: https://mesutpiskin.com/blog/tensorflow-ile-siniflandirici-egitimi-ve-goruntu- siniflandirma.html adresinden alındı

Ser, G., & Bati, C. T. (2019). Determining the best model with deep neural networks: keras application on mushroom data. *Yüzüncü Yil Üniversitesi Journal of Agricultural Sciences*, *29*(3), 406-417.

Uğurluoğlu, K. (2021). *Keras ve Tensorflow Nedir?* 5 19, 2022tarihinde https://kaanugurluoglu123.medium.com: https://kaanugurluoglu123.medium.com/keras-ve-tensorflow-nedir-77bd307f145e adresinden alındı.

Bölüm 11

Tarımda Modern Teknolojiler: Lidar Görüntüleme

Fatmanur ATEŞ[1]

Ramazan ŞENOL[2]

[1] Arş. Gör.; Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü. fatmanurates@isparta.edu.tr ORCID No: https://orcid.org/0000-0001-5465-2483

[2] Prof. Dr.; Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü. ramazanseno@isparta.edu.tr ORCID No: : https://orcid.org/0000-0002-7078-3229

ÖZET

Teknoloji her geçen gün gelişmektedir ve sürdürülebilir yaşam için kolaylıklar getirmektedir. Gelişen teknoloji canlı yaşamında hemen hemen her alana uygulanmaktadır. Teknojinin aktif olarak uygulandığı alanlardan birisi, dünya üzerinde yaşamın devam etmesi için önemli olan tarım alanıdır.

Tarımla, canlıların beslenmesi ve yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan gıda ihtiyacının büyük kısmı karşılanır. Dünya nüfusunun artması, gıdaya olan talebin büyümesi, mevcut tarım alanlarının azalması, su kaynaklarının tükenmesi sebebiyle ortaya çıkan olumsuz etkilerin ortadan kaldırılabilmesi için tarım alanın daha verimli kullanılması ve topraksız tarım uygulamalarının yaygınlaşması muhtemeldir. Tarım alanlarından faydalanma oranının artırılması ise daha doğru yöntemler ile tarım arazilerinin donatılıp sürdürülebilmesine bağlıdır. Bu sebepten araştırmacılar tarımda verimi artırmak için çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmaların önemli başlıklarından biri tarımdaki uygulamaların otonom sistemlere yaptırılması üzerine odaklanan çalışmalardır. Tarımda otonom sistemlerin kullanımı insan hatasından kaynaklanabilecek müdahalelerin önüne geçilmesine yardımcı olabilir, zamandan, paradan tasarruf edilmesini sağlayabilir. Tarımda otonom sistemlerin kullanımında hassasiyet ve verim artışı ise görme sistemleri olan kamera veya kameraların en uygun türde ve kalitede seçilmesine bağlıdır. Bu seçimler sistemin almış olduğu görüntü içerisinde yaptığı analizi ve analize göre verdiği kararı etkiler. Lidar sensörlerin tarım alanında kullanılan otonom sistemler için görüntü elde etmede oldukça umut vaadedici olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada lidar görüntülemenin tarımda farklı uygulamalarda kullanımının örnekleri incelenmiştir ve tarımda otonom sistemlerde lidar kullanımının önemi vurgulanarak lidar kullanımının avantaj ve dezavantajları ele alınmış, bu alanda çalışan araştırmacılar için kaynak oluşturması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Modern Tarım, Lidar Sensörler, Otonom Sistemler, Tarım Robotları, Sürdürülebilir Tarım

GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması, tarım alanlarının azalmasına ve tarım ürünlerine olan ihtiyacın artış göstermesine sebep olmuştur. Mevcut tarım alanlarından maksimum verimin elde edilmesi çok önemli bir konu olmuştur. Mevcut tarım alanlarından en üst düzeyde verimin elde edilebilmesi için tarımsal faaliyetlerde kullanılabilecek teknolojik ekipmanlar geliştirilmektedir. Geliştirilen teknolojik ekipmanlar tarım alanlarındaki verimi artırmanın yanında can güvenliğini tehlikeye atmaması ve ekonomik olması gibi amaçlarla tasarlanmaktadır.

Tarım alanlarında kullanılmak üzere tasarlanan teknolojik ekipmanlardan olan otonom tarım robotlarının en önemli parçalarından biri olan robotun görüşünü sağlayan kamera veya kameralardır. Kamera veya kameraların tarımsal alanda yapılacak iş için uygun seçilmesi önemli bir konudur. Otonom tarım robotlarında kullanılan kamera veya kameralar ile iki boyutlu veya üç boyutlu görüntüler alınabilir. Kullanılan kamera türlerinin birbirlerine göre üstünlükleri bulunmaktadır. İki boyutlu ve üç boyutlu görüntüler almada, analiz etmede en popüler kullanıma sahip olan görüntüleme yöntemlerinden biri lidar kameralar ile yapılan görüntülemedir.

Lidarlar, yaydıkları lazer ışınlarının objelere çarpıp geri dönmesine kadar geçen sürenin mesafe cinsinden hesaplanması prensibi ile çalışan sensörlerdir (Akyol ve Uçar, 2019). Lidar bir araziye ait harita üretimi, deniz araştırmaları, atmosferik araştırmalar, buzul araştırmaları gibi farklı alanlarda kullanılan çok yönlü bir teknolojidir. Yükseklik farkının az olduğu ve düşük yoğunluklu bitki örtüsü barındıran yerlerde çok etkili kullanıma sahiptir (Yılmaz ve Yakar, 2006). Lidar sensörler görüntü almada kullanılan diğer sensörlere göre kesin görüntüler elde etmeyi sağlar. Avantajlı kullanıma sahip olduğundan yeni popüler olmaya başlayan bu sensör teknolojisinin tanıtılması tarımda verimi artırabilir, çiftçilere kolaylık sağlayabilir (Petit, 2020).

Lidar sensörlerinin modern tarımda ilaçlama, bitki örtüsü çıkarma, ağaç hacmi belirleme, toprak yüzey pürüzlülüğünün ölçümü, meyve veya sebze sınıflandırma gibi farklı alanlarında kullanımı mevcuttur ve çalışma alanları geliştirilmekte ve genişletilmektedir. Bu çalışmada tarım alanında kullanımı yeni popüler olmaya başlayan lidar sensörü ile yapılan çalışmalardan örnekler verilmiştir. Lidar sensörlerinin modern tarımdaki uygulamaları açıklanıp, tarımda verimi artırmadaki üstünlüklerine ve önemine vurgu yapılmıştır.

LİDAR KAMERA VE TARIMDA KULLANIMI

Lidar Nedir? Lidar Nasıl Çalışır?

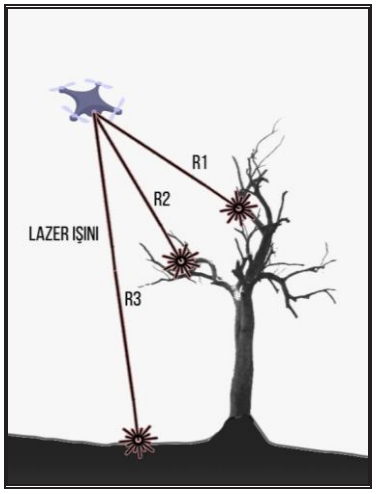
Lidar ismini ingilizce olarak "Light/Laser Detection and Ranging" olarak isimlendirildiği kelimelerin baş harflerinden almıştır (Sengör, 2019). Lidar, lazer ışınlarını kullanarak yükseklik bilgisi elde edebilen görüntüleme şeklidir. Günümüzde farklı amaçlar için ve farklı alanlarda popüler olarak kullanılan bir teknoloji olan lidarın çalışma prensibi radara benzese de, radarda radyo dalgaları, lidarda ise lazer ışınları kullanılmasıyla birbirlerinden ayrılırlar (Polat ve Uysal, 2016). Lidarın çalışma şekli aşağıda verilen maddelerle özetlenebilir (Erişir, 2015);

- Lazer tarayıcı tarafından objeye ışın gönderilir,
- Işın objeye temas eder ve yüzeyinden yansır,
- Alıcıya geri dönen sinyalin geri dönüş süresi ölçülür,
- Gidiş-dönüş zamanından noktaların koordinatları (X,Y,Z) belirlenebilir.

Lidarın çalışma prensibi Şekil 1'de örnek olarak verilmiştir. Lidar sensörü temelde iki ana bileşen içerir. Bunlar verici ve alıcıdır. Verici 250 – 1600 nanometre (nm) dalga boylarında lazer ışık yayar (farklı dalga boyları bazı ortamlarda diğerlerinden daha iyi çalışabilir). Alıcı ise yansıyan sinyali toplayıp, analiz edip, hesaplama görevini yapar (Roriz, 2021). Lazer ışının vericiden çıkıp alıcıya ulaştığı süre denklem 1'deki gibi hesaplanır.

$$R = \frac{\Delta t \times c}{2} \tag{1}$$

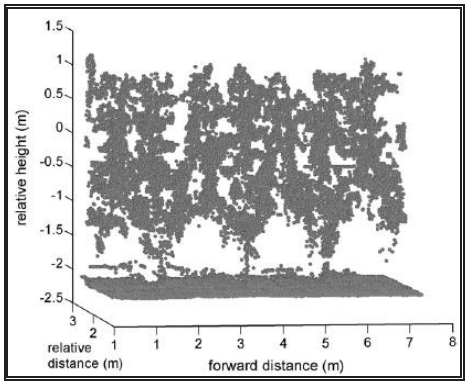
Denklem 1'de R, lidar ile obje arasındaki mesafeyi, Δt lazer ışının gidiş dönüş gecikmesini, c ise ışık hızını ifade eder (Uray, 2022).



Şekil 1: LİDAR'la bilgi toplama

Lidar ile Nokta Bulutu Üretimi

Lidar sensörü ile nokta bulutu elde edilmesi, lidar tarafından üretilen lazerin gönderilmesi ve bir objeye çarparak geri dönemesi ile olur. Alıcıya dönen sinyalin şiddeti kaydedilir ve sinyalin seyahat süresi ölçülür. Seyahat süresi denklem 1'deki gibi mesafeye çevrilir. Lazerin tarama açısı, konumu (GPS) ve lazerin yöneltmesi (IMU) mesafeden bilindiğinden, ilgili lazer sinyalleri için üç boyutlu (X,Y,Z) yer koordinatları yani nokta bulutları hesaplanır. Nokta bulutları filtreleme gibi birtakım işlemlerden geçirilip çalışılacak olan konuya uygun veri formuna getirilebilir (Karslı, 2022). Palleja vd.'nin çalışmasında armut ağaçlarının lidardan alınan ham görüntüleri, lidar nokta bulutu verilerine örnek olarak şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Palleja vd.'nin çalışmasındaki armut ağaçlarının ham lidar görüntüleri

Lidar Türleri

Tarımda kullanılan lidar sistemleri taşınma şekillerine göre üç farklı kategoriye ayrılmışlardır. Bunlardan birincisi, lidar'ın insansız hava aracı (İHA) üzerine monte edildiği havasal (ing – airbone) lidardır. Havasal lidar örneği şekil 3'de verilmiştir.

Şekil 3: Havasal Lidar (Schroth, 2017)

İkincisi tarama için sabit bir ayak ile kullanıldığı karasal (terrestial) lidardır. Bir karasal lidar örnek görseli şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 4: Karasal Lidar (Doğan, 2022)

Üçüncü lidar çeşidi ise sabitleneceği araç bakımından çeşitlilik gösterebilen (Örneğin; sırt çantası, traktör vs.) mobil lidar'dır (Rivera vd., 2023). Mobil lidar örneği şekil 5 ile verilmiştir.

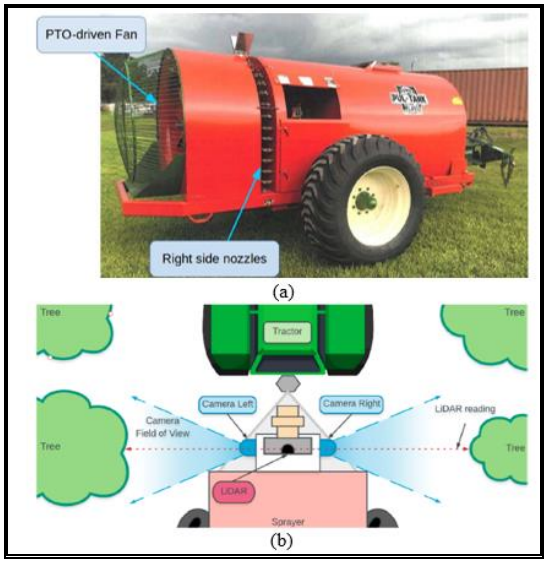
Şekil 5: Mobil Lidar Örneği

Lidar'ın Avantajları ve Dezanavtajları

- Lidar sensörleri ultrasonik sensörlerle karşılaştırıldığında daha geniş bir görüş alanına sahiptir. Lidar kameralar her okumada daha fazla veri toplarlar. Işığın türü ile birlikte yansıyan ışık atım yoğunluğu ve tespit edilen hedef hakkında daha fazla bilgi verebilir (Andújar, 2013).
- Yer tabanlı lidar sensörlerinin bazen çalıştırmalarının basit olması ve yüksek yoğunluklu nokta bulutu elde etmeleri önemli avantajlarıdır. Havasal lidar tarayıcılar ise karasal lidarlardan daha düşük çözünürlüklü veri üretirler, ayrıca karasal lidarlara göre pahalıdır (Andújar, 2013).
- Lazer sensörlerin ultrasonik sensörlere göre avantajı, ölçüm huzmesinin daha ince ve daha az ıraksak olması ve geniş bir alan hakkında bilgi vermek üzere iki boyutlu bir tarama modeli elde etmek için bir tarama mekanizmasıyla birleştirilebilmesidir (Palleja vd., 2010)
- Lidar kameralar için aydınlık ortam olması şart değildir, hem aydınlıkta hem karanlıkta çalışırlar. Bu özellikleriyle stereo kameralara göre avantajlıdırlar (Weiss and Biber, 2021).
- Lidar kameralar, stereo kameralara göre daha pahalıdır (Weiss and Biber, 2021).
- Lidar kameralar yüksek çözünürlükte veriler üretir (Weiss and Biber, 2021).
- Kar, şiddetli yağan yamur, yoğun sis gibi hava koşullarından etkilenir (Linhhoff vd., 2022).
- 3 boyutlu noktaların oluşması için tarayıcının yönünün bilinmesi gerekir. Yön bilgisi IMU ölçümleri ile belirlenir ve IMU ölçümleri güçlü elektromanyetik alanlardan etkilenir (Sardemann vd., 2023). Dolayısı ile güçlü elektromanyetik alanlar lidarın çalışma performansını etkiler.

Modern Tarımda Lidar Çalışmaları

Modern tarımda mevcut ilaçlama teknolojileri genellikle tarladaki nesneleri ayırt etmeden, bitki türünü ve çeşidini belirlemeden programlandığı şekilde ilaçlama gerçekleştirir. Bu da tarlanın her bölgesinin ilaçlanmasına, bitki olmayan bölgelerdeki canlıların zarar görmesine, bitki olmayan yerlerin de ilaçlandığı için maliyet artışına sebep olur. Bu probleme odaklanan Partel vd., çalışmalarında iki boyutlu bir lidar kullanarak traktörün arkasına monte ederek çalıştırabilecekleri otomatik ilaçlama makinesi geliştirmişlerdir. Ağaçların yüksekliğini ve gölgelilik yaprak yoğunluğunu algılamak için lidar sensörünü kullanmışlardır. İlaç püskürtecek nozulların ayarlamalarını ağacın yüksekliğine göre yapmışlardır. Aynı zamanda traktör hareket ederken sağdan ve soldan görülen bitkilerin türünün çeşidinin ne olduğunu belirleyebilmek için iki adet USB kamera kullanmışlardır. Konum ve traktör hızı bilgilerini GPS sensörüyle, püskürtücünün uygulama oranını analiz etmek için ise iki adet akış ölçer kullanmışlardır. Sadece bitkinin tespit edildiği bölgeler ilaçlandığından ilaç tüketiminden % 27 tasarruf elde edildiğini ifade etmişlerdir. Çalışmalarında tasarlamış oldukları ilaçlama tankı, lidar sensörü ve kameraların yerleşimi şekil 6'da verilmiştir (Partel vd, 2021).



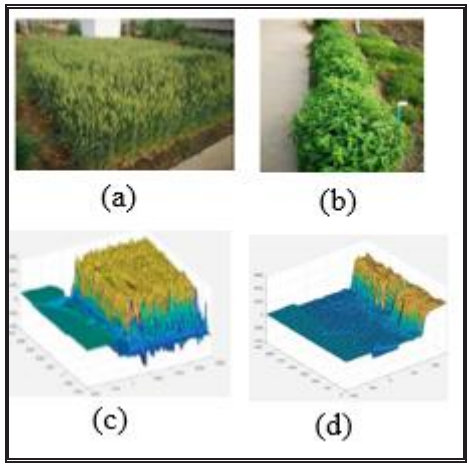
Şekil 6: Partel vd'nin çalışmalarında kullanmış oldukları (a) ilaçlama tankı, (b) lidar sensörü ve kameraların yerleşimi

İlaçlama teknolojileri alanında bir başka çalışmada pestisit uygulama alanını azaltmak ve çevreye vereceği zararın önüne geçilmesine vurgu yapılarak çözüm

üretilmesi amaçlanmıştır. Liu vd., otomatik navigasyon ve değişken oranlı püskürtmeyi birleştiren ilaçlama robotu tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Hassas değişkenli oranlı püskürtme robotu ismini verdikleri ilaçlama robotunun çevresini algılamak ve veri desteği sağlamak için 3 boyutlu lidar sensörünün üstünlüğüne vurgu yaparak çalışmalarında kullanmışlardır. Lidar sensörünün meyve ağaçlarını yatayda 360° dikeyde ise 30° tarayabileceğini ifade etmişlerdir. Püskürtme etkinliğini ve operatör güvenliğini sağlarken pestisit uygulamasını ve pestisit kayıplarını azaltmayı amaçlamışlardır. Tasarlamış oldukları ilaçlama robotunun geleneksel ilaçlama yöntemine göre %16,8'lik bir artışla en iyi püskürtme verimine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarında tasarladıkları ilaçlama robotu şekil 7'de verilmiştir (Liu vd., 2022).

Şekil 7: Liu vd.'nin tasarladıkları ilaçlama robotu (Liu vd., 2022).

Lidar kameralar yüksek tarama yoğunluğu avantajlarıyla arazilerin haritalarının oluşturulmasında da kullanılmaktadır. Bir tarladaki mahsullerin nokta bulutu verilerini toplamada oldukça başarılı oldukları bilinmektedir. Modern tarımda lidar kameraların mahsül büyümesini izlemek amacı ile de kullanımı mevcuttur. Pan vd., buğday tarlası ve amerikan nanesinin bulunduğu alanlarda lidar kamera ile görüntü alıp mahsüllerin nokta bulutu verilerinden üç boyutlu modellemesini oluşturmuşlardır. Mahsül büyümesini gerçek ölçülerle ve üç boyutlu modellendirilmiş ölçülerle karşılaştırmışlardır. Gerçek mahsül yüksekliği ortalaması buğday tarlası için 60-70 cm arasında iken, amerikan nanesi için 50-60 cm'dir. Üç boyutlu modellenmiş mahsül yüksekliği ise buğday tarlası için ortalama 64.21 cm iken amerikan nanesi için 52.40 cm olarak tespit edilmiştir. Buğday tarlası ve amerikan nanesinin lidar görüntülerinden modellenmesinin görseli şekil 8'de verilmiştir (Pan vd., 2019).

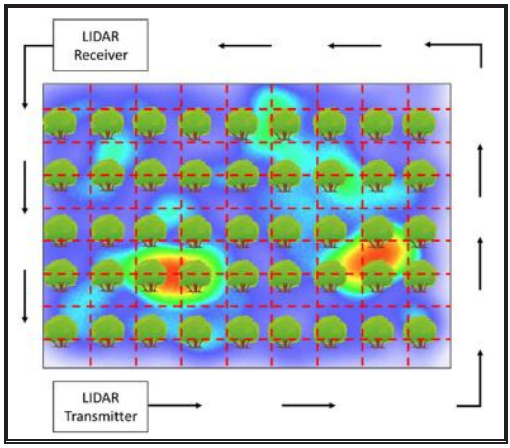


Şekil 8: Pan vd.'nin çalışmasındaki (a) buğday tarlası gerçek görüntüsü (b) amerikan nanesi gerçek görüntüsü (c) buğday tarlasının üç boyutlu modellenme görüntüsü (d) amerikan nanesinin bulunduğu alanın modelleme görüntüsü (Pan vd., 2019).

Lidar kameralar bir tarladaki mahsülün sınıflandırılması amacıyla da kullanılmıştır. Reji vd., tarımda bitki veya arazi parçası sınıflandırılmasının önemine vurgu yaparak mahsülleri sınıflandırmayı amaçlamışlardır. Çalışmalarında yüksek çözünürülüklü 3 boyutlu lidar kamera kullanarak Hindistan, Bengaluru'daki Ziraat Bilimleri Üniversitesi'nin deneysel arazilerinden elde etmiş oldukları lahana, domates ve patlıcandan oluşan mahsül verileri setini sınıflandırmak için derin öğrenme mimarisi geliştirip, uygulamışlardır. Lidar nokta bulutu verilerinden elde edilen mahsüllerin görüntülerini %81 doğrulukla sınıflandırdıklarını ifade etmişlerdir (Reji vd., 2021).

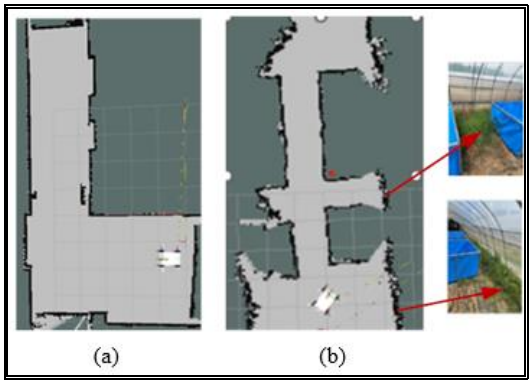
Tarımda, bitkilerin yaşamını devam ettirebilmeleri için fotosentez önemli bir yere sahiptir. Fotosentezde karbondioksit (CO_2) kullanılır ve doğadaki CO_2 konsatrasyonu bitkiler için önemlidir. Lidar sensörleri CO_2 konsantrasyonundaki en küçük değişiklikleri bile son derece hassas olarak belirlemede etkili olan sensörlerdir ve böylede tarım arazilerindeki mahsülün verimini optimize etmek için çiftçiye yardımcı olabilir. Fahey vd., bu konu ile ilgili yapmış olduğu çalışmalarında İHA üzerinde bulunan lidar sensörü ile bir meyve bahçesi etrafındaki CO_2 akışını belirlenmeyi amaçlamışlardır. Böylece modern tarımda mahsülün biyotik ve abiyotik stres faktörleri sonucuyla verim kaybı potansiyelini azaltmak adına yetiştiricilere yardımcı olacağı ifade edilmiştir. Bistatik LIDAR saha içi ölçüm konumlandırması ve açıklayıcı CO_2

akış örneği olarak çalışmalarında yer alan örnek görsel Şekil 9'da verilmiştir (Fahey vd., 2021).



Şekil 9: Fahey vd. çalışmalarındaki lidar konumlandırması ve CO_2 akış örneği (Fahey vd., 2021).

Tarımda verimi artırmanın dolaylı yöntemlerinden biri de mahsüllere yapılacak müdahalelerin zamanında olmasını sağlamaktır. Artan tarımsal iş gücü ihyacına çözüm bulabilmek için de robotik sistemlerde lidar sensörü uygulamaları mevcuttur. Tarımsal işgücü ihtiyacını giderebilecek olan robotik sistemler için lokalizasyon ve navigasyon konularında da çalışmalar yapılmıştır. Feng vd., çalışmalarında lidar kamera kullanarak tarımsal araçların lokalizasyon ve navigasyon problemi üzerine yoğunlaşmışlardır. Çalışmada orta ölçekli bir serada düşük hızlı tarım robotu için harita tabanlı otonom bir yerelleştirme ve navigasyon sistemi geliştirilmiştir. Geliştirmiş oldukları sistemin çevresini içeren haritayı anlık oluşturup güncellerken, robotun duruşununda hassas bir şekilde belirlenebildiğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda otonom olarak yer tespit edip gezebildiğini ifade etmişlerdir. Geliştirmiş oldukları sistemi doğrulamak amacıyla sera ve laboratuvar koridorunda gerçekleştirmiş oldukları testlere yönelik oluşturdukları haritalar görsel şekil 10'da verilmiştir (Feng vd., 2023).



Şekil 10: Feng vd.'nin lidarla almış oldukları verilerden oluşturdukları haritalar (a) koridor binası (b) sera alanı (Feng vd., 2023).

Modern tarımda önemli olan hususlardan biride kimyasal gübrenin doğru kullanımıdır. Tarım arazilerinde kullanılan kimyasal gübrelerin kullanımının azaltılması sürdürülebilir tarımsal kalkınma için önem arz eder. Lidar sensörünün hassas ölçümünden faydalanarak bu konu ile ilgili de çalışmalar yapılmaktadır. Zhao vd., lidar kamera kullanarak gübre nokta bulutu verilerinden gübre hacminin belirlenmesini sağlayan yüksek hassasiyetli bir algoritma önermişlerdir. Mevcut sistemde gübre deşarjının dolaylı algılama teknolojisi kullanarak yapıldığı ifade edilmiştir ve gübre deşarj algılama teknolojisi için yeni bir çözüm yolu bulmayı amaçlamışlardır. Deneyleri mısır ekim alanında, CH_4N_20, $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ ve KCI olmak üzere üç farklı gübre ile yapmışlardır. Mısır ekim alanında boşaltılacak gübreyi R^2 değeri ile 1'e çok yakın olarak belirlemişlerdir. Tasarlamış oldukları sistem Şekil 11'de verilmiştir (Zhao vd., 2021).

Şekil 11: Zhao vd.'nin tasarlamış olduğu gübre deşarj makinesi (Zhao vd., 2021).

Tarım alanlarına herbisit püskürtme işleminin doğru yapılması tarım arazilerindeki verimi etkileyen önemli faktörlerden biridir. Modern tarımda lidar sensörünün kullanıldığı farklı bir uygulama ise herbisit püskürtmenin doğru uygulanması için yapılan yabancı ot tespitidir. Andújar vd. lidar sensörünün yabacı ot tespitindeki etkinliği ve doğruluğunu değerlendirmek amacıyla İspanya'daki bir mısır tarlasında üç farklı yabani ot ve mısır bitkisini tespit etmeyi amaçlamışlardır. Lidar kamera kullanarak gerçekleştirilen ölçümler ile gerçekte ölçülen bitkinin boyları arasında doğrusal bir ilişki bulduklarını ifade etmişlerdir. Gerçek bitki boyları ile lidardan elde edilen bitki boylarının arasındaki R^2 değerinin 0,75 olarak bulunduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca toprak, yabani otlar ve mısır bitkisi için yansıma ölçümlerini de incelemişlerdir. Bitki örtüsünün zeminden %95 doğrulukla belirlendiğini ifade etmişlerdir (Andújar, 2013).

Yabancı ot tespitine yönelik bir diğer çalışmada Andújar vd., bir mısır tarlasında bulunan farklı yükseklikliere sahip dört yabani ot türünün ve ekinin lidar sensörü kullanarak boylarına göre tespit edilmesini amaçlamışlardır. Dört yabancı ot türü için tahmin edilen yükseklik değerlerinin R^2 karşılığını 0,88 olarak bulmuşlardır. Sonuçta lidar sensörlerinin yüksek örnekleme çözünürlüğü ve yüksek örnekleme hızlarında tarama yeteneği olduğundan diğer temassız menzil sensörlerine göre önemli avantajlar sağladığını ve yabancı ot tespitinde umut vaad eden bir araç olduğunu ifade etmişlerdir (Andújar, 2013).

Asma bitkisinin gücünü belirlemek için kullanılan yöntemlerden biri yaprak alan indeksinin belirlenmesidir. Yaprak alan indeksi birim zemin alanı başına tek taraflı yaprak alanı olarak tanımlanmıştır. Yaprak yüzeyinin yeterli ve iyi olması bitkinin fotosentez yapmasını artıracağından üzüm kalitesini etkilediği bilinmektedir. Arno vd. hassas bağcılıkta hareket halinde çalışabilecek "kalite" sensörlerinin geliştirilmesinin önemine vurgu yaparak lidar sistemi geliştirmişlerdir. Üzüm bağlarındaki yaprak ölçümlerini traktöre monte edilmiş bir lidar sensörü ile yaparak, yaprak alan indeksi belirlemeyi amaçlamışladır. Sonuçta asmaların yaprak alanı arttığında lidar sensörünün elde ettiği parametrelerin de arttığını belirtmişlerdir. Ağaç alan indeksinin, yaprak alan indeksi tahmin etmede 0,92 R^2 değeriyle en iyi parametre olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları lidar tarayıcı ve traktördeki pozisyonu şekil 12'de verilmiştir (Arno, 2013).

Şekil 12: LMS-200 tarayıcı (solda) ve saha denemelerinde kullanılan montaj parçası (sağda) (Arno, 2013).

Bir arazideki bitki örtüsünün yapısının ölçülmesi, pestisitlerin ve gübrelerin uygulanmasını optimize etmek için kullanılabilir. Bu durum zirai kimyasalın kullanımını azaltacağından yetişticilere büyük kolaylık sağladığı gibi kirliliğin azalması ile çevrenin korunabilmesine de katkı sağlar. Palleja vd., lidar kamera kullanarak ağaç hacimlerinin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Traktöre bağlı olan bir lidar kameradan armut bahçesindeki ağaç sıralarını tarayarak hacim tahmininin duyarlılık analizini gerçekleştirmişlerdir. Traktöre yerleştirdikleri lidar kamera Şekil 13'te verilmiştir. Lidar' dan gelen farklı yörünge hatalarının analizine odaklanıp, hataların düzeltilmediği durumlarda ağaç hacimlerinin de hatalı olacağı vurgulanmıştır (Palleja vd., 2010).

Şekil 13: Palleja vd.'nin görüntüleri aldıkları lidar kamera ve lidar kameranın yerleşimi (Palleja vd., 2010).

Modern tarımda önemli olan diğer bir faktör ekim yapılacak toprağın yüzeyidir. Toprak yüzey pürüzlülüğü tarımın yapıldığı arazilerde, uygun tohum

yatağı hazırlığı, yüzey akışının kontrolü, topraz erozyonu gibi toprağın işleme performansının değerlendirilmesinde önemli parametrelerdendir (Tekgüler, 2011). Turner vd., bu konuya odaklanarak toprak yüzey pürüzlülüğünün havadan alınan lidar görüntülerle tespit edilip edilemeyeceğini araştırmışlardır. Lidar ile tahmin edilen ve yerden ölçülmüş olan değerler arasında yüksek kolerasyon olduğunu ifade etmişlerdir. Lidar veri setlerinden üretilen tahminlerin R^2 değerini 0,98 bulduklarını belirtmişlerdir (Turner vd., 2004).

Modern tarımda lidar sensörleri umut verici sistemlerdir. Lidar sensörlerinin önemine vurgu yapmak için de çalışmalar mevcuttur. Weiss ve Biber, çalışmalarında tarım robotları için çevresel algılamada güncel teknoloji tartışmayı ve lidar sensörünün diğer 3 boyutlu sensör teknolojileriyle karşılaştımayı amaçlamışlardır. Çalışmanın bir diğer amacı da sanal ortamda bir mobil robot üzerinde 3 boyutlu Lidar sensörü kullanarak bitki algılama ve haritalamayı gerçekleştiren bir algoritmaya tasarlamaktır. Önerilen algoritmalarındaki temel prensibi nokta bulutunu bölerek nesneleri tespit eden ve zemini algılayan bir yaklaşıma dayanmaktadır. Tespit edilen yer düzlemine göre lokalizasyon ve haritalama yapılır. Düzlem tespiti için RAN-SAC algoritmasını kullanmışlardır. (Weiss ve Biber, 2021)

SONUÇ

Tarımdan maksimum verim elde edilmesi artan talebe yetişebilmek için önemli bir konudur. Gelişen teknolojinin tarım alanına da yansımaları sayesinde ortaya çıkan teknolojik aletler, tarımda verimi artırmaya katkı sağlamaktadır. Geliştirilen teknolojik aletlerin görmesini sağlayan kamera tercihi aletlerin çalışma performansını etkiler. Bu çalışmada tarımda kullanılmak üzere tasarlanacak robotik sistemlerde lidar kameraların önemine vurgulanmıştır. Lidar kameraların kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Tarım alanında da kullanım alanı yenidir. Çalışmada örnek çalışmalar incelenerek lidar kameraların tarımda kullanım alanlarına ve üstünlüklerine yer verilmiştir. Araştırmacılar için bir bakış açısı oluşturması amaçlanmıştır.

REFERANSLAR

Akyol, S., ve Uçar, A. (2019). Rp-Lidar Ve Mobil Robot Kullanılarak Eş Zamanlı Konum Belirleme Ve Haritalama. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 31(1), 137-143.

Andújar, D., Escolà, A., Rosell-Polo, J. R., Fernández-Quintanilla, C., ve Dorado, J. (2013). Potential Of A Terrestrial Lidar-Based System To Characterise Weed Vegetation İn Maize Crops. Computers And Electronics İn Agriculture, 92, 11-15. Doi: https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.12.012

Andújar, D., Rueda-Ayala, V., Moreno, H., Rosell-Polo, J. R., Escolá, A., Valero, C., Gerhards, R., Fernández-Quintanilla, C., Dorado, J. ve Griepentrog, H. W. (2013). Discriminating crop, weeds and soil surface with a terrestrial LIDAR sensor. Sensors, 13(11), 14662-14675. Doi: https://doi.org/10.3390/s131114662

Anonim (2022). *MOBİL LİDAR PROJELERİ.* https://www.koyuncuteknik.com/proje/mobil-lidar-projeleri sitesinden 23 Temmuz 2023 tarihinde alınmıştır.

Arnó, J., Escolà, A., Valles, J. M., Llorens, J., Sanz, R., Masip, J., Palacín, J. ve Rosell-Polo, J. R. (2013). Leaf area index estimation in vineyards using a ground-based LiDAR scanner. Precision agriculture, 14, 290-306. Doi: https://doi.org/10.1007/s11119-012-9295-0

Doğan, G. (2022). *LiDAR Nedir? LiDAR Sistemleri Nasıl Çalışır?*. https://teknoloji.org/lidar-nedir-lidar-sistemleri-nasil-calisir/ adresinden 23 Temmuz 2023 tarihinde alınmıştır.

Erişir, Z. (2015). Nokta Tabanlı Sınıflandırma Yöntemleri İle Lidar Verilerinin Sınıflandırılması. Yüksek Lisans Tezi, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Uzaktan Algılama Ve Cbs Programı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Fahey, T., Gardi, A. ve Sabatini, R. (2021, October). Integration Of A UAV-LIDAR System For Remote Sensing Of CO 2 Concentrations İn Smart Agriculture. In 2021 IEEE/AIAA 40th Digital Avionics Systems Conference (DASC) (Pp. 1-8). IEEE. Doi: Https://Doi.Org/10.1109/DASC52595.2021.9594474

Feng, X., Liang, W. J., Chen, H. Z., Liu, X. Y. ve Yan, F. (2023). Autonomous Localization And Navigation For Agricultural Robots İn Greenhouse. Wireless Personal Communications, 1-15. Doi: Https://Doi.Org/10.1007/S11277-023-10531-Z

Karslı, B. (2022). "Fotogrametrik Görüntü Tabanlı Nokta Bulutu Üzerinden Otomatik Bina Çıkarımı Ve Sayısallaştırma", Yüksek Lisans Tezi, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Aksaray Üniversitesi, Aksaray.

Linnhoff, C., Hofrichter, K., Elster, L., Rosenberger, P. ve Winner, H. (2022). Measuring the influence of environmental conditions on automotive lidar sensors. Sensors, 22(14), 5266. Doi: https://doi.org/10.3390/s22145266

Liu, L., Liu, Y., He, X. ve Liu, W. (2022). Precision Variable-Rate Spraying Robot By Using Single 3D LIDAR İn Orchards. Agronomy, 12(10), 2509. Doi: Https://Doi.Org/10.3390/Agronomy12102509

Palleja, T., Tresanchez, M., Teixido, M., Sanz, R., Rosell, J. R. ve Palacin, J. (2010). Sensitivity of tree volume measurement to trajectory errors from a terrestrial LIDAR scanner. Agricultural and Forest Meteorology, 150(11), 1420-1427. Doi: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.07.005

Pan, Y., Han, Y., Wang, L., Chen, J., Meng, H., Wang, G., Zhang, Z. ve Wang, S. (2019). 3D Reconstruction Of Ground Crops Based On Airborne Lidar Technology. IFAC-Papersonline, 52(24), 35-40. Doi: https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.376

Partel, V., Costa, L. ve Ampatzidis, Y. (2021). Smart Tree Crop Sprayer Utilizing Sensor Fusion And Artificial İntelligence. Computers And Electronics İn Agriculture, 191, 106556. Doi: https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106556

Petit, F. (2020). "Technology İn Agriculture: Can Lidar Transform Modern Farming?", Son Erişim Tarihi: 20.07.2023, Https://Www.Blickfeld.Com/Blog/Technology-İn-Agriculture-Lidar/

Polat, N. ve Uysal, M. (2016). Hava Lazer Tarama Sistemi, Uygulama Alanları Ve Kullanılan Yazılımlara Genel Bir Bakış. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(3), 679-692. Doi: https://doi.org/10.5578/fmbd.41390

Reji, J., Nidamanuri, R. R. ve Ramiya, A. M. (2021). Object-level classification of vegetable crops in 3D LiDAR point cloud using deep learning convolutional neural networks. Precision Agriculture, 22, 1617-1633. Doi: https://doi.org/10.1007/s11119-021-09803-0

Rivera, G., Porras, R., Florencia, R. ve Sánchez-Solís, J. P. (2023). Lidar Applications İn Precision Agriculture For Cultivating Crops: A Review Of Recent Advances. Computers And Electronics İn Agriculture, 207, 107737. Doi: https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107737

Roriz, R., Cabral, J. ve Gomes, T. (2021). Automotive Lidar Technology: A Survey. Ieee Transactions On Intelligent Transportation Systems, 23(7), 6282-6297. Doi: https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3086804

Sardemann, H., Blaskow, R. ve Maas, H. G. (2023). Camera-Aided Orientation of Mobile Lidar Point Clouds Acquired from an Uncrewed Water Vehicle. Sensors, 23(13), 6009. Doi: https://doi.org/10.3390/s23136009

Schroth, F. (2017). *Velodyne LiDAR and YellowScan Partner for Integrated LiDAR for UAVs.* https://dronelife.com/2017/10/27/velodyne-lidar-yellowscan-partner-integrated-lidar-uavs/ adresinden 23 Temmuz 2023 tarihinde alınmıştır.

Sengör, E.S. (2019). Nesne Tabanlı Segmentasyon Yöntemi İle Lidar Verilerinden Obje Çıkarımı. Yüksek Lisans Tezi, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Uzaktan Algılama Ve Cbs Programı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Tekgüler, A. ve Selvi, K. Ç. (2011). Farklı toprak işleme aletlerinin toprak yüzey pürüzlülüğüne etkisi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 26(3), 188-193.

Turner, R., Panciera, R., Tanase, M. A., Lowell, K., Hacker, J. M. ve Walker, J. P. (2014). Estimation of soil surface roughness of agricultural soils using airborne LiDAR. Remote Sensing of Environment, 140, 107-117. Doi: https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.030

Uray, F. (2022). Derin Öğrenme Tekniklerini Kullanarak Hava Lidar Nokta Bulutlarının Sınıflandırılması. Doktora Tezi, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya.

Yilmaz, H. M. ve Yakar, M. (2006). Lidar (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2(2), 23-33.

Zhao, J., Wang, X., Tian, H., Lu, Y., Guo, C. ve Liu, H. (2021). A Fertilizer Discharge Detection System Based On Point Cloud Data And An Efficient Volume Conversion Algorithm. Computers And Electronics İn Agriculture, 185, 106131. Doi: https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106131

Weiss, U. ve Biber, P. (2011). Plant detection and mapping for agricultural robots using a 3D LIDAR sensor. Robotics and autonomous systems, 59(5), 265-273. Doi: https://doi.org/10.1016/j.robot.2011.02.011

Bölüm 12

Tarımda Otonom Sistemlerin Önemi

Fatmanur ATEŞ[1]

Ramazan ŞENOL[2]

[1] Arş. Gör.; Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü. fatmanurates@isparta.edu.tr ORCID No: https://orcid.org/0000-0001-5465-2483

[2] Prof. Dr.; Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü. ramazanseno@isparta.edu.tr ORCID No: : https://orcid.org/0000-0002-7078-3229

ÖZET

Eski zamanlardan bugüne dek var olan tarım, sürdürülebilir yaşamın devamı için en önemli alanlardan biridir. Dünya üzerinde nüfusun artış göstermesiyle gıdaya olan ihtiyaçta artmaktadır, bu durum "tarım" alanının önemini daha da artırmaktadır. Nüfusun artması mevcut tarım alanlarınında azalmasına sebep olmaktadır. Mevcut tarım alanlarındaki ürünlerden en yüksek verimin elde edilmesi, tarımsal kaybın önlenmesi literatürde çalışılan güncel konulardandır. Mevcut tarım alanlarından en yüksek verimin elde edilebilmesi ve tarım arazilerinde kaybın önlenebilmesi için tasarlanan otonom sistemlerin kullanılması bu alanda güncel olan çalışmalardan en önemli olanlarındandır. Tarım alanlarında insan müdalesini ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için tarımın farklı alanlarında otonom dronlar veya otonom robotlar tasarlanmaktadır. Tarım alanlarında ürünlerin verimini etkileyen önemli işlemlere budama, ilaçlama, tohumlama, yabancı ot tespiti, hasat toplama, sulama, zararlı böcek tespiti vb. durumlar örnek olarak verilebilir. Tarımsal mücadeleleri manuel olarak gerçekleştirmek hem ekonomik hem de zaman açısından bazı olumsuzlukları beraberinde getirmektedir. Ayrıca dikkatsizlikten, yorgunluktan, bilgisizlikten ötürü tarımda verimi artırmanın aksine ekonomik olarak zarar edilmesine sebep olabilir. Bu gibi olumsuz durumları engelleyebilmek veya en aza indirgemek amacıyla tarımdaki müdahaleler için otonom sistemlerin tasarlanması ve kullanılması araştırmacıların odaklandığı konulardandır. Bu çalışmada tarımda otonom sistemlerin kullanımının önemine dikkat çekilmiştir. Tarımda verimi artırmak veya mevcut verim kaybının önüne geçmek için literatürde odaklanılan çalışmalardan örnekler verilerek otonom sistemlerin tarım alanlarında kullanılmasının üstünlüğü vurgulanmıştır. Araştırmacılar için alternatif bir kaynak olması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tarım, Otonom Sistemler, Otonom Robotlar, Otonom Dronlar, Yapay Görü

GİRİŞ

Tarım, insanların yaşamlarını sürdürebilmeleri için önemli bir alandır. Ülkemiz, Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK) 2021 yılı verilerine göre 38063 hektar tarım alanına sahiptir. Bu alan içerisine çayır ve mera arazileri de dahil edilmiştir. Mevcut tarım alanının % 52'si işlenen alanlardan oluşmaktadır. % 38,4'ü çayır ve mera alanlarının bulunduğu bölgeler, % 9,4'ünün ise uzun ömürlü bitkilerden oluştuğu ifade edilmiştir. Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı'nın değerlendirmesine göre, Türkiye'de nüfus artmakta ancak tarım alanlarının miktarları azaldığından kişi başına düşen tarım alanı gittikçe azalmaktadır. Değerlendirmede örnek olarak 1990-2018 yıllarındaki nüfus artışının %45,2 olduğu ancak tarım alanı azalmasının %39,3 olduğu vurgulanmıştır (Anonim, 2022). Buna göre tarım ürünlerine olan ihtiyacı karşılayabilmek için mevcut tarım alanlarından en üst düzeyde verimle hasat yapılması önemli bir konudur.

Tarım arazilerinde doğru ilaçlama yapmak, doğru budama yapmak, yabancı otların araziden temizlenmesi, ürünlerin doğru zamanda hasat edilmesi vb. müdahaleler verimi artıran eylemlerdir. Ancak bu örneklerden budama gibi bazı müdahaleler uzmanlık gerektirir. İnsan hatasından, dikkatsizliğinden kaynaklanacak durumlar ağaçlardan düşük verimlerde meyve elde edilmesine sebep olabilir. Yine ilaçlama gibi bazı eylemler insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiye sebep olabilir. Yada tarım için yapılan müdahaleler yoğun iş gücü gerektirebilir, zaman alabilir, maliyetli olabilir. Tüm bu ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak tarımsal amaçlarla kullanılabilecek otonom sistemler geliştirmektedir.

Tarımda kullanılan otonom sistemler havasal veya karasal olarak tasarlanabilmektedir. Otonom sistemlerin tarımda tercih edilmesi üretkenliğin ve güvenliğin artırılması için önemli olmaktadır. Otonom sistemler çalışma ortamlarında farklı zorluklarla karşılaşabilmektedirler. Örneğin; otonom karasal robotlar sera ve bağ gibi tarımsal yerlerde kullanıldığında çok dar bölgelerden geçerken bitkilere zarar vermemeleri gerekmektedir. Ayrıca arazideki müdahaleleri tamamen yapabilmek için yol takibi konusunda yetenekli olmaları gerekmektedir (Cantelli vd., 2019). Arazinin zorlu olduğu durumlarda otonom dronlar tarımsal faaliyetlerde üstünlük gösterebilir. Araziye göre, tarımsal alanda kullanılacak ihtiyaca göre karasal yada havasal otonom araçlar geliştirilmektedir.

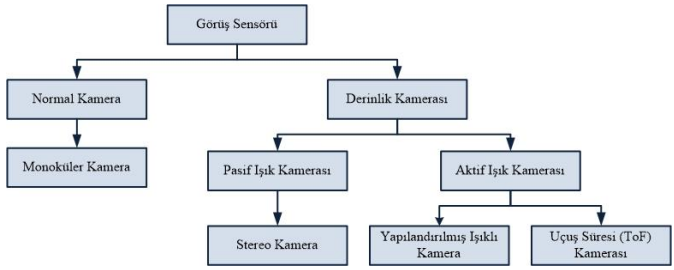
Bu çalışmada tarımda kullanılmak üzere geliştirilen havasal veya karasal tasarlanan otonom sistem çalışmalarından örnekler incelenmiştir, otonom araçların tarımda kullanımının önemine dikkat çekilmiştir. Tarımda otonom sistemlerinin kullanım amaçları, sağladıkları avantajlar vurgulanmıştır.

OTONOM SİSTEMLER

"Otonom" kelimesi dışarıdan kontrol edilmeye gerek duyulmadan kendi kendine karar verme yeteneği olan anlamlarına gelmektedir (Çelik vd., 2014). Otonom sistemler anlık olarak ortaya çıkan durumlarda her hangi bir uzman müdahalesine gerek duymadan karar alıp uygulayabilen veya uzman müdahalesini en aza indiren sistemlerdir. Otonom sistemlerin ortaya çıkabilecek durumları çözmede güvenilir olması istenir. Üzerinde çalıştığı görevde meydana gelebilecek hataları öngörmesi ve üstesinden gelebilmesi gerekmektedir (Bayındır, 2021). Günümüz Otonom sistemlerin de çalışma esnasında, cihazın mevcut konumunu iletebilmesi, içerisinde bulunduğu ortamladaki nesneleri tanıyıp görevini gerçekleştirebilmesi gibi yeteneklere sahip olması beraberinde büyük avantajlar sağlamaktadır. Tarımda otonom sistemler karasal veya havasal olarak tasarlanabilmektedir.

Tarımda Otonom Sistemlerde Kullanılan Yapay Görü Kameraları

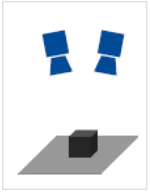
Robotların görmesi, amaçlarına göre kullanılan kameralarla yapılmaktadır. Tarımda otonom robotlarda kullanılan kamera türleri Şekil "'de de gösterildiği gibi normal kamera ve derinlik kamerası olarak temelde iki ana başlık altında sınıflandırılmıştır. Derinlik bilgisi elde etme yöntemine göre ise kameralar stereo kamerayı içeren pasif ışık kamerası, yapılandırılmış ışık kameraları ve uçuş süresi kamerasını içeren aktif ışık kamerasından oluşur (Wang vd., 2022).



Şekil 1: Tarımda otonom sistemler kullanılan kameraların sınıflandırılması (Wang vd., 2022)

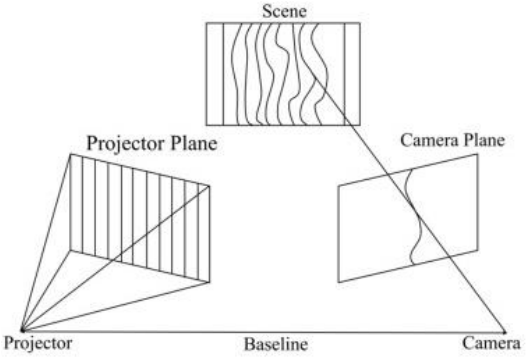
Monoküler kameralar literatürde, giriş verisini tek bir kamera kullanarak alan düşük maliyetli bir sensör olarak tanımlanmıştır. Monoküler görüşün diğer görsel sistemlerin temeli olduğu söylenebilir. Monoküler kamerayı tarımsal amaçlı tasarlanan otonom sistemlerde kullanmadan önce kameranın ön kalibrasyonunun yapılması gerekir. Tarımda objeleri ve engelleri tanımak için kenar algılama ve renk algılamada, ayrıca küçük hesaplama ve basit yapısından ötürü de tarımsal navigasyon araçlarında kullanılmaktadır (Bai vd., 2023).

Stereo kameralarda; birden fazla monoküler kamera kullanılır (Bai vd., 2023) Böylece nesnenin derinliği hesaplanabilir. Birbirlerine göre konumları bilinen kameralardan alınan görüntülerle nesnenin uzaydaki koordinatlarının hesaplanması amaçlanır (Soyaslan vd., 2016). Stereo görüntülemede, insan görme sisteminde olduğunu gibi iki kamera kullanarak farklı noktalardan alınmış görüntülerin birleştirilmesi ile üç boyutlu görüntüler oluşturulur. Stereo görüntülemede ilk aşamada nesne tespit edilir, daha sonra iki kameradan alınan görüntüler birleştirilir, yer değişimi(eşitsizlik) haritası çıkarılır, derinlik hesabı yapıldıktan sonra 3 boyutlu yeniden yapılandırılma sağlanır (Sarı, 2014; Yılmaz, 2021). Şekil 2'de stereo görüntüleme yöntemi görsel olarak verilmiştir.



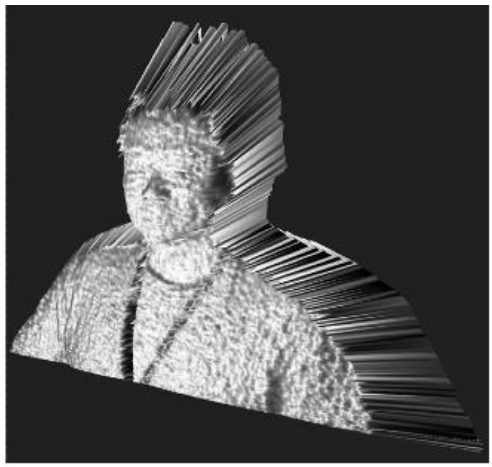
Şekil 2: Stereo Görüntüleme (Sarı, 2014)

Yapılandırılmış ışık kameraları, bir veya daha fazla monoküler kameradan ve bir projektörden oluşan sistemlerdir. Derinlik bilgisi elde etmek için bilinen bir deseni ölçülen nesnenin üzerine gönderir, kamera sahnenin yapısal aydınlatmasından görüntü almak için kullanılır. Nesneye yansıtılan modeller ile nesneden yakalanan modeller arasındaki uygunluk analiz edilerek sahnenin 3B bilgisi elde edilir. Şekil 3'de çalışma mantığının örnek görseli verilmiştir (Wang vd., 2022; Bai vd., 2023).



Şekil 3: Yapılandırılmış ışık kameralarının çalışması (Wang vd., 2022)

Uçuş süresi (ToF) kameraları, kameradan gönderilen kızılötesi sinyalin cisme çarptıktan sonra geri dönmesi ile geçen süreyi ölçüp derinlik bilgisinin çıkarılması mantığıyla çalışır (Wang vd., 2022). ToF kameralarının uygulamalarına lazer tabanlı tarayıcı içermeyen LiDAR görüntüleme sistemleri, otonom sürüşte kullanılmak üzere uygulanan nesne algılama çalışmaları, hareket algılama ve izleme, makine görüşü ve topografik haritalama gibi örnekler verilebilir. Bir ToF kamerasından alınan örnek görsel şekil 4'te verilmiştir (Seyrek, 2020).



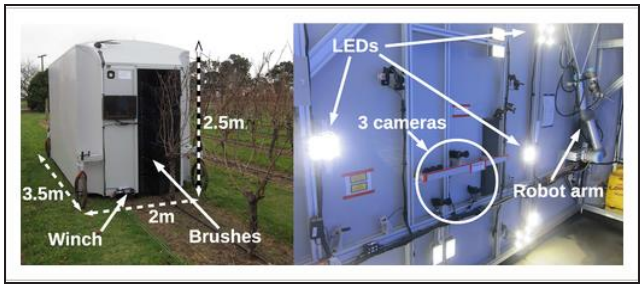
Şekil 4: ToF kamera ile taranan nesne örneği

Tarımda Otonom Sistemlerin Kullanımı

Tarımda otonom sistemler budama, ilaçlama, toprak analizi, hasat toplama gibi farklı amaçlarla ve arazinin engebesi, uygulanacak bitki çeşidinin tarım arazisineki yoğunluğu gibi farklı çalışma şartları içeren bölgelerde amaca uygun şekilde tasarlanılarak kullanılmaktadır. Otonom sistemlerin tarımda kullanımlarına dair örnekler aşağıdaki paragraflarda sıralanmıştır.

Budama tarımda verimi artırmak için yapılan önemli müdahalelerden biridir. Budama işlemi manuel yapıldığında yoğun emek gerektiren ve pahalı bir işlemdir. Literatürde tarımda otonom budama ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Botteril vd., asmaların otomatik budaması için bir robot sistemi tasarlamayı amaçlamışlardır. Tasarlamış oldukları bir mobil platformun, sarmaşık sıralarının arasında hareketiyle trinoküler stereo kameralarla asma görüntülerini aldıklarını ifade etmişlerdir. Radyal tabanlı destekçi vektör makineleri (RBF-SVM) destekli bilgisayar görüş sistemi asmaların üç boyutlu (3B) bir modelini oluşturduktan sonra yapay zeka (AI) sistemi budanacak dallara karar verip, altı serbestlik dereceli bir robot kola budama kararına göre gerekli kesimleri

yaptırmışlardır. Asma budama robotu, asma sıraları arasında uzanan mobil bir platform üzerine monte edilmiştir. 3B model ve kesme noktaları, robot hareket ederken çevrimiçi olarak hesaplanmıştır. Robot kolu kesimleri yaparken durduğunu belirtmişlerdir. Robotun 0,25 m/s hızla hareket ederken sistemin tüm asma sıralarının 3B modellerinin yeniden oluşturulduğunu ve robotun yörünge tahmininin yer gerçeğinin %1'i kadar doğru olduğunu ifade etmişlerdir. 3D modellerin, robot kolunun uzanıp kesim yapabileceği kadar hassas olduğunu belirtmişlerdir. Tasarlamış oldukları mobil platform şekil 5'te verilmiştir (Botteril vd., 2017).



Şekil 5: Botteril vd.'nin otonom budama için tasarladıkları mobil platform (Botteril vd., 2017).

Yabancı otlar tarımda bitkilerin su, besin maddesi ve ışık gibi önemli büyüme faktörlerini almak için rekabete girer. Bazı bitkilerin gelişme hızlarının yavaş olmasından ve yabancı otlarla rekabet edememesinden ötürü yabancı otlar tarımda zarara sebep olurlar. Bitkilerin sağlıklı gelişimleri için yabancı otlarla mücadele büyük önem taşır. Bu amaçla Sabancı çalışmasında yabancı otları tespit ederek ilaçlayan bir robot tasarlamıştır. Şeker pancarı üretimi yapılan bir tarlada kullanılmak üzere tasarlanan bu robot sıra arasındaki yabancı otları renk bilgisine göre, sıra üzerindeki yabancı otları ise şekil ve renk bilgisine göre tespit edip ilaçlamıştır. Deneylerde ilaçlama sıvısını temsilen mürekkepli su uygulanmıştır. Görüntü işleme teknikleri ile sıra arasındaki yabancı otlar; görüntü işleme ve yapay sinir ağları yöntemleriyle ise sıra üzerindeki yabancı otlar tespit edilmiştir. Ayrıca ilaçlama robotunun 8 farklı püskürtme hızı deneyi yapılmış yabancı otlar üzerine ilacın yabancı otu örtme yüzdeleri, yabancı ota uygulanan ilaçlama sıvısı miktarları ve tasarlanan sistemin yabancı otu tanıma performansı belirlenmiştir. Sonuç olarak robotunun hızının artmasının da, ilacın uygulama mesafesinin azalmasının da ilaçlama sıvısının bitki yüzeyini örtme yüzdelerini ve gerekli ilaçlama sıvısını azalttığını vurgulamıştır. Geliştirilen

akıllı yöntemle ilaçtan %53,96 değerinde tasarruf edildiğini ifade etmiştir. İlaçlama robotunun görseli şekil 6'da verilmiştir (Sabancı, 2013).

Şekil 6: Sabancı'nın geliştirmiş olduğu ilaçlama robotu (Sabancı, 2013).

Tarımda verimi artırmak için araştırmacıların çalıştığı konulardan biri de tarımda kullanılan makinelerin konumlarının ve toprağın durumu hakkında mevcut verilerin uzak noktalara iletilmesini sağlayacak telemetri çalışmalarıdır. Örneğin; Ünal, yapmış olduğu çalışmasında 2012 yılında temmuz, ağustos aylarında farklı iki tarlada bulunan 30 GPS noktası kullanarak diferansiyel sürüş sistemine sahip bir mobil robot tasarlayarak tarlalarda bulunan anız yoğunluğunu tespit etmeyi amaçlamıştır. GPS sistemi mobil robotun yönlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Mobil robotun üzerinde bulunan bir fotoğraf makinesi ile anız görüntüleri elde edilmiş daha sonra görüntüler gri formata dönüştürülüp, anızı tanımlayan renk değerleri belirlenmiştir. Ve görüntü içerisinde anıza ait renk değerlerinden anız yoğunluğu hesaplanmıştır. Sonuçta tasarladığı mobil robotun doğrusal olan hedefler için 10-12 cm hata ile, dağınık hedefler için 15-17 cm hata ile ulaşabileceğini ifade etmiştir. Ayrıca anız yoğunluğunu %93 oranında tespit etmiştir. Tasarladığı mobil robot görüntüsünün görseli Şekil 7'de verilmiştir (Ünal, 2012).

Şekil 7: Ünal'ın tasarlamış olduğu anız yoğunluğu tespit eden mobil robot (Ünal, 2012).

Güzey vd., hasat toplama amacıyla birbirleriyle haberleşme içerisinde bulunan otonom insansız kara ve hava araçlarına yerleri daha önceden belirlenmiş olan elmaların zaman minimizasyonu ile toplatılmasını amaçlamışlardır. Öncelikle k ortalama kümeleme yöntemini kullanarak kara araçlarının durakların yerlerinin belirlenmesini sağlamışlardır, daha sonra belirlenen duraklar için hava araçlarının elma toplama sürelerini optimize etmeye çalışmışlardır. Optimize etmek için hazırlanan model gurubi çözücüsü ile çözülmüştür (Güzey vd., 2020).

Tarımda otonom sistemler ağaçlandırmada da kullanılmaktadır. Yangal vd., ağaçlandırmayı artırabilmek amacıyla, gübreli kil toplarının içerisine meyve ve çam tohumlarını koyarak İHA vasıtasıyla bir arazi üzerine bırakıp deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deneyleri iki gruptan oluşmaktadır. İlk çalışma grubu için topları sadece kil ve tohum kullanarak, ikinci çalışma grubu topları ise kil, gübre ve tohumdan oluşmaktadır. İçerisinde 300 adet elma, badem ve çam tohumu bulunan topları 200 metre yükseklikten Kütahya il sınırlarında Enlem 39° 27' 54.81"K Boylam 30° 1' 7.86"D GNSS (Küresel konum belirleme sistemi) koordinatlarında bulunan, 27.400 m^2' lik proje bölgesine havadan bırakılmıştır. Kil ve tohum içeren toplarının %73,333333333 oranında, kil, gübre ve tohum içeren toplarının ise %94,6666667 oranında fideleşme başarısı gösterdiğini ifade etmişlerdir. Çalışmalarından alınan gübreli kil topu şekil 8'de verilmiştir (Yangal vd., 2022).

Şekil 8: Yangal vd.'nin çalışmalarından alınan gübreli kil topu (Yangal vd., 2022).

Tarımda en büyük tehlikelerden biri de farklı sebeplerden ötürü meydana gelebilecek olan yangınlardır. Tarım arazilerinde meydana gelebilecek yangınlara erken müdahale edebilmek için de otonom sistemlerin kullanımı önemlidir. Kara vd., anız yangınlarının zamanında müdahale edilemezse

kontrolden çıkması ile geniş çaplı yangın oluşturacağını ifade ederek tarım ve orman arazisinin çok fazla hasar almasının önlenmesi için sürü itfaiye dronlarının önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarında sıvı taşıma özellikleri bulunan, beş adet itfaiye dronunun arasından optimum dronu seçmeyi amaçlamışlardır. Dronların tank kapasitesi, püskürtme hızı, uçuş hızı, tam kapasiteli havada kalma süresi, optimum atış irtifası ve birim fiyatı olmak üzere altı parametresi dikkate alınıp, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS, Analytic Hierarchy Process-AHP) yöntemi ile belirlenen kriterler ağırlıklandırılmış daha sonra ise COPRAS yöntemi ile optimum dron belirlenmiştir. AHP yöntemi kullanılmasıyla en önemli kriterlerin 0.332, 0.242 ve 0.198 ağırlık değerlerini veren tank kapasitesi, püskürtme hızı ve tam kapasiteli havada kalma süresi olduğunu ifade edip, COPRAS yöntemine göre optimum dronu seçmişlerdir (Kara vd., 2023).

Tarımda önemli müdahalelerden biri ilaçlamadır. İlaçlama gerekli olmasına karşın çevre için ve diğer canlılar için tehlike arz etmektedir. Ayrıca işlem oldukça zahmetli ve zaman alıcıdır. İlaçlamanın sadece bitkiye yapılması, insanların bu kimyasallara maruz kalmaması için otonom ilaçlama sistemlerinin geliştirilmesi ve kullanılması önemlidir. Hejazipoor vd., bitki yığınının hacmini hesaplayıp otomatik püskürtme yapabilen dört serbestlik derecesine sahip otonom bir robot tasarlamışlardır. Tasarlamış oldukları robot bitki sıraları boyunca hareket edip bitki sapını algıladığında durup almış olduğu renkli görüntüden bitkinin toplu hacmini hesaplayıp ilaçlama işlemini gerçekleştirmektedir. Bitkinin boyuna göre püskürtme yüksekliği ayarlanmaktadır. Robotun ortalama çalışma süresinin 1,7 m yüksekliğindeki bir bitki için 54 s olduğunu ifade etmişlerdir. Robotun algılama hatasının ise %19 olduğunu belirtmişlerdir. Şekil 9'da çalışmaları için tasarlamış oldukları robotları verilmiştir (Hejazipoor vd., 2021).

Şekil 9: Hejazipoor vd.'nin ilaçlama robotu (a) SolidWorks çizimi (b) İnşa Edilmiş Şekli (Hejazipoor vd., 2021).

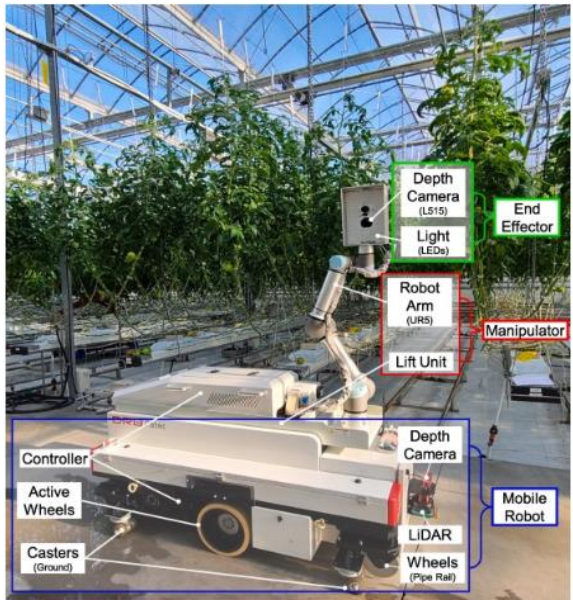
İlaçlamanın yapılacağı arazi kolay ulaşılabilir olmayabilir, arazi şartlarının zorlu olduğu yerlerde otonom dronlar ilaçlama için büyük kolaylık sağlayabilirler. İnan ve Karci, ilaçlama için arazi şartlarının zorlu olduğu, kara araçlarının ve insanların araziye girmekte zorlanacağı durumlarda kullanılması ideal olan dronlar için otonom rota planlaması yapmışlardır. Otonom dronların ağaç yapraklarındaki taçlara ilacın eşit dağıtılmasında önemli rolü olduğunu ifade etmişlerdir. Drondan aldıkları görüntüleri pythonda Warp Perspective işlemi uygulayarak perspektif görüntüler elde etmişlerdir. Segmente edilen görüntülerden ağaçların tespiti yarı denetimli öğrenme sinir ağlarını kullanan DeepForest modeli ile sağlanmıştır. Ağaçlar dikdörtgen içerisine alınıp orta nokta tespit edildikten sonra, orta noktalardan graf oluşturmuşlardır. Daha sonra optimum rota planlaması yapmışlardır. Çalışmalarında tanınan ağaçların dikdörtgen içerisine alındığı örnek görsel şekil 10'da verilmiştir (İnan ve Karci, 2021).

Şekil 10: İnan ve Karci'nin çalışmalarındaki drondan aldıkları görüntülerin tanınması görseli (İnan ve Karci, 2021).

Tarımda bitkilerin doğru bir şekilde, zamanında sulanması büyümelerini, gelişimlerini ve verimlerini doğrudan etkiler. Tarımda otonom sulama ile ilgili çalışmalarda mevcuttur. Sitharthan vd., yapay zeka destekli otonom sulama sistemi geliştirmişlerdir. Yapay zeka ve 6G özellikli nesnelerin interneti (Internet of Things - IoT) kullanarak geleneksel sulama sistemini otonom sulama sistemine dönüştürmeyi amaçlamışlardır. Otonom sistemleri yağış tahminlerini ve iklim değişikliklerini önceki hava verilerine göre tahmin eden bir mikroişlemci içerisine gömülmüş tahmin algoritmasına dayanmaktadır. Aynı zamanda toprağın nem bilgilerini de alıp yeterli miktarda su vermeyi

amaçlamışlardır. Sonuçta %86,34 doğruluk elde etmişlerdir (Sitharthan vd., 2023).

Tarımda bitkilerin verimlilikleri için büyüme durumları çiftçiler tarafından izlenebilmektedir. Bitkilerin gelişim süreçlerinin uygun olmaması meyve ve çiçek verimini etkileyebilir. Büyüme bilgisinin ölçümü manuel olarak yapıldığında ölçümlerde tutarsız sonuçlar ve hatalar olabilir. Cho vd., bu probleme odaklanarak derin öğrenmeye dayalı bir yaklaşımla bitki büyüme bilgisini otomatik olarak ölçen akıllı çiftlik robotu tasarlamışlardır. Hem RGB, hemde derinlik bilgilerini kullanan RGB-D görüntü füzyonu ile geleneksel yönteme kıyasla mAP değerini domates bitkisi için %3,8, salatalık bitkisi için ise %0,8 oranında iyileştirdiklerini ifade etmişlerdir. Tasarlamış oldukları akıllı çiftlik robotunun görseli şekil 11'de verilmiştir (Cho vd., 2023).



Şekil 11: Cho vd.'nin bitki büyümesini takip etmek için tasarladıkları akıllı çiftlik robotunun görseli (Cho vd., 2023)

Bitkilerin tarım arazilerinde sağlıklı olarak büyüyebilmelerinin önündeki en büyük engeller zararlı böcekler, hastalıklar ve yabani otlardır. Tarım arazilerinden alınacak verimi artırmanın en önemli yollarından biri de haşere kontrolü yapmaktır. Literatürde bu konuya odaklanan çalışmalarda mevcuttur. Chung vd., bir sera ortamında böcek zararlılarını kontrol etmek için Cabbot ismini verdikleri bir otonom robot tasarlamışlardır. Seranın üst kısmına yerleştirmiş oldukları otonom robotun numune alma, haşere tanıma ve kimyasal

püskürtme yapma yeteneğine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Sonuçta Cabbot'un seracılıkta böcek popülasyonunun düşük olduğu durumlarda erken uyarı için kullanım potansiyeline sahip olduğunu belirtmişlerdir (Chung vd., 2014).

Tarımda Otonom Sistemlerin Avantajları

- Bitkilerin sağlıklı gelişimleri için tarım alanlarında zararlılarla mücadele edilmesi gerekmektedir. Bu mücadeleler kapsamında yapılan ilaçlama işlemi insan sağlığı açısından tehlikelidir. Ayrıca ilacın insan hatasından dolayı az yada çok atılma durumu olabilir. Tarımda otonom ilaçlama robotları insan sağlığı açısından oluşan bu riski ortadan kaldırılmasına yardımcı olabilir, ayrıca içerisinde bulunduracağı yapay zeka destekli sistemler ile bitkinin ihtiyacına göre ilaçlama yapılabilir.
- Büyük arazilerde tohum ekimi yapmak zaman alıcı olabilir. Tohum ekme amaçlı tasarlanan otonom robotlarla zamandan tasarruf sağlanabilir, verimli tohumlama yapılabilir.
- Budama gibi bitkinin verimini doğrudan artıracak önemli tarımsal müdahalelerde yapay zeka destekli otonom robotların kullanılması ağaç için doğru tekniğin uygulanmasında etkili olabilir, ayrıca budamada insan yaralanmalarının önüne geçilmesi için de otonom sistemlerin kullanımı önemli olabilir.
- Ürünlerin tohumlamadan hasada kadar geçen sürede yapılması gereken müdahaleler yoğun insan gücü isteyebilir. Otonom tarım robotları kullanılarak tarımda insan gücü azaltılabilir.
- Uzmanların müdahale etmekte zorlandığı dik arazilerde yetişen bitkilere yapılacak müdahalelerde otonom tarım robotları gerçekleştirilecek işleri kolaylaştıracaktır.
- Kimyasal gübre kullanımı gibi bitkilerin gelişmesinde önemli olabilecek alanlarda gübre miktarını bitkilerin ihtiyacına göre ayarlayan otonom robotların kullanılması hem çiftçiyi zarara uğratmayacak hem de çevre kirliliğini önleyici bir müdahale olacaktır.
- Tarımda verimin artırılması bitkilerin sağlıklı olmalarına bağlıdır. Bitkilerin sağlığı düzenli olarak izlenmelidir. Bitkilerin hastalıklarını, gelişimlerini izleyebilen tarım robotları zamanında müdahaleyi sağlayacak ürün verimini artırabilir.
- Yabancı ot tespiti ve temizlenmesi emek ve dikkat gerektiren bir iştir. Zararlı ot kökten alınmadığında tekrar büyüyebilir. Otonom robotlar

kullanılarak yabancı ot tespiti yaptırılıp farklı yöntemlerle yabancı otlar temizlenebilir.

- Tarım arazisinden ürün hasadı, ürünler farklı günlerde olgunlaşabildiğinden uzun bir süreçtir. Olgunlaşan ürünlerin tespit edilip doğru bir şekilde toplanması otonom robotlar tarafından yapılırsa zamandan tasarruf sağlanabilir, doğru hasat yapılabilir.
- Tarımsal müdahalelerin otonom robotlara yaptırılmasıyla insanın dikkatsizliğinden, bilgisizliğinden kaynaklı sorunların ortadan kaldırılmasına veya azaltılmasına yardımcı olabilir.

SONUÇ

Tarım, yoğun iş gücü gerektiren, zahmetli ama sürdürülebilir yaşamın devam edebilmesi için gerekli olan alanlardan biridir. Gelişen teknoloji yaşamın her alanına olduğu gibi tarım alanına da uygulanmaktadır. Tarımda kullanılmaya başlanan otonom sistemler çiftçilere kolaylık sağlamanın yanında tarımda verimi artırmada önemli rol oynamaktadır. Tarımda kullanılanan otonom sistemlerin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada tarımda otonom sistemlerin kullanımının önemi örneklerle açıklanmıştır. Yapılan çalışmalardan tarımın farklı alanlarında otonom sistemlerin kullanımının avantajları verilmiştir. Çalışmanın bu alandaki araştırmacılar için bir bakış açısı oluşturması amaçlanmıştır.

REFERANSLAR

Anonim (2022). "Tarım-Kişi Başına Tarım Alanı" Son erişim tarihi: 20.07.2023. https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/kisi-basina-tarim-alani-i-85832#:~:text=T%C3%9C%C4%B0K'in%202021%20y%C4%B1l%C4%B1%20verilerine,%C3%A7ay%C4%B1r%20ve%20mera%20alanlar%C4%B1%20olu%C5%9Fturmaktad%C4%B1r

Bai, Y., Zhang, B., Xu, N., Zhou, J., Shi, J. ve Diao, Z. (2023). Vision-based navigation and guidance for agricultural autonomous vehicles and robots: A review. Computers and Electronics in Agriculture, 205, 107584. Doi: https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107584

Bayındır, S. (2021). Otonom Araçlarda Sözleşme Dışı Hukuki Sorumluluk Hallerinin Değerlendirilmesi. İstanbul Aydın Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 7(2), 383-410.

Botterill, T., Paulin, S., Green, R., Williams, S., Lin, J., Saxton, V., ... & Corbett-Davies, S. (2017). A robot system for pruning grape vines. Journal of Field Robotics, 34(6), 1100-1122. Doi: https://doi.org/10.1002/rob.21680

Cantelli, L., Bonaccorso, F., Longo, D., Melita, C. D., Schillaci, G., & Muscato, G. (2019). A small versatile electrical robot for autonomous spraying in agriculture. AgriEngineering, 1(3), 391-402. Doi: https://doi.org/10.3390/agriengineering1030029

Cho, S., Kim, T., Jung, D. H., Park, S. H., Na, Y., Ihn, Y. S., & Kim, K. (2023). Plant growth information measurement based on object detection and image fusion using a smart farm robot. Computers and Electronics in Agriculture, 207, 107703. Doi: https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107703

Chung, B. K., Xia, C., Song, Y. H., Lee, J. M., Li, Y., Kim, H., & Chon, T. S. (2014). Sampling of Bemisia tabaci adults using a pre-programmed autonomous pest control robot. Journal of Asia-Pacific Entomology, 17(4), 737-743. Doi: https://doi.org/10.1016/j.aspen.2014.06.009

Çelik, H., Olcay, T., Akkan, T., Akkan, L., Geçici, Y., Güler, O., ... & Engin, A. (2014). Otonom temizlik robotu. Mkt-2014 Proje Tabanlı Mekatronik Eğitimi Çalıştayı, Sinop sunulmuş bildiri.

Güzey, A., Akıncı, M. M., & Altan, Ş. (2020). Otonom Kara ve Hava Araçları ile Akıllı Tarım: Hasat Optimizasyonu Üzerine Bir Uygulama. Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 207-220. Doi: https://doi.org/10.26745/ahbvuibfd.706304

Hejazipoor, H., Massah, J., Soryani, M., Vakilian, K. A., & Chegini, G. (2021). An intelligent spraying robot based on plant bulk volume. Computers and Electronics in Agriculture, 180, 105859. Doi: https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105859

İnan, M., & Karci, A. (2021). Tarımda ağaç ilaçlamanın drone'larla yapılmasında yeni bir yöntemin geliştirilmesi ve uygulanması. Computer Science, 6(2), 72-89.

Kara, M., Yumuşak, R., & Tamer, E. R. E. N. (2023). Anız yangınlarına müdahale için itfaiye drone seçimi: Giresun örneği. Journal of Aviation Research, 5(1), 1-15. Doi: https://doi.org/10.51785/jar.1180613

Sabanci, K. (2013). Şeker pancarı tarımında yabancı ot mücadelesi için değişken düzeyli herbisit uygulama parametrelerinin yapay sinir ağlarıyla belirlenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi.

Sarı, M., (2014). "3D Görüntü İşleme Teknikleri – 1", Son Erişim Tarihi: 12.06.2023, http://www.mavis.com.tr/blog/?p=2201

Seyrek, S. (2020). "Time of Flight (ToF) Sensör Nedir, Nasıl Çalışır?", Son Erişim Tarihi: 02.08.2023. https://www.elektrikport.com/makale-detay/time-of-flight-(tof)-sensor-nedir-nasil-calisir/22846#ad-image-0

Sitharthan, R., Rajesh, M., Vimal, S., Kumar, E. S., Yuvaraj, S., Kumar, A., ... & Vengatesan, K. (2023). A Novel Autonomous Irrigation System for Smart Agriculture using AI and 6G enabled IoT network. Microprocessors and Microsystems, 104905. Doi: https://doi.org/10.1016/j.micpro.2023.104905

Soyaslan, M., Nart, E., & Çetin, Ö. (2016). Stereo kamera sisteminde aykırılık haritaları yardımıyla nesne uzaklıklarının tespit edilmesi. Sakarya university journal of science, 20, 111-119.

Ünal, İ. (2012). GPS yönlendirmeli tarımsal bir robotun geliştirilmesi ve anız yoğunluğunun belirlenmesi örneğinde kullanımı üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yangal, H. S., Karakoç, A., Akbulut, A., & Gedikağaoğlu, M., (2022). "Kil Topu İle Uygulamalı Drone Destekli Akıllı Tohumlama Ve Ağaçlandırma." Uluslararası Biyosistem Mühendisliği Dergisi, 3(1), 18-31.

Yılmaz, E., (2021). "Stereo Görüntüleme Nedir?", Son Erişim Tarihi: 12.06.2023, https://www.aydinlatma.org/stereo-goruntuleme-nedir.html

Wang, T., Chen, B., Zhang, Z., Li, H., & Zhang, M. (2022). Applications of machine vision in agricultural robot navigation: A review. Computers and Electronics in Agriculture, 198, 107085. Doi: https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107085

Bölüm 13

Lojistik ve Tedarik Zincirinde Dijitalleşme

İlknur YARDIMCI COŞKUN[1]

[1] Maltepe Üniversitesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü,
ilknuryardimci@maltepe.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7183-6142

ÖZET

Tedarik zinciri yönetimi, doğru ürünün müşteriye doğru zamanda, doğru yerde, doğru fiyata, mümkün olan en düşük maliyetle ulaşmasını sağlamak için malzeme, bilgi ve para akışının entegre yönetimidir. Tedarik zincirlerinin öngörülebilir ve öngörülemeyen değişikliklere uyum sağlayabilmeleri için çevik ve esnek olmaları ve zincirin kırılmasına neden olabilecek değişikliklere karşı dayanıklı olmaları gerekmektedir. Son yıllarda yaşanan pandemi, doğal afetler gibi nedenler ile lojistik de dahil olmak üzere tedarik zincirlerinin tüm süreçlerinde dijitalleşme hız kazanmıştır. Manuel sistemlerin yerini alan bu sistemler ile daha hızlı, daha esnek ve direçli zincirler elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında lojistik ve tedarik zinciri yönetimi genel tanımlamaları sonrası kurumları dijital değişime teşvik eden sebepler incelenmiş, dijitalleşme yolculuğunun nasıl olması gerektiği ana hatları ile belirlenmiştir. Dijital lojistik ve tedarik zinciri süreçleri için gerekli olan dijital bileşenler yazın taraması yönetemi ile belirlenerek, kullanım alanları ve avantajları ile verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dijitalleşme, Lojistik, Tedarik Zinciri Yönetimi, Teknoloji.

ABSTRACT

Supply chain management is the integrated management of material, information and money flow to ensure that the right product reaches the customer at the right time, at the right place, at the right price, at the lowest possible cost. In order for supply chains to adapt to predictable and unpredictable changes, they need to be agile and flexible and resilient to changes that can cause chain breakage. Due to reasons such as pandemics and natural disasters in recent years, digitalization has accelerated in all processes of supply chains, including logistics. With these systems, which have replaced manual systems, faster, more flexible and durable chains have been obtained. Within the scope of this study, after the general definitions of logistics and supply chain management, the reasons that encourage institutions to digital change were examined, and how the digitalization journey should be outlined. The digital components required for digital logistics and supply chain processes have been determined by the literature review method and given with their usage areas and advantages.

Keywords: Digitalization, Logistics, Supply Chain Management, Technology.

GİRİŞ

Tedarik zinciri veya lojistik ağ, ürün(ler)in veya hizmet(ler)in tedarikçiden müşteriye hareket(ler)i de dahil olmak üzere, bu süreçte yer alan tüm organizasyonel sisteme, insanlara, teknolojiye, faaliyetlere ve kaynaklara verilen addır (Nagurney, 2006). Tedarik zincirinin işleyişi sırasında doğal kaynaklar, hammaddeler ve bileşenler nihai ürüne dönüştürülür ve son müşteriye teslim edilir.

Tedarik zinciri yönetimi (SCM), başta müşteriler ve üreticiler olmak üzere tedarik zincirinde yer alan tüm şirketlerin uzun vadeli performansını artırmak için zincirdeki tüm şirketlerin işlevlerinin, süreçlerinin ve iş planlarının stratejik ve sistematik olarak yönetilmesidir. (SCC, 2008). Diğer bir deyişle, temel iş süreçlerini zincire entegre ederek müşteri memnuniyetini artıracak stratejilerin ve iş modellerinin oluşturulmasıdır.

Lojistik; "doğru malzemenin, doğru miktarda, doğru yere, doğru zamanda, doğru durumda, doğru fiyatla ulaşması" olarak tanımlanmıştır (Shapiro,1985). Lojistik; müşteriler için yer ve zaman avantajları yaratan bir tedarik zinciri oluşturmak için bir araya gelen birbirine bağlı faaliyetlerin uyumlu bir şekilde uygulanmasıdır (Yamak, 1999). Bu nedenle lojistik yönetimi, müşteri ihtiyaçlarını karşılamak ve ilgili bilgileri, malları ve hizmetleri başlangıç noktasından varış noktasına teslimat, planlama, kontrol ve yürütme noktasından verimli bir şekilde taşımak ve depolamak için kullanılan tedarik zinciri yönetiminin bir bileşenidir. Lojistik; Nakliye ve depolamanın birincil faaliyetlerini ve paketleme, katma değerli hizmetler, gümrük, sipariş yönetimi, envanter yönetimi, depo, sigorta, teftiş ve gözetim gibi tamamlayıcı faaliyetleri içeren tedarik zincirinin bir işlevidir. Lojistik, ürünün/yükün menşei ile varış yeri arasındaki tüm fiziksel hareketlerin koordinasyonudur. Ürün grubu ile ilgili lojistik faaliyetler; taşımacılık, ürünleri depolama, paketleme ve katma değerli hizmetler iken hizmet akışı ile ilgili faaliyetler; gümrükleme, sigorta, muayene/muayene, envanter/stok yönetimi ve sipariş yönetimi/müşteri hizmetleridir.

Lojistik de dahil olmak üzere tedarik zincirlerinin tüm bileşenleri küreselleşmenin etkisi ile artan rekabet, son yıllarda yaşanan pandemi, doğal afetler gibi nedenler ile çevik ve esnek süreçlere sahip olma ve uzaktan yönetilebilme becerilerini edinmek zorunda kalmıştır. Bu durumun etkisi ile lojistik ve diğer tedarik zinciri yönetim süreçlerinde dijitalleşme hız kazanmıştır.

Dijitalleşme Neden Gereklidir?

Teknoloji kullanımı çoğu zaman teknolojik ürün üretimi yapan firmalardan itme sistemi ile gerçekleşmektedir. Ürün piyasaya sürüldükten sonra kullanımının yaygınlaşması ile kendi talebini yaratmaktadır. Firmaların ve sektörlerin dijitalleşmesi ise itme sistemi ile değil çekme sistemi ile gerçekleşmektedir. Yani bu teknoloji firmadan müşteriye sunulan bir fırsat değil müşteri tarafından firmalardan talep edilen bir gereksinimdir. Artan teknoloji ve internet kullanımı ile müşteriler, ödeme, ürün ile ilgili detaylı bilgi alma, ürünün hareketlerini ve rotasını takip edebilme, rakip ürünler ile kıyaslayabilme, teslim alma ve gerekirse iade süreçleri gibi tüm süreçlerde çevrimiçi olanakları tercih ve talep etmektedir. Müşterilerin bu talebini karşılamak üzere firmalar dijital teknolojilere yatırım yaparak izlenebilirliği sağlarken, hız ve esneklik avantajlarını da elde ederler.

Tablo 1.1'de Deloitte tarafından gerçekleştirilen ankette, dijital değişimi teşvik eden faktörler, artan verimlilik ve müşteri ihtiyaçlarına hızlı yanıt verme olarak seçilirken, farkın, yeni değişimin ve yeni gelir akışları yaratmanın teşviklerde değerlendirilmediği görülmüştür. Aynı çalışmada dijital değişimi teşvik etme nedenlerine bakıldığında, verimliliğin artırılması (%17) ve müşteri ihtiyaçlarına hızlı cevap verebilmek (%16) tüm seçenekler arasında en öncelikli konu haline geldiği görülmüştür.

Seçimlerin sıralaması incelendiğinde, en önemli nedenler verimlilik artışı (%21), rekabet avantajı (%19), müşteri ihtiyaçlarına hızlı cevap verebilme (%19) ve karlılık (%12) olmak üzere dört ana seçenektir. Dijital değişimin en belirgin örneklerinin düzenli olarak sunulduğu farklılaştırma, ürün inovasyonu, yeni gelir fırsatları yaratma, yeni pazar penetrasyonunu hızlandırma ve pazara dahil olmayı artırma dijital değişimi teşvik etme nedenleri arasında etkili seçimler değildir. Samsung Electronics ve GfK tarafından 2014 yılında küçük ve orta ölçekli işletmelerle yapılan çalışmada; Benzer şekilde maliyet kısıtlaması (%66), müşteri odaklılık (%49) ve küresel ekonomi (%40) geleceğin iş dünyasında giderek daha fazla önem kazanacak konular olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 1.1. Kurumları Dijital Değişime Teşvik Eden Sebepler
Kaynak: Deloitte

	1.En Önemli	2.En Önemli	3.En Önemli	4.En Önemli	5.En Önemli
Verimliliği Arttırmak					
Rekabet Avantajı					
Müşteri İhtiyaçlarına Hızlı Cevap Verebilmek					
Karlılık					
Müşteri Bağlılığı - Yeni Müşteri Kazanımı					
Karar Verme Sürecini Optimize Etmek					
Farklılaşmak					
Yeni Gelir Fırsatları Yaratmak					
Sosyal Medya Gücü					
Pazara Girme Hızının Arttırılması					
Ürün İnovasyonu					
Yeni Pazarlara Penetrasyon Sağlanması					

En çok tercih edilen İkinci en çok tercih edilen
Üçüncü en çok tercih edilen

Şirketler için önemli dış gelişmeler incelendiğinde, makroekonomik faktörler ile kalifiye insan kaynağı ve dijital teknolojiler en önemli şirket dışı gelişmeler olarak ortaya çıkmaktadır ve dijital teknolojilerin operasyonel alanda verimliliği artırdığı ve veri/veri analitiği alanlarında öncelikli değer yarattığı düşünülmektedir (Deloitte, 2016). Tablo 1.2'de dijital değişimi tetikleyen faktörler verilmiştir.

Tablo 1.2. Dijital Değişimi Tetikleyen Faktörler

Tüketici / Müşteri Davranışı	Dijitalleşme & Analitik	Üssel Büyüyen Teknolojiler
▪ Müşteri Deneyimi, ▪ Birlikte yaratma, ▪ Mobile Geçiş, ▪ Sosyal Medyaya Geçiş, ▪ Güçlendirilmiş Müşteri	▪ İnternete Bağlı Cihazlar (Nesnelerin İnterneti), ▪ Tüketici Cihazları, ▪ Kitle Kaynak Kullanımı, ▪ Kitle Sermaye Kullanımı, ▪ Kişisel Veri Analitiği, ▪ Hizmet Olarak Platform	▪ Yapay Zeka, ▪ 3D Baskı, ▪ Robot Teknolojisi, ▪ Sensörler, ▪ Artırılmış Gerçeklik, ▪ Nanoteknoloji, ▪ DNA Sıralama, ▪ Nörobilim & Biyoteknoloji, ▪ Yeni Enerji vd.

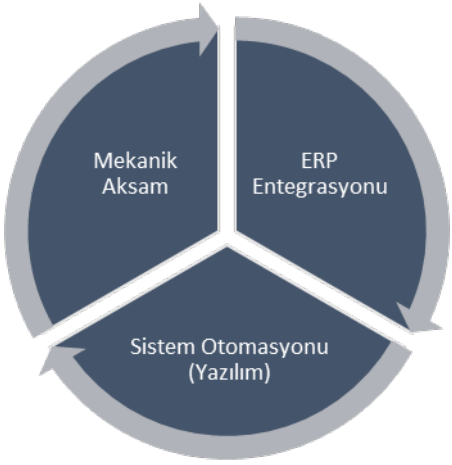
Kaynak: Deloitte

Dijitalleşme bilgi ve verilere daha kolay ve hızlı bir şekilde erişebilmeleyi ve bu verileri kullanarak daha verimli ve etkili bir şekilde faaliyetlerin yürütülmesini sağlar. Djitalleşmenin avantajlarından bazıları:

- Zamandan, maliyetten tasarruf etme,
- Bilgiye kolay ulaşım ve bilginin saklanması,
- Verimliliğin artması,
- Çalışma koşullarının iyileşmesi,
- İnovasyon artışı,
- Çalışan performansında artış,
- Birimlerarası iletişimin doğruluğu ve güvenliğinde artış,
- Operasyonel verimlilik,
- Hızlı aksiyon alabilme,
- Analiz edebilme yetkisi,
- Kurumsal hafıza,
- Sürdürülebilirlik,
- Etkin Performans ölçümü,
- Şeffaflık ve izlenebilirlik,
- Lokasyonlardan bağımsız üretim ve dağıtım.

Dijitalleşme Yolculuğu

Tedarik zincirinde dijital dönüşüm, bilgi, iletişim, bilgi işlem ve bağlantı teknolojilerini tedarik zinciri operasyonlarına, envanter yönetimine, bilgi depolamadan taşımaya ve dağıtıma uygulama ve entegre etme sürecidir. Dijital değişim sürecinde dijital yönetim sistemlerine geçilebilmesi için gerekli olan 3 temel bileşen Şekil 2.1'de verilmiştir. Bu üç bileşene ek olarak verilerin saklanması için bir veri deposu da sistem içerisinde yer almalıdır.



Şekil 2.1. Dijital Depo Unsurları
(Kaynak: Kurumsal Dönüşüm Platformu Dijital Mükemmellik Merkezi)

Gartner Inc'e (2020) göre dijitalleşme, iş modellerini değiştirmek, dönüştürmek, gelir, değer yaratmak ve yeni fırsatlar yaratmak için dijital teknolojilerin kullanılmasıdır.

Roland Berger'e (2015) göre, dijital dönüşüm dört temel ayağa dayanmaktadır:

a) Dijital verilerin farklı kaynaklardan elde edilmesi, veri yönetimi ve analizi,

b) Bilişsel ürünler ve bilişsel ortamlar sunmak için otomasyon,

c) Tedarik zincirlerinin aynı anda çalışabilmesi ve yenilik döngülerinin kısaltılabilmesi için bağlantı,

d) Müşterilerin daha fazla şeffaflık için dijital bilgilere erişimi.

Dijital tedarik zinciri kavramının tam olarak uygulanabilmesi için şu 8 anahtar konu önem taşımaktadır (Bilgiç vd. 2020) :

- Bütünleşik planlama ve uygulama,
- Lojistiğin izlenebilirliği,
- Tedarik 4.0,
- Akıllı depolama,
- Verimli alan yönetimi,
- Otonom lojistik ve B2C,
- Tahmine dayalı tedarik zinciri analitiği
- Dijital tedarik zinciri sağlayıcıları

Dijitalleşmeye Olanak Sağlayan Dijital Bileşenler

Lojistik de dahil olmak üzere tedarik zincirinin tüm bileşenleri süreçlerden oluşmaktadır. Bu süreçlerin her biri süreç içi adımlardan meydana gelen faaliyetler bütünüdür. Bu faaliyetlerin dijitalleşmesi ile süreçler dijitalleşmekte ve süreçlerin diitalleşmesi sonrası zincirler dijital zincirlere dönüşmektedir.

Lojistik de dahil olmak üzere tedarik zinciri süreçlerinin dijital olarak gerçekleşebilmesi için gerekli olan dijital bileşenler:

Otomatik Tanımlama ve İzleme

- 3D Baskı (3DP)
- Ağırlık, Ebat Ölçerler
- Araç ve Operatör İzleme Sistemleri
- Çağrı Cihazları ve Telefonlar
- e-Dökümantasyon Sistemleri (e-israliye vd.)
- Etiket Yazıcıları
- Görüntü-Sinyal İşleme Teknolojisi (RFID, Barkod, Karekod vb.)
- Işıklı Sistemler
- İnsansız hava araçları (İHA)
- İş Analitiği ve Karar destek sistemleri
- Küresel konumlandırma sistemleri (GPS)
- Mobil Cihazlar
- OCR (Optik Karakter Okuyucu) Sistemleri
- Retina, Parmak İzi Tanıma Sistemleri
- Robot Otomasyonu
- Sanal ve Arttırılmış Gerçeklik
- Sensörler
- Sorter-Ayrıştırıcılar
- Giyilebilir Teknolojiler
- Sesli Toplama Sistemleri
- Siber Fiziksel Sistemler

Yazılımlar

- Bulut Bilişim
- Büyük Veri Yönetimi
- Depo Yazılımları (WMS vd.)
- Entegrasyon Yazılımları
- Kurumsal Kaynak Yazılımı

- Nesnelerin İnterneti
- Yapay Zekâ

Ekipmanlar, Taşıyıcılar ve Malzeme Akış Sistemleri

- Depo Yürütme Sistemleri
- Konveyörler
- Otomatik Asansörler
- Otomatik Yönlendirmeli Araçlar (OYA)
- Robot Otomasyonu

Bu bileşenlerin lojistik ve tedarik zinciri süreçlerinde kullanım alan ve amaçları aşağıda verilmiştir.

Otomatik Tanımlama ve İzleme: Bu madde altında yer alan bileşenler ile fiziksel ürünler dijital tanımlamalara (veri türlerine) dönüştürülerek sisteme kayıtlanırlar. Dönüştürüldükleri numara ve harflerden oluşan adresler ile sistemde dijital kaydın takibi ve izlenmesi gerçekleştirilirken fiziksel ürünün hareketi izlenmiş olmaktadır.

3D Baskı (3DP) : Üç boyutlu baskı teknolojisi, müşterilerin tasarım sürecine en başından dahil olmalarını sağlar. Bu, tüm sürecin daha müşteri odaklı olmasını, ürün tasarımı ile satın alma arasındaki sınırların azalmasını ve tasarım, üretim ve teslimatın entegre olmasını sağlar (Mohr ve Kahn, 2015). Bunun sonucunda tedarik zinciri süreçlerinin neredeyse kontrolü en zor olan tasarım süreci daha kısa ve verimli hale gelmektedir (Akyüz, 2020). Üç boyutlu baskı teknolojisi, müşterinin isteği doğrultusunda tüketim noktasına en yakın noktada kişiye özel üretim yapılmasına olanak sağlamaktadır (Niaki ve Nonino, 2017; Barz vd., 2016; Schniederjans, 2017; Şahin ve Turan, 2018). Tedarik zinciri yönetimi açısından bu doğrudan "müşteri talebine cevap verme", "pazara kısa sürede ulaşma" ve "esneklik" anlamına gelmektedir (Akyüz, 2020). Malzemelerin dağıtım ve depolamadaki birçok fiziksel hareketinin azalması veya ortadan kalkması ile ilgili envanter ve diğer lojistik maliyet faktörleri de azalacak veya ortadan kalkacaktır (BSR Raporu, 2015).

Ağırlık, Ebat Ölçerler: Otomatik ağırlık ve ebat ölçerler sensörler yardımı ile görüntüyü işleyerek tedarik zincirlerinde otomatik mal kabulü, kalite kontrol, otomatik iade, otomatik ayrıştırma gibi fiziksel muayene süreçlerinde kullanılmaktadır. Hat içi otomatik ağırlık kontrol terazileri, üretim hattındaki ürünleri hızda tartarak, spesifikasyonları karşılamayan ürünleri otomatik olarak

tanımlar ve ayrıştırılmasını sağlar. Bu da süreçlerde hız, karar doğruluğu ve tutarlılığında artış gibi avantajlar elde edilmesini sağlar.

Araç ve Operatör İzleme Sistemleri: Bu sistemler ile zamanında teslimat, zamanında yükleme ve boşaltma işlemlerine olanak sağlanır. Aracın ve operatörün konumu GPS vb. konum belirleyiciler ile takip edilerek süreçlerin planlanmasında ve işlemlerin gecikmelere bağlı aksaklıklardan arındırılmasına, dinamik rotalama çözümleri ile değişikliklere anlık yanıt verilmesi tedarik zincirlerini çevik yapıya sokmaktadır.

Çağrı Cihazları ve Telefonlar: Güçlü iletişim altyapısı ile bilgi ve belge akışı kontrol edilirken sürecin doğru veri ile etkin yönetimi gerçekleştirilir. Anlık veri akışları ile değişiklik gerektiren durumlarda hızlı yanıt verilmesi sağlanarak, iletişimsizlik kaynaklı problemlerin önüne geçilir.

e-Dökümantasyon Sistemleri (e-israliye vd.): e-İrsaliye gibi e-dokümantasyon sistemleri kağıt belge ile aynı nitelikte fakat dijital ortamda düzenlenen elektronik belgelerdir. e-İrsaliye üzerine eklenecek barkod vb. çözümler ile, yükün durumunu görüntülenebilirken, teslimat sürecinin takibi gerçekleştirilebilir. Tüm verilere anında erişim sağlandığından teslimatların kaybolma ihtimalini ortadan kaldırır. Taraflar arası hızlı ve doğru bilgi akışını gerçekleştirir.

Etiket Yazıcıları: Etiket; firma, marka ve ürünler ile müşterileri arasında köprü görevini üstlenen, ürüne ait bir kimliktir. Etiket yazıcıları ile paletten koliye, koliden adede geçiş durumlarında, ürün bilgisinin değiştirilmesinin gerekli olduğu durumlarda, yeniden etiketleme gerektiren durumlarda bu kimlik bilgisi hızla güncellenerek ürünün bilgi doğruluğu sağlanır. Raf etiketleri ile depo kullanım alanı hakkında doğru bilgi elde edilerek alanın verimli kullanımına olanak sağlanır.

Görüntü-Sinyal İşleme Teknolojisi (RFID, Barkod, Karekod vb.): Görüntü-sinyal işleme teknolojisi ile ürün etiketi üzerindeki bilginin alınması ve sisteme aktarılması sağlanır. Mal kabul aşamasında ürün bilgisinin alınması, besleme ve transfer sürecinde ile lokasyon ve ürün bilgilerinin doğrulanması, toplama sürecinde ürünün ve toplama gözünün doğrulanması, koridor başında veya sevk alanında bulunan ürün bilgisinin doğrulanması bu teknoloji ile gerçekleştirilir.

Işıklı Sistemler: Depo ve sevkiyat sürecinde, aracın, otomatik yönlendirme sistemleri ile giriş alanına yönlendirilmesi sırasında rampaya yönlendirilmesi, rampa üzeri ışıklı sistem ile sağlanırken, depo içerisinde ürün ve mal akışları ile personelin yönlendirilmesi yine ışıklı sistemler ile gerçekleştirilmektedir.

İnsansız hava araçları (İHA): İHA'larda bulunan kameralar ile depolarda envanter kontrolü hızlı şekilde yapılmaktadır. Eş zamanlı olarak trafiği izlemek ve sürücülerin rotalarını gerçek zamanlı veriler ile optimize etmesi için de kullanılan İHA'lar hafif tüketim mallarının teslimatında da kullanılırlar. Sevkiyat araçlarının park alanı ile ilgili kuralları uygulayıp uygulamadığının (hız sınırı, doğru yere park edilmesi vb.) drone ile hızlı şekilde kontrol ve düzeni sağlanmaktadırlar.

İş Analitiği ve Karar Destek Sistemleri: Verileri işleyerek işletme açısından önemli analizlerin matematiksel yöntemler kullanılarak yapılmasını sağlayan bu sistemler , karar vericilere belirsiz ve hızla değişen rekabet ortamında; çeşitli yönetim, operasyonel ve planlama kararları almalarına yardımcı olmaktadır (Rainer ve Cegielski, 2010, s. 365). Bazı karar destek sistemleri lojistik sürecin tamamını ele alarak destek sağlarken, bazıları ise lojistik sürecin belirli bir bölümüne odaklanarak detaylı raporlar oluştururlar. Lojistik arz ve talebin diğer veri tabanlarında yer alan bilgi sistemleriyle beraber kontrol edilmesi, lojistik süreçlerindeki şikayetlerin ve şikayet türlerinin analiz edilmesi ve bu şikayetlerin çözümü için gerekli yollarının belirlenmesi, lojistik süreçlerdeki gelişme ve trendlerin tahmin edilmesi, müşteri memnuniyetini yönetmek, operasyonları yönetmek ve doğru karar vermeyi sağlamak, dijital güvenliği sağlamak, günlük işletme, bakım ve ağ algılama sistemleri karar destek sistemlerinin tedarik zincirinde başlıca kullanım alanlarındandır (Akçetin ve Yurtay, 2015).

Küresel konumlandırma sistemleri (GPS): Bu sistemler, işletme sahipleri ve yöneticilerinin gönderileri son aşamaya kadar takip etmelerine olanak sağlarlar. Ek olarak, bağlı sensörler aracılığıyla lojistik yöneticileri, hava durumu veya diğer çevresel değişikliklerin teslimatları etkilememesini sağlamak için gerçek zamanlı konum verilerini alabilir. Bu sistemler ile ürün güvenliği de uzun süreli olarak sağlanmaktadır.

Mobil Cihazlar: Lojistik sektöründe giderek yaygınlaşan mobil servislerin kullanımı ile firmalar operasyonel maliyetlerini düşürerek verimlilik elde etmektedir. Bilgi alışverişini hızlandıran ve kolaylaştıran mobil çözümler ve bunların elde edildiği mobil cihazlar, iş süreçlerinin yeniden tanımlanmasını ve

insan kaynaklarının etkin bir biçimde yönetilmesine imkan vermektedir. Ayrıca mobil cihazlarda yer alan SIM kartlar aracılığıyla makinelerin birbirleri ile konuşması sağlanmaktadır. El terminalleri gelişen teknoloji ile daha dayanıklı ve kullanıcı dostu mobil cihazlar arasında yer almaktadır.

OCR (Optik Karakter Okuyucu) Sistemleri: OCR sisteminin en önemli avantajları, yüksek bilgi yoğunluğu ve acil bir durumda verileri görsel olarak okuyabilme yeteneğidir. (Finkenzeller, 2003: 44). OCR ayrıca, herhangi bir görüntü formatı dosyasındaki metni tanıyabilen ve daha sonra düzenlenebilecek bir metin formatına dönüştürebilen bir sistem olarak da tanımlanabilir. OCR sistemleri fiziksel olarak basılı haldeki dokumanları makine tarafından okunabilir metne dönüştürmek için bir donanım ve yazılım kombinasyonunu kullanır.

Lojistik şirketleri; faturaları, etiketleri, makbuzları ve diğer dokümanları daha verimli bir şekilde takip ve analiz etmek için OCR teknolojisinden yararlanmaktadır. Elle doldurulmuş form ve belgeleri otomatik olarak doğrulama, inceleme, düzenleme ve analiz etmek için tarama, bir kutudaki dosyaları manuel olarak gözden geçirmek zorunda kalmadan veri tabanında bir terimi hızlıca aratarak gerekli dokümanları bulma, elle yazılan notları düzenlenebilir metinlere ve belgelere dönüştürme OCR teknolojisinin başlıca kullanım alanlarıdır.

Retina, Parmak İzi Tanıma Sistemleri: Genel olarak, tüm biyometrik sistemler tanımlama modu ve doğrulama modu olmak üzere iki modda çalışırlar. Sistem tanımlama modunda iken sistem veri tabanında karşılaştırma yapılabilmesi ve veri tabanında işlenebilmesi için ilgili kişinin biyometrik bilgilerinin ve kimliğinin uygun formatta yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu modda kullanıcının sahip olduğu biyometrik özellikler dışında herhangi bir kimlik numarası bulunmamaktadır. Sisteme girmek isteyen kullancının biyometrik bilgileri alınır, veri tabanında yer alan bütün kayıtlarla karşılaştırılır ve sistemde tanımlı olup olmadığı sorgulanır. Sistem kimlik onaylama/doğrulama modunda çalışırken, kullanıcı sistemde tanımlı olan ve kendisini temsil eden bir kimlik numarasına sahiptir. Sistem yanıtı, kullanıcının mevcut biyometrik özellikleri ile aynı kullanıcının daha önce veri tabanında bulunan ve kaydedilen özellikleri karşılaştırılarak oluşturulur. (Özkaya, 2003). Bu sistemler bilgi ve belgerin korunmasında ve ürün güvenliğinde kullanılmaktadır.

Robot Otomasyonu: E-ticaretin yadsınamaz etkisiyle büyüyen lojistik sektöründe çalışma saatleri uzamış ve işin yoruculuğu artmıştır. Hızlı gerçekleştirilen işlemlerde uzun çalışma saatleri sonunda dikkat dağınıklığı vb.

sebepler ile hatalar meydana gelmekte ve teslimat sıkıntıları yaşanmaktadır. Pandemi ve doğal afet gibi süreçlerde işgücünde meydana gelen kayıplar, enfeksiyon riski gibi etmenler ile çalışan güvenliği işlerin otomasyonu açısından önemli rol oynamıştır. Robot otomasyonu işletmelerin iş güçlerini desteklemelerine, verimliliği artırmalarına, çok kanallı dağıtıma geçişi yönetmelerine ve e-ticaretin büyümesinden yararlanmalarına olanak sağlamaktadır. Robotlar ile taşıma, paketleme, streçleme, şrinkleme, ayrıştırma ve birleştirme yapma en sık kullanım alanlarındandır.

Sanal ve Artırılmış Gerçeklik: Gerçek ve sanal dünyanın iç içe geçtiği bu teknolojide cihazların nesne tanıma özelliği kullanılarak sanal nesnelerin gerçek görüntüler üzerine eklenmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. Lojistik sektörü, gerçek zamanlı bilgi akışının sağlanmasının yanı sıra eş zamanlı destek ile çalışanların daha hızlı ve etkin karar vermesine, çalışma koşullarının iyileştirilmesine, iş arkadaşlarıyla bağlantı kurmasına ve sorunları çözmesine yardımcı olmak için iş süreçlerinde artırılmış gerçekliği aktif olarak kullanmaktadır. Artırılmış gerçeklik uygulamaları tesisin kurulum aşamasında tesisin nasıl görüneceğini görmeyi ve deneyimlemeyi sağladığı için tesisin planlama aşamasında aktif olarak kullanılmaktadır. Özellikleri sistemde verilen ürünler için gerekli yerleştime alanının hesaplanması ve ürünün en uygun yere yerleştirmesi artırılmış gerçekliğin taşımacılıkta sağladığı faydalardandır. Arttırılmış gerçeklik kullanan bir uygulama, sipariş toplama sırasında bu teknolojiyi kullanarak, bir operatörü ürünü teslim alma konumuna yönlendirebilir ve ürünün teslim alındıktan sonra doğru olup olmadığını kontrol edebilir.

Sensörler: Dijital sistemlerin temelini veri oluşturur. Sensörler temel veri toplama araçlarındandır. Akıllı sensör sistemleri, lojistikte verimli süreçler sağlar. Veriler gerçek zamanlı olarak toplanır, hazırlanır ve bağımsız ve kontrollü süreçler için karar vermenin temelini oluşturur. Ürünlerin ve sistemlerin sürekli izlenebilirliğinin akıllı sistemlerle birleşimi, süreçlerin bağımsız olarak optimize edilmesine yardımcı olur. Çizgi sensörleri, mesafe sensörleri ile ürün taşıma güvenliği sağlanırken, ısı sıcaklık sensörleri ile ısı ve nem korumalı ürünlerin takibi gerçekleştirilir.

Sorter-Ayrıştırıcılar: Sorter sistemleri, otomasyon yazılımı ile entegre olarak depolardaki veya dağıtım merkezlerindeki öğeleri varış yerlerine göre sıralamak için kullanılan akıllı ayrıştırma sistemleridir. Akıllı ayrıştırma hatları, depolardaki veya dağıtım merkezlerindeki öğeleri varış yerlerine göre sıralamak için kullanılır. Öğelerin rastgele akışları, sevkiyata hazır siparişler halinde

sıralanır. Hedef, tedarik zincirindeki şirket veya uygulamanın türüne bağlıdır. Örneğin, posta veya kurye şirketlerinde kullanılan ayrıştırma hatları, tüm öğeleri tek bir sürücü için toplamak için genellikle rotalara veya posta koduna göre sıralama yapar. Ancak, perakende şirketleri öğeleri mağaza başına sıralar. E-ticaret siparişlerine bakıldığında ise ürünlerin sipariş düzeyinde sıralanabildiği gözlemlenir.

Sesli Toplama Sistemleri: Ses tanıma sistemleri ile yazılımdan gelen komutlar ses dosyalarına çevrilirken, toplayıcılardan gelen sesli komutlar yazılı hale gelmektedir. Yüksek kalitede parazit önleyici ve gürültü azaltıcı sistemler ile iletişim parazitlerden arındırılmakta ve net komutlar halinde iletilmektedir. Sistem gelen her bir komutun zamanını kaydeder ve toplayıcı verimlilikleri, hata oranları bu kayıtlar ile ölçülebilir duruma gelir. Yazılımdan gelen toplama komutları ile çalışan bir sisteme sahiptir. Toplayıcıya hangi rafa gitmesi gerektiğini söyleyen sistem, toplayıcının ilgili rafın karşısına geçtiğinde raf üzerindeki özel bir numarayı okuyarak adresini doğrular. Toplayıcı, sistemden ürün ve adet bilgisi aldıktan sonra ürünleri sepetine koymakta ve sesle kaç adet aldığını teyit etmektedir. Onaylanan sipariş, ikinci sıradaki siparişle bağlantılıdır. Bu metot, toplanan adetlerin miktarına bağlı olarak el terminali ile yapılan toplamadan yüzde yirmi ila elli oranında zaman tasarrufu, hız ve ürün doğruluğu sağlar. Daha az elemanla daha kısa sürede toplama yapma olanağı sunan bu sistem, özellikle -40^{o}C'de çalışılan soğuk hava depolarında çok verimli olabilir (Yıldıztekin, 2011).

Siber Fiziksel Sistemler: Mekanik çözümleri algoritmalarla birleştiren bu sistemler üretimde, dağıtımda ve diğer süreçlerde kullanılan ekipman ve bileşenleri akıllandırmayı hedeflemektedir. Siber fiziksel sistemlerin günümüzde akıllı olarak adlandırdığımız birçok cihazdan en önemli farkı, uzaktan yönetilebilir olmalarıdır. Siber fiziksel sistemler, endüstriyel otomasyon ve süreç kontrolü işlevlerinin yanı sıra ekipman donanımlarında, yenilenebilir enerji alanında, sevkiyat araçlarının otonom sürüş ve sürüş güvenliği sistemlerinde kullanılmaktadır.

Bulut Bilişim: Bulut bilişim, verilerin hard disklerde değil, internet üzerindeki sanal sunucularda saklanmasını içerir. Bulut bilişim teknolojisi hizmetlerine örnek olarak, Google Cloud, Microsoft Azure, Amazon Web Services, Dropbox, iCloud ve Box gibi hizmetler verilebilir. Bu hizmetler, depolama, hesaplama, ağ, veritabanı ve uygulama hizmetleri gibi çeşitli kategorilerde sunulur. E-posta hizmetinin yanı sıra verilere mekansal sınırlama

olmaksızın ulaşım sağlamak ve veri güvenliğini temin etmek amacıyla da kullanılır.

Büyük Veri Yönetimi: Değişik kaynaklardan toplanan verinin anlamlı ve işlenebilir hale getirilmiş biçimi, büyük veri olarak bilinir. Büyük veri yönetimi, genellikle nesne depolama kullanarak veriyi verimli, güvenilir ve güvenilir bir şekilde bir veri havuzunda veya veri ambarında depolar ve işler. Müşteri ilişkileri yönetimi, pazarlama stratejisinin belirlenmesi, ürün talep eğrilerinin oluşturulması gibi alanlar kullanım örneklerindendir.

Depo Yazılımları (WMS vb.): Depo yönetim sistemi (WMS), şirketlerin günlük depo işlemlerini yönetmesine ve kontrol etmesine yardımcı olan bir yazılımdır. Mal ve malzemelerin gerçekleştirme veya dağıtım merkezine girdikleri andan ayrıldıkları ana kadar her şeyi yönetir ve kontrol eder. Depo yönetim sistemleri, operasyonel hızı, kesinliği, üretkenliği ve otomasyonu artırarak stok yönetimini kolaylaştırır. Depo yazılımları, malların kabul edilmesinden başlayarak üretim, depo yönetimi, sayım, sevkiyat ve palet ve kutu yönetimi gibi bir şirketin operasyonel süreçlerinin tamamının mobil olarak yönetilmesini sağlar.

Entegrasyon Yazılımları: Entegrasyon, teknolojilerin, yazılımların ve sistemlerin birbiriyle uyumlu, birbiriyle bağlantılı ve kolay anlaşılır bir şekilde otomatik olarak iletişim kurmasına verilen isimdir. Tüm platformları bütünleştirmek olarak da adlandırılabilir. Farklı dijital sistemlerin birbirleriyle uyumlu halde çalışması için geliştirilen bu yazılımlar, tedarik zinciri bileşenleri arasında eşgüdümü sağlamaktadır.

Kurumsal Kaynak Yazılımı : Bir şirketteki kaynakların planlanması ve yönetilmesi amacıyla kullanılan yazılım türüdür. Kurumsal kaynak planlaması (ERP), kuruluşların tedarik zinciri operasyonlarının yanı sıra muhasebe, satın alma, proje yönetimi, risk yönetimi ve mevzuat uyumluluğunu yönetmek için kullandıkları bir yazılım türüdür. Kurumsal kaynak planlama yazılımları ile bir kurumun tüm iş süreçleri bütünleşik tek bir sistem üzerinden yürütülürken, veriler ortak bir veri tabanına kaydedilir. Bu veriler daha sonra analiz edilir ve anlamlı bilgilere dönüştürülür. SAP-AG, Oracle, J.D. Edwards, Peoplesoft ve Baan dünya çapında ilk 5'te yer alan kurumsal kaynak yazılım paket üreticileridir.

Nesnelerin İnterneti: Nesnelerin İnterneti, internet üzerinden iletişim kurabilen milyarlarca cihazı bir araya getiren ve bağlı cihazların fiziksel dünyayı

algılamasını, gözlemsel veri gönderip almasını ve bu verilerle birlikte hareket etmesini sağlayan bir teknolojidir (Fizza vd., 2021). Nesnelerin İnterneti teknolojisi, taşımacılık yönetimi alanında çalışan lojistik profesyonellerine çeşitli veriler sağlamaktadır. Bu veriler, yöneticilerin teslimat sürelerini tahmin etmesine ve buna göre plan yapmasına olanak tanır (Singh ve Roy, 2020). Nesnelerin interneti sayesinde taşımacılık yönetiminin modernizasyonu ve araç durumu, yük durumu ve sürücü durumu gerçek zamanlı izleme teknolojisi ile izlenebilmekte ve bu da çok etkili faydalar getirebilmektedir (Yılmaz ve Kuvat, 2021). Taşımacılık yönetiminde eşzamanlı takip, herhangi bir plan dışı durumun ortaya çıkmasına ilişkin sorunları anında çözmeyi ve tüm değişikliklere hızlı karar vermeyi mümkün kılmaktadır. Ürünler depodayken sistem, bilgilerin iletilmesi yoluyla her şeyin nerede olduğunu sürekli olarak bilmelidir (Van Geest vd., 2021). Nesnelerin interneti yardımıyla ürünlerin yanı sıra raflar ve operatörler de izlenebilir. Nesnelerin interneti teknolojilerinin kullanımı, elleçleme faaliyetlerinin planlanması, çizelgelenmesi, güncellenmesi, izlenmesi, kazaların azaltılması ve hızın artırılması gibi birçok alanda iyileştirmelere yol açmıştır. Talep tahmini, makine öğrenmesi ve akıllı öğrenme mekanizmaları kullanılarak yapılacak tahminleme çalışmaları ile etkin bir şekilde sağlanacaktır.

Yapay Zeka: Yapay zeka "insanların yapmış oldukları çalışmaları bilgisayarlara yaptırabilme'' olarak tanımlanmaktadır. Yapay zekada bilgisayar veya bilgisayar kontrolündeki makine; insan gibi davranışlar sergileme, mantık yürütme, ses algılama, hareket etme, anlam çıkarma, çözüm yolu bulma, geçmişteki deneyimlerden öğrenme gibi birçok faaliyeti doğal zekaya sahip canlılara benzer şekilde gerçekleştirir. Yapay zekanın lojistik ve tedarik zincirinde uygulanması; Talep tahmini, sipariş toplama, ürün takibi, depolama, envanter yönetimi ve operasyon planlaması gibi birçok aşamada kullanılmakta ve oldukça tatmin edici sonuçlar vermektedir. Lojistik sektöründe yapay zekâ, depodaki otomatik raf sistemlerinden rota optimizasyonuna kadar bütün farklı alanlarda kullanılmaktadır.

Depo Yürütme Sistemleri: Depo yürütme sistemleri, kritik verileri de dahil ederek, planlama ve büro gibi verilerin saklandığı bilgi sistemlerine tüm verilerin ağ üzerinden erişilebilir olmasını sağlar. Anlık olarak bilgi toplarken verileri düzenleyerek merkezi bir veri tabanında saklar ve daha sonra ERP ile entegre eder. İş emirlerini ERP'den alır ve sevkiyat birimlerine aktarır. Detaylı planlama ile verimliliği ve kaliteyi artırır. Veri elde etme, işgücü yönetimi, kalite kontrol, bakım yönetimi, performans analizi, raporlama, stok ve ürün takibi bu sistemin çekirdek fonsiyonlarındandır.

Konveyörler: Konveyörler, özellikle fabrikalarda yaygın olarak kullanılan, güvenli ve hızlı bir şekilde malları bir yerden diğerine taşıyan mekanik taşıma sistemleridir. Konveyörler hem işçilik maliyetlerini düşürür hem de insan gücünü, özellikle ağır eşyaların taşınmasını gerektiren durumlarda çok daha korunaklı hale getirir. Ürünler taşınırken minimum zarar görecek şekilde ilerler, bu da düşme ve kırılma gibi riskleri azaltır. Bantlı konveyörler, rulolu konveyörler, akordeon konveyörler, zincirli konveyörler, dönüşlü konveyörler, modüler konveyörler, talaş taşıma konveyörleri, yolluk ayırıcılar ve teleskopik konveyörler gibi çeşitli konveyör türleri sektörde kullanılmaktadır.

Otomatik Asansörler: Yapay seka destekli otomatik ve akıllı asansörler, kullanım kılavuzunda belirtilen parametreler sayesinde trafiği analiz edip kapasite, zaman, yön ve hız hesaplarını en ekonomik şekilde yaparak kararlar alabilmektedir. Asansörlerin kullanıldığı binadaki/depodaki yükler, minimum enerji ve zaman tüketimi ile bulundukları yerden istenilen yere ulaştırılır. Asansör sistemi istenilen raf veya konuma geldiğinde asansör otomatik olarak durur ve geri dönüş işlemi de aynı şekilde gerçekleştirilir. Yarı otomatik asansör sistemlerinde operatör destekli hareket söz konusudur.

Otomatik Yönlendirmeli Araçlar (OYA): OYA'lar büyük veya küçük birim yükleri bir yerden başka bir yere taşımak için kullanılan insansız araçlarıdır. Bu araçlar rehber yollu veya rehber yolsuz olarak işletilir ve bilgisayarlar tarafından kontrol edilir. Birden fazla araç sistemde olduğunda, sistem denetleyicileri trafik düzeninden sorumludur (Yiğit ve Güner, 2011). Depo içi dağıtım, sevkiyat alanına ürün taşınması temel kullanım alanlarıdır.

Giyilebilir Teknolojiler: Geleceğe yönelik operasyonel verimlilik için giyilebilir teknolojiler büyük bir fırsat olarak görülmektedir. Bu teknoloji zamandan tasarruf sağlarken üretkenliği artırmaktadır. Bu, fabrikanın elleçleme ve depolama verimliliğinin de artmasına olanak sağlamaktadır. Bu teknolojilerden bazıları, depo çalışanlarının her iki elini de serbest bırakarak barkodları taramasını ve işlemesini sağlayan HandsFree Barkod Okuyucu sistemler, akıllı gözlükler, sesli toplama sistemleri ve ses tanıma kulaklıkları'dır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde dijitalleşme tüm sektörlerde hızla yayılan bir dönüşüme ev sahipliği yapmaktadır. Lojistik gibi teknolojinin fazlasıyla kullanıldığı sektörler bu dönüşümden en fazla etkilenen sektörler olmuştur. Lojistik faaliyetlerin dijitalleşmesi ile süreçler dijitalleşmekte ve süreçlerin diitalleşmesi sonrası

zincirler dijital zincirlere dönüşmektedir. Tedarik zincirindeki dijital dönüşüm doğru uygulanırsa, geleneksel modelin güvenilirlik, çeviklik ve verimlilik sorunlarını çözerken, iş performansını da artıracaktır. Tedarik zincirini tamamen dijitalleştirdiğinizde, tüm işlemler çok az veya hiç elle müdahale olmadan tamamen otomatik olarak yapılır. İşletmeler, her aşamada entegrasyon ve esneklik sağlayan dijital çözümler kullanarak manuel gecikmeleri ve tutarsızlıkları en aza indirecektir.

Lojistik de dahil olmak üzere tedarik zinciri süreçlerinin dijital olarak gerçekleşebilmesi için gerekli olan dijital bileşenler bu çalışmada incelenmiş ve kullanım alanları örnekleri ile açıklanmıştır. Ancak sürekli değişen ve gelişen bu dönüşüm yolculuğunda yeni teknolojilerin entegresyonu her zaman söz konusu olacaktır. Henüz sektörde dijital bileşen kullanılmayan ancak ihtiyaç duyulan alanlar belirlenebilir ve yine yeni teknolojiler ve yeni kullanım alanları bundan sonra gerçekleştirilecek çalışmalarda ele alınabilir.

KAYNAKÇA

Akçetin, E., & Yurtay, Y. (2015). Karar Destek Sistemlerinin (KDS) Lojistik Süreçlerde Kullanımı ve Verimlilik Analizi Üzerine Bir Uygulama. Pamukkale İşletme ve Bilişim Yönetimi Dergisi, (1), 39-58.

Akyüz, G. A. (2019). Tedarik Zinciri Yönetiminde Üç Boyutlu Baskı Teknolojisi: Potansiyel Etkiler, Fırsatlar ve Zorluklar. Doğuş Üniversitesi Dergisi, 20(2), 119-134.

Barz, A.; Buer, T. ve Haasis, H.D. (2016). A study on the effects of additive manufacturing on the structure of supply networks. IFAC- PapersOnLine, 49 (2), 72-77.

Bilgiç, E., Türkmenoğlu, M. A., & Koçak, A. (2020). Dijitalleşmenin lojistik yönetimi bağlamında incelenmesi. Akademik İzdüşüm Dergisi, 5(1), 56-69.

Finkenzeller, K. (2003). Fundamental Operating Principles. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification and Near-Field Communication. Sussex: John Wiley and Sons Ltd.

Fizza, K., Banerjee, A., Mitra, K., Jayaraman, P. P., Ranjan, R., Patel, P., ve Georgakopoulos, D. (2021). QoE in IoT: a vision, survey and future directions. Discover Internet of Things, 1(1), 4. doi:10.1007/s43926-021-00006-7

Mohr, S. ve Khan, O. (2015). 3D Printing and its disruptive impacts on supply chains of the future. Technology Innovation Management Review, 5(11), 20-25.

Nagurney A, 2006, Supply Chain Network Economics: Dynamics of Prices, Flows, and Profits, Edward Elgar Publishing, ISBN 1-84542-916-8.

Niaki, M.K. ve Nonino, F. (2017). Additive manufacturing management: a review and future research agenda. International Journal of Production Research, 55 (5), 1419-1439.

Özkaya, N., Otomatik Parmakizi Tanma Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2003.

Rainer, R. K., & Cegielski, C. G. (2010). Introduction to Information Systems: Enabling and Transforming Business. Hoboken: John Wiley & Sons.

SCC-Supply Chain Council, 2008. "Supply Chain Operations Reference model", Overview of SCOR model version 9.0, Washington DC & Amsterdam, 1-24.

Schniederjans, D.G. (2017). Adoption of 3D-printing technologies in manufacturing: a survey analysis. International Journal of Production Economics, 183, 287298.

Singh, S. K., ve Roy, S. (2020). Internet of Things (IoT) Based Green Logistics Operations for Sustainable Development in the Indian Context, Singapore.

Şahin, K.ve Turan, O. (2018). Üç boyutlu yazıcıların karşılaştırmalı analizi. Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 2(2), 97-116.

Van Geest, M., Tekinerdogan, B., ve Catal, C. (2021). Design of a reference architecture for developing smart warehouses in industry 4.0. Computers in Industry, 124, 103343. doi:https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103343.

Yılmaz, Ü., & Kuvat, Ö. (2021). Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Lojistik Faaliyetlerindeki Uygulama Alanları ve Verimliliğe Etkileri. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (31), 746-754.

Yiğit, F., & Güner, E. (2011). Otomatik Yönlendirmeli Araç (Oya) Sistemleri ve Depo Bakımında Rotalama Problemi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(2), 269-277.

İnternet Kaynakları

BSR (2015). 3-D Printing Sustainability Opportunities and Challenges. BSR Report. https://www.bsr.org/reports/BSR-Report-3DPrinting-Sustainability-Opportunities-Challenges-2015.pdf, Erişim Tarihi: 10.08.2023.

Deloitte,2016, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/technology-media-telecommunications/turkiyedeki-dijital-degisime-CEO-bakisi.pdf, Erişim Tarihi: 10.08.2023.

Gartner Inc. (2020). Digitalization. https://www.gartner.com/ en/information-technology/glossary/digitalization, Erişim Tarihi: 10.08.2023.

Kurumsal Dönüşüm Platformu Dijital Mükemmellik Merkezi, http://www.dexcenter.org/ , Erişim Tarihi: 10.08.2023.

Roland Berger Strategy Consultants (2015). The digital transformation of industry, www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/ roland_berger_digital_transformation_of_industry_20150315.pdf, Erişim Tarihi: 10.08.2023.

Yıldıztekin A. 2011, https://www.utikad.org.tr/Detay/Sektor-Haberleri/8761/sesli-urun-toplama-sistemleri , Erişim Tarihi: 10.08.2023

Bölüm 14

Esnek Robot Tutucu Tasarımı ve Kontrolü

Kusay DİB[1]

Muhammet AYDIN[2]

[1] Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü.
qesk.hbebe@gmail.com ORCID No:0000-0001-6613-3875

[2] Dr. Öğr. Üyesi; Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü.
muhammeta@firat.edu.tr ORCID No: 0000-0003-2746-9477

ÖZET

Son dönemde, esnek tutucu tasarımı ve kontrolü konusu oldukça büyük ilgi görmektedir. Bu çalışma, alandaki en son gelişmeleri ve yöntemleri sunarak, esnek tutucu sistemlerinin tasarım sürecini ve kontrol stratejilerini analiz etmeyi hedeflemektedir. Esnek tutucu tasarımı, tutucunun gereksinimlerinin ve performans hedeflerinin belirlenmesini içeren önemli bir adımdır. Tutucunun malzeme seçimini, geometrik yapısını ve üretim yöntemlerini optimize etmek için analitik ve simülasyon tabanlı araçlar geliştirilmiştir.

Öte yandan, esnek tutucuların kontrol stratejileri de son zamanlarda büyük gelişmeler kaydetmiştir. Kontrol stratejileri, tutucunun istenen konum ve hareketlerini gerçekleştirmek için kullanılan yöntemleri içermektedir. PID, bulanık mantık ve optimal kontrol gibi farklı yaklaşımların geliştirilmesi, esnek tutucuların hassas kontrolünü sağlamak için önemli bir rol oynamaktadır.

Bu çalışmada yeni özgün bir esnek robot tutucu tasarlanmıştır. Tasarımın yapısında üç adet parmak yapısı kullanılmıştır. Parmakların her birinin içinde iki adet tel kullanılmış ve teller dc motorlar yardımıyla gerdirilip serbest bırakılmaktadır. Buradan dc motorun hız kontrolünün önemi ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada dc motorun hız kontrolü farklı iki yöntemle ortaya konulmuş ve sonuçlar kıyaslanmıştır. PID ve Bulanık Mantık-PID yöntemleri kıyaslandığında en iyi motor hız kontrolü Bulanık Mantık-PID yöntemiyle elde edilmiştir.

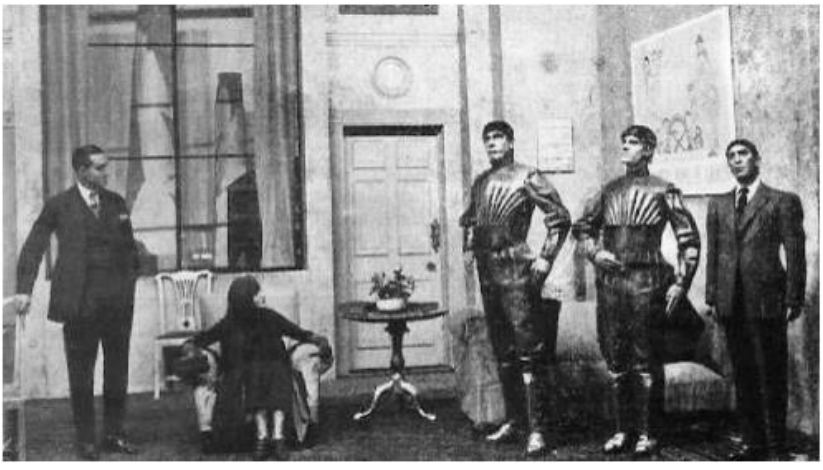
Anahtar Kelimeler: Tutucu, Esnek robot, PID kontrol, Bulanık mantık, DC motor hız kontrolü

GİRİŞ

Robot kelimesi, ilk olarak 1920'lerde başarılı bir oyun olan Rossum'un Evrensel Robotlarında kullanılan Çek yazar, romancı ve gazeteci Karl Capek tarafından kullanıldı (Sotelo vd., 2007:12). Şekil 1' de Rossum'un Evrensel Robotlarından bir sahne gösterilmiştir. Isaac Asimov, 1938 ile 1942 yılları arasında yayınlanan kısa öykülerinde robotik popülerleştirmede kredilendirilir (Schurr vd, 2007:41). Asimov, robotların davranışı düzenlemek için üç kural önermiştir:

- Bir robot, bir insanı yaralamamalı veya eylemsizlik yoluyla bir insanın zarar görmesine izin vermemelidir.
- Bir robot, insanlar tarafından verilen emirlere uymak zorundadır, ancak bunu yapmak ilk kurala aykırıysa yapmamalıdır.
- Bir robot, bu ilk veya ikinci kurala aykırı değilse, kendi varlığını korumalıdır.

Unimate'in 1961'de General motorlar tarafından otomobil endüstrisine yardımcı olmak için kullanılması, robotların kurgudan gerçeğe geçişini işaret etti ve o zamandan beri günlük hayatta kullanımları günden güne genişledi. Şimdilerde, deniz altlarında ve uzay keşfinde, arama ve kurtarma çalışmalarında, askeri ve savunma endüstrisinde, tıbbi ve eğitim endüstrisinde çeşitli robotik uygulamalar bulunmaktadır. Tüm bu durumlarda, robotların eylemlerinin amacı, insan eylemlerini çoğaltmak veya geliştirmek veya insanların imkânsız olduğu bir ortamda görevleri daha verimli bir şekilde yerine getirmektir (Hockstein vd., 2007:113).



Şekil 1: Rossum'un Evrensel Robotları (Szabolcsi, 2014:117).

Teknolojinin ilerlemesi, robotların hayatın her alanında kullanılmasına öncülük etti. Bu nedenle, robotik vücutların tasarımı ve yapısı, farklı görevleri yerine getirirken uygulama ve çaba derecesine bağlı olarak belirlenir. Robotlar, uygulamalarına bağlı dört farklı kategoriye ayrılabilirler (Zhang vd., 2015):

Uzay ve derin deniz keşfi gibi belirli görevler için gelişmiş teknolojilerle donatılmış yüksek özelleştirilmiş robotlar, genellikle yapılandırılmamış ortamlarla başa çıkmak için zekâları ile öne çıkarlar.

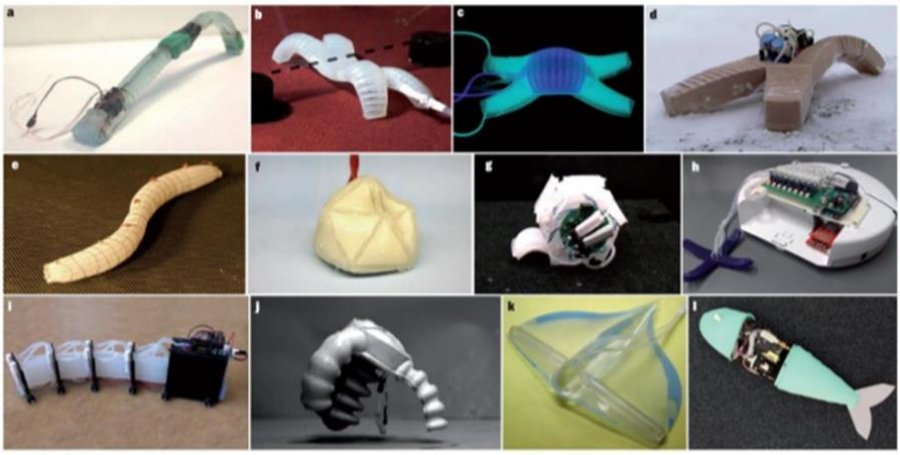
Endüstriyel uygulamalar için yüksek doğruluklu, güvenilir ve verimli robotlar.

Dostane bir ortamda çocuklar için oyuncak robotlar.

Eğitim ve ticari kullanımlar için düşük maliyetli ve çekici robotlar.

Esnek robotlar

Son on yılda robotik dünyasında esnek robotlar yeni bir alt alan olarak gelişti. Hayvanların esnek yapılarının verimli bir şekilde farklı görevler için kullanmaları robot mühendislerinin ilham kaynağı oldu. Hayvanların mekanik tasarımı imalatta esnek olmayı gerektirir ve sinir sistemi ile bütünleşmiş bir nöromekanik sistem oluşturmak için birlikte evrimleşir. Bu esnek malzemeler sadece yapısal olmayan ortamlarla başa çıkmak için avantajlar sağlamakla kalmaz, aynı zamanda şekillendirilebilirlik, yüksek uyum, esneklik, dağılım ve stres etkisini azaltma gibi harika özellikler kazandırır (Kim vd., 2013:287). Ekolojik nişler, sertliğin veya sertleşmenin gelişimsel seyrini belirleyicidir. Özel görevler için yüksek hız ve stres etkisi gerektirmeyen hayvanlar, genellikle esnek vücutlar geliştirirler. Örneğin, ahtapot vücudunu sıkıştırabilir ve tırtıllar tutunmak için konak bitkilere yapışabilir. Denizanaları ise vücutlarını suyla pompalar. Çeşitli canlı sistemlerinden esinlenerek modellenmiş olan birkaç esnek robot sistemi Şekil 2' de verilmiştir. Bu robotlar esinlendikleri canlıların hareketlerini yapabilme kabiliyetini ortaya koymaktadır.



Şekil 2: Çeşitli Canlı Sistemlerden Esinlenerek Modellenen Mobil Esnek Robot Sistemleri (Rus ve Tolley, 2015:467)

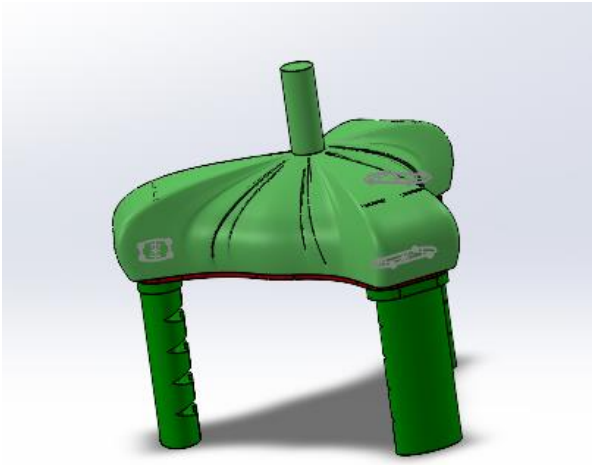
Literatürde pratikte 100 kPa' nın altındaki çok düşük çalıştırma basıncında kendi ağırlığının 10 katı olan 40 N kavrama kuvvetine ulaşabilen, üç parmak yapılı ve pasif avuç sisteminden oluşan esnek robotik tutucunun olduğu (Zhou vd., 2017:2287), parmaklarının içinde telin kullanıldığı, parmakların karşılıklı denk gelmediği, bir tarafta iki diğer tarafta bir parmak yapısının yer aldığı (Manti vd., 2015:107), karşılıklı iki parmaklı tasarlanıp üretilmiş olan robotik tutucunun kullanıldığı (Alizadehyazdi vd., 2020:4679), pnömatik odacıklar kullanılarak tasarlanmış olan robotik tutucu (Batsuren ve Yun, 2019:2967), parmak yapısının step motorla hareket ettirildiği robotik tutucu (Liu vd., 2020:1830), kabloyla çalışan yumuşak robotik kavrayıcının geliştirildiği (Wang vd., 2020:2749), minimal invaziv cerrahi için geliştirilmiş olan robotik tutucunun yer aldığı (Rateni vd, 2015:2855), tanımlanmayan nesneleri kavramak için geliştirilen robotik tutucu (Liu vd., 2018:452) çalışmaları mevcuttur.

Bu çalışmada üç parmaklı özgün bir tasarıma sahip yeni bir esnek robot tutucu tasarlanmıştır. Tasarlanan robot tutucusunun yapısında teller kullanılmış ve her bir parmaktaki tellerin yönlendirilmesi DC motorlarla gerçekleştirilmiştir. DC motorun hız kontrolü için iki farklı kontrol yöntemi kullanılarak sonuçlar kıyaslanmıştır. PID ve Bulanık Mantık-PID kontrol yöntemleri ile motorların hız kontrolü ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

ESNEK TUTUCU

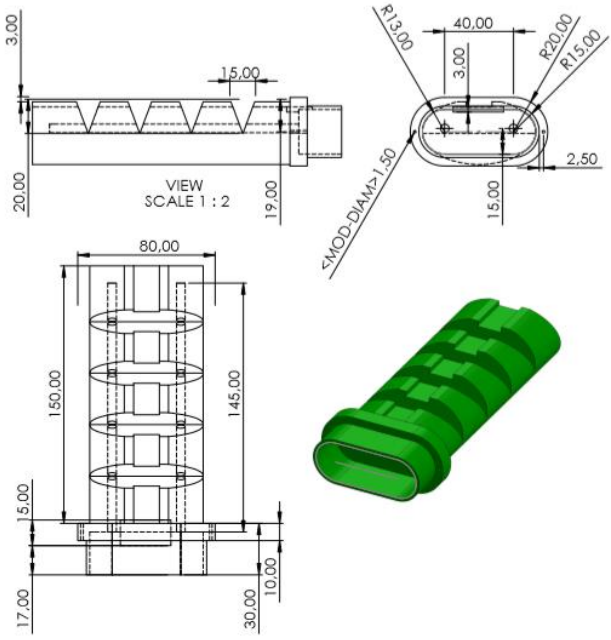
Esnek robotik tutucular, elastomerik malzemelerden yapılmış ve çeşitli nesneleri hassas bir şekilde tutabilen esnek robotik cihazlardır. Ancak bazı durumlarda tutucunun nesneyi doğru şekilde algılaması ve tutması zor olabilir. Bu çalışmada hassas esnek bir tutucunun geliştirilmesi için kullanılabilecek farklı nesne uyarım teknikleri ve kavrama güvenilirliği artırma yöntemleri ele alınmıştır. Sonuç olarak yapılan çalışmalar hassas esnek tutucuların daha güvenilir ve etkili bir şekilde kullanılmasına yardımcı olacak teknolojileri kapsayacaktır.

Şekil 3' de tasarımı gerçekleştirilmiş olan farklı yeni bir tasarıma sahip esnek robot tutucusu gösterilmiştir. Esnek robot tutucusu üç parmaktan oluşmakta ve parmakların iç kısmından teller geçmektedir. Parmakların esnek hareketi alt kısımda bulunan DC motorların telleri çekmesiyle meydana gelmektedir.



Şekil 3: Esnek Tutucu Tasarımı

Şekil 4' de ise robot tutucusunda kullanılan parmak yapısının detaylı ölçülerine yer verilmiştir. Ölçülerin hepsi mm boyutundadır. Tasarımdaki kesikli çizgiler tellerin geçtiği yerleri temsil etmektedir.



Şekil 4: Esnek Tutucu Parmak Tasarım Detayı

Üretim için Seçilen Malzeme ve Üretim Metodu

Ecoflex™ kauçuklar, çok yönlü ve kullanımı kolay platin katalizli silikonlardır. Şekil 5' de Smooth-on Ecoflex 00-30 Silicone malzemelerinin A ve B türleri verilmiştir. Ecoflex™ kauçuklar ağırlık veya hacim olarak 1A:1B oranında karıştırılır ve oda sıcaklığında ihmal edilebilir bir çekme ile kürlenir. Düşük viskozite, kolay karıştırma ve hava alma sağlar veya uygun dağıtım kartuşlarımızı kullanarak karıştırmayı ve dağıtmayı seçebilirsiniz. Kürlenmiş kauçuk çok yumuşak, çok güçlü ve çok esnektir, yırtılmadan orijinal boyutunun birçok katı kadar esner ve bozulma olmadan orijinal formuna geri döner. Ecoflex™ kauçuklar su beyazı yarı saydamdır ve çeşitli renk efektleri yaratmak için Silc Pig™ pigmentleri ile renk pigmentlenebilir. Viskoziteyi daha da düşürmek için Smooth-On Silikon Tiner™ de ekleyebilirsiniz. THI-VEX™ silikon kalınlaştırıcı, fırçayla sürülebilir uygulamalar için Ecoflex™ silikonlara ağırlıkça eklenebilir. Tablo 1' de Ecoflex 00-30 ait teknik bilgilere yer verilmiştir.

Şekil 5: Smooth-on Ecoflex 00-30 Silicone

Tablo 1: Ecoflex 00-30 Teknik Bilgileri

Özellik	Değeri
Karışık Viskozite (ASTM D-2393)	3000 cps
Özgül Ağırlık (g/cc) (ASTM D-1475)	1.07
Özgül Hacim (cu. in. /lb.) (ASTM D-1475)	26.0
Kap Ömrü (ASTM D-2471)	45 dk
Tedavi Süresi	4 saat
Shore Sertliği (ASTM D-2240)	00-30
Çekme Dayanımı (ASTM D-412)	200 psi
%100 Modül (ASTM D-412)	10 psi
Kopma Uzaması % (ASTM D-412)	900 %
Kalıp B Yırtılma Mukavemeti (ASTM D-624)	38 psi
Büzülme (in. /in.) (ASTM D-2566)	<0.001 in. /in.

Karışımı hazırlarken, güvenlik önlemlerine dikkat etmek önemlidir. Malzemeyi uygun şekilde havalandırılmış bir alanda kullanmak gereklidir ve bu alanın havalandırması "oda büyüklüğünde" olmalıdır. Kontaminasyon riskini en aza indirmek için koruyucu gözlük, uzun kollu ve lastik eldiven kullanmak gereklidir. Ancak sadece Vinil eldivenler kullanılmalıdır, çünkü lateks eldivenler kauçuğun sertleşmesine neden olabilir. Malzeme oda sıcaklığında (73°F/23°C) saklanmalı ve kullanılmalıdır. Yüksek sıcaklıklar, malzemenin çalışma süresini ve kürleşme süresini önemli ölçüde azaltacaktır. Malzeme daha yüksek sıcaklıklarda saklanırsa, kullanılmayan malzemenin raf ömrü de azalacaktır. Bu ürünlerin sınırlı bir raf ömrü vardır ve en kısa sürede kullanılmalıdır. Karıştırma kabı düz kenarlara ve düz tabana sahip olmalıdır. Karıştırma çubukları ise karıştırma kabının kenarlarını ve altını kazımak için tasarlanmış düz ve sert olmalıdır.

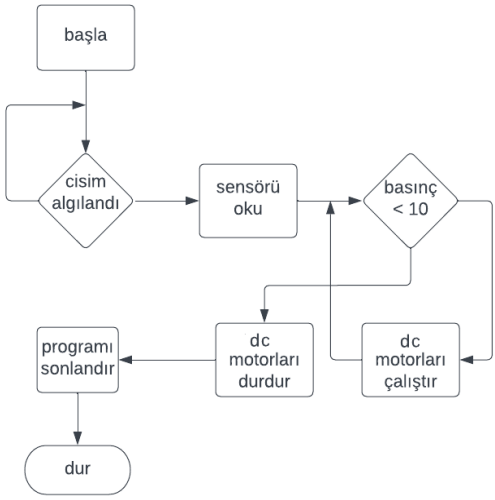
İlave-sertleşme silikon kauçuk, kalıplanacak modelin içindeki veya üzerindeki bazı kirletici maddeler tarafından engellenebilmekte ve bu da model

ara yüzünde yapışkanlığa veya kalıp boyunca tamamen kürleşme eksikliğine neden olabilmektedir. Bu inhibisyon, lateks, kalayla sertleşen silikon, kükürt killeri, bazı ahşap yüzeyler, yeni dökülmüş polyester, epoksi, kalayla sertleşen silikon kauçuk veya üreten kauçuk gibi faktörler tarafından tetiklenebilmektedir. Kauçuk ve yüzey arasındaki uyum söz konusu olduğunda, küçük ölçekli bir test önerilmektedir. Bu testte, desenin kritik olmayan bir alanına az miktarda kauçuk uygulanmalı ve önerilen sertleşme süresi geçtikten sonra kauçuk sakızımsı veya sertleşmemişse inhibisyon meydana geldiği anlaşılmalıdır. Projenin özelliklerine göre farklı sonuçlar elde edilebileceğinden, bu malzemenin performansını projeye uygunluğunu belirlemek için küçük bir test uygulaması önerilmektedir.

Ölçme ve karıştırma prosedürü, kauçuk üretiminde oldukça önemli bir aşamadır. İlk olarak, Bölüm A ve Bölüm B bileşenleri, homojen bir karışım elde edilene kadar iyice karıştırılmalıdır. Karıştırma kabına, 1A:1B hacim veya ağırlık oranında gerekli miktarda A ve B bileşenleri dağıtılmalıdır. Daha sonra, karışımın homojenliği sağlanana kadar karıştırma kabının kenarları ve altı birkaç kez kazınarak, üç dakika boyunca iyice karıştırılmalıdır. A ve B bileşenleri birleştirildikten sonra, sıvı kauçuğun içinde hapsolan havanın giderilmesi için gaz alma işlemi önerilir. Vakum pompası, minimum 29 inç civa (veya 1 Bar / 100 KPa) çekme kapasitesine sahip olmalıdır. Malzemenin genişleme özelliğinden dolayı, karıştırma kabında yeterli boşluk bırakılmalıdır. Malzeme, kabın içinde yükselip, kırılarak ve düşerek havanın tamamen çıkarılmasını sağlamak için vakumlanmalıdır. Malzeme düştükten sonra, vakum işlemi bir dakika daha devam etmelidir.

MATERYAL VE METOT

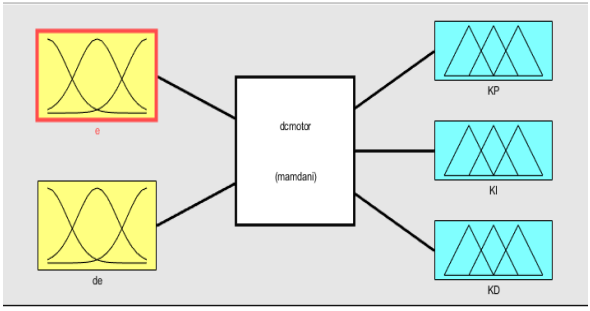
Esnek tutucu üç parmak olacak şekilde tasarlanmış olup her parmak iki dc motor vasıtasıyla hareket ettirilmektedir. Bu dc motorlara bağlı olan iki metal ip motor tarafından çekildikçe parmak, içe doğru eğilip parmakların arasında duran cismi tutabilmektedir. Bu tutma işini cisme zarar vermeden yapabilmesi için, parmakların iç kısmına yerleştirilen basınç sensöründen basınç algılayıp ekstra basınç uygulamadan dc motorları durdurabilmektedir. Sistemin çalışma prensibi Şekil 6’ da görsel olarak ortaya konulmuştur.



Şekil 6: Çalışma Prensibi

Bulanık PID Denetleyici Kullanılarak DC Motorun Hız Kontrolü

Bu projede motorların hızlarını PID denetleyici ile kontrol edebilmek için bir DC motor modeli dikkate alınmıştır. Bu PID denetleyici yapısı oransal kazanç katsayısını (K_P), integral kazanç katsayısını (K_I) ve türevsel kazanç katsayısını (K_D) bünyesinde bulundurmaktadır ve bu kazanç katsayılarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda bulanık mantık yapısı kazanç katsayılarının belirlenmesi için kullanılmıştır. Öncelikle bulanık mantık denetleyicisi belli kurallara göre tasarlanır ve böylece sistemlerin temel olarak güçlü bir yapıya sahip olması sağlanır. PID denetleyicisinin her parametresinin otomatik ayarı için bulanık mantık yapısında 25 kural kullanılmıştır. Bulanık mantık denetleyicisi iki girişli bir yapıdadır. Birinci girişi motorun hız hatası oluşturmaktadır. İkinci giriş ise, hız hatasının değişimidir. Bulanık mantık yapısının çıkışını ise PID denetleyicisinin bünyesinde bulunan kazanç katsayısı parametreleri oluşturmaktadır. Kullanılan bulanık mantık yapısı Şekil 7' de verilmiştir.

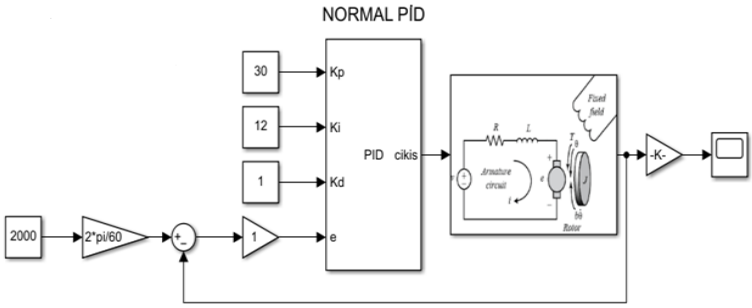


Şekil 7: Kullanılan Bulanık Mantık Yapısı

DC motorun hızını kontrol etmek için aşağıdaki DC motor modeli dikkate alınmıştır.

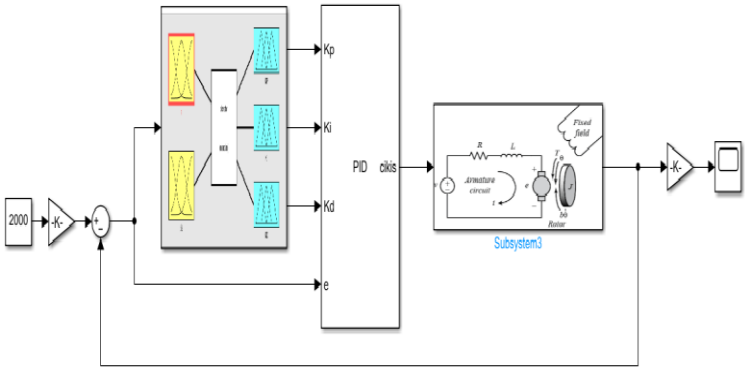
$$\frac{\theta(S)}{V(s)} = \frac{k_t}{(jS+b)(LaS+Ra)+k_tK_b} \quad (1)$$

Ayrıca bu çalışmada bulanık mantık yapısı kullanılmadan sadece PID kontrol dikkate alınarak motorun hız kontrolü de gerçekleştirilmiştir. Bunun amacı bulanık mantık yönteminin sisteme olan katkısını kıyaslayabilmektir. PID denetleyicisinin işlevi esas olarak yapısında bulunan kazanç katsayılarının ayarlanmasından geçer. Optimum kontrol performansı elde etmek için oransal kazanç (K_P), integral kazanç (K_I) ve türevsel kazanç (K_D) en iyi şekilde seçilmelidir. PID parametrelerini ayarlamak için birkaç yöntem kullanılmaktadır. Bu kısımdaki çalışmada deneme yanılma yöntemi kullanılmıştır. Şekil 8' de PID kontrol ile motorun hız kontrolünün sağlandığı blok diyagramı görülmektedir. Deneme yanılma yöntemiyle bulunmuş olan kazanç katsayıları da burada görülmektedir.



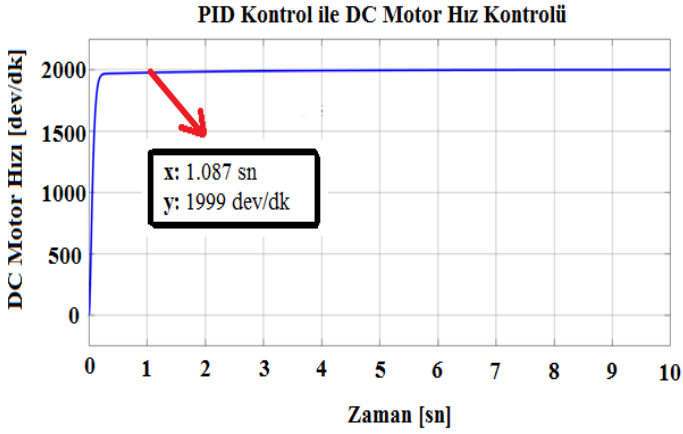
Şekil 8: PID Kontrol ile Motorun Hız Kontrol Blok Diyagramı

Ayrıca bulanık mantık yapısı kullanılarak elde edilen PID kazanç katsayılarının blok diyagramı ve PID kontrol yapısı Şekil 9' da verilmiştir.



Şekil 9: Bulanık Mantık-PID Kontrol Bloğu

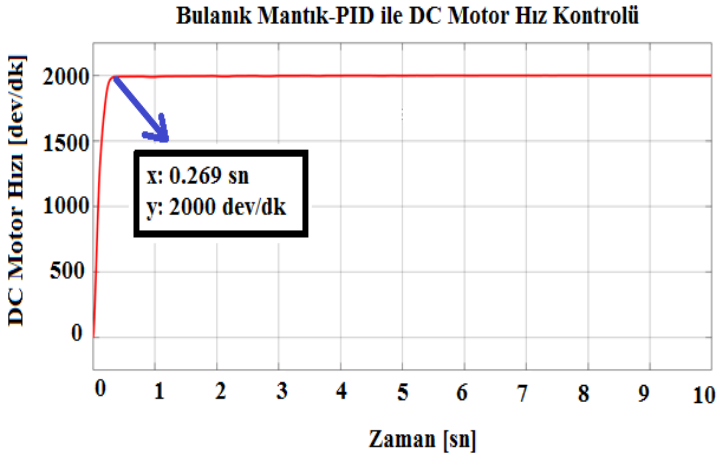
Şekil 10' da deneme yanılma yöntemiyle tasarlanmış olan PID kontrole ait DC motor hız kontrolü grafiği görülmektedir. Blok diyagramlarından da görüleceği gibi motor 2000 dev/dk sabit hızda control edilmek istenmiştir. PID kontrolün DC motor hız control sonucu incelendiğinde 1.087 sn sonra 1999 dev/dk hızı sağladığı, 1 dev/dk kalıcı durum hatasının meydana geldiği elde edilmiştir.



Şekil 10: PID Kontrol ile DC Motor Hız Kontrol Sonucu

Şekil 11' de ise Bulanık Mantık-PID ile DC motor hız control sonucuna yer verilmiştir. Buradaki PID kontrol tasarlanırken kazanç katsayıları bulanık mantık yapısı ile belirlenmiştir. Grafik üzerinden sonuçlar incelendiğinde 0.269

sn yerleşme zamanında istenilen 2000 dev/dk motor hızının sağlandığı görülmektedir.



Şekil 11: Bulanık Mantık-PID ile DC Motor Hız Kontrol Sonucu

Tablo 2' de ise normal PID ve Bulanık Mantık-PID control yöntemlerinin performans değerleri detaylı olarak verilmiştir. Her iki yöntemde de maksimum aşmanın olmadığı görülmektedir. Yükselme zamanının her ne kadar PID yönteminde daha iyi olduğu elde edilmişsede, bu yöntemde kalıcı durum hatası meydana gelirken Bulanık Mantık-PID yönteminde kalıcı durum hatası oluşmamıştır. Yerleşme zamanında en iyi performansı sergileyen yöntemin 0.269 sn ile Bulanık Mantık-PID yönteminin olduğu Tablo 2' den açık bir şekilde görülmektedir. Aynı zamanda Şekil 11' deki sonuç grafiklerinden de bu durum net olarak ortaya çıkmaktadır.

Tablo 2: Kontrol Performans Değerleri

Parametre	PID	Bulanık Mantık-PID
Max. Aşma (%)	0	0
Yükselme Zamanı (10-90%) (s)	151ms	172 ms
Kalıcı Durum Hatası (dev/dk)	1	0
Settling time (2%) (s)	1.087 sn	0.269 sn

Sonuç olarak bu çalışmada DC motorun hızını kontrol edebilen PID denetleyici tasarlanmıştır. PID denetleyicinin oransal, integral ve türev kazançları (K_P, K_I, K_D) deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur. Ayrıca motorların hız kontrolünü gerçekleştirmek için Bulanık Mantık-PID kontrol

yöntemi de tasarlanmıştır. Bulanık Mantık yapısı PID kontrolün kazanç katsayılarını hesaplamak için kullanılmıştır.

Simülasyon sonuçları, tasarlanmış kendi kendini ayarlayan Bulanık Mantık-PID denetleyicisinin daha iyi bir sonuca gittiğini göstermektedir. DC motorun davranışı, PID kontrolde her ne kadar yükselme zamanı daha kısa olsa da yerleşme zamanı Fuzzy-PID kontrol yönteminde yaklaşık 0.8 sn kadar kısadır. Sıfır maksimum aşma, sıfır kalıcı durum hatası ve 0.269 sn yerleşme zamanı ile PID denetleyicisine kıyasla Fuzzy-PID çok daha iyi bir performans sergilemiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma, nesne algılama ve matematik güvenilirliğine sahip gelişmiş ve esnek bir robotik odak kavramını sunmaktadır. Şu anda robotik tutucular, farklı şekiller ve bileşenlerindeki parçalar ile doğru bir şekilde algılama ve tutma işleminde bulunmama konusunda bazı kısıtlamalarla karşı karşıyadır. Bu kısıtlamaların ortadan kaldırılması amacıyla bu çalışma yeni bir esnek robotik tutucu önermektedir. Robotik tutucuların nesnel algılama ve kısıtlılıklarının sınırlandırılması, endüstriyel olarak ele alınması ve bunlardan yararlanabilme potansiyeli mevcuttur.

Bu çalışma sonucunda üç parmak yapısına sahip özgün yeni bir esnek robotik tutucu tasarlanmıştır. Tasarlanan tutucunun yapısında kullanılan tellerin kontrolü için dc motorlar tercih edilmiştir. DC motorların hız kontrolü PID ve Bulanık Mantık-PID kontrol yöntemleri ile kontrol edilmiştir. Motor hız kontrolü sonucunda istenilen hız Bulanık Mantık –PID kontrol yönteminde daha iyi bir performans sergilenmiştir. Normal PID kontrolde kazanç katsayıları deneme yanılma ile elde edilmiştir. Bulanık Mantık-PID kontrol yönteminde kazanç katsayıları Bulanık Mantık yapısıyla üretilip PID kontrol yapısına gönderilmiştir.

Endüstriyel kullanımlar için geliştirilmiş robotik kısıtlamaların nesne algılama ve kesim güvenilirliğini artırmak için çeşitli şekillerde yapılması gerekir. Robotik tutucuların daha doğru bir şekilde nesne şekillerini ve boyutlarını algılayabilmesi için gereken teknolojiler geliştirilmelidir. Böylece robotik tutucular, yapıları daha hassas ve bir şekilde tutabilirler.

Ayrıca, esnek robotik kısıtlamaların endüstriyel kullanımlar için belirlenen koşullara sahip olmaları gerekmektedir. Bu standartlar, robotik tutucu birimlerinin güvenli ve etkili bir şekilde tutmalarını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu sayede, robotik kısıtlamaların endüstriyel kullanımları daha yaygın hale getirilebilir ve yayımlanabilir.

Son olarak, esnek robotik kısıtlamaların endüstriyel kullanımları için uygun eğitim düzenlemeleri oluşturulabilir. Bu eğitim programları, robotik kısıtlamaların doğru çalıştırma ve kullanıcıların robotik kısıtlamaların çalıştırılmasından tam olarak faydalanmalarını sağlamak amacıyla hazırlanabilir.

Özetle, robotik tutucuların nesne algılama ve kullanım güvenilirliğini artırma, endüstriyel kullanımlarını daha yaygın hale getirme ve uygun eğitim programları hazırlama, esnek robotik tutucuların daha etkili bir şekilde kullanılmasına yardımcı olabilir.

REFERANSLAR

Alizadehyazdi, V., Bonthron, M. ve Spenko, M. (2020). An electrostatic/gecko-inspired adhesives soft robotic gripper. IEEE Robotics and Automation Letters, 5(3), 4679-4686.

Batsuren, K. ve Yun, D. (2019). Soft robotic gripper with chambered fingers for performing in-hand manipulation. Applied Sciences, 9(15), 2967.

Hockstein, N. G., Gourin, C. G., Faust, R. A. ve Terris, D. J. (2007). A history of robots: from science fiction to surgical robotics. Journal of robotic surgery, 1, 113-118.

Kim, S., Laschi, C. ve Trimmer, B. (2013). Soft robotics: a bioinspired evolution in robotics. Trends in biotechnology, 31(5), 287-294.

Liu, C. H., Chen, T. L., Chiu, C. H., Hsu, M. C., Chen, Y., Pai, T. Y. ve Chiang, Y. P. (2018). Optimal design of a soft robotic gripper for grasping unknown objects. Soft robotics, 5(4), 452-465.

Liu, C. H., Chung, F. M., Chen, Y., Chiu, C. H., & Chen, T. L. (2020). Optimal design of a motor-driven three-finger soft robotic gripper. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 25(4), 1830-1840.

Manti, M., Hassan, T., Passetti, G., D'Elia, N., Laschi, C. ve Cianchetti, M. (2015). A bioinspired soft robotic gripper for adaptable and effective grasping. Soft Robotics, 2(3), 107-116.

Rateni, G., Cianchetti, M., Ciuti, G., Menciassi, A. ve Laschi, C. (2015). Design and development of a soft robotic gripper for manipulation in minimally invasive surgery: a proof of concept. Meccanica, 50, 2855-2863.

Rus, D. ve Tolley, M. T. (2015:467). Design, fabrication and control of soft robots. Nature, 521(7553), 467-475.

Schurr, N., Varakantham, P., Bowring, E., Tambe, M. ve Grosz, B. (2007). Asimovian multiagents: applying laws of robotics to teams of humans and agents. In Programming Multi-Agent Systems: 4th International Workshop, ProMAS 2006, Hakodate, Japan, May 9, 2006, Revised and Invited Papers 4 (ss. 41-55). Springer Berlin Heidelberg.

Sotelo, V. R. B., Sánchez, J. R. G. ve Ortigoza, R. S. (2007). Robots móviles: Evolución y estado del arte. Polibits, (35), 12-17.

Szabolcsi, R. (2014). The birth of the term robot. Advances in Military Technology, 9(1), 117-128.

Wang, R., Zhang, X., Zhu, B., Zhang, H., Chen, B. ve Wang, H. (2020). Topology optimization of a cable-driven soft robotic gripper. Structural and Multidisciplinary Optimization, 62, 2749-2763.

Zhang, W., Dai, A. ve Rong, Y. (2015). Engineering design for robot aesthetics. In International Design Engineering Technical Conferences and

Computers and Information in Engineering Conference. American Society of Mechanical Engineers.

Zhou, J., Chen, S. ve Wang, Z. (2017). A soft-robotic gripper with enhanced object adaptation and grasping reliability. IEEE Robotics and automation letters, 2(4), 2287-2293.

Bölüm 15

Batarya Yönetim Sistemlerinde İleri Beslemeli Sinir Ağları Uygulamaları

Mete ÖZBALTAN[1]

Mehmet KURUCAN[2]

[1] Dr. Öğr. Üyesi; Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. mete.ozbaltan@erzurum.edu.tr ORCID No: 0000-0002-3215-6363

[2] Öğr. Gör. Dr.; Ardahan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. mehmetkurucan@ardahan.edu.tr ORCID No: 0000-0003-4359-3726

ÖZET

Lityum-iyon piller (Lithum-ion Battery - LIB), diğer pil teknolojilerine kıyasla yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle çeşitli endüstrilerde önemli bir rol oynamaktadır. Bu piller, enerji depolama sistemleri, elektrikli araçlar ve taşınabilir elektronik cihazlar gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, LIB'ler hala aşırı ısınma ve yaşlanma gibi güvenlik sorunlarına sahiptir. Bu nedenle, pil yönetim sistemleri (Battery Management Systems - BMS), güvenli ve verimli bir şekilde çalışmalarını sağlamak için önemli bir rol oynamaktadır. BMS, pilin sağlık durumu (State Of Health - SOH), şarj durumu (State Of Charge - SOC) ve kalan kullanım ömrü (Remaining Of Useful Life - RUL) gibi önemli durumlarının doğru bir şekilde tahmin edilmesi konusunda temel zorluklarla karşı karşıyadır. Aynı zamanda, LIB'lerin hatalarının tespiti (Faulty Of Detection - FOD) de BMS için kritik bir işlevdir. LIB'lerin karmaşık elektrokimyasal özellikleri göz önüne alındığında, pilin durumunu doğru bir şekilde tahmin edebilen gelişmiş BMS sistemleri geliştirmeye yönelik artan bir ilgi bulunmaktadır. Bu çalışmada, LIB'lerin durumunu tahmin etmek için ileri beslemeli sinir ağları (Feed Forward Neural Network - FFNN) tabanlı yöntemlerin giderek artan popülerliğine odaklanılmıştır. Bu çalışma, FFNN tabanlı BMS üzerine yapılan geniş kapsamlı çalışmaları içermektedir. SOH, SOC, RUL ve FOD için BMS uygulamaları ve tahmin yöntemleri detaylı bir şekilde sınıflandırılmıştır. Çalışma, en güncel FFNN yöntemlerini kapsar ve bunların karşılaştırmalı analizini sunar. Ayrıca, mevcut eğilimlere dikkat çekmekte ve BMS uygulamalarındaki boşlukları belirlemektedir. Gelecekteki araştırma ve geliştirme çalışmaları için de yönlendirmeler sunulmaktadır, böylece var olan BMS'lerin geliştirilmesi veya gelişmiş BMS sistemlerinin oluşturulması hedeflenmektedir. Bu çalışmada sunulan kapsamlı analiz, LIB'ler bağlamında BMS yeteneklerini geliştirmeye ve pil yönetimi stratejilerini iyileştirmeye yönelik araştırma ve çalışmalar için değerli bir kaynak olarak hizmet etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Batarya Yönetim Sitemleri, Lityum-iyon Piller, İleri Beslemeli Sinir Ağları, Sağlık Durumu, Şarj Durumu, Kalan Kullanım Ömrü, Hata Tespiti

GİRİŞ

Hızla küreselleşen ve genişleyen dünyada artan enerji talebi, hızla tükenen geleneksel petrol tabanlı enerji kaynakları için önemli zorluklar oluşturmuştur. Ayrıca, fosil yakıtların çevresel kirlilik ve halk sağlığı üzerindeki zararlı etkileri giderek daha endişe verici hale gelmiştir. Özellikle, fosil yakıtların yanması atmosfere sera gazları salarak küresel iklim değişikliğini ve beraberindeki sonuçları kötüleştirmektedir (Jorgensen, 2008). Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre, ulaşım sektörü, 2015 yılında küresel sera gazı emisyonlarının %24'ünü oluşturmuş olup, bu emisyonların büyük bir kısmından karayolu sektörü sorumludur (Li vd., 2019). Bu nedenle, küresel olarak sera gazı emisyonlarının azaltılması, küresel ısınmayı hafifletme ve çevresel değişikliklere ve enerji sıkıntılarına uyum sağlama yönünde bir geçiş süreci yaşanmaktadır (Gielen vd., 2019). Bu geçiş, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmayı hedeflemektedir.

Küresel hedefe ulaşmak amacıyla, elektrikli araçlara (Electric Vehicle - EV) geçişin ilk aşamasında, geçişin ara bir adımı olarak hibrit elektrikli araçların (Hybrid Electric Vehicle - HEV) benimsendiği görülmüştür. HEV'lerle ilişkilendirilen emisyonlardaki beklenen azalmanın yanı sıra, olumsuz etkileri tamamen ortadan kaldırmada etkinlikleri sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, sonraki aşamada, üstün ekolojik ve çevresel özelliklere sahip olan EV'lerin ortaya çıkışı gözlemlenmiştir (Contestabile vd., 2011). Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanabilen EV'leri mümkün kılan belirleyici teknoloji, pil teknolojisidir. EV'ler, yenilenebilir kaynaklardan üretilebilen elektriği depolamak için şarj edilebilir pillere dayanmaktadır. Pil sistemleri, EV'lerin performansını optimize etmek ve güvenliğini sağlamak açısından kritik bir rol üstlenmektedir. Farklı pil teknolojileri arasında, LIB'ler, yüksek enerji yoğunluğu, yüksek enerji verimliliği ve nispeten uzun döngü ömrü gibi üstün özellikleri nedeniyle geniş çapta önem kazanmıştır (Chen T, 2020). Sonuç olarak, LIB'ler, enerji depolama sistemleri, EV'ler (örneğin: arabalar, otobüsler, uçaklar, gemiler) ve bir dizi çağdaş elektronik cihaz gibi farklı uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Batarya sistemlerinin karmaşıklığı, kullanılan pillerin sayısının artmasıyla birlikte artabilir. Örneğin, EV'lerde, pil hücrelerinin sayısı doğrudan aracın ağırlığını ve pil sisteminin genel kapasitesini etkiler. Ancak, aşırı miktarda pil, şarj/deşarj döngülerinde pil sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Bu da dolaylı olarak pil sisteminin kapasitesini etkiler. Ayrıca, önemli hatalar, pil şarj koşullarında ani düşüşlere yol açabilir. Sonuç olarak, kompakt, verimli, hafif, güvenli, güvenilir ve uzun ömürlü pil sistemlerine olan ihtiyaç artmaktadır. Bu durum, SOH, SOC, RUL tahminleri ve FOD gibi birçok

araştırma zorluğunu beraberinde getirmektedir, ki bunlar BMS'nin kapsamına girer. BMS, pil sistemlerini yönetmede kritik bir rol oynar ve pilin güvenliğini, güvenilirliğini ve gerektiği gibi güç sağlama yeteneğini sağlar. BMS tarafından yapılan doğru tahminler, aşırı şarj veya deşarj gibi riskleri azaltarak, pil ve sistem hasarını, örneğin erken yaşlanmayı önlemeye yardımcı olması açısından büyük önem taşır.

İyi tasarlanmış bir BMS, şarj/deşarj döngüleri, voltaj, akım, sıcaklık ve hatalı durumlar gibi parametrelerle ilgili değerli bilgiler sağlamalıdır. Bu bilgiler, mevcut bir LIB'in durumunu tahmin etmek için girdi olarak kullanılabilir. Literatürde SOC, SOH, RUL ve FOD gibi BMS parametrelerini tahmin etmek için çeşitli teknikler kullanmaktadır. Bu teknikler, model temelli ve makine öğrenimi tabanlı yaklaşımlar olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

Makine öğrenimi tabanlı yaklaşımlar, BMS giriş-çıkış verilerini içeren veri kümeleri üzerinde eğitilen çeşitli modeller kullanır. Bu modeller, belirli giriş koşulları verildiğinde çıkış durumunu tahmin edebilirler. Belirli BMS tahmin görevleri için kullanılan giriş ve çıkış verileri, farklı laboratuvar koşullarını içerebilir, bu da çeşitli veri setlerine yol açar. Bu yaklaşımlarda tipik olarak kullanılan veriler, voltaj, akım, sıcaklık, zaman, şarj/deşarj döngü sayısı ve SOC değerleri gibi çeşitli ölçümleri içerir. Bu bilgileri kaydetmek için veri toplama çerçeveleri kullanılır ve pil veya pil sistemi modeline dayalı olarak ek veriler oluşturulabilir. Öte yandan, pil arızası bilgisi elde etmek, genellikle pil ile ilgili deneylerin bir parçası olarak laboratuvar ortamlarında gerçekleştirilen deneysel testlere dayanır (Samanta vd., 2021).

Model temelli yaklaşımlar, veri odaklı yöntemlere göre daha uzun bir geliştirme süresi gerektirir. Çünkü model temelli yöntemler, pil sisteminin temelindeki fizik ve kimya konusunda kapsamlı bir anlayış gerektirir ve bu anlayışa ulaşmak zor ve zaman alıcı olabilir. Buna karşılık, veri odaklı yaklaşımlar makine öğrenimi algoritmalarını büyük veri kümelerinden öğrenerek, geliştirme süresi açısından daha verimli olabilir. Ancak, veri odaklı yöntemler için yüksek kalitede veri elde etmek de zorlu ve zaman alıcı bir görev olabilir. Bu nedenle, yöntem seçimi kaynakların mevcudiyeti, gereken doğruluk düzeyi ve belirli uygulama bağlamı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Model temelli yöntemler geliştirirken pil dinamiklerini modelleme ve kontrolör tasarımı gibi görevler gerekliyken, veri odaklı yöntemler büyük ve temsilci veri kümelerine ihtiyaç duyar ve bu verilerin toplanması, temizlenmesi ve ön işlemesi, eğitim ve doğrulama için kullanılmadan önce zaman alıcı olabilir. Dolayısıyla, her iki yaklaşım da geliştirme sürecinde kendi zorlukları ve zaman gereksinimleri vardır.

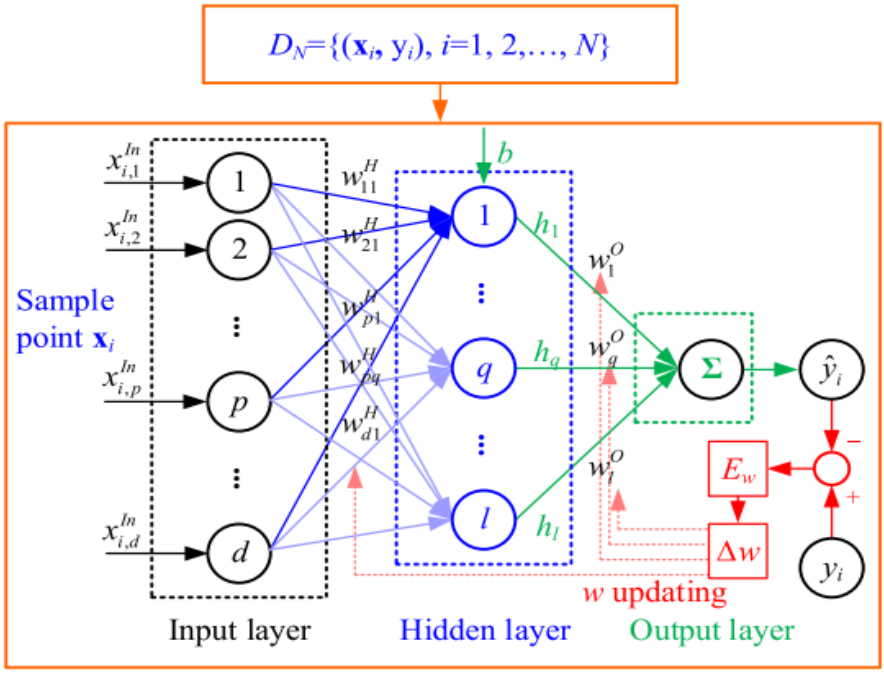
Son yıllarda makine öğrenimi tabanlı çalışmaların popülerliği ve özellikle makine öğrenimi tabanlı algoritmaların model temelli algoritmalar karşısında daha fazla kullanılabilirlik sunması, her iki yaklaşımın birbirine göre avantajları ve dezavantajları olsa da, makine öğrenimi tabanlı yöntemlerin daha çok tercih edilmesine neden olmaktadır (Sui vd., 2021). Bu çalışma, makine öğrenmesi tabanlı yöntemler kullanarak BMS durum tahminlerini yapay sinir ağlarının (Artificial Neural Network - ANN) bir alt sınıfı olan FFNN üzerinden kategorize etmiştir.

Bu çalışma, BMS durumları bağlamında FFNN yöntemini kullanan çalışmaları inceleyerek başlar. Ardından, BMS durumları, kullanıldığı belirli uygulamalara göre sınıflandırılır. Her BMS durumu içinde, kullanılan FFNN yöntemi, veri tabanı, pil kimyası, parametre seçimi, test yöntemleri ve hata metrikleri tarafından belirlenen oransal değerlere göre ayrı ayrı kategorilere ayrılır ve özellikle minimum hata değerlerine odaklanılır. Bu kapsamlı kategorizasyon, veri mevcudiyeti, parametre özellikleri, pil kimyası ve daha fazlası gibi temel bilgilere hızlı erişimi kolaylaştırır ve bu alanda çalışmayı amaçlayan araştırmacıların veya kuruluşların çeşitli BMS durumları arasında verimli bir şekilde gezinmelerine olanak tanır. Ayrıca, bu çalışmada sunulan perspektif sınıflandırmaları, literatürde şu anda popüler olan BMS uygulamaları için bir rehber olarak hizmet etmekte ve FFNN tabanlı BMS'lerde önemli alanların belirlenmesine katkıda bulunmaktadır.

Bu çalışmanın geri kalan bölümleri şu şekilde yapılandırılmıştır: Bölüm 2, FFNN'nin yapısı hakkında kısa tanımını sunar. Bölüm 3 SOH tahminleri, Bölüm 4 SOC tahminleri, Bölüm 5 RUL tahminleri ve Bölüm 6 ise LIB'deki hata tespitleri için kullanılan FFNN yöntemlerinin günümüz literatüründe kullanım şeklini sunar. Bölüm 7 ise yapılan bütün çalışmaları analiz ederek detaylı bir rehber niteliğinde sınıflandırma sonuçlarını değerlendirmesini yapar. Son olarak Bölüm 8'de bu çalışmanın sonuç kısmı ele alınmıştır.

İLERİ BESLEMELİ SİNİR AĞLARI

İleri Yönlü Beslemeli Yapay Sinir Ağı (FFNN), bilgi akışının sadece giriş düğümlerinden çıkış düğümlerine doğru, varsa herhangi bir gizli düğümü geçerek tek yönlü olarak gerçekleştiği temel ve en basit yapılı ANN tasarımıdır (Sui vd., 2021). Bu tür ağ mimarisi, tasarımında yer alan çeşitli önemli parametreleri içeren bu çalışmada kapsamlı bir şekilde tartışılmaktadır. Literatürde belirtildiği gibi, bu ağda düğümler arasında bağlantılarda döngü yoktur (Sazli, 2006).



Şekil 1: İleri Beslemeli Sinir Ağı Modeli

FFNN, nöron adı verilen temel bilgi işlem birimlerinden oluşur. Bu nöronlar, sinir ağı katmanları olarak adlandırılan gruplara ayrılır. Bir FFNN Şekil 1'de görüldüğü gibi, en az üç katmandan oluşur: giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı.

Giriş Katmanı: Verilerin sinir ağına giriş yaptığı yerdir (Şekil 1'de sample point x_i). Bu katmanda her bir giriş özelliği bir nörona bağlanır. Giriş katmanındaki nöronlar, veri setinin boyutuna göre değişir.

Gizli Katman: Giriş katmanı ile çıkış katmanı arasında bulunur ve adından da anlaşılacağı gibi gizli olarak çalışır (Şekil 1'de hidden layer). Bu katmandaki her bir nöron, giriş özelliklerini işler ve öğrenir. Sinir ağı daha karmaşık ilişkileri öğrenmek için genellikle birden fazla gizli katman içerebilir. Katman sayısı, sinir ağının derinliğini ifade eder.

Çıkış Katmanı: Son katmandır ve sinir ağının sonuçlarını üretir (Şekil 1'de output layer $\hat{y}_i$). Sınıflandırma gibi çeşitli görevlerde çıkış katmanında her sınıfa karşılık gelen bir nöron bulunurken, regresyon gibi diğer görevlerde çıkışlar sürekli değerler olabilir.

FFNN, giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki karmaşık ilişkileri modelleme yeteneği sayesinde, sınıflandırma, tahmin ve özellik çıkarma gibi çeşitli uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Bu yöntem, çeşitli veri analizi

ve işleme problemlerinde etkili sonuçlar elde etmek için kullanılan güçlü bir araçtır. Ayrıca, FFNN'nin başarılı performansı ve geniş uygulama alanları, yapay sinir ağı tasarımı ve makine öğrenmesi alanındaki araştırmalarda sürekli olarak ilgi çekmektedir. Yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve büyük veri setlerinin analiz edilmesi için FFNN gibi yöntemlerin kullanımının önemi giderek artmaktadır. Gelecekte, bu alandaki araştırmaların daha da gelişeceği ve FFNN'nin daha karmaşık ve genişlemiş versiyonlarının ortaya çıkacağı öngörülmektedir.

Fakat tabiki bu algoritmanında diğer algoritmalarda olduğu gibi dezavantajları bulunmaktadır örneğin bu tarz sinir ağlarının öğrenme hızı gereğinden daha yavaş olmaktadır. Bu sorun, iki temel faktöre bağlanabilir: (i) sinir ağı eğitimi için yaygın olarak kullanılan yavaş gradyan tabanlı öğrenme teknikleri ve (ii) böyle öğrenme yöntemlerini kullanarak tüm ağ parametrelerinin tekrarlayan şekilde ayarlanması (Huang vd., 2006). Bu sorunu çözmek için, literatürde tanıtılan Rastgele Vektör Fonksiyonel Bağlantı Sinir Ağları (RVFBA) kullanılır; RVFBA, aşırı öğrenme makinesi (ELM) olarak da bilinir (Pao vd., 1994).

ELM yaklaşımı, özellikle hesaplama verimliliği ve öğrenme hızı açısından geleneksel öğrenme tekniklerine kıyasla önemli iyileştirmeler göstermiştir. ELM, sinir ağı eğitimi için gerekli hesaplamaları minimize eder ve rastgele vektörleri kullanarak ağırlıkları rastgele bir şekilde ayarlar. Bu sayede, geleneksel gradyan tabanlı tekniklerdeki gibi tüm ağ parametrelerinin tekrar tekrar ayarlanması yerine, ağırlıklar daha hızlı ve verimli bir şekilde belirlenir.

ELM'in bu avantajları, görüntü tanıma, ses işleme, finansal tahmin gibi çeşitli uygulamalarda umut verici bir alternatif olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Yüksek öğrenme hızı ve hesaplama verimliliği, büyük veri setleri ve karmaşık problemlerle başa çıkmak için FFNN'ler yerine ELM'yi tercih etmeyi cazip kılmaktadır (Huang vd., 2006]. Bu nedenle, ELM, yapay sinir ağı alanında ilgi çekici ve gelecekte daha da geliştirilebilecek bir yöntem olarak görülmektedir.

Sonuç olarak, FFNN, basit yapısı ve etkin sonuçlarıyla bilgi işlem, sınıflandırma ve tahmin gibi birçok alanda kullanılabilecek güçlü bir yapay sinir ağı tasarımıdır.

PİLİN SAĞLIK DURUMU

FFNN tekniği, bataryaların Sağlık Durumu (SOH) tahmininde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle, bu çalışmalardan biri olan (Won You vd., 2016) çalışmasında, bir BMS'den gerçek zamanlı veri bir yıl boyunca toplanarak SOH tahmini yapılmıştır. Benzer şekilde, (Kashkooli vd., 2019)

çalışmasında ise farklı C-rates veri on ay boyunca bir aylık aralıklarla toplanmıştır. Ancak, tam şarj ve deşarj eğrilerinin mevcut olmaması nedeniyle SOH özellikleri kısmi eğrilerden çıkarılmıştır (Naha vd., 2020).

Özellikle, SOH özelliklerinden önemli olanlardan biri, (Zhang vd., 2019) çalışmasında kısmen düzeltilmiş IC (Internal Conductance) eğrileri kullanılarak FFNN eğitimine entegre edilmiştir. Bu şekilde, pilin SOH değeri daha hassas bir şekilde tahmin edilebilir hale gelmiştir. Karakteristik seçimi ve IC eğrisinin oluşturulmasında gerilim farkı işlemi de önemli bir rol oynamaktadır.

(Han vd., 2019) tarafından yapılan çalışmada, batarya gerilimi davranışının analiz edilmesi için FFNN modeli geliştirilmiştir. Bu model, şarj işlemi sonrasında gözlemlenen belirgin gerilim değişimlerinden ilham alınarak oluşturulmuştur. Birden fazla gerilim örneğinin kullanılmasının zorluklarına çözüm olarak, giriş özellik vektörlerinin azaltılması ve ağ yapısının basitleştirilmesi hedeflenmiştir.

Öte yandan, (Wu vd., 2016) çalışmasında sunulan yöntem, FFNN için uygun giriş değerlerini seçmek için önemli bir örnekleme yapısı kullanır. Bu yaklaşım, hata payını azaltmaya yardımcı olmanın yanı sıra hesaplama yükünü de azaltmaktadır. Aynı temel üzerine inşa edilen (Cao vd., 2019) çalışması ise, gerilim dalgalanmalarının yerel aralığını belirlemek için bir yöntem önerir. Bu yöntem, deşarj geriliminin entropisini FFNN için giriş olarak kullanır ve SOH için alt ve üst tahminler üretir. Önerilen teknik, bataryanın yerel dalgalanmalarını ve genel bozulma eğilimini doğru bir şekilde tahmin eder.

FFNN'in bir batarya modeli ile birleştirilmesiyle, SOC ve SOH tahminleri için ortak bir tahmin yapılabilir. Gerilim değişimini kullanarak FFNN'i eğitmek için çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir (Zhou vd., 2020, Chaoui vd., 2017, Rahbari vd., 2018). Benzer şekilde, SOC değişimini kullanarak eğitim için de çalışmalar yapılmıştır (Zhou vd., 2020, Bonfitto, 2020]. Ayrıca, batarya model parametrelerini kullanarak eğitim için de yöntemler önerilmiştir (Yang vd., 2020, Andre vd., 2013, Bai vd., 2014, Kim vd., 2011).

FFNN, bu eğitim yöntemleriyle elde edilen bilgileri kullanarak SOH özelliklerini çıkarmak için de kullanılabilir ve bu, SOC tahmini için ek bilgiler sağlayabilir. Bu şekilde, batarya yönetimi ve enerji depolama sistemlerinin performansı ve verimliliği artırılabilir. FFNN'in çeşitli eğitim yaklaşımları ve entegre edilebileceği batarya modelleri, bataryaların sağlık durumlarının daha doğru ve güvenilir bir şekilde izlenmesini sağlayarak, enerji depolama teknolojilerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

SOH tahminini doğru bir şekilde yapabilmek için, model eğitimi ve tahmini için verilerin aynı çalışma koşullarında ölçülmesi gerekmektedir, çünkü özelliklerin SOH tahmin sonuçları üzerinde önemli bir etkisi vardır. Literatürde

yapılan bazı çalışmalarda, bu önemli etkiyi göz önünde bulunduran farklı yaklaşımlar kullanılmıştır.

Bir çalışmada, Thevenin modeli ve ELM kullanılarak batarya SOH tahmini başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir (Pan vd., 2018). En küçük kareler yöntemiyle iç direncin çevrim içi olarak tanımlanması ve çeşitli yükleme profillerinden etkilenmeden model parametrelerinin başarıyla belirlenmesi sağlanmıştır.

Başka bir çalışmada, gerilim dizisi ve deşarj hızlarını birleştiren enerji tabanlı bir özellik önerilmiş ve farklı deşarj hızlarında çevrim içi SOH tahminlerinin mümkün kılınması sağlanmıştır (Liu ve Xu, 2020).

Gerçek uygulamalarda, gerekli örnek verilerin çevrim içi olarak toplanması zaman alıcı bir süreç olabilir. Bu nedenle, eski ve yeni verilerin her ikisini de kullanmak için çevrim içi ardışık bir ELM kullanımı önerilmiştir (Zhu vd., 2017). Bu yaklaşım, önceden küçük bir kısmını kullanarak ELM'nin çıktı ağırlığını belirler ve ardından ağırlığı yeni bir örnek ile güncelleyerek hızlı öğrenme, güçlü genelleme yetenekleri ve yüksek doğruluk sağlar.

ELM'nin doğruluğunu daha da artırmak için bazı eşleştirilmiş stratejiler önerilmiştir (Ma vd., 2020). Bu çalışmada, giriş verilerini işlemek için geniş öğrenmeyi kullanan geniş ELM tekniği önerilmiş ve bir aktivasyon fonksiyonu kullanarak eşleme özelliklerini iyileştirilmiştir.

Transfer öğrenme, kaynak verilerden elde edilen bilgilerin hedef verilere uygulanması için kullanılan başka bir yöntemdir (Jia vd., 2019). Önerilen yaklaşım, sınırlı veri ile bile iyi tahmin doğruluğu göstermiştir.

Sonuç olarak, FFNN'in SOH tahmininde kullanımı, doğru ve verimli bir şekilde pil sağlık durumunun izlenmesini mümkün kılan umut verici sonuçlar göstermiştir. Bu yöntem ile yapılan çalışmalar batarya ömrü boyunca oluşan değişimleri izleyerek pilin gerçek performansını değerlendirebilir ve potansiyel sorunları önceden tespit edebilir. Bu sayede, batarya kullanım süresi ve performansı artırılarak, daha güvenilir ve etkili enerji depolama sistemleri oluşturulabilir. Gelecekteki araştırmalarda, FFNN teknolojisinin batarya yönetimi ve enerji depolama sistemleri alanındaki rolünün daha da geliştirilmesi ve optimize edilmesi beklenmektedir.

PİLİN ŞARJ DURUMU

Şarj Durumu (SOC), BMS için son derece önemli bir parametredir. Örneğin elektrikli araçların kalan menzilini tahmin etmek ve bataryanın aşırı şarj ve deşarj koşullarını önlemek için güvenli bir kontrol yöntemi belirlemeye yardımcı olur. Bu nedenle, son zamanlarda FFNN tabanlı SOC tahminini geliştirmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Bir çalışmada, önerilen FFNN modelinin batarya sistemlerinin şarj profillerini belirlemek için uygun olduğu öne sürülmüştür (Li vd., 2019). Bu çalışmada, eğitim süresini azaltmak ve yerel minimumları belirlemeyi kolaylaştırmak için gizli katmanlara kaotik bir nöron eklemek önerilmiştir. Özellikle düşük güç koşullarında bu yaklaşımın avantajlı olduğu belirtilmiştir.

Bir başka çalışmada, SOC tahmini için farklı sinir ağı modelleri olan FFNN, radyal baz fonksiyonu (RBF) ve dışsal girişli non-lineer oto regresif (NARX) modeller kullanılmıştır (Enache ve Diaconescu, 2014). Bu modellerin performansları, eğri uydurma ve öngörülen özellik değerlerine dayalı olarak karşılaştırılmıştır.

Yine bir diğer çalışmada, tek boyutlu özellik verilerinin kullanımının kısıtlamalarını aşmak için yeni bir yaklaşım önerilmiştir (Li ve Liu, 2019). Bu yöntemde, FFNN ve zaman serileri sinir ağı gibi iki farklı model kullanılmış ve önerilen yaklaşımın tek boyutlu verilerle kullanılan sinir ağlarından daha etkili SOC tahmini sağladığı gözlemlenmiştir.

Ayrıca, gelişmiş bir batarya modeli kullanılarak yeni tanımlanan girişlerle FFNN tabanlı bir model oluşturulmuş ve modelin dayanıklılığı deneysel veriler kullanılarak gösterilmiştir (Chen vd., 2019). (Soylu vd., 2017) elektrikli araçlardaki LIB hücrelerinin SOC tahmini etmek için düşük maliyetli bir gömülü sistem önermiştir ve FFNN modelini başarıyla uygulamışlardır. Benzer şekilde, (Cheng vd., 2009), Ni-MH pillerin SOC tahmini için batarya terminal voltajı, voltaj türevi, voltaj ikinci türevi, deşarj akımı ve batarya sıcaklığı gibi farklı girişleri içeren üç katmanlı bir FFNN modeli sunmuştur.

Bir diğer çalışmada, calendar-aged lityum-iyon pouch hücrelerinin SOC tahmini için ayrı iki FFNN modeli kullanılmıştır ve yaşlanma etkisini verimli bir şekilde hesaba katabilmek için şarj ve deşarj verileri için ayrı ayrı modeller oluşturulmuştur (Kashkooli vd., 2019).

Bu çalışmalar, FFNN modelinin SOC tahminindeki etkinliğini göstermektedir ve bu modelin bataryaların güvenli ve verimli kullanımı için önemli bir araç olduğunu vurgulamaktadır. SOC tahmini, elektrikli araçların menzilini tahmin etmek ve diğer lityum-iyon pilli cihazların performansını, bataryanın korunmasını sağlamak ve performansını artırmak için kritik bir parametredir. Gelecekteki araştırmalarda, FFNN ve diğer makine öğrenmesi tabanlı modellerin SOC tahminindeki etkinliğinin daha da artırılması ve bu alanda daha kapsamlı çalışmaların yapılması beklenmektedir.

PİLİN KALAN KULLANIM ÖMRÜ

Kalan Kullanım Ömrü (RUL), bir bataryanın belirli bir uygulamada, önceden belirlenmiş bir ömrüne ulaşmadan önce kullanılabileceği süreyi ifade

eder (Corno ve Pozzato, 2020, Liu vd., 2020, Ma vd., 2020). Bu, bataryanın ne kadar süreyle etkin bir şekilde kullanılabileceğini belirlemek için önemli bir kavramdır ve batarya yönetim sistemlerinin temel bileşenlerinden biridir.

Model tabanlı yaklaşımlar genellikle SOH ve SOC tahminlerinde kullanılsa da, RUL tahminleri için makine öğrenmesi tabanlı modeller daha uygun bulunmuştur. (Lin vd., 2020, Lipu vd., 2018, Lui vd., 2021). Bu modeller, büyük miktardaki veriyi analiz ederek batarya durumları arasındaki karmaşık ilişkileri belirleyebilir ve güvenilir RUL tahminleri yapabilir.

Son yapılan bir çalışmada, RUL tahmini için batarya terminal voltaj eğrileri çevrim sayısı altında simüle edilmiştir ve bu eğriler üzerinden FFNN kullanılmıştır. RUL tahminini daha doğru hale getirmek için FFNN için importance sampling (IS) yöntemi kullanılmıştır (Wu vd., 2016). Ayrıca, makine öğrenmesi tabanlı modeller için veri işlemenin önemi göz önünde bulundurularak, başka bir çalışmada RUL tahmini için FFNN ile çok rejimli normalizasyon temelli veri normalizasyonu ve filtreleme yapılmıştır (Bektas vd., 2019).

Bu çalışmalar, bataryaların daha uzun süre verimli bir şekilde kullanılmasına ve batarya yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlar. RUL tahminleri, batarya teknolojisinin gelişimi ve güvenliği açısından önemli bir rol oynamaktadır ve gelecekteki araştırmalarda daha da ilerlemesi beklenmektedir.

HATA TESPİTİ

Batarya yönetim sistemlerinde hata tespiti, lityum-iyon piller veya diğer batarya teknolojilerinde oluşabilecek olumsuz durumları ve arızaları tespit etme sürecidir. Bu tespit, pilin sağlık durumunu, şarj-deşarj kapasitesini, gerilim düşüşlerini, aşırı ısınmayı, yaşlanmayı veya diğer olası hataları belirlemeyi içerir. Hata tespiti, pilin güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak, olası sorunları önlemek ve bataryanın ömrünü uzatmak için önemlidir. Bu nedenle, batarya yönetim sistemleri, pilin durumu hakkında sürekli olarak bilgi toplar ve analiz eder, böylece anormal durumlar ve hatalar hızlı bir şekilde tespit edilerek gerekli önlemler alınabilir.

Son yıllarda, özellikle lityum-iyon pillerin temel durumlarını, yani SOH, SOC ve RUL gibi önemli parametreleri verimli, güvenilir ve doğru bir şekilde tahmin edebilme kabiliyeti, bu tekniklerin önemli bir araştırma odak noktası haline gelmesine sebep olmuştur (Hong vd., 2019). Günümüzde, batarya hata teşhisinde ve sağlık durumu tahmininde, geleneksel model tabanlı yöntemlerin yanı sıra makine öğrenimi tabanlı yaklaşımlar da aktif bir şekilde kullanılmaktadır (Sbarufatti vd., 2017, Razavi-Far vd., 2018). Özellikle FFNN

gibi makine öğrenimi teknikleri, yüksek performanslı ve doğru sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

Ancak, veri tabanlı tahmin stratejilerinin başarısı, yeterli ve yüksek kaliteli verinin elde edilebilmesine bağlıdır. Yetersiz veya düşük kaliteli veri kullanımı, tahminlerin doğruluğunu olumsuz etkileyebilir (Razavi-Far vd., 2018). Bu nedenle, doğru ve güvenilir sonuçlar elde etmek için veri toplama ve veri işleme süreçleri büyük önem taşımaktadır.

Örnek olarak, (Razavi-Far vd., 2018) çalışmasında, benzer tasarım ve çalışma koşullarına sahip bir batarya koleksiyonundan elde edilen yüksek kaliteli veriler kullanılarak bir bataryanın SOH'unun hesaplanması için bir prognostik teknik önerilmiştir. Bu şekilde, bataryanın gerçek durumu hakkında doğru ve güvenilir bilgiler elde edilmesi hedeflenmiştir.

Makine öğrenimi tekniklerinin batarya yönetim sistemlerindeki yaygın kullanımı, batarya teknolojisinin geliştirilmesi ve pil verimliliğinin artırılması açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Önümüzdeki dönemde, bu alan üzerinde yapılan araştırmaların ve çalışmaların artarak devam etmesi beklenmektedir. Bu sayede, daha güvenli, verimli ve uzun ömürlü batarya sistemleri geliştirilebilecek ve elektrikli araçlar, enerji depolama sistemleri ve diğer birçok endüstri alanında daha etkili kullanım sağlanabilecektir.

TARTIŞMALAR VE BULGULAR

Literatürdeki mevcut araştırmaların büyük bir kısmının elektrikli araçların SOH ve SOC durumlarına odaklandığı göz önünde bulundurulursa, (Cao vd., 2019) çalışması oldukça dikkat çekicidir çünkü bu çalışmada farklı bir uygulama alanı olan uydu sistemlerinde kullanılan lityum iyon pillerin SOH tahmini için FFNN tabanlı bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu, lityum iyon pillerin farklı kullanım koşullarında da etkin bir şekilde değerlendirilebileceğini gösteren önemli bir bulgudur. Söz konusu çalışmada belirli bir uygulama alanına sıkışıp kalmadan, genel olarak yeni teknikler önerilmiştir. Özellikle, (Ma vd., 2020) çalışmasında, ELM için doğruluğu artırmak amacıyla yeni bir model önerilmiştir. Bu tür genel ve uygulamadan bağımsız araştırmalar, temel algoritmaların geliştirilmesine ve farklı alanlarda kullanılmasına olanak sağlayarak alanın genişlemesine katkı sağlamaktadır.

Bu tür çalışmalar, sadece elektrikli araçlardan çok daha farklı sistem ve cihazlar için de uygulanabilir olduğunu göstererek, FFNN ve ELM gibi yaklaşımların çeşitli uygulama alanlarında kullanılmasının potansiyeline işaret eder. Bu da SOH tahmini ve diğer batarya yönetimi görevlerinin çok çeşitli cihazlarda ve endüstrilerde yararlı olabileceğini düşündüren önemli bir perspektiftir. Gelecekteki araştırmalarda, bu tür yöntemlerin farklı alanlarda ve

farklı türdeki batarya sistemlerinde nasıl uygulanabileceğine dair daha fazla çalışmanın yapılması ve bu alanın gelişiminin desteklenmesi önemlidir.

Literatürde yapılan incelemeye göre, BMS durumlarının (SOH, SOC ve RUL gibi) tahmininde FFNN tabanlı yaklaşımların genellikle NMC ($LiNiCoMnO_2$) kimyasına sahip LIB'leri kullandığı görülmüştür. Tablo 1'deki batarya kullanım yoğunluğu (Density of Using the Battery) sütunu, BMS tahminlerinde kullanılan pil türünün oranını temsil eder ve NMC pillerinin sık tercih edildiğini gösterir. Bunun yanı sıra, araştırmalarda yaygın olarak kullanılan bir diğer pil kimyası LFP ($LiFePO_4$) olup, bazı çalışmalar özellikle LCO ($LiCoO_2$) pillerine odaklanmıştır (Liu ve Xu, 2020, Venugopal ve T., 2019).

NMC ve LFP pillerin literatürde sık tercih edilmesinin birkaç nedeni vardır. İlk olarak, NMC piller özellikle elektrikli araçlar ve taşınabilir elektronik cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, bu pillerin performansı ve özellikleri üzerine daha fazla araştırma yapılmaktadır. Benzer şekilde, LFP piller de endüstriyel ve taşınabilir uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır ve literatürde sıkça karşılaşılan bir pil kimyasıdır.

Tablo 1: BMS durumlarının tahmini için FFNN tabanlı yöntemlerin analizinin karşılaştırılması

Estimation	Density of Using the Battery	Density of Using the Database	Measurement Signal	Cycles $[min - max]$	Test Method	Error Metric & Min-Error
SOH	• %74 NMC • %23 LFP • %3 LCO	• %32 NASA • %32 CCCV • %19 Lab exp. • %12 Calendar aging • %5 NEDC	• %45 V,I,t • %25 V,t • %25 V • %5 V,I,T,t	[168-5000]	• %100 validation	• RMSE=%1.06 • MAE=%1.65 • MaxE=%1.5 • MSE=%0.21
SOC	• %72 NMC • %26 LFP • %2 LCO	• %55 NASA • %31 CCCV • %14 UDDS	• %47 V,I • %34 V,I,T • %12 V • %7 V,t	[50-168]	• %75 validation • %25 cross-validation	• EE=%<2 • RMSE=%1.17 • MaxE=%4.97 • MSE=%2.03
RUL	• %50 NMC • %50 LFP	• %50 CCCV • %20 Private • %10 CC • %10 NASA • %10 CATL	• %60 V,I • %14 V,I,T • %13 T,SOC • %13 T	[2000-3000]	• %60 validation • %40 cross-validation	• RMSE=%0.55 • MAE=%1.1
FOD	• NMC	• NASA	• V	168	• validation	• RMSE=%<1

Ayrıca, bu pil kimyası çeşitlerinin kolayca erişilebilir olması da tercih edilmelerinin bir nedenidir. Araştırmacılar, test ve deneyler için bu tür pillere daha kolay bir şekilde erişebilirler, böylece çalışmalarını daha hızlı ve etkin bir şekilde gerçekleştirebilirler.

Sonuç olarak, FFNN tabanlı yaklaşımların NMC ve LFP pil kimyasına sahip LIB'leri tercih etmesinin temel nedenleri, bu pillerin yaygın kullanımı, performans özellikleri ve kolay erişilebilirliği olarak özetlenebilir. Ancak, gelecekte farklı pil kimyası çeşitleri ve uygulama alanları üzerinde yapılan araştırmalara odaklanarak FFNN tabanlı yaklaşımların çeşitliliğini artırarak daha kapsamlı bir değerlendirme yapmak da önemli bir araştırma alanı olabilir.

BMS durum tahminleri için kullanılan veritabanları, çoğunlukla iki türden oluşmaktadır: birincisi, araştırmacılar tarafından laboratuvarlarda özel olarak oluşturulan veritabanları ve ikincisi, kurumlar tarafından sağlanan açık kaynaklı verilerdir. Son zamanlarda, özellikle kurumlar tarafından sağlanan açık kaynaklı verilerin kullanımı daha da yaygın hale gelmiştir. Bu veritabanları, gerçek dünya uygulamalarından alınan ve genellikle büyük ölçekli veriler içeren gerçekçi senaryoları temsil eder.

Araştırmacılar model ve algoritmalarının performansını değerlendirmek ve karşılaştırmak için genellikle halka açık erişilebilir veri setlerini kullanırlar. Bu veri setleri, doğru ve güvenilir sonuçlar elde etmek ve gerçek dünya uygulamalarına daha yakın tahminler yapmak için kullanılır. NASA dataseti, CALCE dataseti, Oxford dataseti, MIT dataseti ve Aging dataseti gibi bazı popüler açık kaynaklı veri setleri bu alanda sıkça kullanılanlardandır.

Araştırmacılar, bu veri setlerini kullanarak farklı pil türleri, çevrim sayıları, sıcaklık koşulları ve diğer değişkenleri içeren geniş bir veri yelpazesini değerlendirebilirler. Böylece, geliştirilen modellerin ve algoritmaların genellenebilirlik ve performans açısından ne kadar başarılı olduğunu belirleyebilirler.

Bataryaların optimal performansını sağlamak ve güvenliğini korumak için, BMS tarafından izlenen önemli parametreler arasında voltaj (V), akım (I), sıcaklık (T) ve zaman (t) bulunmaktadır.

V, bir batarya hücresinin pozitif ve negatif uçları arasındaki potansiyel farkıdır ve bataryanın SOC ve SOH hakkında değerli bilgiler sağlar. BMS de, her batarya hücresinin voltajını ölçer ve referans voltaj ile karşılaştırarak bataryanın SOC ve SOH durumlarını belirler. Voltaj ölçümleri, aşırı şarj veya aşırı deşarj gibi zararlı durumları önlemek için önemlidir ve bataryanın ömrünü uzatır. Aynı zamanda, voltaj ölçümleri sayesinde batarya hücreleri arasındaki şarj eşitlenerek bataryanın ömrü artırılır.

I, bataryaya giren ve çıkan elektron akışını gösteren bir başka kritik parametredir ve BMS tarafından sürekli olarak izlenir. Güvenli sınırların korunması ve sistemin anormalliklerinin tespit edilmesi için akım ölçümleri kullanılır. BMS, akım ölçümlerini kullanarak bataryanın SOC ve SOH

durumlarını tahmin eder, bu da bataryanın performansını optimize etmek ve ömrünü uzatmak için kritik öneme sahiptir.

T, bataryanın performansı ve ömrü üzerinde etkili olan bir diğer önemli parametredir ve BMS tarafından izlenir. Yüksek sıcaklıklar termal kaçınma, aşırı ısınma, bozulma ve batarya arızasına yol açabilir. BMS, batarya hücrelerinin ve paketin sıcaklığını ölçmek için sıcaklık sensörleri kullanır ve termal yönetim sistemleri aracılığıyla sıcaklığı kontrol eder. Ayrıca, sıcaklık verileri, bataryanın SOC ve SOH durumlarını tahmin etmek için kullanılabilir ve bu da bataryanın performansını ve ömrünü optimize edebilir.

t, dikkate alınması gereken bir diğer önemli parametredir. Bataryanın zaman içindeki performansı ve sağlığı, aracın genel performansı ve menzili üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. BMS, bataryayı sürekli olarak zaman içinde izler ve gerektiğinde şarj ve deşarj hızlarını ayarlarak optimal performansı sürdürür. Aynı zamanda, bataryanın yaşını ve kullanım geçmişini zaman içinde takip eder; böylece ne zaman değiştirilmesi veya bakım yapılması gerektiğini belirler. t, aynı zamanda batarya sisteminin modellemesi ve simülasyonunda da bir faktördür, çünkü batarya davranışı yaşlanma ve döngüleme nedeniyle zamanla değişebilir. Bataryanın davranışının zamanın etkilerini doğru bir şekilde modellemek, etkili BMS stratejileri geliştirmek ve elektrikli aracın performansını optimize etmek için önemlidir. Bu nedenle, BMS tarafından izlenen bu önemli parametreler, bataryaların sağlığı, performansı ve güvenliği için kritik bir rol oynamaktadır.

FFNN, farklı BMS durumlarının tahmininde kullanılan veri giriş sinyallerine (ölçümlere) bağlı olarak değişen bir yapıya sahiptir. Örneğin, FFNN tabanlı SOH tahmininde sıklıkla V, I ve t gibi sinyaller kullanılırken, aynı FFNN tabanlı SOC tahmininde genellikle sadece V ve I sinyalleri tercih edilir.

Araştırmalar, belirli bir BMS durumunun tahmininde kullanılan giriş sinyallerinin, tahminlerin doğruluğu ve performansını etkilediğini göstermektedir. Bu nedenle, araştırmacılar, belirli bir BMS durumu için en uygun giriş sinyal kombinasyonlarını belirlemek için dikkatlice analiz yapmaktadır. FFNN gibi bir yapay sinir ağı türünün farklı sinyalleri işleme ve anlama yetenekleri, bu alanda çeşitli tahmin ve yaklaşım farklılıklarını açıklamaktadır.

Tablo 1'de de görüldüğü gibi, en çok tercih edilen giriş sinyalleri kullanıldığında bile, BMS durum tahminleri ve kullanılan yaklaşımlar arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar, yapay sinir ağlarının verileri nasıl işlediği ve modellediğiyle ilgili farklı yeteneklerinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, doğru ve etkili bir BMS tahmin modeli geliştirmek için doğru giriş sinyallerinin seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu, pil teknolojisinin ve

elektrikli araçların performansının artırılması ve güvenliğinin sağlanması için kritik bir adımdır.

Birçok çalışma, batarya durumu tahminleri için modellerini eğitmek için döngü verilerini kullanmaktadır. Bu veriler, bataryanın farklı döngülerdeki performansını ve sağlık durumunu temsil eder. Literatürde, döngü verisi kullanımı geniş bir aralıkta değişmektedir; bazı çalışmalarda küçük sayıda döngü kullanılırken, diğerlerinde daha büyük miktarda döngü verisi kullanılmaktadır. Genellikle, 168 ile 5000 döngü arasında değişen veri boyutları tercih edilmektedir.

Ancak bazı çalışmalarda, takvim yaşlanmasını içeren durumlar da değerlendirilir ve bu tür durumlar için daha büyük döngü veri boyutları kullanılır. Örneğin, (Chaoui vd., 2017) ve (Venugopal ve T., 2019) gibi çalışmalarda, 21K döngü gibi daha geniş döngü veri setleri kullanılmıştır. Bu tür çalışmalar, bataryanın takvim yaşlanmasının yanı sıra döngü yaşlanmasının etkisini de değerlendirmek için daha büyük ve kapsamlı verilere ihtiyaç duyar.

Döngü verilerinin tercih edilme nedenlerinden biri, sürekli akım sürekli voltaj döngüleme yönteminin (CCCV) yaygın kullanımıdır. Bu yöntem, bataryaların güvenilir ve tekrarlanabilir koşullarda test edilmesini sağlar ve döngü verilerinin toplanmasını kolaylaştırır. Ayrıca, CCCV döngüleme yöntemi, gerçek dünya uygulamalarında karşılaşılan yükleme ve deşarj koşullarına benzer çalışma koşullarını temsil eder, bu nedenle bu yöntemle toplanan veriler, tahmin modellerinin gerçek hayatta daha iyi performans göstermesini sağlayabilir.

Sonuç olarak, döngü verileri, batarya durumu tahmin modellerinin eğitilmesinde ve değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Döngü verileri, bataryanın performansı, sağlık durumu ve yaşlanma özellikleri hakkında değerli bilgiler sağlayarak, batarya yönetim sistemlerinin verimliliğini ve güvenilirliğini artırmaya yardımcı olmaktadır.

Tablo 1'de yer alan test yöntemi (Test Method) sütunu, araştırmacıların genellikle BMS durumu tahminleri için test sürecinde doğrulama (validation) yöntemini en sık kullandığını göstermektedir. Doğrulama yöntemi, modelin eğitim verileri üzerinde öğrenilmesinin ardından, modelin performansını değerlendirmek için ayrılmış bağımsız bir veri kümesi üzerinde test edilmesini içerir.

Ancak, bazı çalışmalarda daha büyük ölçekli veri kümeleri kullanılmıştır ve bu durumlarda araştırmacılar çapraz doğrulama (cross-validation) yöntemini tercih etmiştir. Çapraz doğrulama, veri kümesinin rastgele alt kümelerine bölünerek, birden çok test ve eğitim süreci gerçekleştirilmesini içeren bir

yöntemdir. Bu sayede, modelin performansının daha güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi ve genelleme yeteneğinin daha iyi anlaşılması sağlanır.

Özellikle büyük veri kümeleri ile çalışan bazı çalışmalar, çapraz doğrulama yöntemini kullanarak daha kapsamlı sonuçlar elde etmiştir (Shen vd., 2019, Xia ve Abu Qahouq, 2021, Kaur vd., 2021). Bu yaklaşım, modelin farklı veri alt kümeleri üzerinde test edilerek performansının daha sağlam bir şekilde doğrulanmasına ve tahminlerin daha güvenilir olmasına katkı sağlar.

Sonuç olarak, araştırmacılar BMS durumu tahminleri için test sürecinde genellikle doğrulama yöntemini kullanmaktadır. Ancak, büyük veri kümeleri ile çalışan bazı çalışmalar çapraz doğrulama yöntemini tercih ederek daha güvenilir sonuçlar elde etmiştir. Her iki yöntem de modelin performansını değerlendirmede önemli bir rol oynamaktadır ve verilerin doğru bir şekilde yorumlanması ve modellerin etkin bir şekilde geliştirilmesi için dikkatli bir yaklaşım gerektirmektedir.

Doğru bir şekilde belirtilmesi gereken bir nokta, çalışmalardaki sonuçların doğruluğunun genellikle hata metrikleri kullanılarak ölçüldüğüdür. Bu hata metrikleri, modelin tahminlerinin gerçek değerlerden ne kadar uzak olduğunu göstermek için kullanılır. Literatürde yaygın olarak kullanılan hata metriklerinden biri kök ortalama kare hatası (RMSE) olarak bilinir. Ancak, Tablo 1'de görüldüğü gibi, farklı çalışmalarda RMSE yerine çeşitli hata metrikleri tercih edilmektedir.

Örneğin, bazı çalışmalarda maksimum hata (MaxE) kullanılmıştır. Bu metrik, modelin tahminlerinin gerçek değerlerden ne kadar büyük bir sapma gösterdiğini gösterir. Diğer bir hata metriği olan ortalama mutlak hata (MAE), modelin tahminlerinin gerçek değerlere olan mutlak farklarının ortalamasını verir. Ortalama kare hata (MSE) ise, modelin tahminlerinin gerçek değerlere olan kare farklarının ortalamasını gösterir. Göreceli hata (RE) ve ortalama göreceli hata (MRE) ise, modelin tahminlerinin gerçek değerlerden ne kadar yüzde oranında sapma gösterdiğini ifade eder. Bu hata metrikleri, modelin tahminlerinin gerçek değerlere olan oranlı hatalarını belirlemek için kullanılır.

Tablo 1'in son sütunu, ilgili hata metrikleri için minimum hata değerlerinisunar. Bu değerler, çalışmalardaki modellerin ne kadar iyi performans gösterdiğini ve tahminlerinin ne kadar doğru olduğunu göstermektedir. Farklı hata metrikleri kullanılması, çalışmalardaki sonuçların farklı açılardan değerlendirilmesini sağlar ve BMS durum tahminleri için kullanılan modellerin performansının daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına yardımcı olur. Bu nedenle, çalışmalardaki hata metrikleri ve elde edilen sonuçlar dikkatli bir şekilde değerlendirilmeli ve doğru bir şekilde yorumlanmalıdır.

SONUÇ

Bu çalışma, LIB paketlerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi için FFNN yaklaşımının önemini vurgulayarak kapsamlı bir inceleme yapmaktadır. LIB'lerin karmaşık cihazlarda ve yüksek güç uygulamalarında artan kullanımıyla birlikte, SOH, SOC ve RUL gibi batarya yönetim sistemlerinin önemli bileşenlerinin doğru tahmin edilmesi ve batarya arızalarının tespiti büyük önem taşımaktadır. Bu inceleme, FFNN tabanlı yaklaşımların BMS tahminleri ve batarya arıza tespiti için umut verici bir geleceğe sahip olduğunu ve birçok önemli faydalarını vurgulamaktadır.

Son zamanlarda yayınlanmış yaklaşık 150 dergi makalesinin kapsamlı bir analizi, batarya yönetim sistemlerinin durum tahmini için FFNN tabanlı yöntemlerin popüler bir araştırma konusu olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca, bu FFNN yaklaşımlarının her BMS durumu için uygulamaları açıklanmakta ve bu alanda çalışma yapan araştırmacılara değerli bir kaynak sunulmaktadır. Ek olarak, belirli çalışmalarda önerildiği gibi, veritabanları, ölçüm sinyalleri, hata metrikleri ve algoritmaların tahmin doğruluğu gibi ek bilgiler de hızlı referans için bir tabloda toplanmıştır.

Bu çalışma ile FFNN tabanlı yöntemleri, algoritmaların gelen verileri nasıl işlediği açısından da tanıtmaktadır. Son olarak, FFNN'nin gelecekteki araştırmalardaki potansiyeli, batarya SOH, SOC, RUL tahminleri ve arıza tespiti konusundaki tartışmalarla birlikte ele alınmaktadır, bu da bu alanın daha fazla keşfi için umut verici fırsatları vurgulamaktadır.

REFERANSLAR

Andre, D., Nuhic, A., Soczka-Guth, T., and Sauer, D. U. (2013). Comparative study of a structured neural network and an extended kalman filter for state of health determination of lithium-ion batteries in hybrid electric vehicles. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 26(3):951–961.

Bai, G., Wang, P., Hu, C., and Pecht, M. (2014). A generic model-free approach for lithium-ion battery health management. Applied Energy, 135:247–260.

Bektas, O., Jones, J. A., Sankararaman, S., Roychoudhury, I., and Goebel, K. (2019). A neural network filtering approach for similarity-based remaining useful life estimation. Internatıonal Journal Of Advanced Manufacturing Technology, 101(1-4):87–103.

Bonfitto, A. (2020). A method for the combined estimation of battery state of charge and state of health based on artificial neural networks. Energies, 13(10):2548.

Cao, M., Zhang, T., Yu, B., and Liu, Y. (2019). A method for interval prediction of satellite battery state of health based on sample entropy. IEEE Access, 7:141549–141561.

Chaoui, H., Ibe-Ekeocha, C. C., and Gualous, H. (2017). Aging prediction and state of charge estimation of a lifepo4 battery using input time-delayed neural networks. Electric Power Systems Research, 146:189–197.

Chen, C., Xiong, R., Yang, R., Shen, W., and Sun, F. (2019). State-of-charge estimation of lithium-ion battery using an improved neural network model and extended kalman filter. Journal of Cleaner Production, 234:1153–1164.

Chen T, Jin Y, L. H. (2020). Applications of lithium-ion batteries in grid-scale energy storage systems. Transactions of Tianjin University, 26:208–217.

Cheng, B., Zhou, Y., Zhang, J., Wang, J., and Cao, B. (2009). Soc prediction based on evolutionary network. In 2009 IEEE International Conference on Automation and Logistics, pages 880–884. IEEE.

Contestabile, M., Offer, G. J., Slade, R., Jaeger, F., and Thoennes, M. (2011). Battery electric vehicles, hydrogen fuel cells and biofuels. Which will be the winner?. Energy and Environmental Science, 4:3754–3772.

Corno, M. and Pozzato, G. (2020). Active adaptive battery aging management for electric vehicles. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 69(1):258–269.

Enache, B.-A. and Diaconescu, E. (2014). Estimating a battery state of charge using neural networks. In 2014 Internatıonal Symposıum On Fundamentals Of Electrıcal Engıneerıng (ISFEE), pages 1–6. IEEE.

Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., and Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. Energy Strategy Reviews, 24:38–50.

Han, X., Feng, X., Ouyang, M., Lu, L., Li, J., Zheng, Y., and Li, Z. (2019). A comparative study of charging voltage curve analysis and state of health estimation of lithium-ion batteries in electric vehicle. Automotive Innovation, 2(4):263–275.

Hong, J., Wang, Z., and Yao, Y. (2019). Fault prognosis of battery system based on accurate voltage abnormity prognosis using long short-term memory neural networks. Applied Energy, 251:113381.

Huang, G.-B., Zhu, Q.-Y., and Siew, C.-K. (2006). Extreme learning machine: theory and applications. Neurocomputing, 70(1):489–501.

Jia, B., Guan, Y., and Wu, L. (2019). A state of health estimation framework for lithium-ion batteries using transfer components analysis. Energies, 12(13).

Jorgensen, K. (2008). Technologies for electric, hybrid and hydrogen vehicles: electricity from renewable energy sources in transport. Utilities Policy, 16(2):72–79.

Kashkooli, A. G., Fathiannasab, H., Mao, Z., and Chen, Z. (2019). Application of artificial intelligence to state-of-charge and state-of-health estimation of calendar-aged lithium-ion pouch cells. Journal of The Electrochemical Society, 166(4):A605–A615.

Kaur, K., Garg, A., Cui, X., Singh, S., and Panigrahi, B. K. (2021). Deep learning networks for capacity estimation for monitoring soh of li-ion batteries for electric vehicles. International Journal of Energy Research, 45(2):3113–3128.

Kim, J., Lee, S., and Cho, B. (2011). Complementary cooperation algorithm based on dekf combined with pattern recognition for soc/capacity estimation and soh prediction. IEEE Transactions on Power Electronics, 27(1):436–451.

Li, J. and Liu, M. (2019). State-of-charge estimation of lithium-ion batteries using composite multi-dimensional features and a neural network. IET Power Electronıcs, 12(6):1470–1478.

Li, J., Liu, M., Wen, H., and Xu, A. (2019). State of charge estimation of battery in low power states based on chaotic neural network. In AIP Conference Proceedings.

Li, Z., Khajepour, A., and Song, J. (2019). A comprehensive review of the key technologies for pure electric vehicles. Energy, 182:824–839.

Lin, C.-P., Cabrera, J., Yang, F., Ling, M.-H., Tsui, K.-L., and Bae, S.-J. (2020). Battery state of health modeling and remaining useful life prediction through time series model. Applied Energy, 275:115338.

Lipu, M. H., Hannan, M., Hussain, A., Hoque, M., Ker, P. J., Saad, M., and Ayob, A. (2018). A review of state of health and remaining useful life estimation methods for lithium-ion battery in electric vehicles: challenges and recommendations. Journal of Cleaner Production, 205:115–133.

Liu, K., Li, Y., Hu, X., Lucu, M., and Widanage, W. D. (2020). Gaussian process regression with automatic relevance determination kernel for calendar aging prediction of lithium-ion batteries. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 16(6):3767–3777.

Liu, W. and Xu, Y. (2020). Data-driven online health estimation of li-ion batteries using a novel energy-based health indicator. IEEE Transactions on Energy Conversion, 35(3):1715–1718.

Lui, Y. H., Li, M., Downey, A., Shen, S., Nemani, V. P., Ye, H., VanElzen, C., Jain, G., Hu, S., Laflamme, S., and Hu, C. (2021). Physics-based prognostics of implantable-grade lithium-ion battery for remaining useful life prediction. Journal of Power Sources, 485:229327.

Ma, J., Xu, S., Shang, P., ding, Y., Qin, W., Cheng, Y., Lu, C., Su, Y., Chong, J., Jin, H., and Lin, Y. (2020a). Cycle life test optimization for different li-ion power battery formulations using a hybrid remaining-useful-life prediction method. Applied Energy, 262:114490.

Ma, Y., Wu, L., Guan, Y., and Peng, Z. (2020b). The capacity estimation and cycle life prediction of lithium-ion batteries using a new broad extreme learning machine approach. Journal of Power Sources, 476:228581.

Naha, A., Han, S., Agarwal, S., Guha, A., Khandelwal, A., Tagade, P., Hariharan, K. S., Kolake, S. M., Yoon, J., and Oh, B. (2020). An incremental voltage difference based technique for online state of health estimation of li-ion batteries. Scientific Reports, 10(1):1–11.

Pan, H., Lü, Z., Wang, H., Wei, H., and Chen, L. (2018). Novel battery state-of-health online estimation method using multiple health indicators and an extreme learning machine. Energy, 160:466–477.

Pao, Y.-H., Park, G.-H., and Sobajic, D. J. (1994). Learning and generalization characteristics of the random vector functional-link net. Neurocomputing, 6(2):163–180.

Rahbari, O., Mayet, C., Omar, N., and Van Mierlo, J. (2018). Battery aging prediction using input-time-delayed based on an adaptive neuro-fuzzy

inference system and a group method of data handling techniques. Applied Sciences, 8(8):1301.

Razavi-Far, R., Chakrabarti, S., Saif, M., Zio, E., and Palade, V. (2018). Extreme learning machine based prognostics of battery life. International Journal on Artificial Intelligence Tools, 27(08):1850036.

Samanta, A., Chowdhuri, S., and Williamson, S. S. (2021). Machine learning-based data-driven fault detection/diagnosis of lithium-ion battery: A critical review. Electronics, 10(11).

Sazli, M. (2006). A brief review of feed-forward neural networks. Communications, Faculty Of Science, University of Ankara, 50:11–17.

Sbarufatti, C., Corbetta, M., Giglio, M., and Cadini, F. (2017). Adaptive prognosis of lithium-ion batteries based on the combination of particle filters and radial basis function neural networks. Journal of Power Sources, 344:128–140.

Shen, S., Sadoughi, M., Chen, X., Hong, M., and Hu, C. (2019). A deep learning method for online capacity estimation of lithium- ion batteries. Journal of Energy Storage, 25:100817.

Soylu, E., Soylu, T., and Bayir, R. (2017). Design and implementation of soc prediction for a li-ion battery pack in an electric car with an embedded system. Entropy, 19(4):146.

Sui, X., He, S., Vilsen, S. B., Meng, J., Teodorescu, R., and Stroe, D.-I. (2021). A review of non-probabilistic machine learning- based state of health estimation techniques for lithium-ion battery. Applied Energy, 300:117346.

Venugopal, P. and T., V. (2019). State-of-health estimation of li-ion batteries in electric vehicle using indrnn under variable load condition. Energies, 12(22).

Won You, G., Park, S., and Oh, D. (2016). Real- time state-of-health estimation for electric vehicle batteries: A data-driven approach. Applied Energy, 176:92–103.

Wu, J., Zhang, C., and Chen, Z. (2016). An online method for lithium-ion battery remaining useful life estimation using importance sampling and neural networks. Applied Energy, 173:134–140.

Xia, Z. and Abu Qahouq, J. A. (2021). Lithium-ion battery ageing behavior pattern characterization and state- of-health estimation using data-driven method. IEEE ACCESS, 9:98287– 98304.

Yang, Q., Xu, J., Li, X., Xu, D., and Cao, B. (2020). State-of-health estimation of lithium-ion battery based on fractional impedance model and interval

capacity. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 119:105883.

Zhang, S., Zhai, B., Guo, X., Wang, K., Peng, N., and Zhang, X. (2019). Synchronous estimation of state of health and remaining useful lifetime for lithium-ion battery using the incremental capacity and artificial neural networks. Journal of Energy Storage, 26:100951.

Zhou, P., He, Z., Han, T., Li, X., Lai, X., Yan, L., Lv, T., Xie, J., and Zheng, Y. (2020). A rapid classification method of the retired licoxniymn1-x-yo2 batteries for electric vehicles. Energy Reports, 6:672–683.

Zhu, Y., Yan, F., Kang, J., and Du, C. (2017). State of health estimation based on os-elm for lithium-ion batteries. International Journal of Electrochemical Science, 12:6895–6907.

Bölüm 16

Temel Kazı Derinliği Deniz Seviyesi Altında Bulunan Baraj İçin Geçirimsizlik Perdesi Yapım Tekniği

Murat CAN[1]

[1] Dr., Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü, muratcan@dsi.gov.tr ORCID No: 0000 0002 1693 5877

ÖZET

Büyükkumla Deresi üzerinde içme suyu amaçlı olarak inşa edilen Büyükkumla Barajı; Bursa İli, Gemlik İlçesi sınırları içerinde olup 2012 yılında inşaatına başlanılarak 2022 yılında tüm imalatlar tamamlanarak su tutmaya başlamıştır. Barajın gövdesinin oturacağı zeminde kalın bir alüvyon tabaka olması nedeniyle– 21 m. kotuna kadar baraj temel kazısı yapılması zaruriyeti oluşmuştur. Deniz seviyesi kotu altına inilmesi gerekli bu kazı esnasında barajın mansap bölgesinde bulunan Marmara Denizi nedeniyle temel kazı çukuruna dolacaktır. Temel kazı ve dolgu işleminin kuruda yapılması için deniz suyu ve yeraltı sularının ortamdan uzaklaştırılması gerekli olmuştur. Bunun için temel kazısı çukurunun memba ve mansap kısmında geçirimsizliğin sağlanması için batardo eksenleri boyunca slurry trench uygulaması yapılarak geçrimsizlik perdeleri oluşturulmuştur. Yapılan bu işleme ait yapım tekniği ve sürecin nasıl işlediği bu çalışmada detaylı bir şekilde örnekleri ile anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Slurry Trench, Permeabilite, Bentonit Çamuru.

Büyükkumla Dam which is in Gemlik district of Bursa Province was built on the Büyükkumla river. It purposes drinking water supply for the area. The dam construction was started in 2012 and all productions were completed in 2022. Because there was a thick alluvial layer under ground the body of the dam necessary to excavate up to minus 21 m. level under the sealevel to built the basement of the dam's body. Underground water and Marmara Sea flow will be filled into the basement pit during excavation but processes of the excavation and filling operations for dam's basement must go on the dry condition. For this purpose slurry trench application was made along the cofferdam to create impermeability walls to prevent flow of upstream and downstream of underground water. This chapter aims to explain how to the construction technique of all these process.

Key Words: Slurry Trench, Permeabilite, Bentonite Mud

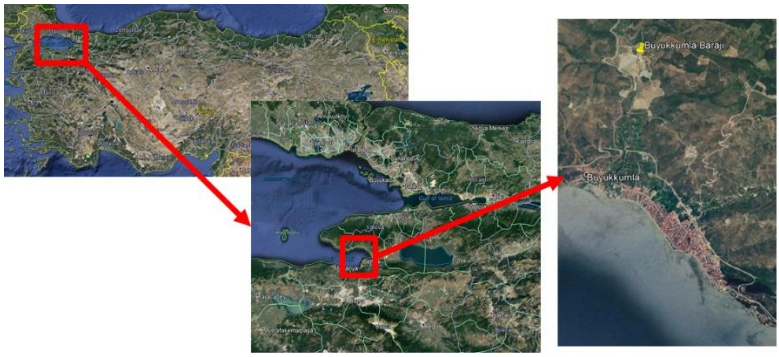
GİRİŞ

Barajların rezervuarlarında depo edilen suyun kontrollü bir şekilde ihtiyaç duyulan alanda kullanıma sunulması, baraj yapımının temel amaçlarındandır. Bu nedenle gövde arkasında tutulan su kütlesinin gövde kütlesinden ve gövde altından sızmasını önlemek gerekir. Ayrıca bir barajın yapımı sırasında gövde sıyırma ve temel kazılarının kuruda yapılması amacıyla inşa edilen memba-mansap batardoları ve derivasyon kanalı-tüneli sayesinde üst kotlardan gelen akış, gövde kazı alanından uzaklaştırılarak mansap bölgesine iletilir. Bu işlem ile sadece yüzeysel akıştaki su ortamdan uzaklaştırılmış olur. Yeraltı suyunun gövde kazıları sırasında ve sonrasında gövde temel bölgesinden uzaklaştırılarak kuru ortamın sağlanması gerekir. Bunun için gövde altından sadece memba mansap yönüne değil mansap memba yönünde de hidrolik bir akışın durdurulmasına ihtiyaç vardır. Yeraltısu akışının gövde hendeği içine memba ve mansap bölgelerinde sızmasını önlemek amacıyla çeşitli yapım teknikleri uygulanır. Son yıllarda ülkemizde uygulanan Bulamaç Hendeği (Slurry Trench) Yöntemi ile birçok baraj inşaatında yapılan memba ve/veya mansap batardoları kret ekseni boyunca geçirimsizlik perdesi oluşturulmuş ve sızdırmazlık açısından başarılı olunmuştur (Unsever Y. S., Cakir E. N., 2019). Bu yöntem ile gövde altında bulunan alüvyon tabaka derinliği geçilerek, anakaya bölgesine ulaşmak mümkün olmuştur. Ana kaya hattına kadar inen bir geçirimsizlik perdesi, tüm vadi enkesiti boyunca oluşturularak, yeraltı sularının kazı alanını işgal etmesi engellenmiş olur. Bu yöntem ilk kez 1950 yıllarının başlarında İtalya'da bulunan Fedela Barajında ve Amerika'daki Kennewick Seddesinde uygulanırken ülkemizde ise 1975 yılında inşa edilen Aslantaş Barajında uygulanmıştır (Karaoğullarından, T., Özgüzel, N., Akçanbaş, N., 1977).

Bu çalışmamızda; Bursa İli Gemlik İlçesi sınırları içerinde bulunan ve içme-kullanma suyu amaçlı olarak inşa edilen barajın memba ve mansap batardoları kret güzergahı boyunca uygulanan slurry trench işlemine ait tüm yapım süreci irdelenmiştir.

ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı, Bursa ili, Gemlik ilçesinin 9 km kuzey batısında bulunmaktadır. Baraj sahasına ulaşım; Bursa il merkezinden 39 km asfalt yol ile Gemlik ilçesine bağlı Kumla mahallesine devlet karayolu ile, Kumla mahallesinden Büyükkumla deresi güzergahına paralel olan 2,5 km stabilize yol ile sağlanır (Şekil 1). Baraj gövdesi Büyükkumla deresi üzerinde inşa edilmiştir. Barajdan deşarj olan sular Marmara denizine boşalmaktadır. Baraj gövdesi ile Marmara denizi arasında kalan Büyükkumla deresinin uzunluğu 2 200 m.'dir. Baraj temel kazılarında kalın bir alüvyon tabaka bulunması nedeniyle anakaya kotuna ulaşılması için ortalama -20 m. kotuna kadar gövde altı temel kazısı yapılmıştır.



Şekil 1. Büyükkumla Barajı konum haritası

Baraj inşaatlarında gövde sıyırma kazıları ve gövde altı temel kazılarının kuruda yapılması gerekir. Özellikle gövdenin oturacağı alanın zemin kotu ile temel altı anakaya arasındaki alüvyon tabakanın tamamen alınması gövde stabilitesi açısından gereklidir. Ayrıca gövde altı sızdırmazlığın sağlanması ve sızma boyunun uzatılması amacıyla gerek cut off (çekirdek) hendeğinde gerekse plinth hattı boyunca yapılan enjeksiyon çalışmaları baraj gövdesi altı geçirimsizlik için bilinen yöntemlerdir. Ancak bu uygulamalar barajın yapımı sırasında temel kazılarının kuru ortamda yapılarak gövdenin ana kaya üzerine oturtulmasında etkili olmayan yöntemlerdir. Bu nedenle bir baraja ait ünitelerin yapım sıralamasında gövde temel kazılarından önce batardo inşaatları ile derivasyon inşaatlarının yapılması gerekir. Memba batardosu inşaatları ve gerekli ise mansap batardosu inşaatları sırasıyla yapılır.

Büyükkumla Barajı gövde aksının oturduğu dere yatağı talveg kotunun ortalaması 20 m. ve gövdenin oturacağı zeminin altında ki ana kaya kotunun ortalaması –21 m. seviyesindedir. Baraj gövdesinin oturduğu zeminin jeolojik yapısı genel itibariyle şist olmakla birlikte, dere yatağı güzergâhında baraj aksı

altında bulunan alüvyon tabakası -20 m. kotuna kadar inmektedir (Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü Büyükkumla Barajı Planlama Raporu). Bu veriler dikkate alındığı takdirde; bu iki kot arasında kalan ve açık kazı yöntemi ile ortamdan uzaklaştırılması gereken, büyük bir kazı hacmi bulunmaktadır. Bu büyüklükte bir kazının yapılarak ortamdan uzaklaştırılması uzun bir zaman dilimine ihtiyaç duymaktadır. Barajın 2 200 m. mansap tarafında bulunan Marmara denizinden hidrostatik denge nedeniyle baraj gövdesi temel kazıları sırasında inilecek olan -20 kotuna yeraltısuyunun hızlıca dolması kaçınılmazdır. Bu yeraltı suyu akışının kazı çukuruna dolmasının engellenmesi, kazı ve dolgu işlemlerinin doğru ve sağlıklı bir şekilde ilerlemesini sağlayacaktır. Bu nedenle memba ve özellikle mansap batardosu hattına bir geçirimsizliği sağlayacak bir perdenin yapılması zaruri hale gelmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Büyükkumla barajının gövdesi temel kazıları için deniz kotu seviyesi altında yapılacak çalışmalarda, denizden kazı bölgesine girmesi kaçınılmaz olan tuzlu yeraltı su akışına karşı bir bariyer oluşturulması gerekmektedir. Bu amaçla mansap batardosu hattında geleneksel yöntem olan çekirdek hendeği (Cut Off) yöntemi ile ana kaya derinliğine kadar inilerek geçirimsiz bir bariyer oluşturulması teknik açıdan olanaksızdır. Bu nedenle bulamaç hendeği (Slurry Trench) yöntemi kullanılarak geçirimsizliğin sağlanması hem teknik hem de ekonomik olarak uygun bulunmuştur. Bu yöntem yeraltında su gibi akışkanların yatay akışına karşı bir bariyer oluşturmak amacıyla yapılan yer altı duvarı olarak tanımlanabilir. Bunun için bulamaç (slurry) olarak adlandırılan viskoz stabilite sağlayan akışkan şeklindeki bir karışım ile yapılır (Anonim 2014. Büyükkumla Geçirimsizlik Perdesi Yapım Raporu).

Slurry trench (bulamaç hendeği) ile oluşturulan geçirimsizlik perdesi uygulamalarının nasıl yapılacağına dair barajın yapımı öncesinde hazırlanan kati proje esas alınmıştır. Bu kati projenin hazırlanması aşamasında gerek gövde altı, gerekse temel kayanın taşıma gücünü belirlemeye yönelik 7 adet kuyuda 112 adet pressiyometre deneyi yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelerde "plint plağı ve gövde altındaki alüvyonun (yer yer bloklu çakıllı-kumlu siltli kil) tamamının kaldırılması" ile menba ve mansap batardoları için Slurry trench (bulamaç hendeği) önerilmiştir. Bu öneri doğrultusunda barajın yapımı sırasında memba batardosu ve mansap batardosu üzerinde slurry trench (geçirimsizlik perdesi) imalatları 15.04.2015-28.08.2015 tarihleri arasında yapılarak geçirimsizlik sağlanmıltır. Yapılan uygulama ile ana kayaya en az 1 m soketleme yapılarak Slurry trench (geçirimsizlik perdesi) ile geçirimsizlik perdesi oluşturulmuştur. Bu geçirimsizlik perdesini oluşturan Slurry-Trench imalatlarında kazı işleri 1 adet

PH ve 1 adet XCMG marka Hidrolik Grab ile yapılmış olup, 2 adet bentonit çamuru üretim santrali, 4 adet bentonit çamuru dinlendirme havuzu, 2 adet desander ve birçok iş makinesi yardımıyla imalatlar tamamlanmıştır.

Bu yöntemini; yapım öncesi hazırlık, yapım aşaması ve yapım sonrası sızdırmazlık testi olmak üzere üç aşamada irdelemek gerekir (Apaydın A,. 2020). Bu çalışmada; slurry trench uygulaması ile oluşturulan geçirimsizlik perdesinin yapımına ait tüm aşamalar detaylı bir şekilde sırası ile anlatılmaktadır.

Öncelikle Baraj mansap ve memba batardosu kret hattı üzerinde yapılacak olan slurry tench işleminde, öncelikle onaylı proje güzergahına ait topoğrafik aplikasyonu yapılır.

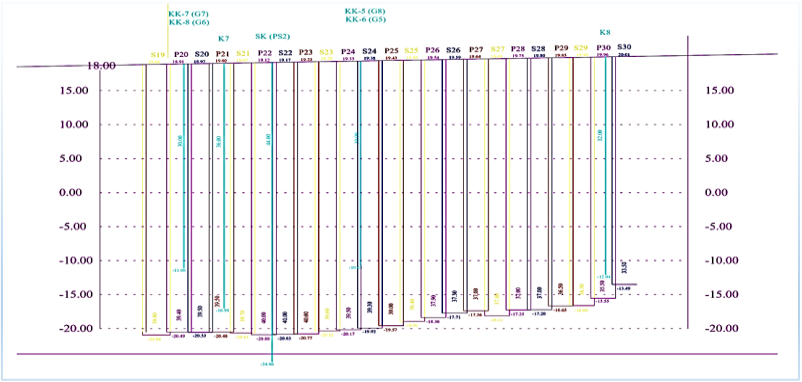
Batardo aksı boyunca işaretlenen hat üzerinde yapılacak klavuz duvar için temel kazısı yapılır. Bu kılavuz duvar kazı makinasına ait kazıcı kulenin düşey eksende dik durmasını sağlar. Ayrıca kazı esnasında stabiliteyi sağlayan yönlendirici duvar olarak görev yapar (Şekil 2).

Şekil 2. Klavuz duvar projesindeki kesiti ve yapımı.

Batardo aksında boyunca kazıyı yapacak makinanın kazı kovası genişliği ve düşey ano projesine uygun şekilde kılavuz duvar üzerinde işaretlemeler yapılır. Dünyada yapılan uygulamalarda inilecek derinliğe bağlı olarak 50 cm ile 150 cm arasında değişen plastik beton perde kalınlığına karar verilmektedir (Opdyke, SM., Evans, JC. 2005). Büyükkumla kumla barajında perde kalınlığı 85 cm olarak önerilmiş olmasına rağmen yapılacak perde derinliğine bağlı olarak onaylı uygulama projesinde 105 cm olarak belirlenmiştir.

Büyükkumla barajının mansap batardosu slurry trench hattı uzunluğu 270,65 m olup, 0+000 – 0+104,65 metreler arası 3,13 m. uzunluğunda 19 adet P anosu, ve bu P anolarını kesen 19 adet 3,13 m uzunluğunda S anoları, 0+104,65 – 0+269,92 metreleri arası 2,80 m. uzunluğunda 35 adet P anosu, ve bu anoları

sağından ve solundan 0,40 m. kesen 34 adet S anoları olmak üzere toplamda 107 ano bulunmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Memba Batardosu Hattında Yapılan Geçirimsiz Perdesi Anoları.

Büyükkumla barajı mansap batardosu üzerinde yapılan ve Şekil 3.'de gösterilen S19 paneli üst kotu 18.86 m. iken kazı sonrası anakayaya soketlenmiş temel kotu -20,94 m. olmuştur. Yani bu panelin derinliği 39,80 m. olarak inşa edilmiştir. Aynı şekilde P22 paneli veya anosu ise 19,92 m. kotundan inilerek -20.88 m. kotuna ulaşmış olup bu panelin derinliği ise 40 m. olmuştur.

Memba batardosu slurry trench hattı uzunluğu ise 210,61 m olarak dizayn edilmiştir. Bu hatta 39 adet 3,13 m uzunluğunda Birincil (P) anolar ve 3,13 m uzunluğunda 38 adet İkincil (S) anoları olmak üzere toplamda 77 ano yer almaktadır. Ano derinlikleri 6,00-32,50 m arasında farklı derinliklerde inşa edilmiştir.

Bu anoların yapımı sırasında kullanılacak olan kazı destekleyici akışkan ve plastik beton malzemesinde kullanılacak olan bentonit bulamacının karıştırılması, depolanması, pompalanması ve tekrar kullanılır hale getirilmesi amacıyla bir bulamaç işleme tesisi kurulmuştur. Bentonit işleme tesisinde Mikser, transfer pompaları, depolama tankları, kompresörler, kullanılmış bulamaçtan kum ve diğer bileşenlerin ayrışması için desander sistemi, aktarım boruları ve toz bentoniti depo edebilecek bir silo bulunması gerekmektedir. Ayrıca bentonit bulamacı test ekipmanları olarak marshal hunisi, kum ölçme düzeneği, örnek alma tüpleri gibi deneysel aletlerin tedarik edilmiştir. Hidrolik Kelly Grab tipi kazıcı makine kullanılmıştır. Bu kazıcı hidrolik bir paletli makine gövdesine veya hidrolik güç ile desteklenen paletli bir vince montajı yapılmış kelly olarak adlandırılan teleskopik kol vasıtasıyla kılavuz duvarlar arasından kuyuya indirilen kazıcı kovanın (grab) dişlerinin açıp kapanarak zemini kazması neticesinde zeminin dışarı alınması şeklinde çalışan bir makinedir. Tüm hat

boyunca anakaya bölgesine kadar bu makine sayesinde kazılar yapılabilir (Şekil 4). Bu makinenin en derin noktaya kadar inecek kapasitede olması gerekir. Bu teçhizatlara ilave olarak hendek içine bentonit karışımın enjekte olmasını saplayacak tremi boruları ve servis vinçleri gibi gereçlerinde işlem sırasında hazır bulundurulması gereklidir.

Şekil 4. Hidrolik Kelly Grab Kazıcı Makinesi

Bu anoların kılavuz duvarında işaretlenmesi sonrasında kazı işlemine başlamadan önce kazı sırasında oluşan boş kesitin oluşturduğu duvarlarının göçmesini engellemek için bentonit çamurunun ve plastik betonun hazırlanması gerekir. Bunun için iki adet taban genişliği 10 m. x 10 m. ve yüksekliği 2 m. olan havuzlar yapılır. Havuzların içi betonlanır. Havuzlarda bentonitin viskozitesinin (Bentonit çamuru viskozitesi 50-70 saniye arasında olmalıdır) sağlanabilmesi için ara ara delikler açılmış plastik pprc su boruları döşenir. Bu borulardan kompresör vasıtasıyla sürekli hava basılarak betonit süspansiyonun karıştırılması sağlanır (Şekil 5). Dinlendirme tanklarındaki bentonit çamuru yoğunluğu minimum 1,04 g/cm^3 maksimum 1,15 g/cm^3 aralığında bir değer almalıdır. Bentonit çamuru içindeki iri malzeme (kum) oranı en fazla %5 olmalıdır.

Şekil 5. Bentonit Havuzu

Kazı planında gösterilen anolardan birer atlamalı olarak yani bir, üç beş numaralı panellerin kazı işlemine başlanılır. Yapılan kazı sırasında hendeğin çökmesini engellemek için bentonit havuzunda daha önceden hazırlanmış karışım kazı hendeği içine basılır. Bentonit bulamaç karışımı veya bentonit süspansiyonu TS EN 1538 kriterlerine uygun olarak üretilmiştir. Bu karışım kazı hendeğinin kazı işlemi sırasında çömesini engellemek için kazı destekleyici akışkan olarak kullanılmıştır.

Tablo 1. Bentonit Süspansiyon Özellikleri (TS EN 1538)

Özellikler	Kullanım Safhaları		
	Taze	Tekrar Kullanım için Hazır	Betonlama İşleminden Önce
Birim Hacim Kütlesi (g/ml)	<1,10	<1,25	<1,15
Marsh Değeri (s)	32-50	32-60	32-50
Akışkan Kaybı (ml)	<30	<50	-
PH	7 - 11	7 - 12	-
Kum Muhtevası (%)	-	-	<4
Filtre Keki (mm)	<30	<30	-

Bentonit tozları suyla homojen bir şekilde karıştırılması için mikser kullanılır ve bu çözelti hazırlanan havuzlarda bekletilerek sık sık karıştırılıp kolloidal hale gelinceye kadar karıştırılması gerekir. Bentonit çamuru 24 saat dinlendirme havuzunda bekletilerek hidrasyonu tamamlanması sağlanır. Bulamaç karışımı kazı hendeğine basıldığı esnada Tablo 1.'de verilen özelliklere sahip olmasına özen gösterilir. Bunun için kullanımdan hemen önce gerekli testler yapılarak

Tablo 1.'de bulunan değerleri sağlaması halinde, bu karışım kazı hendeğine basılır. Hendeğe basılan bentonit bulamacı kirlenmeye maruz kalması nedeniyle desandere ulaşan bulamaç içindeki diğer kum ve kum türevi diğer maddelerden yeniden ayrıştırılır. Hendekten geri gelen karışımdan ayrıştırılan bentonit çamuru Tablo 1.'de verilen değerlere sağlayacak duruma tekrar getirilerek yeniden kazı hendeğine basılır. Bu işlemlerden sonra kazı kesiti tamamen bentonit çamuru ile dolan ve ana kayaya ulaşan kazı makinasının kovasının bulunduğu en son noktada kazı derinliği ölçülür.

Gerekli kazı derinliğine ulaşıldıktan sonra ana kayaya en az 1 m. derinliğinde soketleme yapılması gerekmektedir. Bu sayede ana kaya ile iyi bir şekilde birleşen plastik beton perde çok büyük oranda geçirimsizlik sağlanmış olur. Bu soketle işlemi için şantiye ortamında yapılan çalışmalar sırasında tırpan diye tabir edilen alet vinç yardımı ile kazı boşluğu içinden salınarak ana kayayı 1 m. derinliğinde soketleme yapılması sağlanır. Tırpan denilen ucu sivri çelik kütle serbest düşüş yapacak şekilde bırakılır ve ana kaya kırılır. Bu işlem birkaç kez yapılır, sonra kova son kırılan kaya kütlelerini de temizler ve nihai kuyu derinliği tekrar ölçülür. Bu işlemde ki amaç anoların ana kayaya en az 1m olacak şekilde soketlenmesidir (Şekil 6).

Şekil 6. Kazı Makinesi ve Tırpan

Kazı işlemi biten ve tırpan marifeti ile anoda yapılan soketleme sonrasında kuyuda betonlama işlemine geçilir. Büyükkumla Barajı Slurry trench imalatı plastik beton karışım miktarları DSİ Genel Müdürlüğü TAKK Dairesi laboratuvarlarında yapılan agrega, bentonit ve çimento deneylerinin sonuçlarına göre tespit edilmiştir. Şantiye ortamında üretilen plastik beton karışımı aşağıda Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Plastik Beton Karışım Oranları (1m3 beton için)

Malzeme	Karışım Oranları (kg)	Yoğunluk (g/cm^3)	Mutlak Hacim (dm^3)	$1m^3$ için Miktarlar (kg/m^3)
Doğal İnce Agrega	850	2,68	317,16	680,4
Çimento	350	3.10	112,90	280,2
Bentonit	50	1,038	819,23	40,0
Su	800			640,4
Toplam	2050	1,64	1249,3	1640,9

Şantiye ortamı dışında daha önceden yapılan laboratuvar deney sonuçlarında Karakaya bentonit kullanılması önerilmiş olduğundan, üretim sırasında Karakaya bentonit kullanılmıştır. Sahada üretilen bentonit çamurunun plastik betonda kullanılacağı esnada her karışımdan önce viskozite ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerle belirlenen viskozite değerine uygun olarak plastik beton karışımı hazırlanmıştır. Plastik beton karışımında (0-5) mm doğal ince agrega kullanılmıştır. Plastik betonun kuyu içine yerleştirilmesi için tremi tekniği ile yapılmaktadır. Bu teknikte tremi boruları kazı kesitinin en alt kotuna kadar indirilir ve aşağıdan yukarıya doğru plastik beton ile kesitin tamamen doldurulmasına özen gösterilir (Şekil 7).

Şekil 7. Kazı Makinesi ve Tırpan

Tremi borusu beton içinde kalan uzunluğu betonlama işlemi tamamlanıncaya kadar en az 3 m. olacak şekilde düzenlenir. Beton santralinde Tablo 2.'de verildiği şekilde hazırlanan karışım yani plastik beton Şekil 7.'de görülen mikser yardımı ile yüzeydeki koniden aşağı kotlara doğru uç uca eklenen tremi borularının vasıtasıyla basılır. Bu işlem yüzeyde plastik beton karışımın 2-3 m^3 taşırılacak kadar tüm kesitin dolu olduğuna emin oluncaya kadar yapılır.

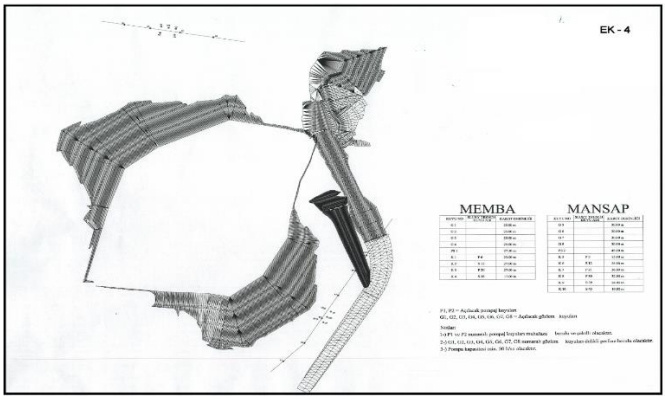
Plastik betonun iyice yerleştiği kazı kesitinde bulunan bentonit çamuru ise plastik betonun dolması sırasında dışarıdaki havuza pompalar yardımı ile aktarılır. İkinci havuzdaki kirli bentonit çamuru filtreler vasıtasıyla içindeki molozlar temizlenerek ilk havuza aktarılır ve yeniden kullanıma verilir. Kuyu içinde bulunan bentonit çamuru ile plastik beton yer değiştirene kadar beton dökümü devam eder. Ano kazılarının tamamlanarak bentonit çamuru ile doldurulmasına müteakip en az 12 saat içinde plastik betonun kazılan panel çukurunun içine enjekte edilmesi gerekir. Plastik beton ile dolan kazı çukurunda plastik beton çukurdan taşırılır ve sonrasında çukurdan taşırılan kısım traş edilerek yüzey kotuna uygun şekilde düzeltilir. Daha sonra bu betonun zarar görmesini engellemek amacıyla üzeri kil ile kaplanır.

Her bir anoda bu işlem yapıldıktan sonra 3-4 gün sonra P (birincil) anoların (panellerin) betonu prizini aldıktan sonra iki birincil ano arasındaki ara (ikincil) anonun (P anoları) kazısına geçilir. Burada ara ikincil ano; iki birincil anoya 40 cm bindirmeli kazılır. Memba batardosu slurry trench hattı uzunluğu 210,61 m olarak yapılmıştır. Bu hatta 39 adet 3,13 m uzunluğunda Birincil (P) anolar ve 3,13 m uzunluğunda 38 adet İkincil (S) anoları olmak üzere toplamda 77 ano şeklinde yapılmıştır. Ano derinlikleri 6,00-32,50 m arasında değişmektedir. Mansap batardosu slurry trench hattında ise perde hattı uzunluğu ise 270,65 m olarak yapılmıştır. Km: 0+000 – 0+104,65 metreler arası 3,13 m uzunluğunda 19 adet P anosu ve bu P anolarını kesen 19 adet 3,13 m uzunluğunda S anoları yapılmıştır. Km: 0+104,65 – 0+269,92 metreleri arası 2,80 m uzunluğunda 35 adet P anosu ve bu anoları sağından ve solundan 0,40 m kesen 34 adet S anoları olmak üzere toplamda 107 ano yapılmıştır. Ano boyları vadiye doğru ilk kesitlerde 4,00m. iken vadinin en dar ve derin noktasında 40,00 m. uzunluğunda olmuştur (Şekil 3).

Bu süreç sonunda tamamen perde duvar inşaatı kapatılacak vadi boyunca yeraltında uygulanarak müsaade edilen sınır değerlere uygun olarak gerekli permeabilite sağlanır. Plastik beton üretimi esnasında her bir panelin plastik beton dökümünde alınan beton numuneleri üzerinde gerekli dayanım, elastisite ve geçirimlilik (permabilite) testleri yapılır (Şekil 8).

Şekil 8. Plastik Beton Numune Kabı ve Numuneler

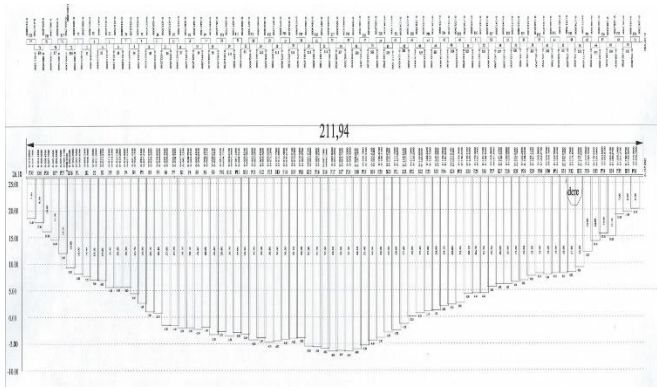
Slurry trench imalatı tamamlandıktan hemen sonra, memba ve mansap slurry hattı üzerinde toplam 9 adet karotlu kontrol kuyusu açılmıştır. Geçirimsizlik perdelerinin ön ve arka tarafında 8 adet gözlem kuyusu ve 2 adet pompaj kuyusu açılmıştır. Bu kuyuları gösterir harita ve test sonuçları Şekil 9.'da verilmiştir. Açılan kuyularda perdelerin geçirimsizliklerinin kontrolü pompaj testleri ile yapılmıştır. Memba ve mansap batardosu üzerinden anakaya derinliğine kadar yapılan slury trench (geçirimsizlik perdesi) imalatlarının tamamlanması sonrasında alüvyon tabakanın tamamen kazılması için hiçbir engel kalmamıştır.



Şekil 9. Büyükkumla Barajı Gövdesi

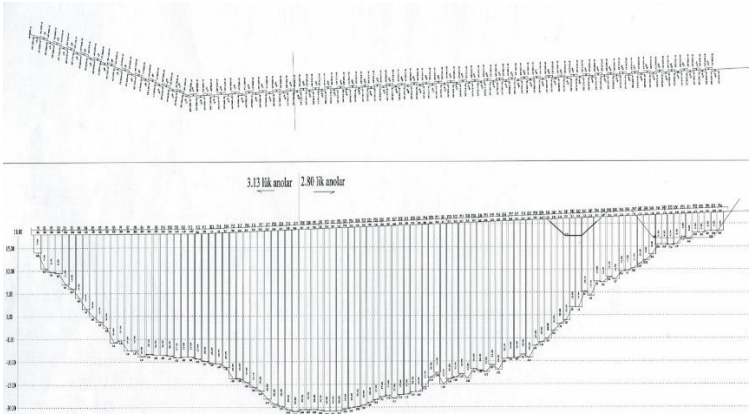
BULGULAR VE İRDELEME

Barajın memba ve mansap batardoları üzerinden yapılan Slurry trench (geçirimsizlik perdesi) imalatlarından Memba batardosu slurry trench hattı uzunluğu 210,61 m olarak yapılmıştır. Bu hatta 39 adet 3,13 m uzunluğunda Birincil (P) anolar ve 3,13 m uzunluğunda 38 adet İkincil (S) anoları olmak üzere toplamda 77 ano şeklinde yapılmıştır. Ano derinlikleri 6,00-32,50 m arasında değişmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Büyükkumla Barajı Memba Batardosu Slurry Trench Perde Hattı Enkesiti

Mansap batardosu slurry trench hattında ise perde hattı uzunluğu ise 270,65 m olarak yapılmıştır. Km: 0+000 – 0+104,65 metreler arası 3,13 m uzunluğunda 19 adet P anosu ve bu P anolarını kesen 19 adet 3,13 m uzunluğunda S anoları yapılmıştır. Km: 0+104,65 – 0+269,92 metreleri arası 2,80 m uzunluğunda 35 adet P anosu ve bu anoları sağından ve solundan 0,40 m kesen 34 adet S anoları olmak üzere toplamda 107 ano yapılmıştır. Ano boyları vadiye doğru ilk kesitlerde 4,00m. iken vadinin en dar ve derin noktasında 40,00 m. uzunluğunda olmuştur (Şekil 11).



Şekil 11. Büyükkumla Barajı Mansap Batardosu Slurry Trench Perde Hattı Enkesiti

Barajın memba ve mansap batardoları üzerinden yapılan Slurry trench (geçirimsizlik perdesi) imalatlarının kontrolü için toplam 9 adet karotlu kontrol

kuyusu, geçirimsizlik perdelerinin ön ve arka bölgesinde 8 adet gözlem kuyusu ile 2 adet pompaj kuyusu yapılmıştır. Açılan kuyularda geçirimsizlik perdelerinde permeabilite performansının kontrolü amacıyla pompaj testleri yapılmıştır. Memba batardosu tarafında yapılan geçirimsizlik perdesi için S.K, K.K-1, K.K-3, K.K-2, K.K-4 nolu kuyularda yapılan su tecrübesi yapılmıştır. Bu işlem 12 saat sonunda bitirilmiş ve su seviyesi yaklaşık 26,00 m düşerken K.K-2 ve K.K-4 kuyularında seviyede düşüm 20 cm civarında gözlenmiştir. Mansap batardosu tarafında yapılan geçirimsizlik perdesi için S.K, K.K-5, K.K-7, K.K-6, K.K-8 nolu kuyularda su tecrübe yapılmıştır. Su tecrübesi 12 saat sonunda bitirilmiş ve elde edilen değerlere göre S.K. kuyusun da su seviyesi yaklaşık 21,00 m düşerken K.K-7 kuyusunda 50 cm ve K.K-8 kuyusunda 1,70 m düşüm gözlenmiştir.

Slurry trench perdelerinde kullanılan plastik beton numuneler üzerinde laboratuvar ortamında gerçekleştirilen tek eksenli mukavemet deneyi sonuçlarının hiç biri 200 kPa değerinin altında olmamasına dikkat edilmiştir. Bu deneyler teknik şartnamelerine uygun olarak uygun olarak 28 günlük priz süreleri göz önünde tutularak yapılmıştır. Plastik beton karışımının 28 günlük tek eksenli basınç mukavemeti 500 ila 1000 kPa değer aralığında olmasına dikkat edilmiştir.

Geçirimsizlik perdesinde kullanılan plastik beton karışımının yoğunluğu, yer değiştirme işleminin düzgün olması için kazı çukurundaki bentonit çamurunun yoğunluğundan en az 0,3 gr/cm^3 daha fazla olmasına dikkat edilmiştir. Plastik beton karışımının yoğunluğu 1,40 ila 1,70 gr/cm^3 değer aralığında kalmasına özen gösterilmiştir.

Plastik betonun önerilen elastisite modülü 28 günde 200 ila 500 MPa değer aralığında olmasına dikkat edilmiştir. Büyükkumla Barajı memba ve mansap batardo hatları slurry trench imalatında kullanılan plastik beton miktarları aşağıda bulunan Tablo 3.'de yer almaktadır.

Tablo 3. Memba ve Mansap batardolarında kullanılan beton miktarları

	Memba Batardosu (m3)	Mansap Batardosu (m3)	TOPLAM (m3)
Plastik Beton Miktarı	8 478	6 231	14 709

Şantiyede üretilen plastik beton için tek eksenli basınç dayanımı ve elastisite modülü deneyleri yapılmış ve 4, 8, 14 ve 28 günlük priz süreleri dikkate alınarak laboratuvar sonuçları rapor edilmiştir. Plastik betonun tek eksenli basınç dayanımının en az 0,5 MPa olmasına dikkat edilmiştir. Deformasyon modülü veya elastisite modülü en az 200 MPa olacak şekilde imlatalara özen gösterilmiştir. Permeabilite deneylerinde ise 4, 8, 14, 28 ve 40 günlük priz süreleri

dikkate alınarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak 28 veya 40 günlük permeabilite değerleri dikkate alınarak Permeabilite katsayısının limit değeri olarak belirlenen $1{,}0x10^{-6}$ cm/s değerini yakalaması önemlidir. Deney sonuçlarının bu değerden %80 mertebesinde sapmaların bu limitin altında olması kabul edilebilir kriter olmuştur.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Kalite ve Kontrol Dairesi Başkanlığına bağlı laboratuvarlarda yapılan ve 08.11.2015 tarihinde tamamlanan permeabilite deney sonuçlarına göre elde edilen değerler aşağıda Tablo 4.'de verilmiştir.

Tablo 4. Memba ve Mansap Geçirimsizlik Perdeleri Permeabilite deney sonuçları

Sıra No:	Numune No:		Permeabilite (geçirgenlik (cm/sn.))
1	MANSAP	S3	$1{,}11 * 10^{-6}$
2		S22	$2{,}12 * 10^{-6}$
3		P10	$3{,}35 * 10^{-7}$
4		P17	$7{,}02 * 10^{-8}$
5		P38	$2{,}75 * 10^{-6}$
6		P47	$1{,}25 * 10^{-7}$
7	MEMBA	S31	Geçirimsizlik Gözlenmemiştir.
8		P47	$3{,}98 * 10^{-7}$
9		P16	$5{,}01 * 10^{-7}$
10		P24	$2{,}32 * 10^{-7}$
11		P13	$6{,}05 * 10^{-7}$
12		P38	$3{,}94 * 10^{-7}$

Laboratuvar ortamında yapılan deneyler ile elde edilen ve Tablo 4.'de gösterilen değerler ışığında permeabilite katsayısının limit değeri olarak belirlenen $1{,}0x10^{-6}$ cm/s değerinin üzerinde kalan deney sonuçlarına göre artık geçirimsiz bir perde elde edildiği anlaşılmaktadır. Bu işlemler laboratuvar ortamında yapılması haricinde baraj sahasında geçirimsizliğin gerçekte ne seviyede olduğunun teyit edilmesi için Gözlem ve Su sondaj kuyularının açılır.

Bu kuyularda yapılan gözlemlerde memba tarafındaki su seviyelerinde yükselme, mansap tarafındaki su seviyelerinde ise düşme olduğu tespit edilmiştir.

SONUÇLAR

Baraj inşaatlarında gövde kazı ve dolgu imalatlarının kuru ortamda yapılması ekonomik ve teknik açıdan büyük önem taşımaktadır. Baraj gövde inşaat esnasında yeraltı ve yer üstü su kaynaklarının kazı ortamından uzak tutulması için günümüzde uygulanan slurry trench yöntemi ile plastik beton sayesinde zeminde geçirimsizlik perdesi oluşturulmaktadır. Bu yöntemde panellerin projesine ve ilgili teknik şartnamelere uygun şekilde yapılarak geçirimsiz bir yüzey elde edilmesi büyük önem arz etmektedir. Büyükkumla barajında yüzeyde + 20 kotlarından başlayarak, deniz seviyesi altına en fazla -20,94 kotu derinliğine kadar inilerek 40 m. derinliğinde paneller oluşturulmuştur. Memba ve mansap batardoları boyunca yapılan bu işlem ile memba tarafında yeraltı suyu tamamen bloke edilmiştir. Mansap batardosu üzerinden yapılan geçirimsizlik perdesi ile Marmara denizin gelen tuzlu su akışı engellenmiştir.

Slurry Trench Geçirimsizlik perdesi yapım öncesi hazırlık, yapım aşaması ve yapım sonrası sızdırmazlık testi olmak üzere üç aşamada irdelenmelidir (Apaydın A., 2020). Yapımın başarılı bir şekilde sonlandırıldığına dair plastik beton panellerin yapımı tamamlandıktan sonra memba ve mansap tarafındaki yeraltı suyu seviyeleri arasında gözlenen seviye farkının, imal edilen geçirimsizlik perdesinin başarılı olduğunu göstermektedir. Ayrıca plastik betonların permeabilite deneyleri neticesinde elde edilen geçirimsizlik katsayısının limit değeri olarak belirlenen $1{,}0x10^{-6}$ cm/s değerinin üzerinde kalması ise perde imalatlarının doğru şekilde yapıldığını ortaya koymaktadır. Baraj sahasında yapılan gözlemlerde; memba tarafındaki su seviyelerinde yükselme olduğu tespit edilirken mansap tarafındaki su seviyelerinde ise düşme olduğu tespit edilmiştir. Plastik Beton duvarın mansap tarafında yapılan pompa deneyleri sırasında, mansap tarafında 50 cm ile 1,70 m arasında seviyede düşme olduğu kayıt altına alınmıştır. Plastik Beton duvarın imalatı sırasında paneller arası bütünlük ve perde betonunun yerleşimi duvar üzerinden düşey olarak yapılan 4 adet karotlu sondaj kuyusu ile gözlemlenmiştir. Yapılan gözlemlerde sonucun başarılı olduğu görülmüştür.

Barajın yapımı sırasında memba batardosu ve mansap batardosu üzerinde slurry trench (geçirimsizlik perdesi) imalatları 15.04.2015 tarihinde başlamış ve 28.08.2015 tarihinde bitirilmiştir. Sızdırmazlık sağlandığına dair yapılansaha ve laboratuvar testleri ile gözlemleri sonrasında gövde altı temel kazılarına başlanılarak -21 kotuna kadar kazılan alüvyon zemin tamamen ortamdan uzaklaştırılmıştır. Bu işlemlerin yapıldığı süreçte tamamen kuruda çalışma

güvenli bir şekilde devam etmiştir. Aynı şekilde gövde dolgu imalatlarına başlanılarak Mayıs 2018 tarihine kadar baraj gövde dolgusu kret noktasına kadar tamamlanmıştır. Gövde dolgu sürecinde de tamamen kuru ortamda çalışmalar devam etmiştir.

Plastik beton ile yapılan geçirimsizlik perde uygulamaları sayesinde baraj inşaatlarında gövde kazılarının kuruda yapılması, gövde altı geçirimsizlik zonlarının oluşturulması, sızma boylarının uzatılması gibi fonksiyonları nedeniyle yerüstü barajlarında kolaylıkla uygulanabilir. Ayrıca doğru noktalara yapılacak geçirimsizlik perdeleri ile yeraltı barajlarının oluşturulması da mümkündür. Bu yöntem yeraltı barajları oluşturulması amacıyla da kullanılabilir. Bu sayede yeraltında büyük rezervuarlar oluşturarak depolama yapılabilir (Apaydın A,. 2022). Dünyada bu konuda birçok örneği bulunmaktadır. Ülkemizde bu yöntemin ilk uygulandığı Aslantaş barajı olup daha sonra uygulandığı Tahtalı Barajı, Dalaman Akköprü Barajı birlikte devam eden örnekleri mevcuttur (Tosun, H., vd. 2002). Ülkemizde son yıllarda yapımı yaygınlaşan bu yöntemle yapılan azalan tatlı su kaynaklarının depolanması için birçok yeraltı ve yerüstü barajının yapımı kolaylaşacaktır. Yapılan slurry trench uygulamaları ile ilgili olarak başta şantiye ortamındaki çalışmalar ile laboratuvar ortamında yapılacak çalışmaların kayıt altına alınarak yayınlanması önümüzdeki dönemlerde yapılacak çalışmalara ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Unsever Y. S., Cakir E. N. 2019. Büyükkumla Barajı'nda Bulamaç Hendeği Yöntemi ile Geçirimsizlik Perdesi Uygulaması ve Sızma Analizi. SDÜ Fen Bil Enst Der. 2019; 23(3): 974-980.

[2] Karaoğullarından, T., Özgüzel, N., Akçanbaş, N. 1977. Alüvyonda Bulamaç Hendeği (Geçirimsizlik perdesi) Yöntemiyle Sızdırmazlık Perdesi Yapımı. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, (3), 28-35.

[3] Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü Büyükkumla Barajı Planlama Raporu.

[4] Anonim 2014. Büyükkumla Geçirimsizlik Perdesi Yapım Raporu. Sonar Sondaj ve Jeolojik Araştırma Geoteknik Hizmetler A.Ş. 22 syf. Ankara.

[5] Apaydın A,. 2020. Applicability of the slurry trench cut-off Wall method in underground dams: the first examples in Turkey in the 2020s.arabian Jounal of Geosciences. 2023. 16:363.

[6] Opdyke, SM., Evans, JC. 2005. Slag Cement Bentonite Slurry Walls, Journal of Geotechnical and Geoenveronmental Engineering, 131:6, 673-681.

[7] Apaydın A,. 2022. Yeraltı Barajlarında Plastik Beton Perdenin Uygulanması, Geçirimsizlik Performansı ve Korunması. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi 12(2). 619-633.

[8] Tosun, H., Ünal, S. M., Türköz, M. 2002. Dolgu Barajlarda Bulamaç Hendeği Yöntemi ile Plastik Beton Perde İnşası ve Bir Uygulama. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi, 21-22 Ekim, Eskişehir, 48-57.

Bölüm 17

Üretim Sanayiinde Kullanılan Makine Koruyucularının İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından Önemi

Mustafa ÖCAL[1]

Okan ÖZBAKIR[2]

[1] Makine Programı, TBMYO, Iğdır Üniversitesi, 0505 934 54 87, mustafa.ocal@igdir.edu.tr

[2] Maden Teknolojisi, TBMYO, Iğdır Üniversitesi, 0532 557 64 83, okan.ozbakir@igdir.edu.tr

ÖZET

İş sağlığı ve güvenliği açısından yapılan değerlendirmeler hem maddi hem de manevi zararların yaşandığı veya devam ettiği, toplum psikolojisi ve ekonomik olarak ülkemizi olumsuz yönde etkileyen durumları ortaya koymaktadır. Bu sebeple, makineler ile insanlar arasındaki ilişkiye koruyucuların eklenmesi sürecinde tasarımcıların belirli kriterleri dikkate alması büyük önem taşımaktadır. Makinelere uygun koruyucuların yerleştirilmesi, iş performansını, üretim miktarını ve iş akışını engellemeyecek şekilde planlanmalıdır. Herhangi bir sorun yaşandığında, standartlara uygun yeni koruma sistemleriyle çalışmak adına diğer koruyucu sistemlerle desteklenmelidir. Bu koruyucu önlemler, makinede yapılan işin ve mevcut tehlikelerin tam olarak anlaşılmasını gerektiren risk değerlendirmeleri sonucunda belirlenmelidir. Örneğin, ışık perdesi gibi koruyucular, tehlikeli bir alana düzenli erişim gerektiren durumlarda kullanılabilir; ancak fırlama riski olan bir makinede bu tür bir koruyucunun etkisiz kalacağı söylenebilir. Bu nedenle, koruyucular operasyon noktasındaki görüntüyü engellemeyecek ve makinenin yapısına uygun şekilde seçilmeli ve yerleştirilmelidir. Makine koruyucuları, çalışanın daha sağlıklı ve güvenli bir iş yapmasını sağlayarak iş kazalarını ve olumsuz etkileri en aza indirecektir. Bu nedenle, iş sağlığı ve güvenliği standartlarına uygun şekilde tasarlanmış ve uygulanmış koruyucu önlemler, işyerlerinde güvenli çalışma ortamlarının oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Makine Koruyucu, İş Sağlığı ve Güvenliği, Freze, Torna.

GİRİŞ

Ulusal ve uluslararası istatistikler araştırıldığında fark edildi ki yıllar bazında farklı rakamlara denk gelse de inşaat, maden ve metal sektörleri en yüksek riske sahip üç sektör olarak değerlendirilmektedir. Günümüz teknolojisinin gelişmesi ve hızla ilerlemesi rekabet ortamının artmasına neden olmakla beraber iş sağlığı ve güvenliği açısından bu ilerlemenin çalışanlara zaman tasarrufu, iş verimi sağlamak gibi unsurların tehlike ve riskleri arttırdığı öngörülmektedir. İş sağlığı ve güvenliğinin en önemli hedefi çalışanların iş kazasına uğramalarına ve meslek hastalığına yakalanmalarına engel olmaktır. İş kazası; işyerinde veya iş yapılma esnasında meydana gelen, fiziksel ya da zihinsel zarar ile ölüme sebep olan kazalar olarak açıklanmaktadır (İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, 2012). Metal imalat sektörü ülkemiz açısından üretim kapasitesi, maddi gelir, ihracat anlamında oldukça değerli olmasına rağmen iş kazaları açısından ölüm oranlarının yüksek olmasıyla beraber risk içeriği yüksek bir sektör olarak değerlendirilmektedir. Metal imalat sektöründe en önemli unsurun makine olduğu bilinmektedir. Hem üretim kapasitesi hem de iş yükü açısından günümüz teknolojisinde makinenin kullanımı ve makine gücü oldukça önemli bir yere sahip olduğu bilinmektedir. İnsan-makine etkileşiminin yüksek olduğu bu sektörde sağlık ve güvenlik açısından tehlike ve risk oranı oldukça fazladır.

Makine kullanımından kaynaklanacak tehlikelere karşı çalışanları koruyabilmek için öncelikle makinelerin tehlike yaratabilecek noktalarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bunu da en iyi şekilde yapabilmek için kullanılan makinenin kısımları ve çalışma prensibinin biliniyor olması gerekmektedir. Makinelerin hareketli ve açıkta kalan yani çalışan ile temas edebilecek kısımları büyük tehlike ve yaralanma ya da ölümlü kaza gibi sonuçlara yol açtığı için hareketli kısımlarını sınırlandırmak amacıyla makine koruyucularının kullanılması gereklidir.

Makine koruyucuları hem makineyi kullanan operatör hem de tüm çalışanlara güvenli çalışma alanı sağlamaktadır. Makine koruyucuları isim tamlaması olarak makineyi koruyacak anlamının tersine insanı makineye karşı korumak amaçlı kullanılmaktadır. Bunun için iş sağlığı ve güvenliği açısından makine koruyucularının önemi oldukça büyüktür. İmalat sektöründe vaka kontrol çalışmalarında, metal sektöründe incelenen iş kazalarının nedenlerinde, makine koruyucularının üstünde durulmadan kaza nedeninin açıklanması mümkün olmayabilir. Makine emniyeti kapsamında makinelere risk değerlendirmesi yapılarak riskler belirlenip makine koruyucularının da gereklilikleri ve ek tehlike oluşturmamaları, sağlam yapıda olmaları gerekmektedir. Yapılacak risk değerlendirmesi çalışmalarında makine koruyucularının kişisel koruyucu donanım kullanımıyla bir tutulmaması düşünülmeli, makine koruyucularının

kullanılmama nedenleri, kullanılmama şekilleri ve çalışmada ele alınan tezgahlarda hangi koruyucuların olması gerektiği, ne düzeyde kullanıldığı ya da kullanılmadığı araştırılarak operatör ve iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarının bilgi, tecrübe ve konuya duyarlılıkları artırılmalıdır.

Makine koruyucularının manipülasyonu, tasarımcılar ve kullanıcılar için ciddi bir endişe kaynağıdır. Bu nedenle, bu konuda yapılan araştırmalar, manipülasyonun kim tarafından, hangi sebeplerle ve hangi çalışma modunda gerçekleştirildiğini belirlemeyi amaçlamaktadır. Manipülenin potansiyel sonuçları da dikkate alınarak, ne tür durumların neden olduğu olumsuz etkilerin araştırılması önemlidir. Örneğin, makine koruyucularının manipülasyonu sonucunda iş kazaları, üretim kesintileri veya maddi hasarlar gibi sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu olumsuz sonuçların varlığı, tasarımcıların ve kullanıcıların bu konuda daha bilinçli olmasını gerektirmektedir. Makine koruyucularının manipülasyonuna karşı alabilecek önlemler tasarımcılar ve kullanıcılar için gerekli öneriler sunmayı hedeflemektedir. Örneğin, güvenlik sistemlerinin daha karmaşık ve zor manipüle edilebilir hale getirilmesi, kullanıcı eğitimlerinin artırılması ve düzenli denetimlerin yapılması gibi önlemler, makine koruyucularının daha etkin çalışmasına yönelik adımlar olabilir.

GENEL BİLGİLER

Metal İmalat Sektörü

Metal imalat sektörünün geniş bir çalışma alanına sahip olduğu bilinmektedir. Maden cevherleri ergitme işlemi ile dönüştürülerek ana demir ve çelik üretimi, kalıp ve döküm modelleri üretimi, makinelerin yapımı, elektrikli makinelerin imalatı ve montajı gibi geniş bir yelpazede çalışma imkanları bulunmaktadır (İşkolları Yönetmeliği, 2012).

Metal imalat sektörü; ana metal ürünleri, makine ve teçhizat hariç fabrikasyon metal ürünleri imalatı, motorlu kara taşıtları, römork (treyler), yarı römork (yarı treyler) üretimi, makine ve ekipman imalatı, makine ve ekipmanın kurulum ve onarımı ve diğer ulaşım araçlarının imalatı alt gruplarını kapsamaktadır (SGK İstatistik Yıllıkları, 2019).

Üretim kapasitesi açısından ülkemizin önemli sektörleri arasında metal iş kolu ilk sıralarda yer almaktadır. Bu sektör maddi gelir ve istihdam açısından önde gelen geniş faaliyet alanına sahip olmakla beraber ülkemizde en çok ihracat yapılan sektörler arasında ilk sıralarda kayıtlara geçmektedir. Gayri safi milli hasılanın %3'lük kısmına, endüstriyel sektör istihdamının %2'lik kısmına ve toplam ihracatın da %12'lik kısmına sahip olduğu bilinmektedir. Metal sektörü etkilediği diğer sektörlerle birlikte oluşturduğu istihdam oranı toplam istihdamın

%30'u seviyelerindedir. Bünyesinde mevcut alt grupları dahil edildiği durumlarda üretim süreçlerinde birçok faktör bulunmaktadır. Üretim aşamalarında yapısı gereği bilgi, uzmanlık, tecrübe gerektiren sektör olmakla birlikte İşyeri Tehlike sınıfları yönetmeliğine göre tehlikeli ve çok tehlikeli sınıfta değerlendirilmektedir ve bu nedenle iş kazaları açısından sürekli denetim yapılma ihtiyacı gerekmektedir. Bu süreçlerde kullanılan çeşitli endüstriyel yağlar, metal işleme soğutma sıvıları, iş yeri ortamındaki toz, buhar, sıcaklık, duman, metal tozları ve diğer kimyasallar çalışanların sağlığını olumsuz etkileyen faktörler olarak değerlendirilmektedir (Tatma ve ark., 2019).

Metal imalat sektöründe kullanılan en önemli unsur makinelerdir. Makineler çalışanlar açısından birçok sağlık ve güvenlik riski taşımaktadır. Sektörde kullanılan makinelere ait tehlikeleri; elektrik, gürültü, kimyasallar, radyasyon, mekanik parçalar, vibrasyon, termal konfor (sıcak-soğuk), buhar, gaz, lazerler, basınçlı hava ve diğer tehlikeler (kayma ve düşme, zehirli madde kullanımı, alet ve malzeme düşmesi, çalışanların saldırısı, yangın, patlama, mesleki hastalıklar ve sıcak-soğuk dengesiz değişimleri) olarak değerlendirilmektedir. Bunların dışında metal sektörü fiziksel riskler, elektriksel tehlikeler, kimyasal riskler, mekanik tehlikeler gibi birçok tehlike ve riski bünyesinde barındırmaktadır (Özkan ve ark., 2017).

Sosyal Güvenlik Kurumu verilerine göre iş kazaları, meslek hastalıkları ve kaza sonrası yaşanan ölüm oranlarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Tablo 2.l.'de 2021 ve 2022 yıllarında SGK verilerine göre 2022 yılında makine ve teçhizat hariç fabrikasyon metal ürünleri imalatında 24.085 çalışan iş kazası geçirmiştir. Bu da sektörler arasında %5,70 oranına denk gelmektedir.

Tablo 2.1. Sektörlere Göre İş Kazası Sayıları ve Oranı (SGK İstatistik Yıllıkları, 2022)

SEKTÖRLERE GÖRE İŞ KAZALARI					
Sıra	**Ekonomik Faaliyet Sınıflaması (NACE Rev. 2)**	***2021***		***2022***	
		Toplam İş Kazası	**Yüzde Oranı**	**Toplam İş Kazası**	**Yüzde Oranı**
1	41-Bina inşaatı	41759	9,69%	25551	6,05%
2	42-Bina dışı yapıların inşaatı	27639	6,41%	15927	3,77%
3	**25-Makine ve teçhizat hariç fabrikasyon metal ürünleri imalatı**	**25716**	**5,97%**	**24085**	**5,70%**
4	10-Gıda ürünlerinin imalatı	22610	5,25%	22734	5,38%
5	56-Yiyecek ve içecek hizmeti faaliyetleri	22487	5,22%	25969	6,15%
6	13-Tekstil ürünlerinin imalatı	19573	4,54%	20274	4,80%
7	81 - Binalar ve çevre düzenlemesi faaliyetleri	17642	4,09%	19683	4,66%
8	24-Ana metal sanayii	17403	4,04%	16413	3,88%
9	23-Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	15622	3,62%	13432	3,18%
10	47-Perakende ticaret (Motorlu kara taşıtları ve motosikletler hariç)	15435	3,58%	15931	3,77%

Tablo 2.2.'de 2021 ve 2022 yıllarında sektörler arasında iş kazaları sonucu meydana gelen ölümlerin sayıları ve yüzdelik oranları verilmektedir. 2022 yılında makine ve teçhizat hariç fabrikasyon metal ürünleri imalatında toplam 31 çalışan hayatını kaybetmiştir. Bu ölüm sayısı sektörler arasında %2,70 oranına denk gelmektedir.

Tablo 2.2. İş Kazası Sonucu Ölüm Sayıları ve Oranı (SGK İstatistik Yıllıkları, 2022)

İŞ KAZASI SONUCU ÖLEN SİGORTALI SAYISI					
Sıra	**Ekonomik Faaliyet Sınıflaması (NACE Rev. 2)**	***2021***		***2022***	
		Ölüm	**Yüzde**	**Ölüm**	**Yüzde**
1	41-Bina inşaatı	360	23,36%	207	18,04%
2	49-Kara taşımacılığı ve boru hattı taşımacılığı	175	11,36%	184	16,04%
3	42-Bina dışı yapıların inşaatı	162	10,51%	105	9,15%
4	43-Özel inşaat faaliyetleri	69	4,48%	56	4,88%
5	46-Toptan ticaret (motorlu kara taşıtları ve	60	3,89%	34	2,96%
6	**25-Makine ve teçhizat hariç fabrikasyon metal**	**48**	**3,11%**	**31**	**2,70%**
7	23-Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin	44	2,86%	24	2,09%
8	24-Ana metal sanayi	43	2,79%	19	1,65%
9	81-Binalar ve çevre düzenlemesi faaliyetleri	40	2,60%	31	2,70%
10	10-Gıda ürünlerinin imalatı	38	2,47%	27	2,35%

Metal İşleme Süreçleri

Metal işleme işleri, talep edilen ürün çeşitliliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu kapsamda metal malzemelerin elastik şekillendirme ve plastik şekillendirme olmak üzere bu iki başlık altında çeşitli şekillendirme yöntemlerinin olduğu bilinmektedir. Bu alanda genelde sac malzemenin demir ve çelik sektöründe hammadde halinde bulunan sac plaka, bobin, profil, slab, kütük gibi benzer şekillerde demir çelik fabrikalarında üretimleri yapıldıktan sonra şekillendirilmeleri için kesilmeleri, taşlanması üzerinden talaş kaldırılarak şekillendirilmeleri, bu amaçla dizayn edilmiş özel makine ve teçhizatlarla gerçekleştirilmektedir (Ersöz, 2019).

Genel kapsamda metal işleme atölyelerinde; malzemeleri kesmek veya ayırmak için giyotin makas, pres veya dairesel testere, delik açmak için matkap veya freze, kanal açmak veya yuvarlak malzemelerin şekillendirilmesi için torna tezgahı, düzlem üzerinden talaş kaldırmak amaçlı vargel, kaynak metodu kullanılarak birleştirmeler yapmak için elektik, mig, mag, tig ve gazaltı veya tozaltı kaynak makineleri, oluşan çapakların giderilmesi için taşlama ve zımpara tezgahı önemli ve yaygın kullanıma sahip tezgahlar olarak bilinmektedir.

Bazı tezgahların işlemleri sırasında işlenen parçanın ısınması sonucu herhangi ısı tehlikesi ortaya çıkmaması adına parçayı soğutma amaçlı basınçlı hava veya kesme sıvıları kullanılmaktadır (Ersöz, 2019).

Metal işleme tezgahlarının bir kısmı AB makine direktifi kapsamında üretilmiş, CE sertifikasına sahip ve yurt dışından ithal edilmiş tezgahlar olmakla beraber bazıları ise makine direktifi yayımlanmadan önce üretimi yapılmış ve şuan öngörebildiğimiz tehlike ve riskler bulunmasına karşın mevcut teknolojisi

ile günümüzde kullanılan koruyucuları barındırmadan üretimi yapılmış tezgahlar olduğu bilinmektedir.

Torna Tezgâhları

Tornalama işlemi emniyetli ve sıkı bir şekilde bağlanmış kendi ekseni etrafında dönme hareketi yapan iş parçası üzerinden, emniyetli ve sıkı bir şekilde bağlanmış doğrusal hareket yapan kesicilerin yardımıyla talaş kaldırma işlemi olarak açıklanmaktadır. Bu işin gerçekleştiği tezgahlara torna tezgâhı, bu işi gerçekleştiren kişilere de tornacı adı verilmektedir (Temel Tornalama İşlemleri, 2021).

Torna Tezgâhı Çeşitleri

Üniversal torna tezgâhları; diğer torna tezgahlarının yaptıkları tüm işlemleri tek başına yapabilen torna tezgâhları olarak bilinmektedir. En fazla kullanılan atölye tezgâh türüdür. Genel amaçlı tornalama işlemi yapmak için kullanılmaktadır. Tezgâh üzerine işleme bağlı aparatlar takılarak kopyalama ve taşlama gibi özel amaçlar için de kullanılabilmektedirler (Temel Tornalama İşlemleri, 2021).

Düşey torna tezgâhları; kalınlıkları küçük fakat çapları büyük parçaların işlenmesinde kullanılmaktadırlar. Diğer torna tezgahlarından farklı biçimde parça bağlanmaktadır yani konumu yatay değil dikey olarak konumlandırılır. Talaş kaldırma işlemi kesicinin aşağı yukarı hareketi ile sağlanmaktadır.

Otomatik torna tezgâhları; oldukça fazla sayıda ve küçük parçaların imalatında kullanılmaktadır. Tezgahlar mekanik olarak ayarlanarak tam otomatik tornalama yapılabilmektedir. Tezgâhın üzerinde bulunan kamların yer ve konumunun değiştirilmesi sonucu tezgâh ayarı yapılmış olmaktadır. Tornalama işlemi yapılacak çubuklar otomatik bir şekilde tezgâha sürülmektedir. Günümüzde bulunan CNC torna tezgahlarının kam versiyonları olarak da açıklanabilmektedir. Otomat torna tezgahlarda iş parçasını sürme, iş parçasının çözülmesi ve bağlanması, kesici takımların değiştirilmesi ve talaş kaldırma gibi her türlü hareket özel tasarımlanmış ve imal edilmiş olan kamlar yardımıyla yapılmaktadır. Tezgahlarda kullanılacak kamlar ilgili operasyonlara göre kam tasarımcıları tarafından çizilir ve çizilen bu şekle göre kamlar imal edilmektedir. Bu kamlar tezgâhın ana mili üzerinde yerlerine konumlandırılmaktadır.

Masa tipi (saatçi) torna tezgâhları; küçük boyutlu parçaların üretiminde kullanılmaktadırlar ve boyutları küçüktür. Vida çekme ve otomatik ilerleme tertibatları bu tezgahlarda olmamaktadır.

Revolver torna tezgâhı; çok sayıda küçük parçaların imalatında kullanılmaktadır. Yarı otomatik olarak çalışmaktadır. Taret adı verilen başlığa ve

çok sayıda kesiciye sahiptir. Bunlar işlem sırasına göre bağlanmaktadır ve işleme bağlı sırası gelen kesici otomatik şekilde öne gelmektedir.

Ağır iş torna tezgâhı; genellikle büyük çaplı parçaların işlenmesi sırasında kullanılmaktadır. İşlenen parçaların çapları ve boyları büyüktür.

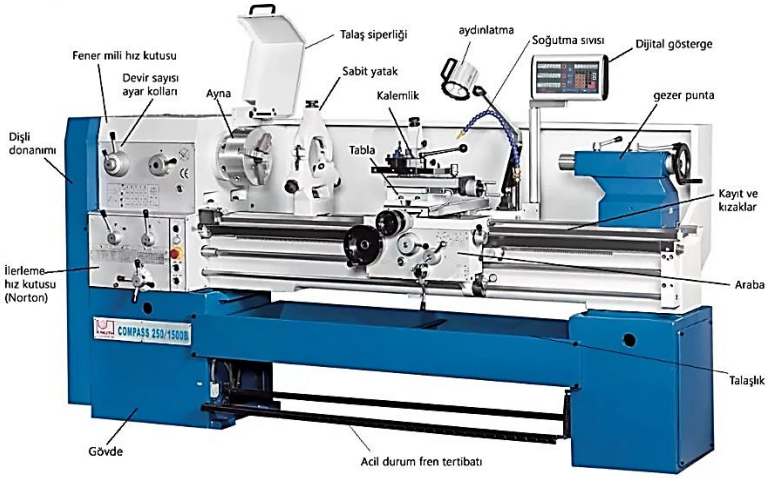
Kopya torna tezgâhı; kopya torna işlemi gerçekleştirmektedir ve bu işlem için örnek iş parçası veya şablon kullanılmaktadır. Gezici uç şablon üzerinde gezdirilir ve kesicide aynı veya farklı ölçülerde hareketler yapılarak parçanın kopyası elde edilmektedir. Kopya tornalama işlemi sadece bu tezgahlarda ve üniversal torna tezgahlarına kopyalama aparatının bağlanmasıyla yapılmaktadır.

Çok amaçlı torna tezgâhı; birden fazla tornalama işlemini aynı anda gerçekleştirebilen torna tezgâhları olarak bilinmektedir. Tezgâhın üzerine delme, taşlama gibi başlıkları yerleştirilmektedir. Bu başlıkların sayesinde delme, taşlama ve frezeleme işlemleri yapılabilmektedir.

Bilgisayar kontrollü (CNC) torna tezgâhı; üniversal torna tezgahlarında üretilmesi mümkün olmayan ve üretilemeyen parçaların çok sayıda üretimini gerçekleştirmektedir. İşlem süresi oldukça kısa ve işlenen parçalar özdeştir. Seri üretime uygun olduğu bilinmektedir. Tezgâh üzerine yerleştirilmiş bir bilgisayar yardımı ile kontrol edilmektedir. Devir sayısı, ilerleme, kullanılması gereken kesiciler ve işlem sırası gibi bilgiler bu bilgisayarda yapılan programda belirlenir ve buna uygun tezgaha kumanda ederek kısa sürede işlenmesini sağlamaktadır.

Torna Tezgahının Kısımları

Şekil 2.3'de torna tezgahının genel kısımlarını gösteren şekilde bulunan dijital gösterge, acil durum fren tertibatı, aydınlatma gibi parçalar her torna tezgahında bulunmayabilmektedir. Şekilde belirtilen sabit yatak torna tezgahının temel parçalarından sayılmamaktadır. Gerekli durumlarda kullanılan harici bir aparat olarak bilinmektedir.



Şekil 2.3. Torna Tezgahının Genel Kısımları (Torna Tezgâhı, 2021)

Gövde

Gövde dökümden yapılmaktadır ve tornanın temel organıdır. Sağlam ve esnemez bir yapıya sahiptir. Görevi torna elemanlarının taşımaktır. Bir tarafında fener mili kutusu ile ilerleme hız kutusunu diğer tarafta kayıtları üzerinde arabayı ve gezer puntayı taşımaktadır. Üstünde hassas işlenmiş V ve düz kayıtlar bulunmaktadır. Kayıtlar, hareketli elemanların fener mili eksenine paralel konumunu korumaktadır. Bu sayede gezer puntanın ve arabanın düzgün hareketi sağlanmaktadır (Torna Tezgâhı Kısımları, 2021).

Fener Mili Kutusu

Devir hız kutusu olarak da bilinmektedir. Torna gövdesinin sol tarafına monte edilmektedir. İçerisinde fener milini ve hareket etmesini sağlayan dişlileri bulundurmaktadır. Torna işlemleri için gerekli devirler, fener mili kutusundaki dişlilerle düzenlenmektedir. Aynanın devir sayısını ayarlayan kollar fener mili kutusu bölümünde yer almaktadır. Fener mili kutusu dışında bulunan devir ayar kolları, devir sayılarını göstermekte olan şemadaki konumlarına getirilerek kullanılmaktadırlar.

Devir kollarının kullanılmasıyla fener mili kutusunun içerisinde bulunan dişliler uygun şekilde yer değiştirerek belli dönme hızları üretmektedir.

İlerleme Hız Kutusu (Norton Kutusu)

Tornanın talaş miline ve ana miline farklı dönme hızları vermek için içerisinde hız ayarını sağlayan kademeli dişlileri taşımaktadır. Torna arabasının veya torna tablasının otomatik ilerlemesi için ilerleme hız ayarını sağlamak burada bulunan

kollar sayesinde yapılmaktadır. Aynı zamanda torna tezgahında vida çekme için vida adımına bağlı olarak ilerleme hızı da bu kısımda bulunan kollar sayesinde ayarlanmaktadır.

Talaş Mili

Kama kanallı bir mildir ve otomatik ilerlemeler için kullanılmaktadır.

Ana Mil

Üzerinde kare veya trapez vida bulunan aynı zamanda vida açmada kullanılan bir mil olarak bilinmektedir. Tornada vida çekme işlemi esnasında bu milin dönerek hareket ettiği görülmektedir.

İlerleme miktarının düzenlenmesi:

İlerleme hız kutusuna gelen hareket, kutu içerisinde bulunan bir dişli çark ile ana mile ya da talaş miline aktarılmaktadır. İlerleme hız kutusu dışında bulunan hız ayar kolu ile uygun dişli çark devreye alınarak, talaş mili aracılığıyla arabaya otomatik ilerleme hızları verilebilmektedir. Ana mil, vida ve helis oluk açmada kullanılmaktadır.

Araba

Araba, torna gövdesi ve kayıtları üzerinde boyuna hareket sistemine sahip boydan boya hareket etmekte olan bir bölüm olarak açıklanmaktadır. Burada hareket elle veya otomatik şekilde yapılmaktadır. El tekeri kullanılarak elle hareket, talaş mili ve araba dişli kutusu kullanılarak otomatik hareket sağlanmaktadır. Vida çekerken, otomatik hareket, ana mil ve vida makasıyla sağlanmaktadır.

Tabla

Enine hareket sistemine sahiptir. Araba üzerine kırlangıç kuyruğu kayıt ve kızak ile yerleştirilmiştir. Kendine ait el tekeri ve mili ile kalemin, fener mili eksenine göre dik hareket etmesini sağlar. Otomatik hareket sağlanması için arabanın dişli kutusundan yararlanılmaktadır.

Siper (Suport)

Kısa ilerlemeler için kullanılmaktadır. Tablanın yani enine hareket sistemin üzerine kızaklandırılmış pozisyonda, açı bölüntülü tablasından yatay düzlemde istenen açıda döndürülme imkânı olduğu bilinmektedir. Kalemliği taşımaktadır.

Kalemlik

Kalemin doğrudan doğruya ya da katerle bağlanmasına yarayan bölüm olarak bilinmekte ve çeşitli şekillerde yapılmaktadır.

Gezer Punta

Torna tezgahının kısımları arasında gösterilir ve kayıt kızak üzerinde yer almaktadır. Torna kayıtları üzerinde gezdirilebilen ve ucunda 60° lik konik uçlu puntaya sahip aygıt olarak bilinmektedir. Torna tezgahında işlenen parçaları, alın kısmına açılan punta havşası yardımıyla sağ uçtan destekleyerek görev yapmaktadır. Gerekli durumlarda tornada raybalama ve delme gibi işlemler için konik yuvasına, mandren ya da mors kovanı takılabilmektedir. Gezer punta ucu, fener mili ucu ile aynı eksende çalışmaktadır.

TS EN ISO 23125 standardı, soğuk metali işlemek üzere tasarımlanmış torna tezgahlarında tehlikeleri ortadan kaldırmak ya da öngörülen riskleri azaltabilmek hedefiyle kuralları ve tedbirleri kapsamaktadır. Torna tezgahı ile parça işlenirken iş kazaları genelde talaş sıçraması veya operatörün iş elbisesinin ya da elinin tezgahın hareketli kısımlarına sıkışması sonucu meydana gelmektedir. Bunun için imalat yapılırken alınması gereken önlemler vardır. Bunların başında tezgahın hareketli kısımlarının korunmasının gerekliliği gelmektedir.

Operatör ile talaşın bulunduğu ortamı talaş sıçramasını önlemek amaçlı ayırmak için mekanik koruyucu bulundurulması gerekmektedir. İşlenen parçanın operatör tarafından rahat görülmesi için bu koruyucunun şeffaf yapıda ve talaş sıçraması esnasında koruyucunun da herhangi bir şekilde kırılmaması üzere sağlam yapıda olması gerekmektedir. hata riskini azaltmak adına koruyucuya elektronik koruma sistemi eklenmesi gerekmektedir. Torna tezgahı çalışır haldeyken koruyucunun devre dışı bırakılması halinde tezgah, şeffaf koruyucu üzerindeki elektronik koruma sisteminin devreye girmesi ile durması gerekmektedir. Operatörün tezgah etrafına takılmasına neden olabilecek bir aksam bulunmamalıdır. Çalışma alanına operatör harici birinin girmesi mümkün olmaması adına tezgah dışına belli alana sensörler ilave edilecek şekilde dizayn edilmelidir. Sensörler herhangi bir alan kısıtlaması olduğunda torna tezgahını otomatik durduracak şekilde çalışmalıdır.

Freze Tezgâhları

Endüstride imalatın yapılabilmesi için gerekli olan birçok iş tezgahının yanında freze tezgâhları da büyük önem taşımaktadır. Makine, otomotiv ve uçak endüstrisi gibi büyük ve önemli imalat alanlarında frezelemenin öneminin oldukça büyük olduğu bilinmektedir.

Etrafında birden fazla kesici uç bulunan aletlerle ya da özel kesicilerle, malzeme üzerinden talaş kaldırmak suretiyle şekil verme ve biçim değiştirme işlemlerine 'frezeleme' denmektedir. Bu işlemde kullanılan kesici 'freze', bağlandıkları iş tezgahlarına ise 'freze tezgâhı' adı verilmektedir. Frezeleme ile düz, dairesel, eğik ve çeşitli görünümde yüzeylerle, vidalar, kanallar, dişli çarklar istenilen derecede tam anlamda seri olarak yapılabilmektedirler. Tamlık dereceleri genelde 0,02 milimetreye kadar hassaslık ve yüzey pürüzlülüğü elde edilebilmektedir (Temel Frezeleme İşlemleri, 2021).

Freze Tezgâhı Çeşitleri

Seri imalatta, küçük sanayi iş kollarında kullanılan freze tezgâhları kullanım amaçlarına göre oldukça fazla çeşitlendirilmektedir.

Konsollu Freze Tezgâhları

Endüstride seri imalat işlerinde kullanılmaktadır fakat yapılan işlerin kapasitesi sınırlı olduğu bilinmektedir. Tezgâhın kullanılması tabiri, hatasız iş yapabilmek ve tezgâh hakkında bilgi sahibi olmak anlamına gelmektedir. Bu anlamda tüm bilgilerin alınması ve günümüz endüstrisinde karmaşık tezgâh yapılarının öğrenilmesi bu tür konsollu freze tezgahlarında önem arz etmektedir. Konsollu freze tezgâhları üç başlıkta incelenmektedir.

Yatay Freze Tezgâhları

Freze kesicisinin (çakısının) bağlı olduğu tezgâh mili ekseni tezgâh tablasına paralel şekilde konumlandırılmaktadır yani yataydır. Yatay konumdan dolayı 'yatay freze tezgâhı' adını almaktadır. Tabla manuel ya da otomatik şekilde enine ve boyuna, hızlı veya yavaş hareket edebilmektedir. Tablanın konsol üzerinde hareket ettiği eksenler sabittir ve başka bir açıya göre ayarlanamamaktadır. Örnek olarak vida eğim ve helis açılarına ayarlanamamaktadır.

Düşey Freze Tezgâhları

Bu tip freze tezgahlarında frezelerin bağlı olduğu mil ekseni tezgâh tablasına dik olarak konumlanmaktadır. Freze kesicisinin dönme eksini dik konumda olmasıyla parçalar işlenebildiği gibi başlığın istenilen açıda döndürülmesiyle de bu işlem gerçekleştirilebilmektedir. Bu tezgahların tablası sabit eksen doğrultusundadır ve sağa veya sola döndürülerek açı vermenin mümkün olmadığı belirtilmektedir. Tablanın ilerlemesi manuel veya otomatik şekilde enine ve boyuna hareket ile sağlanmaktadır. Ana motor hareketi ve hız kutusu takviyesi ile istenen devir sayıları elde edilmektedir. Konsol kısımları yatay freze tezgâhı tamamen aynıdır. Fakat düşey freze tezgahlarında daha çok alın frezeleme

işlemleri için gereken yardımcı araçlarla donatılmaktadır (Temel Frezeleme İşlemleri, 2021).

Üniversal Freze Tezgâhları

Üniversal kelime olarak çok yönlü ve çok amaçlı anlamında kullanılmaktadır. Adından da anlaşılacağı üzere üniversal freze tezgâhları birden çok amaç doğrultusunda tercih edilen, hizmet veren tezgahlardır. Freze tezgahlarının birden çok yönünden faydalanabilmek çeşitli işlemleri bir tezgâh ile yapabilmek amacıyla düşey ve yatay freze tezgahlarının birleştirilmiş şekli olarak açıklanabilmektedir. Bu sayede daha kullanışlı, amaçlara daha uygun cevap verebilen tezgahlar meydana getirilmektedir. Tezgâh tablasını freze milinin konumuna göre 45°'ye kadar sağa veya sola döndürebilmek mümkün olduğu bilinmektedir. Bu sebeple çeşitli helis kamalarını istenilen doğrultuda manuel veya otomatik ilerleme yardımıyla işlemek, tezgâhın en önemli özellikleri arasına girmektedir. Aynı zamanda punta, divizör, dik ve üniversal başlıklar, vargel başlığı gibi yardımcı parçaları ile tezgâh donatıldığında tüm düzlem yüzeyler, delikler, kanallar ve delik içerisindeki diğer işlem gerektiren bölümler, eğik düzlemlerle, düşey ve yatay frezenin işlemlerinin tamamını ya da belli bir kısmını frezelemenin mümkün olduğu bilinmektedir.

İmalat Freze Tezgâhları

Endüstrinin makine, otomotiv ve uçak parçalarının seri üretimi amacıyla kullanılmakta olan freze tezgahlarıdır. Birçok freze çakıları ile çalışılarak kalite, zaman ve parça sayısı düşünülerek seri üretim yapılmaya uygun tezgahlar olarak bilinmektedir. Kesiciler düşey, yatay veya değişik konumlarda bağlanarak parça üzerindeki işlemleri tek seferde yapma mümkündür. Seri üretim tezgâhları üç ana grup toplanmaktadır.

Tek Sütunlu Planya Tipi Freze Tezgâhları

Ağır sanayide kullanılan büyük hacimli freze tezgahlarıdır. İnşaat makinelerinin, motor gövdelerinin ve makinelerin seri olarak frezelenmesinde kullanılmaktadır. Tezgâh tablanın bir tarafının açık olmasıyla büyük parçaların rahatça taşınarak kolay bir şekilde bağlanmasında ve işlenmesinde hem pratik hem de ekonomik olması yönünden tercih edildikleri bilinmektedir. Tezgâh tablasına bağlanan iş parçaları tabla ile birlikte hareket etmektedir. Freze kesicisi ise tablanın yan tarafında bulunan sabit sütun üzerindeki konsolda bulunmaktadır. Kesicinin bağlı olduğu yerlere 'başlık' adı verilmektedir. Başlık konsol üzerinde manuel veya otomatik şekilde ileri geri hareket etmektedir. Uygulanacak işleme bağlı olarak bir ya da daha fazla kesici kullanılabilmektedir.

Çift Sütunlu Planya Tipi Freze Tezgâhları

Tek sütunlu freze tezgahlarına oldukça benzemektedir. Tablanın bir diğer tarafına da ikinci sütun eklenerek kesicilerin bağlandığı başlıklar çoğaltılmış olarak daha sağlıklı talaş kaldırma sağlanmaktadır. Burada da işlenecek parça tablaya bağlanmaktadır ve tabla ile birlikte hareket etmektedir. Parça boyutları tezgâh sütunları arası ile sınırlandırılmaktadır. Tezgahların her ikisinde de tabla, planya tezgahlarında olduğu üzere hareket ettiğinden 'planya tipi' adı verilmektedir.

Kopya Freze Tezgâhları

Diğer freze tezgahlarından farklı olarak talaş kaldırma işlemini mastar adı verilen bir şablona göre yapmaktadır. Bu nedenle yapılacak işin, belli oranlarda küçültülerek ekonomik malzemeden mastarı ya da şablonu hazırlanmaktadır. Hazır edilen mastar kalıbı tezgâh tablasında özel bir izleyici uç ya da elektronik göz adı verilen uç ile hazırlanarak kopya edilmektedir.

Tezgâhın yapısında izleyici uç ya da pim, kullanılacak iş parçası ve şablon birbirine uygun konumda tablaya bağlanmaktadır. Pim ve freze kesicisi tezgâhın iki ayrı miline yerleştirilmektedir. Freze kesicisi, pimin şablon üzerinde izlediği doğrusal ve eğrisel yolların benzerini kopyalayarak aynısını iş parçası üzerinde işleyerek çıkarmaktadır.

Yatay Delik Freze Tezgâhları (Bohrwerk)

Tablanın yatay düzlemde enine boyuna hareket etmesi, kendi ekseni etrafında dereceli olarak döndürülebilmesi, yatay delik freze tezgahlarının kullanım alanını oldukça genişletmektedir. Freze çakılarının bağlı olduğu fener milinin de düşey eksende hareket edebiliyor olması, tezgâhın sadece delik işlemlerinde değil, tüm yüzey frezeleme işlemlerinde kullanılmasını da sağlamaktadır.

Diş Açma Freze Tezgâhları

Dişli çarkların açılmaları üniversal freze tezgahlarında her zaman mümkün olmamaktadır. Çünkü bazı durumda hassas açılmamaktadır. Gerçeğe yakın hassas dişli çarklar, profillerin oluşturulabildiği özel dişleme ya da özel diş açma tezgahlarında açılabilmektedir. Endüstride kullanılmakta olan dişli çarkların diş profilleri genellikle 'evolvent eğrisi' profili olarak bilinmektedir. Çevresine diş açılmak istenen iş parçası ile kesicinin birlikte belirli oranlarda hareketi ile evolvent gerçekleştirilmektedir. Fakat burada açılmış olan dişlerin şekli kesicinin şekliyle orantılıdır. Gerçeğe yakın dişli çarklar üniversal freze tezgahlarında açılabilmektedir. Gerçeğine uygun dişlilerin açılmasında değişik türde tezgahlar

kullanılmaktadır. Dişli endüstrisinde genelde kullanılmakta olan tezgahlar üç grupta toplanmaktadır.

Azdırma Dişli Tezgâhları: Azdırma, silindirik ve sırtı torna edilmiş bir freze kesicisi olup çeşitli dişli çarkların açılmasında kullanılmaktadır. Bu tezgâhta bıçak olarak sadece kendisi kullanıldığından tezgâh adını kendisinden almaktadır. Azdırma dişli freze tezgahlarında, azdırma frezesinin dönmesi ile iş döndürülerek, açılmak istenen çarkın diş sayısına göre de dişli donatımı sağlanmaktadır.

Vargelleme Usulüyle Dişli Çark Açma Tezgâhları: Bu tezgahlara, 'pinyon bıçaklı dişli çark planyası' da denmektedir. Genelde açılacak dişli çarkın adımına uyan ve tüm özellikleri aynı olan dişli gibi kesiciler kullanılmaktadır ve kesici bıçaklara 'pinyon bıçak' adı verilmektedir. Dişleri, düşey eksende dönme ve salınma hareketi yaparak oluşturmaktadır.

Kramayer Biçimli Bıçakla Dişli Açma Tezgâhları: Bu tezgahlarda uygulanan diş açma işlemine 'maag' usulü de denilmektedir. Bu tezgahlarda kesici olarak dişli özelliğine uygun ve kramayer biçimli bıçaklar kullanılmaktadır. Burada kesici yukarıdan aşağıya alternatif biçimde hareket etmektedir. Masada özel halde bağlanmış olan dişli çarkta bıçak önünde yuvarlanma hareketi yaparak dişler açılmaktadır.

'NC' Nümerik Kontrollü Freze Tezgâhları

Nümerik kontrollü tezgâh ifadesi sayısal kontrollü tezgâh anlamına gelmektedir. CNC tezgahların bulunmasında büyük rol oynamaktadır. CNC tezgahların kullanılmaya başlanmasıyla önemini yitirmiş ve tercih edilmemeye başlanmıştır bundan dolayı geçiş dönemi tezgâhları olarak da ifade edilebilmektedir.

Nümerik kontrollü freze tezgahlar imalatlarına bağlı olarak bant, şerit ve kart şeklinde sistemlerde çalışmaktadır. Genelde iş parçasına uygulanacak tüm işlemler, yapım aşamasına göre bantlara kaydedilerek programlanmaktadır. Bu bantlar tezgâhın yanında bulunan ve tezgâhı yönlendiren bant okuyuculara takılarak tezgâhın istenilen işlemleri yerine getirmesini sağlamaktadır.

'CNC' Freze Tezgâhları (Computer Numerically Control)

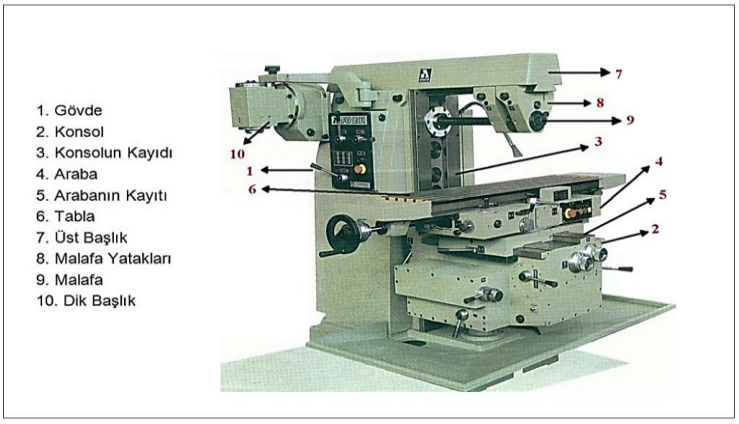
CNC, bilgisayarlı sayısal kontrol anlamına gelmektedir. CNC makineler, bilgisayar ile programlanarak otomatik şekilde işleme yapmaktadırlar. Kesme, delme, ağaç işleme, lazer kesim, tel erozyon, torna, ahşap oyma ve freze gibi işlemler CNC makineler ile bilgisayar destekli yapılabilmektedir. Bu makineler

işlem yeteneklerinin çeşitliliği açısından en çok işlem kabiliyetine sahip tezgahlar olarak değerlendirilmektedir. Freze tezgahlar en az 3 olmak üzere 4 veya daha fazla eksende işlem yapabilmektedir.

Özel Freze Tezgahlar

Seri üretimde kullanılmakta olan bu tip tezgahların çoğu özel amaçlı tezgahlardır. Bu tezgahlarda çok fazla sayıda parçaların, operasyonlarının en kısa sürede ve ölçü bakımından tam derece elde edilmesi düşünülmektedir. Maddi açıdan yük olan bu tezgahlar, ölçü kalitesi ve iş sürekliliği istenen üretimlerde tercih edilmektedir.

Freze Tezgahının Kısımları



Şekil 2.5. Freze Tezgahının Genel Kısımları (Freze Tezgâhı, 2021)

Gövde

Freze tezgahının en büyük bölümünü oluşturmaktadır. Diğer ana kısımları taşımakta ve onlara yataklık etmektedir. Titreşim emici özelliğine sahip dökme demirden yapılmaktadır. Gövdenin iç bölümüne, hareket motoru, hız kutusu, hareket iletim elemanları ve çeşitli yardımcı elemanlar yerleştirilmiştir.

Taban

Freze tezgahı ile zemin arası bağlantıyı kurmaktadır ve gövdeyi taşımaktadır. Tezgah, taban üzerinde bulunan deliklerden cıvatalarla zemine sabitlenmektedir. Tabanın içinin boş olması durumunda dayanıklılık artar aynı zamanda taban soğutma sıvısı için de depo görevi görmektedir. Bu nedenle genelde taban içi boş olacak şekilde imal edilmektedir.

Dik Başlık

Gövde kısmının üzerinde bulunan önemli ana parçadır. Freze tezgahları başlıklarının çeşitlerine göre isimlendirilmektedir. Üç önemli görevi yerine getirmektedir. Bunlar;

- Başlığa bağlanmış olan freze kesicisini yataklamak
- Hız kutusundan alınan dönme hareketini kesiciye iletmek
- Kesiciye istenilen eksende açısal olarak yön vermek

Freze tezgahlarında yatay, dikey, üniversal ve eksantrik olmak üzere dört çeşit başlık kullanılmaktadır (Freze Tezgâh Aksesuarı, 2021).

Tabla

İş parçasının üzerine T kanalları sayesinde çeşitli yöntemlerle bağlanabilmektedir. Tabla üzerine bağlı olan iş parçalarını dönen freze kesicisi altında sağa ve sola hareket ettirmektedir.

Araba

Üzerinde tablayı taşımaktadır. Konsol ile tabla arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Tablanın ve iş parçasının ileri ve geri hareketini sağlamaktadır.

Konsol

Konsol, kayıt ve kızaklarla tezgâh gövdesine yataklanmış konumdadır. Üzerinde taşıdığı araba ve tabla ile beraber iş parçasını yukarı ve aşağı hareket ettirmektedir.

Tabla, araba ve konsol üzerinde bulunan mikrometrik bilezikler yardımıyla iş parçaları istenen yönde hassas biçimde ilerletilebilmektedir. Bu işlem manuel veya otomatik yapılabilmektedir.

Yardımcı Aygıtlar

Kesme işleminde soğutma suyu, iş parçası tutucuları ve aydınlatma elemanları gibi kullanılan elemanlara yardımcı aygıt denir.

Döner Tabla

Döner tablalar, sonsuz vida ve çark sistemiyle 360° döndürülebilmektedir ve tezgâhın en önemli kısımları arasında yer almaktadır. Büyük çapta döner tablalar hız kutusundan aldıkları hareketi otomatik olarak döndürme imkanına sahiptir. Tablada olduğu gibi üzerine iş parçası bağlanması için T kanalları mevcuttur. Açılı işlemlerin yapılması ve işlerin döndürülerek açılması döner tablalar ile mümkündür.

Malafalar ve Yataklar

Freze kesicilerinin bağlı olduğu miller malafa olarak adlandırılmaktadır. İşin tabladaki konumuna bağlı olarak kesicinin nereye bağlanacağına karar için kısa boyda ve çok sayıda içleri boş silindirik yapıda parçalardan bileziklerle tespit edilmektedir. Bilezikler standart yapılmışlardır. Yan yana getirilerek freze çakısı aralarına kamlanır. Freze tezgâhı üzerinde malafa yatakları iki adet bulunmaktadır ve tezgahın sarsıntı olmadan düzenli çalışmasını sağlamaktadır.

Divizör

İş parçasının çevresine eşit bölmeli kanallar ya da yüzey işlemek için hem tespiti hem de döndürmeyi sağlayan aygıt olarak tanımlanmaktadır. Bir bölme başlığı ve karşılığında puntası vardır. İki punta arasına iş parçası bağlanarak işlem gerçekleştirilmektedir. Bu yardımcı aygıt cıvata ya da bir milin ucuna kare ya da altıgen baş açmak, rayba ya da kılavuz olukları açmak ve her çeşit dişli çarkın dişlerini açmak üzere kullanılmaktadır.

TS EN ISO 16090-1 standardı, freze makineleri, işleme merkezleri ve transfer makinelerinin yaşam döngülerinde gerekli güvenlik gereksinimlerini açıklamaktadır.

Freze tezgahlarında da torna tezgahlarına benzer şekilde iş güvenliği riskleri bulunmaktadır. Çalışma esnasında tezgahın hareketli kısımlarına operatörün temasta bulunması olasıdır aynı zamanda burada da talaş sıçraması sonucu iş kazası olasılığı mevcuttur. İş kazalarından korunmak için bazı güvenlik tedbirleri alınmalıdır. Sabit bir şeffaf cam koruyucu kapak sayesinde kesici takım operatörden ayrılmalıdır. Koruyucu kapak hem talaş sıçramasına hem de takım ucunun kırılması ve sıçraması durumunda engel oluşturup aynı zamanda işlenecek parçanın tezgaha tam sabitlenememesi durumunda oluşabilecek iş kazasına engel olacaktır. Operatör hiçbir koşulda tezgah çalışırken hareketli parçalara müdahale etmemelidir. Tezgahın çalışma alanı belirlenerek çizgiler ile diğer alanlardan ayrılmalıdır ve operatöre bu çizgiler içerisinde fiziksel temasta bulunulmamalıdır.

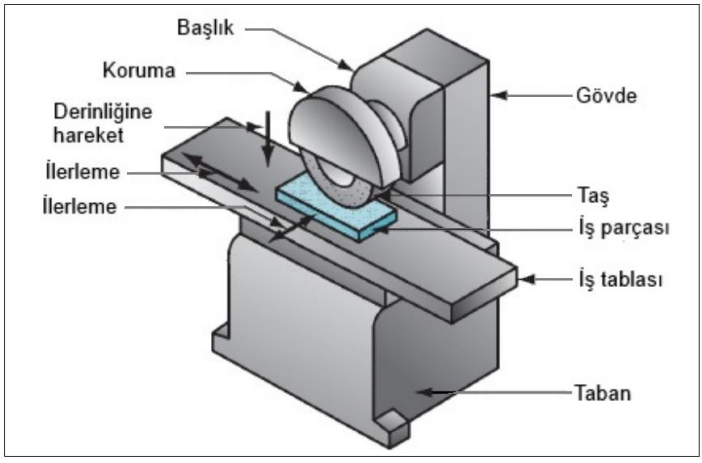
Taşlama Tezgâhı

İş parçası yüzeyinin, belli formlara sahip olan sert aşındırıcı taneler içerikli kesici yani zımpara taşının yüksek hızda dönme hareketi yaparak istenilen noktalardan talaş kaldırma işlemi taşlama olarak adlandırılmaktadır. Bu sert aşındırıcı taneler kesme işlemini uygularken kendi taraflarında yerlerinden koparak körlenmeye maruz kalmaktalardır. Kesme uygulaması, yerinden kopan bu tanelerin altından gelen keskin köşeli tanelerin yeniden devreye girmesi ile süreklilik sağlamaktadır (Çelik, 2010).

Taşlamanın amacı iş parçasının istenilen hassaslık ve yüzey kalitesinde üretilmesini sağlamaktır. Taşlama işleminin sonucunda 0,01 mm ile 0,002 mm arası tam ölçü ve 6,3 pm ile 0,05 pm ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) elde etmenin mümkün olduğu bilinmektedir. Taşlama makineleri, metalden paslanmaz malzemeye kadar taşlama, kesme ve zımparalama işlemlerini yapmaktadır (Güllü, 1995).

İş parçasının yüzeylerinde ölçü tamlığının yüksek olması ve yüzey pürüzlülüğünün düşük olması, taşlamacılığın endüstride yerinin büyük olmasını sağlamaktadır. Hassas makine parçalarının üretiminde öncelikle diğer çeşitli takım tezgahlarında iş parçaları işlenerek belli bir forma getirildikten sonra sonlandırma işlemi olarak, taşlama işlemi yapılarak gerçekleştirilmektedir.

Taşlamanın, ölçü tamlığının ve yüzey kalitesinin yüksek olması, sertleştirilmiş iş parçalarının işlenebiliyor olması, üretim seri bir şekilde sağlanıyor olması, beraber çalışacak parçaların uyumunu yakalamanın kolay olması, diğer takım tezgahlarında işlenemeyecek parçaların işlenebiliyor olması, alet ve takım elemanlarının bileme işleminin yapılabiliyor olması endüstriyle üretimde üstünlük sağlamasına yardımcı olmaktadır (Sak, 1986).



Şekil 2.6. Taşlama Tezgahının Genel Kısımları (İs güvenliği, 2021)

TS EN ISO 16089 standardı, metalleri taşlama yolu ile şekillendirmek için tasarlanan hareketsiz taşlama makineleri gruplarındaki tehlikeleri ortadan kaldırmak, riskleri azaltmak için gereklilikleri ve önlemleri açıklamaktadır. Talaş kaldırma yöntemi ile parçaları işleyen takım tezgahlarında meydana gelen iş kazaları genellikle iki türlü meydana gelmektedir. Bunlardan ilki talaş sıçraması ile meydana gelen kazalar, ikincisi ise operatörün tezgahta hareketli parçaya temasından kaynaklı kazalardır. Taşlama tezgahlarında meydana gelebilecek iş

kazalarına yönelik bazı güvenlik önlemleri alınmalıdır. Her koşulda operatörü korumak için siperlik veya diğer güvenlik koruyucuları kullanılmalıdır. Taşlama tezgahında çalışırken eldiven kullanılmamalıdır. Kravat, fular ve yüzük gibi dolaşabilecek herhangi mücevherat ve dolaşabilecek şeyler giyilip takılmamalıdır. Dönen zımpara taşının koruyucularının daima takılı olması gerekmektedir. Taşlama işlemi sonucu ısı ve kıvılcım açığa çıkmaktadır. Kıvılcım koruyucusu zımpara taşını kaplayacak ve etrafa sıçratmayacak şekilde ayarlanmalıdır. Zımpara taşının dönmesi sırasında herhangi bir koruyucu veya dayanaklar ayarlanmamalıdır.

Zımpara taşının koruyucusu teknik gerekliliklere uygun şekilde taşın çevresini kapatabilecek özellikte yapılmış ve tezgâhın gövdesine sağlam şekilde bağlanmış olmalıdır. Taş ile koruyucu önündeki açıklık 3,175 mm, taş ile üstteki dil arasındaki açıklık 6,35 mm olmalıdır. Zımpara taşına ilk enerji gönderilmesi esnasında taşın önünde değil yan tarafında durulmalıdır. Taşlama makinesinde titreşim varsa kullanılmamalıdır. İşlem bitiminde ve bakım onarım sırasında taşın tamamen dönmeyi bitirdiğine ve enerjinin kesildiğine emin olmak gerekmektedir (İsguvenligi, 2021).

2017 yılı iş istatistiklerinde TÜİK verilerine göre takım tezgahları kısmında faaliyet göstermekte olan firmaların miktarı; 1236 adedi metal işleme makineleri üretimi yapan, 336 adedi diğer takım tezgahı üretimi yapan ve 964 adedi takım tezgahlarının toptan ticaretini yapmakta olan toplam 2 bin 536 adet olarak açıklanmıştır. Bu istatistiklere göre takım tezgahı kısmındaki toplam istihdam gücü ise 11 bin 990 adedi metal işleme makinesi, 3 bin 920 adedi diğer takım tezgahı üretimi yapan ve 4 bin 462 adedi takım tezgahının toptan ticaretini yapmakta olan firmalar olarak toplam 20 bin 372 adet olarak açıklanmıştır. Bununla beraber Türkiye'de takım tezgahı üretimi ve ticareti yapmakta olan firmaların büyük bir kısmının KOBİ ölçeğinde olduğu da belirtilmiştir. Türkiye'de bulunan imalatçıların büyük bir kısmı Marmara Bölgesinde çalışmalarını sürdürürken İzmir, Ankara, Kayseri ve Konya'da da üretim ve ihracat anlamında büyük katkı sağlayan firmaların varlığının olduğu sentezlenmektedir (Moment Expo, 2021).

1984 yılında ülkemizde ilk takım tezgahı üretimine başlanmasından itibaren universal torna, universal frezeler, taşlama tezgahları, takım bileme tezgahları ve matkaplar seri şekilde imal edilmeye başlanmıştır. Aynı dönemde dünyada CNC takım tezgahları kullanılmaya başlandığından Türk makine üreticileri de CNC takım tezgahlarına ilgi duymaya başlamıştır. CNC takım tezgahları imalatta standardizasyon, yüksek hassasiyet, operatöre bağımsızlık, emekten çok bilgi ve sermayeye geçiş olarak avantaj sağlamaktadır. Türkiye bu konuda 1990 yıllarında gelişim göstermeye başlayarak yeteneklerini arttırmıştır. Fakat günümüzde CNC

takım tezgahlarına geçiş fazla olsa da imalat sektöründe klasik takım tezgahlarının kullanılmaya devam edildiği de görülmektedir (Moment Expo, 2021).

Metal İmalatında İş Sağlığı ve Güvenliği ve Mevzuatlar/Standartlar

Metal İmalatında İş Sağlığı ve Güvenliği

İş kazası yaşandıktan sonra bu acının hem maddi hem manevi hesaplanamayan derecede yük olması, yaşanan iş kazalarının çoğunun engellenebilir olması, yasal sürecin hem işveren hem de çalışan açısından yorucu olması, o andan sonra gelecek iş potansiyellerinde kayıpların olması düşünüldüğünde makinelerin aslında niçin emniyetli olması gerektiğini açık bir şekilde belirtmektedir.

İş kazalarında ortaya çıkan maliyet iki şekilde incelenmektedir. Bunlar;

1) Yaralanma sonucunda tedavi masrafları, işverenin, 3. şahısların ve ürünün sorumlulukları yani toplam maliyetin yaklaşık %10'u ve görülen maliyet olarak kabul edilmektedir.
2) Ürün ve malzeme kaybı, ekipman ve kaza olan yerin hasar maliyeti, denetleme için kaybedilen zaman, kaza sonrası ortamı eski haline getirmek ve üretime başlamak için geçirilen zaman ve üretim kaybı, hukuki cezalar, mesai gereksinimi, resmi evrak düzenleme için geçirilen zaman toplam maliyetin yaklaşık %90'ı ve görülmeyen maliyet kabul edilmektedir.

İş sağlığı ve güvenliği yönünden; metal sektöründe yaşanan iş kazaları genelde tezgahların kullanımları esnasında keskin metaller, ekipmanların koruyucularının olmaması ya da manipüle edilerek kullanılmaması nedeniyle hareketli tezgah ve makineler dolayısıyla kesilme, sıkışma gibi olayların yaşanmasıyla el, ayak veya vücutta kesilmeler, uzuv kayıpları ya da ölüm gerçekleşmektedir. Aynı zamanda tezgahlar arası malzeme taşıma esnasında kesilme ve ezilmelerde görülmektedir.

Meslek hastalıkları açısından malzeme taşınması sırasında vücut şeklinin eğik konumda çalışılmasından kaynaklanan kas-iskelet sistemi huzursuzlukları ve makine çalışma bölgesine ulaşım ve işlem görecek ya da işlenecek malzemelerin tezgaha alınması ve indirilmesi esnasındaki kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları, metal işlemleri sırasında toz kaynaklı akciğer rahatsızlıkları, tezgah çalışma seslerinden işitme kaybı hastalıkları ve nadiren de olsa kimyasal madde kullanımından dolayı göz, deri ve solunum yollarında tahriş ve dermatite rastlanmaktadır (Ersöz, 2019).

Elektrik/elektronik/pnömatik/hidrolik sistemler, bozuk, kaygan, ıslak zemin, sürekli tekrarlanan hareketler, el ile taşıma, termal konfor koşullarındaki

uygunsuzluklar, havalandırma ve iklimlendirme, titreşim, gürültü, aydınlatma yetersizliği gibi etmenler ekipmanlardan kaynaklanan riskler olarak sayılmaktadır. Bunlara ek olarak maruziyet süresi, şekli ve seviyesi de işyeri ortamlarına göre farklılık göstermektedir.

İş kazalarının kök neden analizlerine bakıldığında birincil ve ikincil nedenler ortaya çıkmaktadır. Bunlar;

3) Birincil nedenler: Emniyetsiz davranışlar ve emniyetsiz koşullardır. Emniyetsiz davranışlara örnek olarak yetki olmadan çalışılması, diğer çalışanları uyarmaması, ekipmanların hatalı seçimleri ve emniyetsiz çalışma şekilleri verilmektedir. Emniyetsiz koşullar ise çalışılan makinenin muhafazasının olmaması, bakımın etkisinin olmaması, gürültü ve uygunsuz iklimlendirme ile örneklendirilebilmektedir.
4) İkincil nedenler: Yönetim baskısı ve sosyal baskılardır. Yönetim baskısının temelini finansal kısıtlamalar, taahhütler, politikasızlık ve eğitimsizlik oluşturmaktadır. Sosyal baskılar da grup halinde hareket etme psikolojisi, risk alma algısının değiştiği topluluklar, kabul edilen davranışların durumu ve gelenekler sayılabilmektedir (Ersöz, 2019).

Metal imalatı endüstrisinde fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik, psikososyal ve organizasyonel tehlikeler bulunmaktadır.

Fiziksel risk etmenleri; gürültü, titreşim, termal konfor, aydınlatma, radyasyon ve basınç olarak tanımlanmaktadır.

5) Gürültünün değerlendirilmesi için ses basıncı ve frekansı belirlenmektedir. Gürültünün geçici ya da kalıcı işitme rahatsızlıklarına neden olan fiziksel etkileri olarak kan basıncı artışına, solunumun hızlanmasına, kalp atışında yavaşlamaya, dolaşım bozukluğuna neden olabilmektedir. Psikolojik olarak da davranış bozukluğu ve iş veriminin düşmesi, çalışılan ortamla kurduğu konsantrasyonun, uyumun bozulmasına neden olabilmektedir.
6) Titreşim, mekanik sistemdeki salınım hareketlerinden, çalışan ve dengesi bozuk olan araç ve gereçlerden kaynaklanmaktadır. Şiddet ve frekans ile açıklanmaktadır. El, kol ve vücut üzerine etkileri ölçülerek, titreşime maruz kalınan süre, yön, vücut büyüklüğü, yaş, cinsiyet ve duyarlılığa bağlı önlemlere karar verilmektedir. Titreşimin de fiziksel ve psikolojik etkileri oldukça fazladır.
7) Termal konfor, çalışanların nem, sıcaklık, hava akım hızı gibi iklim koşulları değerlendirilmesiyle fiziksel ve psikolojik iyi olma durumlarıdır. Çalışanın ortamla ısı alışverişi konsantrasyon ve iş bütünlüğü açısından önemlidir.

8) Aydınlatmanın iyi olma durumu çalışanın iş verimini ve kaliteyi yakından ilgilendirmektedir. İyi bir aydınlatma ışığın şiddeti, rengi, yayılma açısı ve yönüne bağlıdır.
9) Radyasyondan çalışanların olumsuz etkilenmemesi adına düzenli ölçümler ve teknik tedbirler alınmalıdır.
10) Basınç çalışanın kalp, dolaşım ve solunum rahatsızlıkları için büyük etkendir. Çalışılacak ortama uygun işe giriş muayenelerinde ve periyodik olarak ayrıca değerlendirilmelidir.

Kimyasal risk etmenleri; metal işleme sektöründe kullanılan kimyasallara çalışanların maruziyet süreleri ve temasta bulundukları organlarına göre kimyasallardan etkilenmeleri farklılık göstermektedir. Kimyasalların farklı özelliklerine göre riskleri de değişmektedir. Özellikleri dikkate alındığı zaman kimyasalların taşınma, depolanma ve kullanımında da güvenlik bilgi formları göz önünde bulundurularak çeşitli teknik, idari tedbirler alınmalıdır.

Ergonomik risk etmenleri; malzemelerin elle taşınması, kapasiteden fazla yükleme yapılması, vücudun yanlış pozisyonu dolayısıyla anlık veya uzun süreli kas- iskelet sistemi rahatsızlıklarına, sürekli halde belli pozisyonda çalışılması sırt ve eklem ağrılarına neden olmaktadır. Bu nedenle çalışma ortamı çalışanın fiziksel yapısına uygun dizayn edilmelidir.

Psikososyal risk etmenleri; fiziksel ve sosyal stres durumlarından iş stresi adı verilen rahatsızlık yaşanmaktadır. Yönetimin, işyeri örgütlenmesinin, toplumsal ve çevresel koşulların çalışan üzerinde psikolojik ve fiziksel, dolaylı olarak da toplumsal hasara yol açma potansiyeline sahiptir. Kişisel stres ile başa çıkma yolları olarak tercih edilen maddelerin kullanımları, çay, kahve, tütün gibi alışkanlıklar uyku bozukluğu, doyumsuzluk, tatminsizlik, strese bağlı anksiyete, depresyon ve ölüm gibi olumsuz sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Sağlıklı ve verimli bir çalışma ortamı için kişisel ve örgütsel stresin kontrol altına alınabiliyor olması gerekmektedir (Ersöz, 2019).

Mevzuat ve Standartlar

İş güvenliği açısından uluslararası organizasyonların başında Amerika'da bulunan oluşum incelendiğinde kongrenin 1970 yılında İş Sağlığı ve Güvenliği Yasası'nı onayladığı görülmektedir. Bu yasa kapsamında İş Sağlığı ve Güvenliği İdaresi (OSHA), yönetmelikleri ve standartları geliştirmek ve yürütmek amaçlı Çalışma Bakanlığı bünyesinde kurulmuştur. İş Sağlığı ve Güvenliği Ulusal Enstitü (NIOSH) çalışma hayatının sağlıklı koşullarda ilerlemesine yardımcı olmak için kurulmuştur. Avrupa'daki oluşuma bakıldığında direktifleri çıkarma yükümlülüğü Avrupa Birliği Komisyonu (AB)' ndadır. Avrupa Standartlar

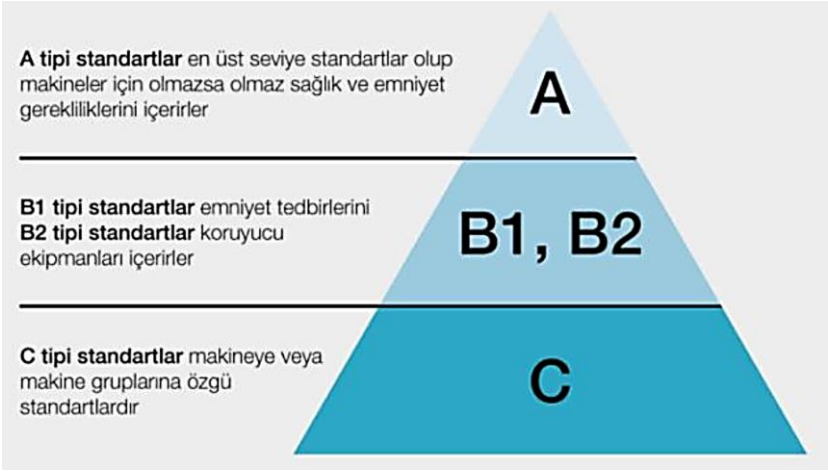
Komitesi (CEN), Avrupa Elektrik Standartları Komitesi (CENELEC) gibi onaylı yetkili kuruşlar da AB normatiflerini oluşturmaktadır. AB üyesi her devlette İş Sağlığı ve Güvenliği alanını destekleyici devlet kuruluşları bulunmaktadır. Hükümetlerin başlıca görevleri bu direktifleri yasalaştırmak, yasaları yürütmek ve kılavuz dokümanları düzenlemektir. Makine direktifi de ürünlerin CE işaretine sahip olmasına dair gerekliliklerle ilgilenmektedir. CE işareti bir ürün için geçerli direktiflerin temel gereksinimlerine uyulduğunun göstergesidir. CE belgesine sahip ürünün Avrupa Ekonomik Alanı'nda serbestçe dolaşma hakkına sahip olduğu bilinmektedir.

Standartlar da ürünlerin, malzemelerin, yapılan işlemlerin ve verilen hizmetlerin amaçlarına uygunluğunu sağlamak için gerekli olan teknik özellikleri ya da kesin kuralları, kılavuzlar gibi özellik tanımları olarak kullanılacak diğer özellikleri kapsayan resmi belgelerdir ve ekonomik maliyetle sunulan hizmetlerde ve ürünlerde aranılan minimum özellikleri belirtmektedir.

Uluslararası seviyede IEC/ISO standartları, Avrupa'da EN/ISO/IEC standartları, ulusal seviyede ise TS/EN/ISO standartları bulunmaktadır. Uluslararası Standartlar Örgütü olan ISO bünyesinde 165 ülkenin bulunduğu, 1947 yılından beri 19000'den fazla standart ve belge yayımlamakta olan bir kuruluş olarak bilinmektedir (ISO, 2021).

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu olan IEC, 170'ten fazla ülkeyi bünyesinde barındırarak, tüm elektrik, elektronik ve ilgili teknolojilere ait uluslararası standartlar yayımlayan ve standartlara uygunluk değerlendirme programlarını da yürüten kuruluş olarak bilinmektedir (IEC, 2021).

Avrupa Standartlar Komitesi olan CEN, üye olan ülkelerin hepsinde tanınmış ulusal standart sağlayıcısı olarak bilinmektedir. Bazı ISO standartları CEN ile 1991 yılında aralarında imzalanmış olan Viyana Sözleşmesi ile EN standartları olarak da uygulanmaktadır, bu nedenle aynı metinler kullanılmaktadır buna örnek olarak EN ISO 12100 verilebilmektedir.



Şekil 2.7. ISO Makine Emniyeti Standart Kategorileri (Standart, 2021)

ISO makine emniyeti standartları 3 kategoriye ayrılarak incelenmektedir. Bunlar:

A Tipi Standartlar; temel standartlar olarak bilinmektedir. Tüm makinelere uygulanabilmektedir. Tasarımlarının yanı sıra makinelerde uygulanabilecek genel şartlara uygun temel kavramlar ve usuller belirten Genel Emniyet Standartları olarak açıklanmaktadır.

B Tipi Standartlar; içerik bakımından grup standartlardır. Birçok makinede belirli koruma tedbirlerinin güvenlik yönü ya da güvenlik şekliyle ilgili genel emniyet standartları olarak bilinmektedir.

- B1 Tipi Standartlar; yüzey sıcaklıkları, emniyet mesafeleri ve gürültü gibi belirli emniyet yönlerini içermektedir.
- B2 Tipi Standartlar; basınca duyarlı cihazlar, interloklu cihazlar, çift el kontroller koruyucularına göre korumaları içermektedir.

C Tipi Standartlar; özel makine gruplarına yönelik standartlardır.

C standartlarında bulunan risk değerlendirmeleri özelinde olan makineye yöneliktir. C standartlarının yetersiz veya uygulanamaz olduğu yerlerde A ve B standartlarının uygulanabilirliğine başvurulmaktadır.

ISO 12100 Makinelerde risk değerlendirmesi ve azaltılması standardı A tipi standart olarak değerlendirilmektedir. Riskleri azaltma hedeflerine yönelik genel ilkeleri içermektedir. Genel ilkeler, bilgiyi ve makinenin hayat döngüsünün belli aşamalarında karşımıza çıkabilecek riskleri değerlendirmek hedefi ile makinanın tasarımı, kullanımı, gerçekleşebilecek olayları, kazaları ve meydana gelebilecek zarar hakkında bilgiyi birleştirmektedir (TS EN ISO 12100:2010).

TS EN ISO 13850 standardı, kullanılan enerjiden bağımsız şekilde makinelerde bulunan acil durdurma teçhizatı tasarım prensiplerini ve

gerekliliklerini açıklamaktadır. B tipi standarttır. TS EN ISO 13851 standardı, iki elle kontrol cihazları tasarım ve seçim prensiplerini, işlevsel yönlerini içermektedir. B tipi standarttır. TS EN ISO 14119 standardı koruyucular ile ilişkili olan ara kilitleme tertibatların tasarım ve seçim prensiplerini açıklamaktadır. B tipi standarttır. TS EN ISO 14120 standardı insanları mekanik tehlikelerden korumak amaçlı sabit ve hareketli korumaların tasarımı ve yapımı hakkında genel gereksinimleri açıklamaktadır. B tipi standarttır.

TS EN ISO 16089 standardı, metalleri taşlama yolu ile şekillendirmek için tasarlanan hareketsiz taşlama makineleri gruplarındaki tehlikeleri ortadan kaldırmak, riskleri azaltmak için gereklilikleri ve önlemleri açıklamaktadır. Özel bir makine grubuna ithaf ettiği için C tipi standarttır. TS EN ISO 23125 standardı, soğuk metali işlemek üzere tasarımlanmış torna tezgahlarında tehlikeleri ortadan kaldırmak ya da öngörülen riskleri azaltabilmek hedefiyle kuralları ve tedbirleri kapsamaktadır. C tipi standarttır. TS EN ISO 16090-1 standardı, freze makineleri, işleme merkezleri ve transfer makinelerinin yaşam döngülerinde gerekli güvenlik gereksinimlerini açıklamaktadır. C tipi standarttır.

Standartlara uyumlu olunması, yasal olarak mevzuatlara uyumu, emniyetli ürünler üretilerek pazarda doğru algının hakim olmasını, güvenilirlik ve emniyet arası bağın güçlenmesini ve çalışanın güvenliğini sağlamaktadır. Maliyet açısından doğrudan değerlendirme yapıldığında tazminatlarda ve sigorta harcamalarında, dolaylı değerlendirme yapıldığında ise duruş süreleri, personel yer değişimleri gibi avantajlar elde edilmektedir.

Direktifler çerçeve yasaları oluşturmaktadır. Bununla beraber üye ülkelerin hepsinde hedeflenen sonuçları belirlemektedirler, ulusal makamlar kendi kanunlarını buradaki şartları yerine getirecek ve ulusal seviyede hangi sürede bunu sağlayacaklarına karar verecek şekilde düzenlemektedirler.

CE işareti; AB direktiflerinin bir makine, süreç ya da iş ekipmanına yasalar çerçevesinde fiziksel muayene ve denetim uygulanarak belgelendirilmesidir. AB üye ülkelerinin tamamı AT uygunluk beyanı bulunan ve CE işaretine sahip ürünlerin serbestçe dolaşmalarını ve hizmete alınmalarını sağlamalıdır. AB direktiflerine uymayan ürün ile karşılaşıldığında, diğer üye ülkeler de bilgilendirilerek, işaret verene karşı uygun işlem başlatılmaktadır. CE işareti, özel direktifler gerekmediği sürece herhangi ürün piyasaya gönderilmeden ve hizmete başlatılmadan önce eklenmesi ve kullanım ömrü boyunca taşınması zorunludur. Üye veya 3.taraf ülkelerde yeni üretimi yapılmış ürünler, ithal edilmiş ve kullanılmış yani ikinci el ürünler, direktiflere uygun şekilde büyük oranda değiştirilmiş yeni ürünler için geçerlidir. Birden çok direktife tabi olan ürünlerin CE işareti alması durumu birçok direktife uyumluluğunun göstergesidir. Makinenin AB Makine Direktifi'ne uyumluluğunu sağlama sorumluluğu o

makinenin üretici ve ithalatçısına ait olduğu bilinmektedir. Makine son kullanıcısının CE işaretine sahip makinede herhangi kazadan sorumlu olmadığı şeklindeki yargı doğru kabul edilmemektedir (Ersöz, 2021).

AT Uygunluk Beyanı, 'Avrupa Topluluğuna Uygunluk' anlamındadır. Bunun amacı ürünleri kimlikli hale getirmektir. Beyanı üretici oluşturmaktadır ve ürünle ilgili herhangi sorunla karşılaşıldığı durumda sorumluluğu üstleneceğini kabul etmektedir.

Üretici, makine veya tesisin hangi direktife uygun olduğunu belirlemek için geçerli olan mevzuata göre değerlendirme yapması gerekmektedir. Risk değerlendirmeleri yapılmalı, bunların doğrultusunda risk azaltma önlemleri alınmalı, tüm AB dillerine göre kılavuz hazırlanmalı, makinenin veya tesisin kullanılabilirliği doğrulanmalı, makineyi temel iş sağlığı ve güvenliği şartlarına göre onaylamalı, teknik dosyalar hazırlanmalı, geçerli olan direktiflerin belirtildiği AT uygunluk beyanı hazırlanmalı ve sonrasında makineye CE işareti eklenmelidir. Uygunluk Beyanını, makine üreticisinin taahhütlere uygun çalışması sonucunda almaktadır.

Makine Emniyeti Yönetmeliği (2006/42/AT); makinelerin uygun şekilde kurulumunu, bakımlarının yapılmasını ve amaçlanan şekilde kullanıldığında insan sağlığına, güvenliğine ve şartlara bağlı olarak evcil hayvanlara veya eşyalara zarar vermemeleri durumunda piyasaya katılmasını düzenlemektedir. Bunun yanı sıra, makinenin tasarım ve üretim aşamalarında uyulması gereken temel emniyet kuralları ve uygunluk değerlendirme prosedürlerinin takip edilmesini, bu değerlendirmeyi gerçekleştirecek onaylı kuruluşların görev almasında gerekli asgari şartları belirlemektedir (Makine Emniyeti Yönetmeliği, 2009).

Makine üreticileri, makinelere uygulanacak sağlık ve güvenlik kurallarını belirleyebilmek adına risk değerlendirmesi yapmaktadır. Bu değerlendirmenin sonucunda ortaya çıkan risklere bağlı olarak makine tasarımı ve üretimi yapılmaktadır. Yönetmelikte temel güvenlik kuralları açıkça belirtilmektedir. Bunlar; makine kaynaklı tehlikelerin belirlenmesi, makine kullanımı nedeniyle oluşacak her türlü riskin belirlenmesi, kullanım esnasında oluşabilecek herhangi yaralanmalı kazanın, hasar şiddetinin ve gerçekleşme olasılıklarının belirlenmesi, riskler belirlendikten sonra risklerin öncelik sıralaması yapılarak, tasarım revizyonlarına gidilerek risklerin mümkün olduğunca yok edilmesi, yönetmelik amacına uygun şekilde risklerin azaltılmasına gerek olup olmadığının belirlenmesi, risklerin azaltılıp yok edilemeyeceği durumlarda makinenin çalışmasında yardımcı olacak çalışanın gerekli koruyucu tedbirlere uymasının sağlanması, gerekli kişisel koruyucu donanımları belirtmesi, makinenin güvenli

bir şekilde kullanılmasını, bakımının yapılmasını, ayarlarının yapılmasını sağlayacak özel teçhizat ve aksesuarların makine ile beraber verilmesidir.

Temel kuralların yanı sıra bazı gereklilikler de sağlanmalıdır. Bunlar; makine imalatı sırasında kullanılan malzemeler çalışanların sağlığını ve güvenliğini tehlikeye atmamalı, makinelerin bulunduğu ortamların aydınlık derecesine bakılmaksızın işlem yapılan kısımlar yeteri kadar çalışanı rahatsız etmeyecek derece tasarlanarak aydınlatılmalı ve bakım onarım işlemleri için iç kısımlar da aydınlatılmalı, makinelerin taşınma esnasında zorluk yaşanmayacak şekilde tasarlanmalı, tezgahların kullanılacaklara yere uygun riskler belirlenmeli, çalışanın ergonomisi göz önünden bulundurulmalı ve karşılaşacağı fiziksel yorgunluk, stres bağımlı rahatsızlıkları önlemeye dair tedbirler alınmalı, çalışanın sağlığını olumsuz etkileyecek ve oksijensiz kalma gibi durum ile karşılaşılacağı zaman, makine tasarımına ek olarak kabin ya da rahat erişim sağlanacak acil çıkış kapısı eklenmeli,

çalışanın makineyi kullanımı esnasında oturabileceği çalışanın ergonomisine uyum sağlayacak şekilde bir koltuk tasarlanmalı ve makine kullanımı esnasında operatörün ayakta durması gerekiyorsa makineye sonrasında koltuk ilave edilmeli, makinelere kumanda sistemleri herhangi tehlikeli durumun oluşmasını önleyecek biçimde tasarlanmalı ve üretilmeli, kumanda sistemleri çevresel tehlikelere karşı dayanıklılık göstermeli, kumanda sisteminde herhangi bir yazılım sorunu gerçekleştiği zaman bu durum kumanda sisteminin çalışmasını engellememeli, kumanda sisteminin kullanımı esnasında oluşabilecek herhangi iş kazasında, makinenin çalışmasını durdurabilecek bir sistem kumandaya eklenmeli, makinelerin çalışması esnasında işlenen parçanın veya makineye ait parçaların uygulanan kuvvet dolayısıyla konumlarından ayrılma ve sıçrama ihtimaline karşı koruyucu donanım ilavesi yapılmalı, makinelerin kenar ve köşeleri tehlike yaratacak keskinlikte olmamalı, makinelerin üzerinde yer alan hareketli aktarma parçaları için sağlam yapılı muhafazalar ve koruyucu tertibatlar tasarlanmalı ve bulundukları bölgeye sabitlenmeli, malzemelerin işlendiği çalışma alanları dışarıdan gözle görünür halde olmalı, muhafazaların ve koruyucu tertibatın devre dışı kaldığı durumlarda makine çalışmasını müdahale etmeden durdurmalı, malzemelerin işlenmesi esnasında oluşabilecek yangın riskine karşı önlem alınmalı, makinelerden kaynaklanan gürültü ve titreşime karşı önlem alınmalı, çalışma sırasında makineden radyasyon yayılması durumunda çalışan gerekli kişisel koruyucu donanımları kullanmalı, makine üzerinde lazer mevcutsa tasarımı ve üretimi ışımayı engelleyecek ve çalışanın proses sürecini takip etmesine engel olmayacak şekilde yapılmalıdır (Uğurlu, 1997).

Makine Emniyeti Yönetmeliği bilgilendirme bölümünde, makinelerin üstünde bulunması gereken semboller konusunda bilgiler bulunmaktadır. Bu semboller

operatörün görme zorluğu yaşamayacağı biçimde ve büyüklükte olmalıdır. Operatöre verilmesi gereken iş güvenliği önlemlerini şemalar açıklayıcı nitelikte olmalıdır. Makineler ülkemizde kullanılacak ise semboller ve şemalar Türkçe yazılmalıdır ve bunlar operatörün dikkatini çekecek hatırlatıcı nitelikte olmalıdır. Gerekli yerlere sesli ve ışıklı ikaz uyarıları koyulmalıdır. İlk olarak tezgahın seri tanımlaması, tipi, seri numarası ve üretildiği yıl belirtilmelidir. CE işaretinin eklendiği tarih tezgah üzerinde herhangi bir değişime uğratılmamalıdır. Tezgahların güvenli kullanımları için gerekli tüm belge ve dokümanlar bulundurulmalıdır (Makine Emniyeti Yönetmeliği, 2009).

Makine Koruyucuları

Talaşlı imalat sektöründe meydana gelen iş kazalarının geneli talaş sıçraması sonucu operatörün yaralanması ile karşımıza çıkmaktadır. Aynı zamanda makinelerin hareketli kısımlarına iş parçasının takılması veya operatörün herhangi noktasının teması sonucu çeşitli kazalar ile karşılaşılmaktadır. Bu gibi kazaların yaşanmaması adına makinelerin dönen kısımları ve talaş sıçramaması için güvenlik tedbirleri alınması gerekmektedir. Makineye ve çalışma prensibine uygun makine koruyucuları yapılması yanı sıra operatörün çalışma esnasında işe uygun ve gerekli kişisel koruyucu donanım kullanması gerekmektedir (Uğurlu, 1997).

Makine koruyucuları tasarlanırken temel gereklilikler, yönetmelikler ve standartlar göz önünde bulundurulmalıdır. İyi bir makine koruyucusu hem makinenin tehlikelerine karşı çalışanın hareketini kısıtlamadan koruma hem de makineden istenen iş verimini aksatmayacak şekilde tasarlanmalı ve çalışana güvenli çalışma alanı sunmalı, ek bir tehlike oluşturmamalıdır.

Makine Koruyucuları Yönetmeliği'ne göre;

- Makine koruyucuları, tehlikeli bölgeye karşı operatör ile diğer kişinin erişimini engelleyecek şekilde olmalı,
- Koruyucuların tezgahla direkt olarak ilgisi olmamalı ve tezgah ya da makine çevresinde yer alanların da hareketli bölgeye erişimi engellenmeli,
- Koruyucu tasarımı çalışanın hareketini engellenmeyecek, üretimi aksatmayacak ve kaliteyi bozmayacak şekilde amaca uygun, kullanımı kolay olmalı,
- Koruyucu yapısı sağlam ve dayanıklı olmalı,
- Gerekli durumlarda koruyucu çıkarılmadan bakım yapılabilmeli,
- Koruyucusu bulunmayan makine ve tezgahların üretimine, satışına, kiralanmasına, sergilenmesine ya da devredilmesine izin verilmemeli, koruyucusu olmayan fakat bir şekilde kullanılan makine ve tezgahlar için Çalışma Bakanlığı ilgili Bakanlıklarla görüşerek tedbirler almalı,

- Koruyucusu bulunmayan makine veya tezgah kullanılmamalı ve işçiler koruyucuları etkisiz hale getirerek çalışmamalıdır (Makine Koruyucuları Yönetmeliği, 1983).

Bunlara ek olarak 2006/42/AT Makine Emniyeti Yönetmeliği'nde mahfazaların ve koruma tertibatları;

- Bulundukları konuma güvenli sabitlenmeli,
- Ek olarak bir tehlikeye neden olmamalı,
- Kolayca devre dışı bırakılmamalı ve kolayca manipüle edilmemeli,
- Yerleştirilen konum tehlike bölgesinden uygun uzaklıkta olmalı,
- Mahfazalar, makinelerden oluşan emisyona karşı koruma sağlamalıdır.

2006/42/AT Makine Emniyeti Yönetmeliği'ne göre mahfazalara özel kurallar aşağıdaki gibidir;

- Sabit mahfazalar; yalnızca alet yardımıyla açılıp sökülebilecek sistemlerle takılmalı, koruyucular ya da mahfazalar söküldüğü zaman bağlama sistemleri makinede bağlı kalmalı, olası durumlarda, mahfazalar bağlantıları olmadan yerlerinde duramamalıdır.
- Ara kilitlemeli hareketli mahfazalar (birbirini kilitleyen); mümkünse kilitli halde değilken de makinelere bağlı kalmalılar, tasarlanma ve üretilme durumları sadece bilinçli hareketle ayarlanacak şekilde olmalı, makinenin bir parçasının olmaması ya da arızalanması durumunda tehlikeli bölgenin çalışmasını engelleyerek durduracak şekilde tasarlanmalılardır.
- Erişimi kısıtlayan ayarlanabilen mahfazalar; çalışma için kesin ihtiyaç duyulan hareketli parçaların bölgesine erişimi engellemeli, işin çeşidine bağlı olarak elle ya da otomatik ayarlanabilir olmalı, herhangi alet kullanılmadan kolay şekilde ayarlanabilmelidir (Makine Emniyeti Yönetmeliği, 2009).

Makine koruyucuları, makine ve tezgahların işlevlerine uygun olmalıdır. Kapaklı koruyucular ya da hareketli koruyucularda kilit mekanizması bulunmalı ve kullanmadan önce kilitlenmelidir. Ayak pedalı bulunan makinelerde sadece tek ayağın sığabileceği koruyucular tasarlanmalıdır. Çeşitli kısımlarında çalışılması gereken makinelerde bir çalışma düğmesi ve birçok durdurma düğmesi bulunmalıdır. Bu tarz makine veya tezgahlarda birden fazla operatör çalışması gerekiyorsa her operatörün yanında bir çalıştırma ve durdurma düğmesi bulunmalıdır ve çalıştırma işlemi düğmelerin senkronize basılmadığı durumlarda devreye girmemelidir.

Makine koruyucu çeşidi çok olmasına rağmen temel mantık çoğunda aynıdır ve çalışma prensiplerinde bazı farklılıklar gözlemlenmektedir. Koruyucular genel olarak aşağıdaki başlıklar altında incelenmektedir.

Sabit Koruyucular

Makine çalışır haldeyken tehlike noktasına erişimi engellemek için kaynak yöntemi gibi kalıcı ya da vida veya somun gibi bağlantı elemanları ile çalışma alanına yerleştirilen koruyuculardır. Bu koruyucuların herhangi bir alet kullanmadan sökülmeleri mümkün olmamalıdır. Maddi açıdan uygulama bedelleri ucuz, yerleştirme ve kullanımları basit ve etkileri oldukça yüksektir (Makine Koruyucuları, 2021).

Kilitlemeli Koruyucular

Tehlikeli alana yerleştirilerek makinenin koruyucu kapanmadan ya da tehlikeli durum ortadan kalkmadan çalışmasına engel olmaktadır. Kumanda ve algılama koruyucularından oluşmaktadır. Kilitleme sisteminin seçimi yapılan işleme ve makineye göre özel olarak mekanik, elektronik, hidrolik, pnömatik gerçekleştirilebilmektedir. Hatta bu sistemlerin birleşimi de yapılabilmektedir.

Ayarlanabilir Koruyucular

Yapılacak işlemin süresine bağlı ayarlanan, süre bitimine kadar sabit kalan koruyuculardır. Bu koruyucu türünde makineye besleme yapabilecek kadar açıklık bırakılması gerekmektedir. Ayarlama işleminin düzenli bakımlarda eğitimli kişiler tarafından ek olarak tehlikeye yaratmayacak şekilde doğru yapılması gerekmektedir. Koruyucunun parçalarının yerinden çıkarılmaması ve kaybolmaması adına koruyucunun tasarımı iyi bir şekilde yapılmalıdır. Uygun şartlarda bu koruyucuların kullanılmasında bağlantı elemanlarına dikkat edilmelidir.

Ayarlanabilir koruyucular içinde kendi kendine ayarlanabilen koruyucular da mevcuttur. Bu koruyucular herhangi tehlike alanında yaşanacak kazayı önleyerek işlem bitiminde tamamen kapalı konuma geçmektedir. Tehlikeli bölgeye teması engellemek üzere tasarlandıkları için makineye verilen malzeme ile açılır ve işlem sonunda kapanmaktadırlar.

Otomatik Koruyucular

Operatörün tehlike alanına erişimini engelleyen, makine işleme başladığında devreye giren, işlem bittikten sonra otomatik olarak kapanan ve işlem sırasında operatörün çalışmasına engel olmayan koruyuculardır. Otomatik koruyucular, çalışanı tehlike alanına fiziksel olarak uzaklaştırma amaçlı çalışmaktadır.

Koruyucu güvenli biçimde ve sadece alet yardımıyla sökülecek tarzda monte edilmektedir.

Durdurma Sistemleri

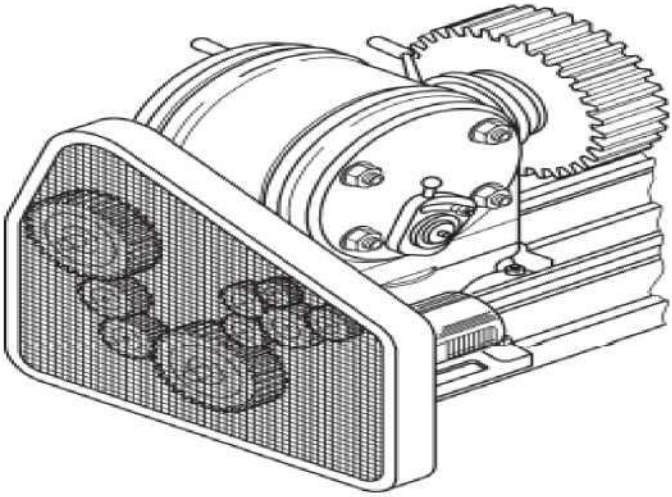
Bunlar ayrı aygıtlar olmakla birlikte çalışanları korumak amacında oldukları ve makine ile bağlantılı şekilde birlikte çalıştıkları için makine koruyucuları sınıfında değerlendirilmektedir.

Fotoelektrik sistemlerde algılayıcı perde oluşumu sağlayan ışık kümesi durdurucu oluşturacak biçimde tehlikeli bölge ile operatör arasına optik saptayıcı ile ilişkili yerleştirilir. Bu sistemde ışık demeti kırıldığında makine tehlikeli alan hareketini durdurur. Tehlikeli parça çalışıyorken herhangi perdeleme olduğunda tehlikeli parçalar anında durur ve gerekli durumlarda başlangıç konumuna ters hareket ile çalışmaya başlar. Çift elle kumanda sistemlerinde amaç ellerini ve gerekli durumlarda diğer organlarını da çalışma bölgesinden uzak tutmaktır.

Makine koruyucusunun kullanımın mümkün olmadığı alanlarda operatörün elleri için iyi bir koruma yöntemi olarak bilinmektedir. Sistemin çalışma prensibi iki elin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır, el kontrolleri tek elle ya da bir el ve vücudun başka parçasıyla ya da aletle çalışmaya engel olacak biçimdedir. Kumandalar arasında fark en fazla 1 saniye ayarlanmaktadır ve bu makinenin çalışabilmesi için iki elin de aynı anda kullanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır (Makine Koruyucuları, 2021).

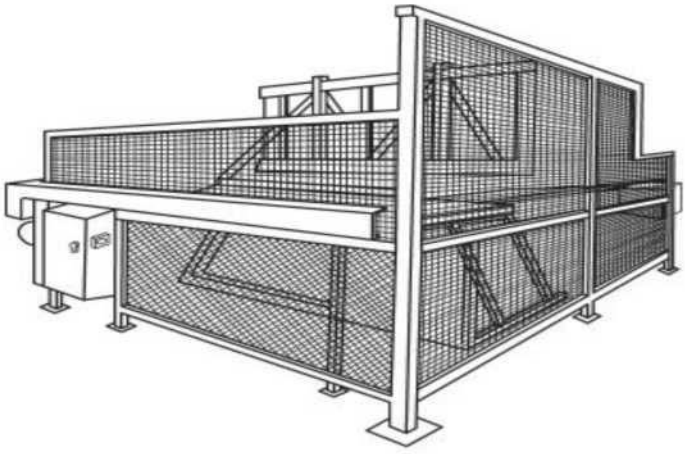
Makine koruyucuları mekanik açıdan TS EN ISO 14120 Makinelerde Güvenlik- Muhafazalar-Tasarım için genel şartlar ve sabit ve hareketli korumaların inşaat standardı kapsamında değerlendirilmektedir. Bu standartta koruyucu türleri tanımları;

- Sabit koruyucular; tahrip edilerek ya da alet yardımıyla çıkarılabilecek koruyuculardır. Kaynak ya da vida, somun gibi bağlantı elemanları ile sabitlenmektedir.
- Çevreleyen koruyucular; tehlikeli bölgeye her yönden girişi engellemektedir.

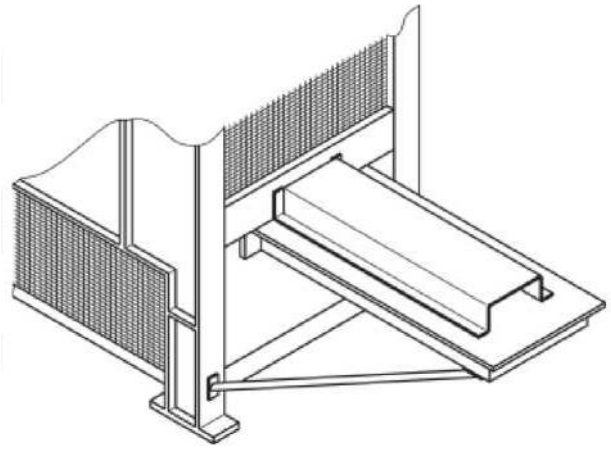


Şekil 2.8. Çevreleyen Koruyucu (TS EN ISO 14120)

Mesafe koruyucuları; tehlikeli alanların tamamen kapatılamayıp, çalışma koşullarından bazı açıklıklar bırakılması gerekmektedir, bırakılan açıklıktan tehlikeli bölgeye erişilememektedir.



Şekil 2.9. Mesafe Koruyucu (TS EN ISO 14120)

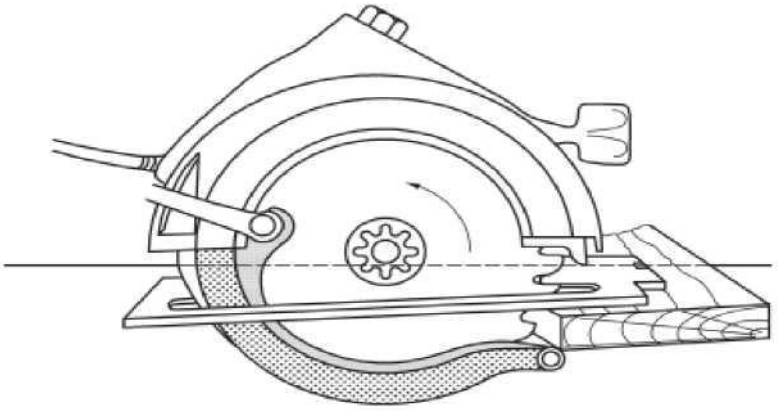


Şekil 2.10. Mesafe Koruyucusunda Makinenin Besleme veya Boşaltma Açıklığı (TS EN ISO 14120)

Hareketli koruyucular; makine çevresindeki sabit nesneye mekanik bileşenler ile bağlanan başka bir alete gerek olmadan açılabilmektedir.

Güçle çalışan koruyucular; yerçekimi ya da çalışan etkisi olmadan başka bir kaynaktan alınan güç ile çalışmaktadır.

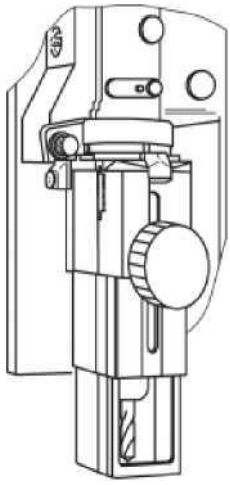
Kendiliğinden kapanan koruyucular; makine elemanın iş parçasıyla çalışarak, iş parçasının makineden geçip işlendikten sonra otomatik olarak kapanmasını sağlayan hareketli koruyucudur.



Şekil 2.11. Kendiliğinden Kapanan Koruyucu (TS EN ISO 14120)

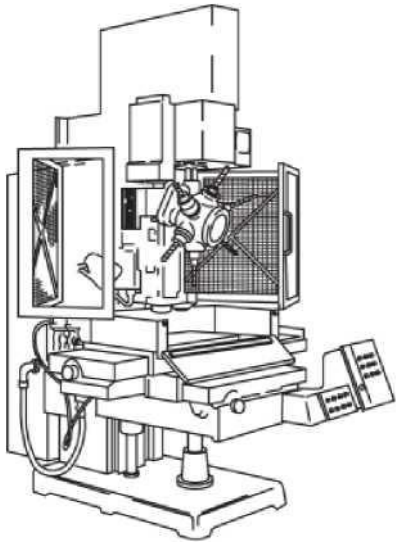
Ayarlanabilir koruyucular; tamamen ayarlanabilen ya da ayarlanabilen bileşenler barındıran sabit ya da hareketli parçalardır. Gerekli olan bölgeye erişim sağlanarak fırlama riski azaltılabilmektedir ve farklı bir alet kullanmadan ayar

yapılabilir fakat çıkarılması kolay olmamaktadır. Teleskopik koruyucular buna örnektir.

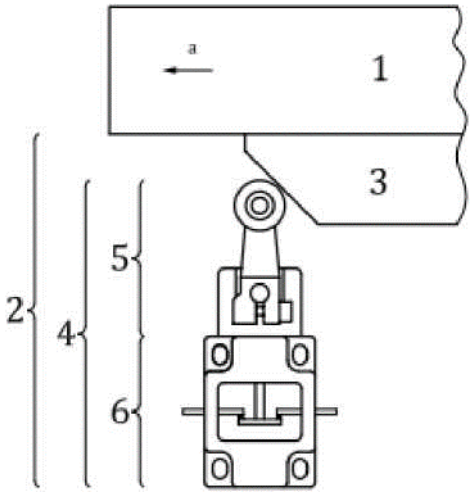


Şekil 2.12. Ayarlanabilir Koruyucu (TS EN ISO 14120)

Kilitlemeli koruyucular; koruyucunun etki alanında olan tehlike bölgesi koruyucunun kapalı konuma gelmesine kadar çalışmamaktadır. Koruyucunun açık konumda olması durumunda durdurma emri verilmelidir. Mekanik, elektriksel ya da diğer türlü düzenektir ve amaca uygun olarak belirlenen makine ekipmanlarının çalışmasını önlemektedir.



Şekil 2.13. Kilitlemeli Koruyucu (TS EN ISO 14120)



1) Muhafız (a açılma yönü)
2) Kilitleme cihazı
3) Aktüatör
4) Pozisyon değiştirme
5) Çalıştırma sistemi
6) Çıkış sistemi

Şekil 2.14. Kilitleme Cihazı (TS EN ISO 14119)

SONUÇ

Organizasyonel değerlendirmeler sonucunda operatörlerin çalıştıkları makine, ortam ve kişisel koruyucu donanımları yanında makine koruyucuları hakkından da özellikle kapsamlı ve vaka örneklemleri gösterilerek her ay yenilenen ve firmada görsel hatırlatıcılar koyularak eğitime zorunlu tutulması gerektiği önerilmektedir. Makineleri kullanan operatörlerin çalıştıkları firmalarda uzun yıllar kalmaları tecrübeli olmaları makinede yaşanabilecek kaza veya yaralanmayı önleyemeyeceği operatör ve işverenlere vaka örneklemeleriyle bahsedilmiştir.

Denetimlerin, önceki bir tarihten işveren bilgisi olmadan yani düzeltme fırsatı vermeden ve caydırıcı sonuçlar ile manipülasyona engel olunması gerektiği değerlendirilerek, Çalışma Bakanlığı'nca yapılan denetimlerin daha sık ve titiz yapılması gerektiği önerilebilir. Manipülasyonun hukuki sonuçları hakkında iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarınca işverenlere detaylı şekilde yönetmeliklerce açıklanması ve işverenlerin de operatörleri bu konuda bilgilendirmesi gerektiği önerilmektedir.

Bir makinenin yaşam döngüsündeki manipülasyon gerekliliğini azaltmak için alınabilecek önlemlerin başında makinenin tasarım aşamasında alınması gereken önlemler gelmektedir. Eğer manipülasyon gerekliliği var ve yapılmadan iş akışı devam edemeyecek durumda ise bu Makine Emniyeti Yönetmeliği'nin temel sağlık ve güvenlik gereksinimlerinin karşılanmadığını göstermektedir. Bu sayede makineye tasarım ve imalat aşamasında CE işaretinin verilmemesi ve piyasaya sürülmemesi gerektiği önerilebilir. Aynı zamanda tasarımcıların makine

koruyucularını makinenin ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirip makineye bir bütün olarak ve makineden ayrıldıklarında adeta bir fener mili ya da ilerleme hız kutusu gibi makinenin çalışmasını engelleyecek şekilde tasarlanmaları önerilmektedir.

Koruyuculara manipülasyon yapmak mümkünse bu durum tasarımda iyileştirilmelere gidilmesi gerektiğini göstermektedir. Örneğin operatörün sık erişim sağlaması gerektiği durumlarda sabit koruyucular yerine hareketli koruyucuların kullanılması tasarımda değerlendirilerek manipülasyon önlenmelidir. Tasarımcıya düşen görevlerin dışında satın alma işleminde işverenin de manipülasyona neden olmayacak koruyuculu makineleri seçmesi gerekmektedir. Metal imalat sektöründe makinelerin satın alınma kararı verilirken uzun yıllar kullanılmaya elverişli olması gerektiği düşünülerek alım işlemi kararlaştırılmaktadır. Makine üreticisi, makinenin müşteriye teslimi ve kurulumu aşamasından sorumlu iken satın alan işverenin makine hakkında sorumluluğu makinenin çalışma ömrü boyunca operatörünün sağlık ve güvenliği açısından uzun vadeli risksiz olmasını sağlama yönündedir. Satın alınacak makinenin koruyucularının manipülasyon gerekliliğinin yüksek olması ya da kolayca düşük maliyet ile manipüle yapılabiliyor olması durumunda tasarım ve imalat aşamasına gidilerek manipüle etmeye müsait olmayan ve gerek görülmeyecek şekilde iyileştirmeler yapılmalı eğer kalıcı iyileştirmeler mümkün değilse makinenin satın alınmaması önerilmektedir.

Tasarım ve satın alma işleminden geçmiş ve şu an kullanılan makinelerin manipülasyon varlığında ise iş sağlığı ve güvenliği uzmanları tarafından bu durum tespit edilip gerekli etkin uyarılar ile işverenin bir emniyet uzmanı yardımı alarak bu durumu ele alması gerekmektedir. Bu durumda tasarıma dönüş ya da makine işletim sisteminde bir değişiklik yapılamıyorsa organizasyonel tedbirler alınmasının şart olduğu bilinmektedir. Halihazırda kolayca manipüle edilmeye hazır makinelerin manipüle edilmesi için gerekli alet ve teçhizatların işveren tarafından operatöre sağlanmaması gerekmektedir. Bu aletlere ulaşım zorluğunun manipülasyona karşı caydırıcı olacağı düşünülmektedir.

İyileştirme yolu hangisi seçilirse seçilsin, işletmede makine koruyucularının manipüle edilmesine kesinlikle izin verilmemesi gerekmektedir çünkü tolere edilemez düzeyde sonuçlar ortaya çıkaracağı aşikardır. Makinelerin tasarım aşamasından kullanım aşamasına geçen tüm süreçte makine tasarımcısı, imalatçısı, makineyi satın alan işveren ve kullanan operatörün makine koruyucularını makinenin ayrılmaz bir parçası olarak benimsemesi gerektiği tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

2006/42/AT Makine Emniyeti Yönetmeliği, T.C. Resmî Gazete, Sayı: 27158, 2009.

6331 Sayılı Kanun (2012) İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, T.C. Resmî Gazete, Sayı: 28339, 2012.

Ağır A., (1996), 'Metalden Eşya İmal Eden Atölyelerde Çalışan 12-19 Yaş Grubu Çırak İşçilerin İş Kazaları Konusunda Bilgi, Tutum ve Davranışları', Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Arslan S., (2019), 'Talaşlı İmalat Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları', Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

Çelik L., (2010), 'Taşlama İşleminde Titreşimin İzlenmesi ve Yüzey Pürüzlülüğünün Regresyonla Modellenmesi', Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Çelik A., (2017), "Talaşlı Üretim Yöntemleri", Makine ve Teçhizat. Atatürk Üniversitesi, Açık Öğretim Fakültesi. Erzurum.

Erdaş M., (2020), 'Metal İmalat Sektörü İş Sağlığı ve Güvenliği Risklerinin Değerlendirilmesi', Yüksek Lisans Tezi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Ersöz Y., (2019), 'Bir Metal İşleme Atölyesindeki Tezgahların Mevcut Standatlara Göre Makine Emniyeti Yönünden Değerlendirilmesi', Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Eşiyok A., (2021), 'Metal İmalat Sektöründe Güvenlik Kültürü Algısının Bulanık Mantık Modeli ile Tespiti ve Değerlendirilmesi', Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Freze Tezgah Kısımları, (2022) https://aksumakina.wordpress.com/2018/02/02/cnc-freze-tezgahinin-kisimlari/

Freze Tezgah Çeşitleri, (2022)[www.hamitarslan.com/freze-tezgahi-cesitleri]

Freze Tezgahı, [http://www.makinaegitimi.com/freze-tezgahi-nedir-freze-tezgahinin- kisimlari-ve-cesitleri/]

Güllü A., (1995), 'Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu', Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Güngör E., (2008), 'İş Sağlığı ve Güvenliği Kavramının Toplam Kalite Yönetimi Açısından İrdelenmesi ve Talaşlı Üretim Sanayisinde İş Sağlığı ve Güvenliği Üzerine Bir Araştırma', Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

IEC, [https://www.iec.ch/who-benefits]

ISO, [https://www.iso.org/members.html]

İşkolları Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, Sayı: 28502, 2012.

Kılıçoğlu M., (2010), 'Talaşlı İmalat Yapan Bir İşletmede Risklerin Analizi ve Değerlendirilmesi', Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Koruyuculu Freze, [https://isgtedbir.com/is-ekipmanlari/freze-matkap/]

Koruyuculu Taşlama, [https://isgtedbir.com/is-ekipmanlari/makine-ve tezgahlar/testere- taslama/]

Koruyuculu Torna, [https://isgtedbir.com/is-ekipmanlari/makine-ve-tezgahlar/torna- cnc/]

Makine Koruyucuları Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, Sayı:18050, 1983.

Makine Koruyucuları, [makinakoruyucullariii.pdf (isteguvenlik.tc)]

Moment Expo, [https://www.moment-expo.com/tr/dergiler/133/kapak/sanayinin- omurgasi-takim-tezgahlari-1183]

Özdemir S., (2014), 'Metal İmalat Sektöründe Oluşan Kazalarda İnsan ve Altyapı Faktörlerinin Araştırılması', Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Özkan Y., Arpat B. 'Temel Demografik Faktörlerin İş Güvenliği Kültürü Üzerine Etkisi, Denizli İli-Metal Sektörü Örneği', International Congress on Political, Economic and Social Studies (ICPESS). 76-97. 2017.

Sak C., (1986), 'Genel Taşlamacılık', Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

SGK İstatistik Yıllıkları 2022 Verileri, [http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgkistatistik yilliklari]

Standart, [https://www.pilz.com/tr-TR/support/knowhow/law-standards-norms/iso- standards]

Tatma S., İlhan M. N., 'Metal Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir Fabrikada İş Kazalarının Taşeron Çalışma Modeli ile İlişkisi', Gazi Sağlık Bilimleri Dergisi. 40-50. 2019.

Temel Frezeleme İşlemleri, [http://www.megep.meb.gov.tr/mte program modul/moduller pdf/Temel%20Frezelem e%20%C4%B0%C5%9Flemleri.pdfl

Temel Tornalama İşlemleri, [www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Temel%20Tornalama%20 İşlemleri%201.pdf]

Torna Tezgahı Kısımları, [https://www.makinaegitimi.com/torna-tezgahinin-kisimlari - resimli] Erişim Tarihi: 25.02.2021.

Torna Tezgahı, [http://www.megep.meb.gov.tr/mte program modul/moduller/Temel %20Tornalama%2 0İşlemleri.pdf]

TS EN 16090-1:2017 Makine Aletleri Güvenliği-İşleme Merkezleri, Freze Makineleri, Transfer Makineler-Bölüm 1: Güvenlik Gereksinimleri Standardı.

TS EN ISO 12100:2010 Makinalarda Güvenlik-Tasarım İçin Genel Prensipler-Riskin Değerlendirilmesi ve Azaltılması Standardı.

TS EN ISO 14119:2013 Makinelerde Güvenlik-Koruyucular ile Beraber Olan Ara Kilitleme Tertibatları-Tasarım ve Seçim İçin Prensipler Standardı.

TS EN ISO 14120:2015 Makinelerde Güvenlik-Muhafızlar-Tasarım İçin Genel Şartlar ve Sabit ve Hareketli Korumaların İnşaat Standardı.

TS EN ISO 16089:2015 Makine Aletleri-Güvenlik-Hareketsiz Taşlama Makineleri Standardı.

TS EN ISO 23125:2015 Takım Tezgâhları-Güvenlik-Torna tezgâhları Standardı.

Uğurlu Y., (2017), 'Takım Tezgâhları ile İmalatta İş Güvenliği Kurallarının ve Uygulamalarının Türkiye Genelinde İncelenmesi ve İrdelenmesi', Yüksek Lisans Tezi, Çankaya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Bölüm 18

Termal Konforun Yönetimi: Çevresel ve Kişisel Faktörlerin Etkileşimi ve İşyeri Performansına Etkileri

Okan ÖZBAKIR[1]

[1] Maden Teknolojisi, TBMYO, Iğdır Üniversitesi, 0532 557 64 83, okan.ozbakir@igdir.edu.tr

ÖZET

Termal konfor, bireylerin bulundukları ortamın termal koşullarından kaynaklı memnuniyet düzeylerini ifade eder. Ancak çalışanların fiziksel, fizyolojik ve psikolojik durumlarına göre memnuniyet seviyeleri değişebilir. Konforlu bir çalışma ortamı, çalışanın termal olarak nötr bir hali koruyabildiği bir ortamdır. Nötr hal, kişinin ne çok soğuk ne de çok sıcak hissetmediği temel bir denge durumunu ifade eder. Termal konfor terimi, bireylerin kendilerini çok sıcak veya çok soğuk hissedip hissetmediklerini değerlendirerek kullanılır. Aynı zamanda kişinin faaliyetlerine, giydiği giysilere, yaşına, sağlık durumuna, cinsiyetine ve çevresel faktörlere bağlı olarak da değişebilir, çünkü farklı insanlar ve çevreler termal konforu farklı şekillerde deneyimleyebilir. Çevresel faktörler, işyerindeki nem ve ısı kaynakları gibi unsurlar, termal konforu etkilemektedir. Ayrıca kişisel faktörler, yani giyim tercihleri ve işle ilgili faktörler, yani fiziksel iş zorluğu da termal konforu etkileyen diğer unsurlardır. İş yerlerinde uzun süreli maruz kalınan yüksek sıcaklık koşulları, çalışanların su ve mineral seviyelerindeki kayıplara yol açarak ısı stresine neden olabilmektedir. Bu durum, merkezi sinir sisteminin etkilenmesiyle beraber beyinde salgılanan çeşitli kimyasal maddelerin homeostazını bozabilmektedir. Kimyasal denge bozukluğunun sonucu olarak çeşitli psikolojik olumsuzluklar ortaya çıkabilir. Öte yandan aşırı nemli hava koşulları, solunum süreçlerinde aksamalara yol açarak psikolojik refahı olumsuz etkileyebilir. Sıcak hava koşullarında vücuttaki su ve mineral dengesinin muhafaza edilmesi son derece kritik bir öneme sahiptir. Bu nedenle, duygusal durum bozukluklarının tetikleyicisi olan sıvı kaybının önlenmesi amacıyla günlük su alımı, yaklaşık 2-2,5 litre olarak önerilmektedir. Ayrıca, vücuttaki mineral dengesinin korunabilmesi için, asitsiz ve şeker ilavesiz içeceklerin tercih edilmesi gerekmektedir. Aşırı nemli hava koşulları, çalışanlarda solunum yetmezliğine yol açabilirken aynı zamanda alerjik reaksiyonların da ortaya çıkmasına neden olabilir. Bununla birlikte, vücutta pul pul dökülmeler gibi dermatolojik sorunlar ortaya çıkabilir ve deri yüzeyinde çeşitli hastalıklar gelişebilir.

Anahtar Kelimeler: Termal konfor, iş sağlığı ve güvenliği, sıcak, nem, iş elbisesi.

GİRİŞ

Termal konforun tanımlanması oldukça karmaşıktır, çünkü konforlu bir işyeri sıcaklığının belirlenmesi için çeşitli çevresel, işle ilgili ve kişisel faktörleri dikkate almak gerekmektedir. İnsan vücudu, kendi termal düzenleme sistemine sahiptir; sürekli olarak metabolik süreçlerle ısı üretir ve çevreyle ısı alışverişi yapar. Metabolik ısı, radyasyon, konveksiyon, iletim ve buharlaşma yoluyla vücutta dağıtılır. Isının transferi için ana organlar akciğerler ve cilttir (Öz ve Bulduk, 2018). Gizli ısı, özellikle buharlaşma yoluyla, vücut ısısını emer ve akciğerler ile ciltte suyun buharlaşma ısısını temsil eder.

Gerçekçi bir şekilde elde edilebilecek en iyi ortam, çalışanların çoğunluğunu tatmin eden termal bir ortamın sağlanmasıdır. Termal konfor, sadece ortamın sıcaklığı ile değil, termal rahatsızlık hisseden çalışan sayısıyla da ölçülür. İç mekân işyerlerinde sıcaklık, çevresel faktörler (örneğin iş yerindeki nem ve ısı kaynakları) ve kişisel faktörlerle birlikte (bir çalışanın giyim tercihleri ve fiziksel olarak ne kadar zorlu bir iş yaptığı gibi) çalışanların "termal konforunu" etkilemektedir (Türkay ve Gerdan, 2022).

Bu nedenle, termal konforun sağlanması için çeşitli faktörlerin bir araya getirilmesi gerekmektedir. İş ortamının ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri gibi çevresel koşulları optimal seviyede tutulmalı, çalışanların kişisel tercihleri de dikkate alınarak uygun giyim seçenekleri sunulmalıdır. Ayrıca, çalışanların iş yükü ve fiziksel aktiviteleri göz önünde bulundurularak, işle ilgili faktörler de termal konforu etkileyen önemli unsurlardır (Yurtsever, 2021).

Termal konforun elde edilmesi, çalışanların sağlığı, memnuniyeti ve performansı üzerinde olumlu etkilere sahip olabilir. Bu nedenle, işyerlerinin termal konforu dikkate alarak düzenlenmesi ve yönetilmesi önemli bir husustur.

Termal konforun etkin bir şekilde yönetilmesi, işyerlerinde sağlık ve güvenliği artırmanın yanı sıra çalışanların moralini ve üretkenliğini de olumlu yönde etkileme potansiyeline sahiptir. Çalışanların rahatsız edici derecede sıcak veya soğuk ortamlarda çalışmaları, karar verme yeteneklerini ve manuel görevleri yerine getirme kabiliyetlerini olumsuz etkileyebilir, bu da güvenliğe zarar verebilir.

Örneğin:

- Soğuk ortamlarda çalışanlar, rahatlamak için uygun olmayan yerlerden geçerek veya kestirme yolları kullanarak soğuktan kaçınma eğilimi gösterebilirler.
- Sıcak ortamlarda çalışanlar, uygun şekilde kişisel koruyucu ekipmanları kullanmakta zorlanabilir, bu da güvenlik risklerini artırabilir.
- Isı stresi altında çalışanların konsantrasyon yetenekleri azalabilir ve bu, hataların oluşma riskini artırabilir.

Termal konforun sağlanmaması, çalışanların işyerinde rahatsızlık hissetmelerine ve güvenliklerinin tehlikeye girmesine neden olabilir. Buna karşılık, uygun termal konfor koşullarının oluşturulması, çalışanların sağlıklı, güvende ve odaklanmış bir şekilde görevlerini yerine getirebilmelerini sağlar. Bunun sonucunda, çalışanların iş performansı artar, hataların oluşma olasılığı azalır ve genel olarak iş verimliliği yükselir (Coşkun ve ark., 2017). Bu nedenle, işyerlerinde termal konforun yönetimi, çalışanların fiziksel ve zihinsel refahını artırmak, güvenlik standartlarını korumak ve işyeri verimliliğini iyileştirmek için kritik bir öneme sahiptir.

Çalışanlar, termal ortamlarla başa çıkmak için davranışlarını uyarlayabilirler. Örneğin, giydikleri kıyafetleri değiştirme veya eklemeye çalışabilir, duruşlarında bilinçsiz değişiklikler yapabilir, ısıtma veya soğutma seçeneklerini tercih edebilir veya sık sık ısı kaynaklarına gidip gelebilirler. Ancak, sorunlar ortaya çıkabilir, çünkü bu adaptasyonlar uzun vadede sürdürülemez hale gelebilir. İnsanlar artık ortama uyum sağlayamadıklarında, bu durum fiziksel ve zihinsel rahatsızlık hissine yol açabilir. Bazı durumlarda, çalışanların içinde bulunduğu termal ortam, yaptıkları işin süreçlerinin bir sonucu olabilir ve bu nedenle çevrelerine uyum sağlamak mümkün olmayabilir.

Termal konforun yaygın bir göstergesi hava sıcaklığıdır, çünkü kolayca tespit edilebilir ve çoğu kişi bu değerle ilişki kurabilir. Ancak, hava sıcaklığı tek başına termal konforun veya termal stresin tam ve doğru bir göstergesi değildir. Bunun yerine, diğer çevresel ve kişisel faktörlerle birlikte düşünülmelidir, çünkü termal konfor bu faktörlerin bir kombinasyonu ile şekillenir. Termal konforu etkileyen beş faktör vardır ve bu faktörler hem çevresel hem de kişisel olarak nitelendirilebilir. Bu faktörler birbirinden bağımsız olabilir, ancak bir araya geldiklerinde bir çalışanın termal konforunu etkiler (Arıtan ve Tümer, 2017). Dolayısıyla, çalışma ortamlarının termal konforunun sağlanması için bu faktörler dikkate alınmalı ve uygun önlemler alınmalıdır.

Termal konforu etkileyen faktörler

Çevresel faktörler

Çalışma ortamlarında ısıl konforu belirleyen çevresel faktörler arasında dört önemli değişken bulunmaktadır. Bu değişkenler hava sıcaklığı, radyant sıcaklık, hava hızı ve havanın nem düzeyidir.

1. Hava Sıcaklığı: Hava sıcaklığı, çalışma ortamının genel ısıl durumunu ifade eder ve çevredeki havanın sıcaklık düzeyidir. Bu faktör, çalışanların termal konforunu etkileyen temel parametrelerden biridir ve insanların sıcaklık algısı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.
2. Radyant Sıcaklık: Radyant sıcaklık, çevredeki ısı kaynaklarından veya soğuk yüzeylerden gelen ısı ışınlarının etkisini ifade eder. Bu, çalışanların çevresindeki yüzeylerin sıcaklık hissine olan etkisini belirler ve doğrudan vücut üzerindeki hissedilen sıcaklıkla ilişkilidir.
3. Hava Hızı: Hava hızı, çalışma ortamındaki hava akışının hızını ifade eder. Rüzgar gibi hava hareketleri, insanların termal konforunu önemli ölçüde etkileyebilir. Yüksek hava hızları soğutucu etki yaratırken, düşük hava hızları hissedilen sıcaklığı artırabilir.
4. Nem: Havanın nem düzeyi, çevredeki nem miktarını ifade eder. Yüksek nem düzeyleri, terlemeyi azaltarak rahatsızlık hissini artırabilir, bu da termal konforu olumsuz yönde etkiler. Düşük nem düzeyleri ise kuruluk hissi ve cilt problemlerine neden olabilir.

Bu dört değişken, çalışma ortamlarının termal konforunu belirlemek ve uygun düzenlemeler yapmak için dikkate alınmalıdır. İş sağlığı ve güvenliği açısından, çalışanların termal konforunu sağlamak ve optimal çalışma koşullarını temin etmek önemli bir husustur (Şimşek ve Hüseyin, 2023). Bu nedenle, çevresel değişkenlerin ölçülmesi, analiz edilmesi ve gerekli düzenlemelerin yapılması, çalışanların sağlığı ve performansı için kritik bir rol oynamaktadır.

Hava Sıcaklığı

Vücut sıcaklığı, insan vücudunu çevreleyen havanın sıcaklık derecesidir ve konveksiyon yoluyla yapılan ısı alışverişini belirleyen bir değişkendir. İşyeri ortamında, vücut sıcaklığı, metabolik enerji üretimi ve çevreyle olan ısı alışverişi sonucunda denge sıcaklığına ulaşır. Bu değer genellikle santigrat derece (°C) cinsinden ifade edilir. Hava sıcaklığı, ısı kaybını etkileyerek vücut ile çevre arasındaki enerji dengesini değiştirebilir ve kişinin termal konforunu etkileyebilir (Aylin ve Dağdeviren, 2021). Bu nedenle, çalışanların bulunduğu ortamdaki vücut sıcaklığı değişimi, istenilen konfor standartlarını karşılamak için saatte 0.6 °C'nin üzerine çıkmamalıdır.

Termal konfor şartlarında, çalışanın memnun olduğu ortam sıcaklığı, genellikle 18 °C ila 29 °C arasında olmalıdır. Kış aylarında 20 °C ile 23 °C, yaz aylarında ise 23 °C ile 26 °C arasındaki sıcaklık değişimi, uygun olarak kabul edilen standartlardır. İnsanların normal beden sıcaklığı ise ortalama olarak 35-37.7 °C arasında bulunur (Sancar ve Güngör, 2022).

Vücut sıcaklığı ve çevre sıcaklığı arasındaki denge, termal konforun sağlanmasında kritik bir rol oynar. Çalışma ortamlarının bu sıcaklık aralıklarına uygun olarak düzenlenmesi, çalışanların konforunu artırabilir, sağlık ve verimliliklerini olumlu yönde etkileyebilir. Aynı zamanda, vücut sıcaklığının dengede tutulması, ısı stresi ve rahatsızlıkların önlenmesine yardımcı olur. Bu nedenle, işyeri ortamlarının termal konfor şartlarına uygun olarak düzenlenmesi, çalışanların sağlığını, memnuniyetini ve performansını artırmak için önemlidir.

Çalışma ortamında, vücut ile çevre arasında ısı alışverişi, ortamın sıcaklık değerlerine bağlı olarak gerçekleşir. Eğer ortamdaki sıcaklık vücut sıcaklığından düşükse, kişi ortama ısı vererek üşümeye başlar. Öte yandan, eğer ortamda var olan sıcaklık vücut sıcaklığından yüksekse, kişi o ortamdan ısı çeker ve vücudun ısısı yükselir. Her iki durumda da, bireysel vücut sıcaklığındaki değişiklikler, çalışanları olumsuz etkileyebilir ve konforlarını etkileyebilir.

Yüksek sıcaklık nedeniyle çalışma ortamında, çalışanlar yorgunluk, uyuşukluk, konsantre olamama gibi olumsuz durumlarla karşılaşabilirler. Bu tür durumlar, iş kazası riskini artırabilir ve çalışanların güvenliğini tehdit edebilir. Aşırı sıcaklık altında çalışmak, fiziksel ve zihinsel performansı olumsuz yönde etkileyebilir ve iş verimliliğini düşürebilir.

Dolayısıyla, işyerindeki sıcaklık koşullarının uygun bir şekilde düzenlenmesi ve termal konfor şartlarına uygun hale getirilmesi önemlidir. Çalışanların konforlu bir çalışma ortamında bulunması, sağlık ve güvenliklerini koruması açısından kritik bir öneme sahiptir. Isı stresi ve olumsuz etkilerin azaltılması için, işyerlerinde uygun ısıtma, havalandırma ve soğutma önlemleri alınmalı ve çalışma ortamlarının termal konfora uygun hale getirilmesine özen gösterilmelidir (Özdamar, 2019). Böylece çalışanların sağlığı, güvenliği ve performansı olumlu yönde etkilenir ve iş kazası riski en aza indirilir.

Radyant Sıcaklık

Bir çalışma alanında ısı kaynakları mevcut ise, radyant ısı oluşma olasılığı yüksektir. Radyant ısı, ısı enerjisinin Elektromanyetik radyasyon şeklinde yer değiştirmesi sonucu oluşur. Bu tür ısı, ışık gibi yansır ve kırılır. Çalışma alanında bulunan makineler ve ekipmanlar çalışırken sıcaklıkları yükselir ve her biri ayrı ayrı radyant ısı kaynakları olarak işlev görürler. Bu radyant ısı, ısı yayılımı yolu ile etrafa dağılır ve çevredeki nesnelere ve yüzeylere enerji aktarır (Olcay, 2019).

Radyant sıcaklık, bu radyant ısının etkisiyle nesnelerin yüzeylerinde ölçülür. Özellikle ısınma amaçlı kullanılan ısıtıcılar ve fırınlar gibi cihazlar, radyant ısı yayabilirler. Radyant ısı, sıcaklığı etkilenen nesnelerin yüzeylerine temas etmeden önce havada yol alabilir. Dolayısıyla, radyant ısı ölçümü için glop termometre gibi araçlar kullanılır.

Radyant ısı, çalışma ortamının termal konforunu etkileyebilir ve çalışanların konforunu olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, radyant ısı kaynaklarının etkilerini belirlemek ve çalışma alanında uygun önlemler almak önemlidir. Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin doğru şekilde düzenlenmesi, radyant ısı etkisini kontrol altına almak için önemli bir rol oynar. Bu sayede, çalışanların sağlık, güvenlik ve konforları korunur ve çalışma verimliliği artırılır.

Radyant ısı, yalnızca makine ve ekipmanlardan yayılan ısıyı ifade etmez. Günümüzde, radyant ısıtma sistemleri açık ve yarı açık alanlar ile büyük ve hacimli endüstriyel alanlarda ısıtma ihtiyacını karşılamak için tercih edilmektedir. Bu sistemlerin tercih sebepleri arasında ekonomik olmaları ve hızlı tepki sürelerine sahip olmaları bulunur. Radyant ısıtıcılar, ortamın sıcaklığını artırmak yerine, ortamda bulunan nesneleri ve insanları ısıtmaya odaklanırlar. Güneşin dünyayı ısıttığı gibi, radyant ısıtıcılar da cisimlere ve insanlara yönlendirdikleri infrared ışınımları ile ısı sağlarlar. Radyasyon yoluyla ısı transferi, toplam ısı transferinin %50'sinden fazlasını oluşturduğu için bu sisteme "radyant" adı verilir (Ekmekçi, 2017).

Ortalama radyant sıcaklık, çevredeki yüzeylerin sıcaklıklarının birleşik etkisini ifade ederek, radyasyonun ısı transferi yoluyla kişi ve çevresindeki yüzeyler arasındaki ısı aktarımını belirlemeye yardımcı olur. Radyant ısıtma sistemleri, ortamın ısısını homojen bir şekilde artırmak yerine, doğrudan nesnelere ve insanlara yönlendirdikleri ısı sayesinde verimli ve hızlı bir ısıtma sağlarlar. Bu nedenle, özellikle büyük ve zor ısıtılabilen alanlarda tercih edilirler. Radyant ısıtma sistemi, enerji tasarrufu ve termal konfor sağlama açısından da avantajlı bir seçenek olarak öne çıkmaktadır (Yeşilbaş, 2021).

Radyant ısı, çeşitli kaynaklardan yayılan ısı enerjisi olarak tanımlanabilir. Bu tür kaynaklar, çevreye infrared (kızılötesi) ışınlar şeklinde enerji yayarlar ve ısı transferini radyasyon yoluyla gerçekleştirirler. Radyant ısı kaynaklarına örnek olarak şunlar verilebilir (Sandıkçı, Yurtsever ve Rüştü, 2021):

1. Güneş: Güneş, doğal bir radyant ısı kaynağıdır. Yeryüzüne infrared ışınlar ve ısı enerjisi yayar, bu sayede dünyayı ısıtarak yaşamın sürdürülmesini sağlar.
2. Infrared Işınlar: Elektromanyetik spektrumda yer alan infrared ışınlar, özellikle ısıtma sistemlerinde kullanılan bir radyant ısı kaynağıdır.

Infrared ısıtıcılar, doğrudan cisimlere ve insanlara yönlendirerek hızlı ve verimli bir ısıtma sağlarlar.

3. Elektrik Yangınları: Elektriksel arızalardan veya kısa devrelerden kaynaklanan yangınlar, ısının radyant olarak yayılmasına neden olabilir ve çevredeki nesnelere enerji transferi yapar.
4. Fırınlar: Endüstriyel ve ev tipi fırınlar, yüksek sıcaklıkta çalışarak radyant ısı yayabilirler. Fırın duvarları, fırın içindeki sıcaklığı emerek ve yansıtarak radyant ısı transferini artırır.
5. Ocaklar: Mutfak ocakları, yemek pişirirken radyant ısı yayabilir ve çevredeki yüzeyleri ısıtabilir.
6. Kurutmalar: Endüstriyel kurutma sistemleri, ürünleri kurutmak için radyant ısı kullanabilirler.
7. Sıcak Yüzeyler ve Makineler: Isıtılmış yüzeyler ve makineler, etrafa radyant ısı yayabilir ve çevredeki nesneleri ısıtabilir.
8. Eriyik Metaller: Yüksek sıcaklıklarda erimiş haldeki metaller, radyant ısı kaynağı olarak davranabilir ve çevresine enerji transferi yapabilir.

Bu radyant ısı kaynakları, çevredeki nesnelere ve yüzeylere doğrudan enerji aktararak ısı transferini gerçekleştirirler. Bu nedenle, çalışma alanlarında ve yaşam alanlarında radyant ısı kaynaklarının etkileri göz önünde bulundurularak uygun önlemlerin alınması önemlidir.

Hava Hızı

Temiz hava, insan sağlığı, refahı, konforu ve verimliliği için hayati bir öneme sahiptir ve iç mekanlarda sağlanması gereken temel bir gerekliliktir. İç hava kalitesi, çeşitli faktörler arasındaki etkileşimler nedeniyle yapı malzemeleri, bina hizmetleri, konum, iklim, kirletici kaynaklar ve doluluk gibi çeşitli etkenlerden etkilenir. İç hava kalitesine üç ana açıdan bakılabilir: insanlar açısından etkileri, iç mekânın havasının niteliği ve iç ortamda kirliliğe neden olan kaynaklar.

Çalışanlar için iç hava kalitesi, iç mekân havasındaki maddelere maruz kalmalarının fiziksel etkisini ifade eder. İç mekân havası açısından ise, iç mekân hava kalitesi genellikle havalandırma oranı veya belirli bileşiklerin konsantrasyonları gibi ölçümlerle değerlendirilir (Kutlu, 2018).

İç mekân hava hızı ise, kullanım alanında yapılan birçok lokal hava hızı ölçümünden türetilen hızın aritmetik ortalamasını ifade eder. Hava hareketlerinin hızı, anemometre gibi cihazlarla ölçülür ve genellikle m/s (metre/saniye) ya da fpm (ayak/dakika) birimiyle ifade edilir. Bu değerlerin dönüşümüne göre 1 fpm (ayak/dakika) değeri, yaklaşık olarak 5.03x10^-3 m/s (metre/saniye) olarak kabul edilir. İç mekân hava hızı, havadaki devinimlerin hızını belirlemek için kullanılır ve iç mekân hava kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir parametredir.İç

mekanlardaki hava hızı, vücut ısısı kaybı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yaz aylarında yüksek hava hızı, sıcak hava koşullarında yüzey sularının daha hızlı buharlaşmasını sağlayarak ferahlama hissi yaratır ve bu nedenle faydalıdır. Ancak kış aylarında yüksek hava hızları rahatsızlık ve olumsuz etkilere neden olabilir. Hava hızına karşı duyarlılık kişiden kişiye farklılık gösterse de 0.1 m/s'nin altındaki hava hızı genellikle insanlar tarafından algılanmazken, 0.2 m/s'nin üzerindeki hava hızı, kullanıcıların %20'sinden fazlasını olumsuz yönde etkileyerek rahatsızlık hissi oluşturabilir. Bu nedenle, rahatsızlık hissinin ağırlıklı olarak 0.35 m/s ile 0.5 m/s arasındaki hava hızlarıyla ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, 1.5 m/s veya daha yüksek rüzgar hızları insanlar üzerinde tahriş edici etkilere sahip olabilir (Çağlar, 2020).

İç mekanlarda hava hızı, termal konforu ve kullanıcıların konforunu önemli ölçüde etkileyen bir faktördür. Optimal hava hızı, iç mekânın sıcaklık ve nem düzeyleriyle birlikte değerlendirilmelidir, çünkü farklı koşullar altında insanların konfor algısı ve rahatsızlık eşiği değişebilir. İdeal iç mekân hava hızı, kullanıcıların büyük çoğunluğunun rahat hissettiği ve rahatsızlık yaşamadığı bir düzeyde olmalıdır. Bu nedenle, iç mekân tasarımında hava hızının kontrolü ve yönetimi önemli bir husustur.

Kullanıcı konforunu sağlamak için en etkili yöntem, düşük hızlarda eşit hava dağıtımını sağlamaktır. Kapalı mekanlar için gereken hava akışı, bölgesel iklim özelliklerine, alınan önlemlere, kirleticilerin ve kaynakların durumuna ve mekandaki insan sayısına bağlı olarak değişebilir. İç mekân hava hızı, konfor ve hava kalitesini etkileyen önemli bir parametredir.

Çeşitli kurumlar tarafından yapılan ölçümler, iç mekân hava hızlarını belirleyen değerleri tablolar halinde sunmaktadır. Bu tablolardaki veriler, mekânın hava akışı ihtiyacını belirlemeye ve uygun havalandırma sistemleri kurmaya yardımcı olur. Ayrıca iç mekanlarda hava hızını kontrol etmek, konforu artırmak ve sağlıklı bir çalışma veya yaşam ortamı oluşturmak için önemli bir rol oynar.

Kapalı mekanların havalandırma sisteminin tasarımı ve çalışması, iç mekân hava hızının etkili bir şekilde kontrol edilmesine ve kullanıcı konforunun sağlanmasına katkıda bulunur. Düşük hızda eşit hava dağıtımı, iç mekân sıcaklık ve nem dengesini optimize ederek, insanların termal konforunu artırır ve sağlıklı bir çalışma veya yaşam ortamı sunar. Bu nedenle, iç mekân havalandırma sistemleri, iç hava kalitesini iyileştirmek ve kullanıcı konforunu en üst düzeye çıkarmak için dikkatli bir şekilde planlanmalı ve uygulanmalıdır.

Tablo 1. Bazı kurumlar tarafından belirlenen iç ortam hava akış hızı değerleri verilmiştir.

Kurum	Konfor şartlarında hava akış hızı değerleri
ASHRAE Standart 55 (1992) ISO Standart 7730 İsveç kodu	Kış < 30 fpm (0,15 m/sn) Yaz < 50 fpm (0,25 m/sn)
WHO	0,25 m/sn (0,8 ft/s)
TS 12281	Kış 8 m/dk–10 m/dk Yaz 13 m/dk –27 m/dk
TS 3419	0,15m/sn–0,20m/sn (iklimlendirilen ortamlarda)

İç ortamdaki hava akış hızı, hava sıcaklığı ve bağıl nem oranındaki değişikliklere bağlı olarak algılanması farklılık gösterir. ASHRAE 55 (1981 ve 1992) ve ISO 7730 gibi çeşitli standartlara göre, iç mekanlarda istenmeyen hava akımının oluşmaması için kış aylarında hava hızı 20-24°C sıcaklık aralığında en fazla 0,15 m/sn, yaz aylarında ise 23-26°C sıcaklık aralığında en fazla 0,25 m/sn olmalıdır (Tablo 1.). Düşük sıcaklıklarda yüksek hava hızları, özellikle oturan insanlar üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir ve bu nedenle hava hızının 0,8 m/sn değerini aşmasına izin verilmez.

Ancak, iç mekanlarda sürekli kirletici kaynağı olan ve iç ortam havasında yüksek kirletici yoğunluğu bulunan mekanlarda, hava akış hızı kullanıcı konfor sınırları içinde artırılabilir. Aynı şekilde, iç donanımdan dolayı ısı artışı yaşanan mekanlarda da benzer bir yaklaşım geçerlidir.

Uluslararası İç Ortam ve Enerji Merkezi'nde yapılan araştırmalara göre, daha düşük sıcaklık ve nem koşullarında yeterli hava değişimi sayısı, yüksek sıcaklık ve nem koşullarında gereken hava değişimi sayısına göre daha az olabilir. Bu nedenle, iç mekanlarda hava akış hızının, sıcaklık, nem ve kirleticilerin durumuna bağlı olarak dikkatli bir şekilde ayarlanması önemlidir. Bu şekilde, kullanıcı konforu sağlanabilir ve iç ortam hava kalitesi iyileştirilebilir.

Özellikle kentsel alanlarda, insanların uzun süreli kapalı ortamlarda bulunduğu göz önüne alındığında, uluslararası bilim camiası iç mekân hava kirliliği konusunda ciddi bir ilgi göstermektedir. Çünkü kapalı ortam kirliliği, rahatsızlıktan ciddi sağlık sorunlarına kadar çeşitli olumsuz etkilere yol açabilir. Bu olumsuz etkiler arasında "hasta bina sendromu" (SBS) ve bina ile ilişkili hastalık (BRI) gibi hastalıklar da bulunmaktadır.

Özellikle Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından yürütülen bir çalışmada, iç mekân konsantrasyonlarının ve maruziyetlerinin, dış mekanlara göre sırasıyla 1 ila 5 kat ve 10 ila 50 kat daha yüksek olduğu tahmin edilmiştir. Bu durum, iç mekanlardaki hava kalitesinin dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) da konuyla ilgili önemli bir adım atmış ve 2000 yılında "Sağlıklı İç Mekân Hava Hakkı" belgesiyle, sağlıklı bir iç mekan havasının temel bir insan hakkı olarak kabul edilmesini sağlamıştır. Bu belge, insanların temiz ve sağlıklı bir iç mekan ortamına erişiminin önemini vurgulamaktadır.

Tüm bu nedenlerle, iç mekân hava kalitesinin sağlanması ve korunması, insan sağlığı ve esenliği için son derece önemli bir konudur. Kapalı alanlarda uzun süreli zaman geçiren insanların iç mekan hava kalitesine özellikle dikkat etmeleri ve gerekli önlemleri alarak sağlıklı bir yaşam ortamı oluşturmaları gerekmektedir.

İç mekân havasının kalitesi, çeşitli faktörlerden etkilenerek sağlıklı bir düzeyde korunmalıdır. İnşaat malzemeleri, mobilyalar, insanlar ve yetersiz havalandırma ve ısıtma sistemleri gibi etkenler, iç mekân havasının kalitesini olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilir. İç hava kalitesi (Indoor Air Quality - IAQ), sadece sağlık açısından değil aynı zamanda konfor açısından da büyük öneme sahiptir. İç mekanlarda yeterli ve sağlıklı hava kalitesinin sağlanması, müşteriler ve ziyaretçiler üzerinde olumlu bir izlenim bırakmanın yanı sıra çalışanların çalışma verimliliğini ve memnuniyetini de etkiler.

Özellikle kapalı alanlarda uzun süreler geçirilen yerlerde, iç hava kalitesi dikkatle takip edilmelidir. İnşaat ve mobilya malzemelerinin kalitesi, iç mekandaki hava kalitesine doğrudan etki edebilir. Ayrıca, insanların soluduğu havaya saldıkları istenmeyen maddeler, havanın temizliğini etkileyen önemli faktörler arasındadır. Yeterli havalandırma sağlanmamış ve düzenli olarak temizlenmemiş havalandırma ve ısıtma sistemleri de iç mekân havasının kalitesini olumsuz etkileyebilir.

İyi bir iç hava kalitesi, müşteri memnuniyetini artırarak ve çalışanların daha verimli ve sağlıklı bir çalışma ortamına sahip olmasını sağlayarak iş yerinin başarısını olumlu yönde etkiler. Bu nedenle, işletmelerin iç hava kalitesine özen göstermeleri, çalışanların ve ziyaretçilerin sağlığını ve konforunu gözetmeleri büyük önem taşır. İyi tasarlanmış ve yönetilen iç mekân hava kalitesi, hem sağlık hem de iş performansı açısından önemli bir unsurdur.

Nem

Çalışanlar, büyük bir kısmını kapalı alanlarda geçirdiklerinden, bu iç mekanların havası sağlıklı ve rahat edebilecekleri bir ortamı temin etmelidir. Isıl konfor, çalışma ortamının sıcaklık ve nem gibi değerleri üzerinde belirlenir. Çoğu çalışan, 20-25.5°C arasındaki sıcaklık ve %30-70 arasındaki bağıl nem aralığında kendilerini rahat hissederler.

Isıl konforu etkileyen faktörlerden biri de havadaki nemdir. Havada bulunan su buharı miktarı, hava nemi olarak adlandırılır. Hava nemi, mutlak hava nemi ve

bağıl nem olarak iki farklı terimle ölçülür. Mutlak hava nemi, birim kütledeki kuru havada bulunan su buharı miktarını ifade eder ve genellikle g/kg veya m^3 olarak belirtilir. Ayrıca kısmi su buharı basıncı veya çiy noktası olarak da ifade edilebilir.

Bağıl nem ise, ortamdaki havadaki su buharının, aynı sıcaklıkta doymuş havadaki hacimce su buharına oranını yani yüzdesini ifade eder. Yani bağıl nem, havanın belirli bir sıcaklık ve basınç altında taşıyabileceği en yüksek neme oranıdır. Sıcaklık arttıkça buharlaşma artar ve bu da havadaki nem miktarının artışına yol açar. Dolayısıyla, sıcaklık ile mutlak nem doğru orantılı iken, bağıl nem ile ters orantılıdır.

Sağlıklı ve konforlu bir iç mekân sağlamak için, sıcaklık ve nem değerlerinin dengede tutulması büyük önem taşır. Özellikle çalışma ortamlarında bu konfor parametrelerinin uygun aralıklarda olması, çalışanların verimliliğini ve sağlığını olumlu yönde etkiler.

Konforlu koşulların sağlanması için iç mekân havasının mutlak nem düzeyinin üst sınırı, 11,5 g/kg olarak belirlenmelidir. İnsanların nefes alması ve terlemesi gibi eylemlerle ortama salınan su buharı, iç mekânın nem düzeyini artırarak bağıl nem oranını etkilemektedir. Bir kişinin saatlik solunum ve terleme sürecinde yaklaşık 60 gr su buharı açığa çıkarken, yapı içindeki diğer eylemler (örneğin, yapı içinde yapılan aktiviteler) saatte 2,5 litre suyun buharlaşmasına yol açmaktadır. Eylemin türüne göre bir konut yapısında 3,4 g/kg, ofis veya sınıf ortamında 1,7 g/kg ve yiyecek/içecek mekanlarında 6,8 g/kg nem iç mekân havasına katılmaktadır.

İnsan konforu ve sağlığı göz önüne alındığında, iç mekanlardaki bağıl nem oranının yaz aylarında en fazla %70, kış aylarında ise en az %20 olmak üzere genellikle %30 ile %50 arasında tutulması gerekmektedir. %30 bağıl nem değeri alt sınır olarak kabul edilebilir ve bu değer hava sıcaklığından neredeyse bağımsızdır. Tıp uzmanlarına göre ise insan fizyolojisine en uygun hava nemi oranı %50 olarak belirlenmiştir (Kutlu, 2018).

İç mekân havasının %65 üzerindeki bağıl nem oranı, insan vücut sıcaklığının kontrolünü zorlaştırmakta ve sağlık üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. %70 üzerindeki değerler ise mikroorganizma büyümesine ve yüzeylerde yoğuşma kaynaklı zararlara yol açarak sağlık risklerini artırmaktadır. Bu nedenle, iç mekanlardaki bağıl nem oranı bu değeri aşmamalıdır (WHO).

Birçok kaynakta, insanların sağlık ve konfor koşullarının sağlanabilmesi için uygun bağıl nem değerleri belirtilmektedir (Tablo 2.). Bu değerler, iç mekanların etkili bir şekilde havalandırılması ve nem düzeyinin dengelenmesiyle birlikte, çalışanların, ziyaretçilerin ve diğer iç mekân kullanıcılarının sağlığını ve

konforunu maksimum düzeyde korumayı hedeflemektedir. Bağıl nem oranının düşmesiyle hava kurumaktadır.

Tablo 2. Bazı kurumlar tarafından belirlenen iç ortam bağıl nem oranları görülmektedir.

Kurum	Kış Bağıl Nem	Yaz Bağıl Nem
ASHRAE Standart 55 (1982)	%30 (20,2°C–24,4°C)	%30 (23,3°C–26,7°C)
	%40 (20,2°C–24,2°C)	%40 (23,1°C–26,4°C)
	%50 (20,2°C–23,6°C)	%50 (20,2°C–26,1°C)
	%60 (20,0°C–23,3°C)	%60 (20,2°C–25,6°C)
Kanada Standardı	Kış %30–55 arası	Yaz %30–80 arası
TS 3419	Kış %35–65 arası	Yaz < %65
ASHRAE Standart 55 (1992) ve DIN (1946)	%30–65 arası (Yaz %20–60)	
ASHRAE 62 (1989 ve 2001)	%30–60 arası	
ASHRAE (2004)	%55–85* arası	
ISO (1994)	%30–70 arası	

Danimarka Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirilen kapsamlı bir araştırmanın sonucunda tespit edilmiştir. Kuru hava, deriden nemi kolayca emer ve hızla buharlaşarak vücudu soğutma etkisine sahiptir. Ancak düşük bağıl nem düzeyleri, yüksek nem oranları gibi, insanlar için sağlık sorunlarına neden olabilir. Ayrıca, düşük nem düzeylerinde ortamda statik elektrik sorunları da meydana gelebilir. Bu sebeplerle, iç ortam havasındaki nem oranı insan sağlığı ve konforu açısından önem taşımaktadır (Çağlar, 2020).

Özellikle bağıl nemin %45 değeri, birçok yapı ürününde oluşan elektrostatik etkiyi azaltmaktadır. İç mekanlardaki bağıl nem düzeyi; bölgesel iklim özelliklerine, iç mekân boyutlarına, içinde bulunan insan sayısına ve insanların gerçekleştirdiği eylemlere, kullanılan yapı ürünlerinin ve donanımının niteliğine, ayrıca iç mekân yüzeylerinin sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Tablo2.). Tüm bu faktörler bir araya gelerek iç ortam havasının nem düzeyini etkilemektedir.

Özetle, iç mekân havasındaki nem düzeyinin dengelenmesi, sağlık açısından önemli bir etkendir. İdeal nem düzeyi hem sağlık sorunlarına neden olacak düşük nem oranlarından kaçınmayı sağlamalı hem de aşırı nemin olumsuz etkilerini önlemelidir (Tablo 3.). Bu sayede iç mekân kullanıcılarının sağlığı, konforu ve çalışma verimliliği optimize edilmiş olur.

Tablo 3.'de Çeşitli ortamlarda yapılan eylemin türüne göre gereksinim duyulan sıcaklık ve bağıl nem oranları görülmektedir.

Yapı türü	Yapılan eylemin türü	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
Bürolar	Elektronik bilgi işlem makineleri	22–24	40–60
Deri sanayi	Kurutma	_	70–75
	Depolama	–	40–60
Ekmek sanayi	Un depolama	15–25	50–60
	Mayalama	0–5	60–75
	Hamur üretimi	23–25	50–60
	Şeker depolama	25	35
Fotoğraf endüstrisi	Normal film üretimi	20–24	40–65
	Film banyo hacimleri	20–24	40–60
	Film depoları	18–24	40–60
İlaç endüstrisi	Yarı mamullerin depolanması	21–27	30–40
	Tablet üretimi	21–27	35–40
Kütüphaneler	Kitap depoları	21–25	40–50
	Okuma salonları	21–25	35–55
Müzeler	Resim galerisi	18–24	40–55

Kapalı ortamların nem düzeyi, genellikle bağıl nem (BN) olarak ifade edilir ve %30 ile %70 arasında olması tavsiye edilir. Nem düzeyi, iç mekan konforunu etkileyen önemli bir parametredir ve sıcaklık ile birlikte değerlendirilmelidir (Tablo3.). İç mekân sıcaklık ve bağıl nem değerleri, kış ve yaz ayları için ayrı ayrı belirlenen konfor bölgelerine göre değerlendirilir.

İnsanların konfor seviyesi, iç mekân sıcaklık ve bağıl nem değerlerine göre değişiklik gösterebilir. Bu nedenle, iç mekân konforunu sağlamak için sıcaklık ve bağıl nem düzeylerinin birlikte dikkate alınması önemlidir. Örneğin, kış aylarında daha düşük sıcaklık değerleri daha yüksek bağıl nem değerleriyle konforlu bir ortam sağlayabilirken, yaz aylarında daha yüksek sıcaklık değerleriyle birlikte düşük bağıl nem değerleri tercih edilebilir.

Kapalı ortamlarda sıcaklık ve bağıl nemin bir arada değerlendirilmesi, iç mekânın konforunu artırmak ve sağlık sorunlarını önlemek açısından önemlidir. İdeal sıcaklık ve bağıl nem aralıkları, iç mekân kullanıcılarının rahatlıkla çalışabileceği ve verimliliklerini optimize edebileceği bir ortam yaratmada önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, iç mekân tasarımında ve düzenlenmesinde sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin uygun bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir.

Kişisel Faktörler

Kişisel Faktörler ve İnsan-Ortam Isı Alışverişini Etkileyen Rolü:

1. **Yapılan İşin Niteliği (Hafif-Orta-Ağır İş):** İnsan-ortam ısı alışverişini etkileyen önemli faktörlerden biri, yapılan işin fiziksel zorluğudur. Hafif işlerde, vücut ısısı üretimi daha düşük olabilirken, ağır işlerde vücut daha fazla enerji üretmek durumunda kalabilir. Bu durum, terleme ve vücut ısısının düzenlenmesini etkileyerek, sıcaklık uyumunu etkileyebilir.
2. **İşçinin Giyim Durumu (İnce-Kalın Giysi):** İşçinin giyim durumu, vücut ve çevre arasındaki ısı transferini belirleyebilir. Kalın giyim, vücut ısısını korumak için yararlı olabilirken, ince giyim terleme yoluyla vücut ısısının düzenlenmesine yardımcı olabilir.
3. **İşçinin Yaşı ve Cinsiyeti:** İnsanların yaş ve cinsiyeti, vücut ısısını etkileyen metabolik hız ve termoregülasyon mekanizmalarını etkileyebilir. Genç bireyler genellikle daha hızlı metabolizmaya sahip olabilirken, cinsiyet farkları da vücut ısısının düzenlenmesinde rol oynayabilir.
4. **İşçinin Beslenmesi (İşe Uygun-Değil Beslenme):** Beslenme, vücut ısısının üretimi ve termoregülasyon için önemlidir. Yetersiz veya dengesiz beslenme, vücut enerjisinin ve sıvı dengesinin düzenlenmesini etkileyerek, sıcaklık uyumunu olumsuz etkileyebilir.
5. **İşçinin Fiziksel Durumu (Zayıf-Şişman):** Fiziksel durum, vücut kompozisyonu ve enerji harcaması üzerinde etkili olabilir. Fiziksel zayıflık veya şişmanlık, vücut ısısının üretimini ve dağılımını etkileyerek, ısı alışverişini etkileyebilir.
6. **İşçinin Ruhsal Durumu (Sakin-Gergin):** Ruhsal durum, otonom sinir sistemi üzerinden termoregülasyonu etkileyebilir. Gerginlik veya stres, terleme ve damar genişlemesi gibi mekanizmaları etkileyerek vücut ısısını etkileyebilir.
7. **İşçinin Sağlık Durumu (Hasta-İyi):** İşçinin sağlık durumu, metabolik aktivite ve enerji harcaması üzerinde etkili olabilir. Sağlık sorunları, vücut ısısının düzenlenmesini zorlaştırabilir ve sıcaklık uyumunu etkileyebilir.

Bu kişisel faktörler, insan-ortam ısı alışverişini etkileyen karmaşık etmenlerdir. İş sağlığı ve güvenliği açısından, bu faktörlerin göz önünde bulundurulması ve uygun önlemlerin alınması, çalışanların sıcaklık uyumunu sağlamak ve sağlıklarını korumak açısından büyük önem taşır.

İnsan vücudunun sağlıklı işleyebilmesi için fizyolojik parametrelerin istikrarlı bir şekilde belirli aralıklar içinde kalması gereklidir. Bu da:

Vücut Isısı: İnsan vücudu, ısıyı düzenlemek için çeşitli mekanizmalara sahiptir. Normalde vücut sıcaklığı 36,8 ± 0,4°C arasında olmalıdır. Bu aralık, genellikle 36,4-37,2°C olarak kabul edilir. Vücut sıcaklığında 0,5 derece veya daha fazla olan dalgalanmalar, sağlık açısından anormallik olarak değerlendirilir (Mandıracıoğlu ve Özvurmaz, 2019).

Hipotermi: Vücut sıcaklığı 34°C'nin altına düştüğünde hipotermi meydana gelir. Bu durum, vücudun normalden daha düşük sıcaklıkta çalıştığı bir durumdur ve ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir.

Normotermi: Normal vücut sıcaklığı 36-38°C arasında olmalıdır. Bu aralık, vücudun çeşitli fonksiyonlarını etkin bir şekilde yerine getirmesine izin verir.

Ateş (Febrilite): Vücut sıcaklığı 38-40°C arasında olduğunda ateş (febrilite) denir. Bu genellikle bir enfeksiyonun veya inflamasyonun bir belirtisi olabilir.

Hipertermi: Vücut sıcaklığı 42-44°C arasına yükseldiğinde hipertermi meydana gelir. Bu yüksek sıcaklıklar, vücudun normalden daha yüksek sıcaklıkta çalıştığı ciddi bir durumu yansıtabilir.

Yukarıdaki değerlerin dışındaki sıcaklık dalgalanmaları, patolojik olarak kabul edilir ve sağlık sorunlarının bir göstergesi olabilir. Vücut sıcaklığı, metabolik, nörolojik ve hormonal mekanizmaların bir sonucu olarak sıkı bir şekilde düzenlenir ve bu denge, vücudun sağlıklı fonksiyonlarını sürdürebilmesi için kritik öneme sahiptir.

Yüksek sıcaklığın insan vücuduna etkileri:

Isı-Güneş Çarpması (Heat Stroke): Vücut ısısının 41°C'ye kadar ulaşmasıyla, vücut ısı regülasyonunun bozulması sonucu ısı-güneş çarpması meydana gelebilir. Bu durum, özellikle beyin fonksiyonları üzerinde ciddi etkilere neden olabilir ve hatta ölümcül olabilir. Yüksek sıcaklığın beyin dokusu üzerindeki hasarı, düzensiz metabolik aktivite ve sinir iletimini içeren karmaşık mekanizmalarla ilişkilendirilir.

Isı Krampları: Aşırı terleme nedeniyle elektrolit dengesinin bozulması sonucu kaslarda ani kasılmalar şeklinde ısı krampları meydana gelebilir. Bu durum, vücutta önemli elektrolit kaybına bağlı olarak kaslarda kontrolsüz kasılmaların oluşmasına neden olur. Isı krampları genellikle yoğun fiziksel aktivite sonrasında veya aşırı terleme durumlarında ortaya çıkabilir.

Isı Yorgunluğu (Heat Exhaustion): Aşırı fiziksel aktivite veya yüksek sıcaklık ortamında aşırı terleme sonucu meydana gelen sıvı kaybı, vücuttaki tansiyon düşüklüğüne ve baş dönmesine yol açan ısı yorgunluğuna neden olabilir. Bu durum, vücudun yeterli miktarda su ve elektroliti kaybetmesi sonucu, dolaşım sistemi üzerinde negatif etkilerin görüldüğü bir durumdur. Isı yorgunluğu, kişinin enerji seviyelerini düşürebilir ve ciddi olgularda bayılma veya çökme gibi sonuçlara yol açabilir.

Yüksek sıcaklığın vücut üzerindeki etkileri, kompleks fizyolojik ve biyokimyasal reaksiyonların sonucunda ortaya çıkar. Vücut ısısının düzenlenmesi, terleme ve dolaşım sisteminin iş birliğiyle gerçekleştirilir. Ancak, aşırı sıcaklık koşullarında bu mekanizmaların yetersiz kalması veya bozulması sonucu sağlık sorunları ortaya çıkabilir. Isı-Güneş çarpması, ısı krampları ve ısı yorgunluğu gibi durumlar, yüksek sıcaklıkla ilişkili olumsuz etkilerin örnekleridir ve bu etkilerin önlenmesi veya tedavi edilmesi, sağlıklı vücut ısı regülasyonunun korunması açısından hayati önem taşır (Karademir, 2017).

Düşük Sıcaklığın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri ve Endüstriyel Bağlamdaki Yansımaları:

Düşük sıcaklıkların insan sağlığı üzerindeki etkileri, özellikle soğuk işyeri ortamları, soğuk hava depoları ve kış aylarında açıkta yapılan işler gibi durumlarda daha belirgin hale gelir. Bu tür çalışma koşulları, vücut ısısının düşmesiyle ilişkilendirilen çeşitli olumsuz etkileri beraberinde getirebilir.

Uyuşukluk ve Hissizlik: Düşük sıcaklığa maruz kalan insanlar genellikle uyuşukluk hissi yaşarlar. Soğuğun etkisiyle, deri yüzeyindeki kan damarları daralır ve bu da vücut ısısının korunmasına yardımcı olurken, aynı zamanda ekstremitelerde (eller ve ayaklar gibi) his kaybına yol açabilir. Organlarda hissizlik ve uyuşukluk, soğuğun sinir iletimini etkilemesi sonucu ortaya çıkar.

Donma (Frostbite): Düşük sıcaklıkların uzun süreli etkisi, cilt ve dokuların donmasına neden olabilir. Özellikle el, ayak, burun ve kulak gibi daha az kan akışına sahip bölgeler donmaya daha yatkındır. Donma, ciltte renk değişiklikleri, şişme ve hatta doku ölümüne yol açabilir. Bu durum, açıkta veya soğuk ortamlarda çalışan işçiler için önemli bir risk oluşturabilir.

Enerji Düşüklüğü ve Uyku Hali: Düşük sıcaklıklara maruz kalmak, vücut ısısını koruma çabaları nedeniyle enerji tüketimini artırabilir. Bu durum, çalışanların enerji seviyelerini düşürebilir ve uzun süreli maruziyet sonucu uyku hali ve yorgunluk hissi oluşabilir.

Endüstriyel Bağlamdaki Yansımalar: Endüstriyel alanlarda düşük sıcaklıkların etkileri, çalışanların sağlık ve performansını ciddi şekilde etkileyebilir. Soğuk işyeri ortamlarında çalışanlar, uyuşukluk, enerji düşüklüğü ve dikkat eksikliği gibi faktörler nedeniyle iş kazalarına daha yatkın olabilirler. Ayrıca, donma riski nedeniyle iş güvenliği önlemleri ve uygun koruyucu giysiler gereklidir.

Düşük sıcaklıkların insan sağlığına ve çalışma koşullarına etkisi, vücut ısısının düşmesiyle ilişkilendirilen bir dizi olumsuz etkiyi içerir. Bu etkilerin farkında olunması ve uygun önlemlerin alınması, sağlıklı ve güvenli çalışma ortamlarının sağlanması açısından önemlidir.

Sıcaklığın İş Verimine Etkileri: Aşırı Sıcaklığın Üretim Üzerindeki Olumsuz Etkisi

Çalışma ortamındaki sıcaklık, işçilerin performansı üzerinde belirgin etkilere sahip olabilir. Aşırı sıcaklık koşulları, iş verimini azaltıcı sonuçlara yol açabilir. Bu bağlamda, sıcaklık artışıyla birlikte işçilerin performansında meydana gelen düşüş oranlarının değerlendirilmesi önemlidir.

- **29°C Sıcaklık:** 29°C sıcaklık seviyesine ulaşıldığında, işçilerin performansında %5 oranında bir düşüş gözlenir. Bu, aşırı sıcaklığın iş verimine etkisinin başlangıç aşamasını temsil eder.
- **30°C Sıcaklık:** Sıcaklık 30°C'ye yükseldiğinde, işçilerin performansında %10 oranında bir düşüş yaşanır. Bu noktada, iş verimindeki azalma daha belirgin hale gelmeye başlar.
- **31°C Sıcaklık:** 31°C sıcaklık seviyesinde, işçilerin performansında %17 oranında bir düşüş kaydedilir. Bu durum, aşırı sıcaklığın iş verimini etkileyen etkisinin artışını yansıtır.
- **32°C Sıcaklık:** Sıcaklık 32°C'ye çıktığında, işçilerin performansında dikkate değer bir %30'luk bir düşüş meydana gelir. Bu noktada, aşırı sıcaklığın iş verimindeki belirgin azalmayı gösterdiği bir aşamaya gelinmiştir.

Bu verilere dayanarak, iş ortamlarında sıcaklık artışının iş verimi üzerindeki olumsuz etkileri açıkça görülmektedir. Aşırı sıcaklık, işçilerin fizyolojik ve bilişsel yeteneklerini olumsuz yönde etkileyebilir, dikkat dağılmasına neden olabilir ve çalışma performansını düşürebilir. Bu nedenle, iş sağlığı ve güvenliği açısından sıcaklık kontrolü ve uygun önlemler alınması büyük önem taşır.

Faaliyetin Türü ve Hava Sıcaklığının Performansa Etkisi:

Oturarak Yapılan Hafif El-Kol İşleri (20°C): Hafif el-kol işlerinin oturarak gerçekleştirildiği durumda, hava sıcaklığının 20°C olduğu gözlenir. Bu

sıcaklık seviyesi, fiziksel çaba gerektiren işlerde işçilerin konforunu ve performansını destekleyebilir. Daha düşük fiziksel aktivite seviyesine rağmen, bu sıcaklıkta işçilerin iş verimi ve dikkat seviyeleri olumsuz etkilenmeyebilir.

Ayakta Yapılan Ağır El-Kol İşleri (17°C): Ayakta yapılan ağır el-kol işlerinde, hava sıcaklığı 17°C seviyesine düşmektedir. Bu durum, fiziksel çabanın arttığı işlerde işçilerin maruz kaldığı sıcaklık düzeyini yansıtmaktadır. Bu sıcaklık seviyesi, işçilerin vücut ısısını daha fazla korumak için enerji harcaması gerektiğini ve böylelikle performanslarında bazı düşüşlerin meydana gelebileceğini işaret edebilir.

Çok Ağır İşlerin Yapılması (15°C): Çok ağır işlerin yapıldığı durumlarda, hava sıcaklığı 15°C'ye kadar düşer. Bu sıcaklık seviyesi, yoğun fiziksel aktivite ve çabanın gerektiği işlerde işçilerin performansını ciddi şekilde etkileyebilir. Düşük sıcaklık, vücut ısısının korunması amacıyla enerji harcamasının artmasına neden olabilir, bu da işçilerin yorgunluk hissi yaşamasına ve iş veriminde daha belirgin düşüşlere yol açabilir.

Bu verilere dayanarak, faaliyet türünün ve hava sıcaklığının işçilerin performansına etkisinin olduğu görülmektedir. Sıcaklık düşüklüğü, özellikle yoğun fiziksel çabanın gerektiği işlerde, işçilerin enerji tüketimini artırabilir ve buna bağlı olarak iş veriminde düşüşler gözlenebilir. Bu nedenle, iş koşullarının, faaliyet türünün ve sıcaklık seviyelerinin dikkate alındığı iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin alınması önemlidir.

Yüksek ortam sıcaklığı ve yüksek bağıl nem ile düşük ortam sıcaklığı ve yüksek bağıl nem durumlarının insanlar üzerindeki etkilerini akademik bir dille ifade edeyim:

Yüksek ortam sıcaklığı ve yüksek bağıl nem koşulları, insanlar üzerinde bunalma hissine yol açabilir ve çalışma gücünü olumsuz etkileyebilir. Yüksek bağıl nem, ter buharlaşmasının zorlaştığı bir ortam yaratır ve bu durum vücut ısısının düzenlenmesini zorlaştırabilir. Böylece, kişiler sıcaklık hissini daha yoğun olarak yaşarlar. Bu durum, işçilerin bunalma, yorgunluk ve halsizlik hissi yaşamasına neden olabilir. Vücudun fazla ısının atılamaması, çalışma performansını düşürebilir ve uzun süreli maruziyet sonucu ısı kaynaklı sağlık sorunlarına zemin hazırlayabilir (Güneyli, 2019).

Düşük ortam sıcaklığında yüksek bağıl nem koşulları ise, kişilere üşüme ve ürperme hissi verebilir. Yüksek bağıl nem, vücuttan ter buharlaşmasını engelleyerek cildin yüzeyinde yoğunlaşan nemin üşümeye neden olan etkisini artırabilir. Bu durum, işçilerin bedensel rahatsızlık hissetmesine ve odaklanma

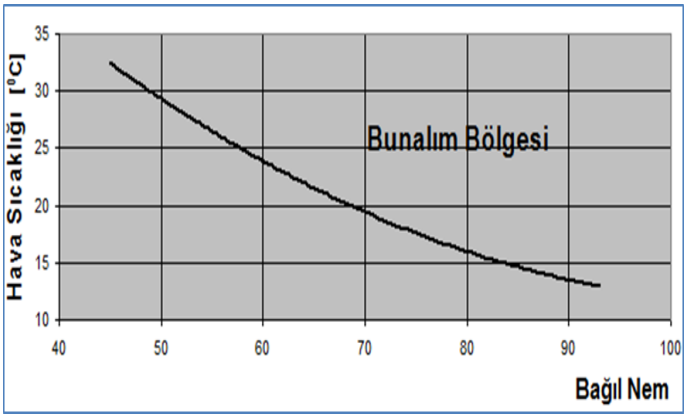
yeteneklerinin düşmesine neden olabilir. Üşüme, vücudun iç ısısının düşmesi sonucu metabolik aktivitelerin yavaşlamasıyla ilişkilendirilir.

Bu bağlamda, yüksek ortam sıcaklığı ve yüksek bağıl nem ile düşük ortam sıcaklığı ve yüksek bağıl nem koşullarının insanlar üzerindeki etkileri, termal konforun önemini vurgular. İş sağlığı ve güvenliği açısından, iş ortamlarının sıcaklık ve nem koşullarının kontrol altında tutulması ve çalışanların konforunu sağlamak için uygun önlemlerin alınması gereklidir.

Termal Konfor Bölgesi: Termal konfor bölgesi, insanların iş yapma ve faaliyetlerini en rahat şekilde sürdürebildikleri termal koşulların belirlendiği bir aralıktır. Bu bölge, insanların vücut ısısını koruma gerekliliği ile çevresel etmenlerin dengesinin sağlandığı bir alanı ifade eder (Şekil 1.). Termal konfor bölgesi, termoregülasyon mekanizmalarının etkili bir şekilde çalıştığı ve vücut ısısının uygun sınırlarda tutulduğu koşulları içerir. İnsanlar, bu bölge içinde bulunduklarında genel olarak rahat hissederler ve iş performansları optimal seviyede olabilir.

Bunalım Bölgesi: Bunalım bölgesi, insanların vücut ısısını uygun bir şekilde düzenleyemediği ve çevresel ısıyı etkin bir şekilde atamadığı koşulları içeren bir alandır (Şekil 1.). Bu bölge, özellikle hava akımının olmadığı veya düşük olduğu durumlarda meydana gelir. İnsanlar, bu koşullarda terleme ve vücut ısısının dengelemesi güçleştiği için bunalma hissedebilirler. Bu bölge, sıcaklık ve bağıl nem kombinasyonlarının insan termoregülasyonunu aşırı derecede zorladığı bir aralığı temsil eder. Bunalım bölgesi, çalışma performansını olumsuz etkileyebilir ve sağlık sorunlarına yol açabilir (Uğurluay, 2019).

Her iki bölge de, insanların çevresel koşullara adaptasyon kapasitesini yansıtan önemli kavramlar olarak dikkate alınır. Termal konfor bölgesi, insanların iş verimi ve konforunu en üst düzeyde tutabildiği koşulları yansıtırken, bunalım bölgesi aşırı sıcaklık ve nemin olumsuz etkilerini vurgular. Bu kavramlar, iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin belirlenmesi ve uygulanmasında dikkate alınması gereken faktörleri içerir.



Şekil 1. Hava sıcaklığı-bağıl nem ilişkisi termal konfor ve bunalım bölgesi

Giysi Yalıtımı

Termal konfor, giysilerin kullanıcı üzerindeki yalıtım etkisine büyük ölçüde bağlıdır. Giysilerin yalıtım sağlama kapasitesi, kullanıcının ısı düzenlemesini etkiler ve aşırı giyinme veya az giyinme durumlarında termal rahatsızlığa neden olabilir. Giysilerin yeterli düzeyde yalıtım sağlamaması durumunda, soğuk koşullarda üşüme veya hipodermi gibi soğuk yaralanmalarına maruz kalma riski artabilir.

Giysiler, hem termal rahatsızlığın potansiyel bir sebebi olarak hem de çalışılan iklim koşullarına uyum sağlamak için bir kontrol mekanizması olarak işlev görür. Kişiler, soğuk hissettiklerinde giysi katmanları ekleyerek ısınabilir veya sıcak hissettiklerinde giysi katmanlarını çıkararak serinleyebilirler. Ancak bazı şirketler, çalışanların belirli bir üniforma veya koruyucu giysiler giymelerini talep ederek, giyimdeki kişisel tercihleri sınırlayabilirler.

Giysilerin termal konfora etkisini anlamak önemlidir. Mevcut koruyucu giysilerin sağladığı koruma seviyesini periyodik olarak değerlendirerek ve yeni giysi türlerini inceleyerek termal konfor seviyesini artırabiliriz. Hazır giyim kumaşlarının hava geçirgenliği ve ısıl konfor özellikleri, kullanıcıların rahatlık düzeyini önemli ölçüde etkiler. Viskon rayon ipliklerinden yapılan kumaşlar, giyimde en popüler tercih edilen malzemelerden biridir. Viskon dokuma kumaşlar, yüksek hava geçirgenliği özelliğine sahiptir ve giyimde geniş bir kullanım alanına sahiptir.Çalışanların giydikleri giysiler, çalışma ortamında ısıl konforlarını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Isıl konfor, giysilerin sağladığı yalıtım düzeyiyle büyük ölçüde ilişkilidir. Giysilerin yalıtım etkisini ölçmek için "clo" birimi kullanılır. 1 clo, giysinin bir kişiyi 21°C sıcaklıkta, 0,1 m/s hava hızında ve %50 bağıl nemde konforlu bir şekilde tutabilme yalıtımını ifade eder.

Ortam sıcaklığında meydana gelen 6°C'lik bir fark, giysilerin yalıtımında 1 clo'luk bir farka eşdeğerdir.

Çalışanların yoğun aktivitelerde bulundukları ortamlarda, ısıl direnci düşük giysiler tercih edilmelidir veya ortam sıcaklığı uygun düşük seviyede tutulmalıdır, böylece çalışanlar kendilerini rahat hissedebilirler. Ayrıca, çalışanların giydiği ayakkabılar da özellikle sıcak mevsimlerde önemli bir rol oynar. Örneğin, parmak arası terlik gibi açık ayakkabılarla çalışmak zorunda kalan kişiler, uzun süre ayakta hareket ettiklerinde rahatlıklarını etkileyebilir. Bu nedenle, çalışanların giysilerini ve ayakkabılarını seçerken ısıl konforlarını göz önünde bulundurmaları önemlidir.

Çalışma Hızı / Metabolik Isı

Fiziksel aktivitelerin artması, insanların daha fazla ısı üretmelerine neden olur. Bu durumda, fazla üretilen ısıyı vücuttan uzaklaştırmak için termal düzenlemeler yapılır, böylece aşırı ısınma engellenir. Metabolik hız, termal konfor üzerinde kritik bir etkiye sahiptir. Metabolik aktivite, kişinin yaptığı işle doğrudan ilişkilidir ve tüm kas aktivitesi normalde vücutta ısıya dönüştürülür. Kişilerin fiziksel özellikleri, büyüklükleri, ağırlıkları, yaşları, zindelik seviyeleri ve cinsiyetleri gibi faktörler, sabit hava sıcaklığı, nem ve hava hızı, giysi gibi diğer faktörler aynı olsa bile, nasıl hissettiklerini etkileyebilir. Metabolizma, kas aktivitelerinin miktarıyla ilişkilidir ve vücut tarafından yayılan enerjiyi ifade eder.

Uluslararası Standartlar Teşkilatı (ISO) tarafından yapılan çalışmalar, radyant sıcaklık ve 0.2 m/s'den fazla hava akımının bir kombinasyonunun termal konfor üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Daha yüksek hava sıcaklığı ve nemi (30°C; %65) ile en düşük enerji tüketim oranı sağlanır. İyi bir iç mekân termal ortamı elde etmek için doğal havalandırmayla birleştirilmiş yüksek sıcaklıkta radyant soğutma sistemi ve iç ısı üretimi kontrolüyle birlikte etkili güneş kontrolü kalitesi sağlanmalıdır. Bu şekilde, ideal bir iç mekân termal konfor şartlarına ulaşmak mümkün olacaktır.

Diğer Etkenler

Termal konfor koşulları, birçok etmenin bir araya gelmesiyle belirlenir ve bu etmenler arasında en önemli altı temel parametre vardır. Bunun yanı sıra yaş, cinsiyet, termal ortama uyum, günlük ritim gibi faktörler de termal konfor koşullarını etkiler. Yaşlı yetişkinlerin metabolizmaları genç yetişkinlere göre daha düşük olduğundan, sıcaklık tercihleri de farklılık gösterebilir. Genellikle yaşlı yetişkinler, daha yüksek ortam sıcaklıklarını tercih ederler. Erkekler ve kadınlar, aynı termal koşullardan memnun olabilirler, ancak cinsiyetler arasında bazı yapısal farklılıklar vardır. Örneğin, kadınların cilt sıcaklığı ve buharlaşma

kaybı erkeklere göre daha düşüktür, bu da kadınların metabolizmalarının erkeklere göre daha düşük olduğu anlamına gelir.

Ortam sıcaklığı, insanların yerel giyim alışkanlıklarına uygun giysiler seçme konusundaki termal tercihlerini tam olarak etkilemez. Ayrıca gün içinde vücut ısısı ritimleri değişiklik gösterir, bu nedenle termal konfor tercihleri de değişebilir. Ancak erkekler, sıcaklık değişimlerine karşı daha hassas olabilir ve bu nedenle kadınlara göre daha sıcak bir ortamı tercih ederler. Bireylerin vücut sıcaklığının sirkadiyen ritmi, termal konforunu etkileyen diğer faktörlerden biridir. Gündüz insanları, gece saatlerine kıyasla daha yüksek vücut sıcaklığına sahip olma eğilimindedir, bu da termal rahatsızlığa neden olabilir. Dolayısıyla, hem dış ortam sıcaklığı hem de nem koşulları göz önünde bulundurulmalı ve ayrıca yaş, cinsiyet, günlük aktivite kalıpları ve termal ortama uyum gibi kişisel faktörler de termal konfor değerlendirmelerinde dikkate alınmalıdır.

Termal Stres

İnsan vücudu, hücrelerin besin taşıyabilmesi için önemli ölçüde sudan oluşur ve kanın büyük bir kısmı bu suda bulunur. Vücut suyu, yaşamsal faaliyetlerin sürdürülmesi için hayati öneme sahiptir. Yoğun sıcaklık altında çalışma, vücut suyunun dengesini olumsuz etkileyerek ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. Özellikle koyu renkli idrar, vücuttaki suyun yetersizliğinin bir işareti olarak görülmektedir. Su kaybı, %10'un üzerine çıktığında hayati tehlike oluşturabilir ve %20'sinin kaybı ölümle sonuçlanabilir.

Sıcak veya soğuk ortamlarda çalışmak, vücudun termal stresle karşı karşıya kalmasına neden olabilir ve buna bağlı olarak su dengesi bozulabilir. Yüksek sıcaklıklarda yapılan işlerde terleme artar ve vücut suyu kaybı artar. Ortam sıcaklığının etkisiyle, vücutta su ve tuz miktarı azalabilir ve bu durum çeşitli olumsuz etkilere yol açabilir.

Sıcak ortamlarda çalışırken su kaybı daha da fazla olabilir ve bu nedenle su ihtiyacı artar. Vücut suyunun azalması, performans düşüklüğü, dikkat eksikliği, baş dönmesi, aşırı yorgunluk, solunum zorluğu, kas krampları ve böbrek yetmezliği gibi sorunlara neden olabilir. Bu nedenle, tehlikeli ve yorucu işlerde çalışan işçilerin susuzluk riskini en aza indirmek için düzenli sıvı alımı sağlanmalıdır. Özellikle sıcak ortamlarda çalışan işçiler için temiz ve yeterli suya erişim sağlanması önemlidir.

Sağlık ve iş güvenliği açısından, çalışma ortamlarının su kaybını önlemek ve vücut suyunun dengesini korumak için uygun önlemler alınmalıdır. Su tüketiminin teşvik edilmesi ve suya erişimin kolaylaştırılması, çalışanların termal konforunu ve sağlığını olumlu yönde etkileyecektir. Bu sayede çalışanların

performansı ve iş verimliliği artacak, olası sağlık riskleri ve kazalar önemli ölçüde azalacaktır.

Sıcak ortamlarda çalışan işçilerin sağlığını ve performansını korumak için düzenli ve yeterli sıvı alımı oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalar, yeterli sıvı tüketmeyen işçilerin işlerini tamamlamalarının, yeterli sıvı tüketenlere göre daha uzun sürdüğünü ortaya koymuştur. Yorucu fiziksel aktiviteler sırasında, vücuttan daha fazla sıvı kaybedilir ve bu durum dehidrasyona yol açabilir. Dehidrasyon, işçilerin karar verme yeteneklerini ve bilişsel fonksiyonlarını olumsuz etkileyebilir, böylece güvenlik ve üretkenlik açısından risk oluşturabilir.

Isı, özellikle yüksek yoğunluklu, ağır hizmet ve sıcak ve nemli ortamlarda çalışanlar için önemli bir mesleki tehlike kaynağıdır. Çok sıcak ortamlarda, terleme yoluyla kaybedilen vücut sıvıları yeterince geri alınmazsa, sağlık sorunları artabilir. Sıcak çalışma ortamlarında vücut ağırlığının %10-12'sinin kaybedilmesi ve kısa süreli bayılma yaşanması akut riski artırır. Özellikle obez, aşırı zayıf ve yaşlı çalışanlar daha büyük risk altındadır. Aşırı ısınmadan kaynaklanan iş kazaları, iş gücü kaybını artırmanın yanı sıra maliyetleri de artırabilir.

Avustralya'da yapılan bir çalışma, yüksek sıcaklıkla ağırlık taşıma yaralanmaları, el yaralanmaları ve elektrikli alet kontrolünün kaybı gibi çeşitli yaralanma türleri arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir. Yetersiz sıvı alımının iş kazalarının oluşmasında önemli bir faktör olduğu da belirtilmiştir. Dünya genelinde, milyonlarca işçi aşırı sıcak çalışma ortamları ve yorucu fiziksel aktivitelerin etkileriyle karşı karşıyadır. Yüksek mesleki ısı stresi ve dehidrasyonun, kronik böbrek hasarının yanı sıra diyabet ve hipertansiyon gibi çeşitli kronik hastalıkların gelişiminde de etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Bu nedenle, sıcak ortamlarda çalışan işçilerin sağlığını korumak için su tüketiminin düzenli olarak teşvik edilmesi ve uygun sıvı kaynaklarına erişimin sağlanması büyük önem taşımaktadır. İşyerlerinde uygun önlemlerin alınması, işçilerin termal konforunu ve sağlığını korumak için kritik önem taşımaktadır.

Tropik bölgelerde çalışan işçiler, uzun süreli ve sık sık yüksek sıcaklıklara maruz kalmakta ve çelik endüstrisinde çalışanlar gibi ağır iş yükleri ve dehidrasyon riskleriyle karşı karşıya gelmektedir. Bu tür işçilerde, yüksek sıcaklık koşullarının neden olduğu sağlık sorunlarına özellikle dikkat edilmelidir. Örneğin, çelik sektöründe çalışan işçilerde nefro-üretral taş oluşumu oranının yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Tropikal ortamlarda çalışan çelik sektörü işçilerinin sağlık sorunlarının iyi bilinmesi ve aşırı ısınmanın işçi verimliliğini olumsuz etkileyebileceğinin farkında olunması önemlidir.

Ayrıca, yüksek sıcaklıklara maruz kalan işçiler arasında madenlerde çalışanlar gibi, yaralanma ve ölüm riskinin yüksek olduğu sektörlerdeki işçilerin durumu da

gözetilmelidir. Madencilerin yüksek mesleki ısıya maruz kalması, çeşitli hastalıkların riskinin artmasına ve küçük yaralanmaların daha sık görülmesine sebep olabilir.

Yüksek sıcaklıkların işçiler üzerindeki olumsuz etkileri, yorgunluk, azalmış psikomotor performans, konsantrasyon güçlüğü ve işle ilgili kazalarla ilişkilendirilmiştir. Çeşitli çalışmalarda, koruyucu ekipman giyen ve aktif işlerde çalışan işçilerin ısıya bağlı hastalıklara yakalanma riski olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, işçilerin fiziksel ve algısal stresini azaltmak için işe başlamadan önce 15 dakika önce 500 ml soğuk su içmeleri önerilebilir.

Sanayi sektöründe çalışan erkek işçiler üzerinde yapılan bir çalışmada, yüksek sıcaklıklara maruz kalan işçilerin sperm parametrelerinin kontrol grubuna göre düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, ısıya maruz kalmanın erkek üreme sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olduğunu göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda çalışan işçilere, sürekli ve düşük hacimli sıvı ihtiyaçlarını karşılayacak uygun içeceklerin sağlanması önemlidir. Ancak bir dozda 0,25 litreden fazla sıvı alınmaması gerektiği belirtilmektedir. Sıvı alımı ortalama 10-15 dakikada bir verilen miktarla uygun şekilde dağıtılmalıdır. Önerilen içecekler arasında su, düşük şekerli çay, kahve ve ara sıra tüketilecek hafif çorbalar yer almaktadır. Ancak artan sıcaklık ve sıvı ihtiyacıyla beraber öncelikli olarak su içmek ve ara sıra çay, kahve gibi içecekleri tercih etmek daha uygundur. Süt bazlı içecekler, sindirim sistemi üzerinde yorgunluğa neden olabileceği için yüksek sıcaklıklarda uygun bir sıvı kaynağı olarak önerilmez.

Amerika Birleşik Devletleri'nde Occupational Safety and Health Administration (OHSA) gibi resmi kuruluşlar, ısı stresine maruz kalan çalışanlara işteyken her 20 dakikada bir bir bardak (250 ml) sıvı içmelerini önermektedir. Bu tür düzenlemeler, işçilerin sağlığını ve güvenliğini korumak adına önemlidir.

Yapılan çalışmalar, uzun süreli ısıya maruz kalmanın işçiler arasında dehidrasyon, böbrek taşı, kronik böbrek yetmezliği, sperm kalitesinde azalma, üretkenlik azalması ve iş kazaları oranını artırdığını göstermiştir. Yeterli hidrasyonun sağlanmadığı durumlarda, mesleki ısıya maruz kalmak vücut suyunun azalmasına ve birçok sağlık sorununa yol açabilir. Hafif düşük su seviyeleri bile dayanıklılığı, konsantrasyonu ve karar verme yeteneğini olumsuz etkileyerek iş kazası riskini artırabilir.

Yüksek sıcaklıklara maruz kalan işçilerin dehidrasyonu, insan sağlığı ve hayatı için ciddi bir tehdit oluşturur. İşçilerin iş sırasında kaybettikleri sıvıları zamanında yenilemeleri, yüksek ısı stresine bağlı dehidrasyon insidansını azaltarak sağlık sorunlarını önlemeye yardımcı olabilir.

İşçi beslenme uygulamaları, iş sağlığı ve güvenliğinin önemli bir parçasıdır ancak hala tam olarak anlaşılmamış bir konudur. Bu nedenle, iş kazalarını ve

meslek hastalıklarını azaltmak ve iş verimliliğini artırmak amacıyla işçilerin beslenmesi, iş koşullarına göre uzmanlar tarafından düzenlenmelidir. Bu düzenlemeler, işçilerin sağlığını ve refahını korumak adına önemli bir rol oynamaktadır.

Giysi Kumaşlarından beklenen özellikler

Giysi yalıtımı: Giysilerin vücut ısısını 36-37 derece civarında tutmaya yönelik önemli bir rolü vardır. Eğer terleme oluyorsa, terin vücuttan atılması ve sıcaklığın düşürülmesi için uygun giysiler tercih edilmelidir. Ayrıca, soğuk havalarda ise ısı yalıtımı sağlayan giysiler giyilmelidir. Kumaşın içindeki gözeneklerin çok olması, burada sıkışmış durgun havanın iyi bir ısı yalıtımı sağlamasına neden olur. Örneğin, kalın battaniyeler ve yumuşak kumaşlar yüksek oranda hava içerir ve bu da iyi bir ısı yalıtımı sağlar (İlhan, 2002).

Isının iletkenliği, lifin 20 derecede 200 miliwatt/m, halının 50 miliwatt/m ve durgun havanın ise 25 miliwatt/m civarında olduğu belirtilmiştir. Bu durumda, giyilen giysilerin ısıyı iyi bir şekilde tutması ve vücut ısısının kaybedilmesini önlemesi önemlidir.

Ayrıca, soğuk havalarda özellikle başın örtülmemiş olması, vücut ısısının hızla kaybedilmesine neden olabilir. Vücut ağırlığına oranla geniş bir yüzeye sahip olan zayıf bir insan, daha çabuk ısı kaybedebilir. Bu nedenle, soğuk havalarda başın ve vücudun diğer bölgelerinin uygun şekilde örtülmesi, vücut ısısının korunmasına yardımcı olacaktır.

Rüzgâr Geçirmeme: Rüzgâr geçirmeme özelliği, kumaşın yapısının daha sıkı hale getirilerek gözeneklerin daraltılması ve hava geçirgenliğinin azaltılması yoluyla elde edilir. Bu sayede, giyilen giysiler rüzgârdan korunma sağlayarak dış etkenlerin olumsuz etkilerine karşı bir bariyer oluşturur. Ancak, tamamen hava geçirmez kumaşlar, terin dışarı çıkmasını engelleyerek sağlık açısından sakıncalı olabilir.

Hava geçirgenliği azaltılan kumaşlar, dışarıdan gelen soğuk hava akışını engelleyerek vücut sıcaklığının korunmasına yardımcı olur. Bu özellik, özellikle soğuk havalarda vücut ısısının düşmesini önlemeye yardımcı olur ve termal konforu artırır. Rüzgâr geçirgenliğinin azalması, çalışanların rüzgârın neden olduğu soğuma etkisine karşı daha iyi bir koruma sağlar.

Ancak, giyilen kumaşların tamamen hava geçirmez olması istenmez. Çünkü tamamen hava geçirmez kumaşlar, terin dışarı çıkmasını engeller ve vücutta biriken terin buharlaşmasını zorlaştırır. Bu durum, vücut ısısının yükselmesine ve terleme sonucu oluşan nemin cilde zarar vermesine yol açabilir. Sağlıklı bir terleme süreci için terin vücuttan doğal olarak buharlaşmasına izin veren ve hava geçirgenliği olan kumaşlar tercih edilmelidir.

Işınım Isısı: Işınım ısısı, kumaşların doku yoğunluğuna bağlı olarak farklı davranışlar sergileyebilir. Seyrek dokulu kumaşlar, ışığın içeri girmesine izin vererek vücudun ısınmasına neden olabilir. Bu tür kumaşlar, güneş ışınlarının vücut üzerinde emilmesine ve vücut sıcaklığının artmasına yol açabilir.

Açık renkli kumaşlar ise ışığı daha fazla yansıttıkları için koyu renkli kumaşlara göre vücudu daha serin tutarlar. Işığı yansıtan açık renkli kumaşlar, güneş ışınlarını geri yansıtarak vücut ısısının artmasını engeller. Bu sayede, vücut daha serin ve rahat bir şekilde kalır.

Kumaşların ışığı emme veya yansıtma davranışı, kullanılan kimyasal maddelerin ve boyaların cinsine de bağlıdır. Farklı kimyasal maddeler, ışığı farklı şekillerde etkileyebilir ve kumaşların ışınım ısısı özelliklerini değiştirebilir.

Alüminyum folyo ile kaplanmış kumaşlar, ışığa dayanıklı özellikleri ile bilinirler. Alüminyum folyo, güneş ışınlarını yansıtıcı bir yüzey sağlar, bu da kumaşın güneş ışınlarını yansıtma kabiliyetini artırır ve vücudu daha iyi bir şekilde korur.

Rutubet: Nem (rutubet), giyilen kumaşların özellikleri ve lif yapıları aracılığıyla etkili bir şekilde yönetilmelidir. Vücuttaki teri emme ve dışarıya filtre etme işlemi, özellikle pamuk, akrilik, polyester ve polipropilen lifleri gibi belirli kumaş türleri tarafından gerçekleştirilir.

Bu lifler, vücuttaki teri emerek dışarıya doğru taşır ve bu sayede cildin serinlemesini ve rahatlamasını sağlar. Özellikle aşırı terli ve nemli durumlarda, giyilen kumaşların teri emme yeteneği ve buharlaşma özelliği kritik önem taşır. Bu sayede, vücuttaki ter ve nemi etkin bir şekilde uzaklaştırarak, nemli bir ortamın yarattığı rahatsızlık ve sağlık risklerini azaltabilir.

Pamuk, akrilik, polyester ve polipropilen lifleri, terin emilmesini ve buharlaşmayı sağlama konusunda farklı avantajlar sunar. Pamuk, doğal bir elyaftır ve yüksek emici özelliğe sahiptir. Akrilik, hafif ve dayanıklı bir sentetik elyaftır ve teri kolayca emer. Polyester, hızlı kuruma özelliği ile bilinir ve teri etkili bir şekilde uzaklaştırır. Polipropilen, hafif ve nem emici özelliği ile teri ciltten uzaklaştırır ve cildin serinlemesini sağlar.

Dokunma Konforu: Dokunma konforu, giysinin cilde temas ettiği an algılanan duyguların bütünüdür. Bu duygular arasında karıncalanma, tahriş, kumaşın solukluk hissi vermesi, lif dökülmesi, bölgesel gevşeklik, nem ve yapışkanlık hissi, yumuşaklık, alerjik tepkiler gibi çeşitli faktörler yer alır.

Yüzeyi pürüzsüz kumaşlar, pürüzlü ve tüylü kumaşlara göre daha çok terli tene yapıştığı saptanmıştır. Bu durum, pürüzlü kumaşta temas yüzeyinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, pürüzlü kumaş ile cilt arasında hava boşlukları oluşması, tenin kurumasını kolaylaştırarak rahatlık hissi sağlar.

Kumaş liflerinin uzunluğu ve yumuşaklığı da dokunma konforunu etkileyen önemli faktörlerdir. Kısa, kaba ve sert lifler, rahatsızlık hissine yol açabilirken, uzun ve yumuşak lifler daha rahat bir his verir.

Ayrıca, giysilerde kullanılan kimyasal maddelerin ve boyaların cilt üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Bazı kimyasal maddelerin giysi üretiminde kullanılması yasaklanmıştır, çünkü cilt üzerinde alerjik reaksiyonlara neden olabilirler.

Doğal liflerin nem emiciliği ve ısı iletkenliği, giysilerin dokunma konforunu olumlu yönde etkiler. Bu avantaj, tüm kumaşlar için geçerlidir ve doğal liflerin giyim ürünlerinde tercih edilme nedenlerinden biridir.

Su İticilik: Su iticilik özelliği, kumaş yüzeyine uygulanan kimyasal apreler sayesinde elde edilebilir. Bu özellik, su damlacıklarının kumaş yüzeyindeki moleküllere çekilmeden kalmasını sağlar ve böylece damlacıkların yuvarlak biçimlerini bozmadan yuvarlanmasını mümkün kılar. Bu sayede, su damlaları kumaş yüzeyinden kolayca kayarak su geçirme etkisi azaltılır veya engellenir.

Pamuklu kumaşlar da su iticilik özelliği kazanabilir. Uygun sıklıkla dokunan pamuklu kumaşlar, belirli bir ısındığında şişer ve gözenekleri tıkayarak su geçirmeyi engelleyebilir. Bu durumda, kumaşın su geçirgenliği azalır ve su iticilik özelliği kazanılır.

Diğer bir örnek olarak, polyester kumaşlar su emmez, ancak suyu içeriye geçirebilir. Su iticilik özelliğini elde etmek için bal mumu veya silikonlu apreler kullanılabilir. Bu apreler, polyester kumaşın su iticilik özelliğini artırır ve su geçirgenliğini azaltır.

Hava Geçirgenliği: Hava geçirgenliği, kumaşın belirli bir birim alanında ve birim zamanda yandan yana geçen hava miktarını ifade eden bir özelliktir. Bu özellik, kumaşın hava akışını ne kadar geçirdiğini ve havanın kumaşın içinden geçişini sağladığını belirler.

Hava geçirgenliği, cm^3/cm^2sn (santimetrekare başına saniyede santimetreküp) cinsinden ölçülür ve birim alanda ve birim zamanda geçen hava hacmini ifade eder. Bu değer, kumaşın hava geçirgenliği özelliğini belirlemek için kullanılır.

Kumaşın hava geçirgenliği, giysilerin hava sirkülasyonunu sağlama yeteneği ve giyen kişinin rahatlık düzeyini etkileyen önemli bir faktördür. Dışarıdan gelen hava akışı, giysilerin içinde sıkışan havanın dışarı atılmasına ve giyen kişinin cildinin serinlemesine yardımcı olur. Bu sayede, giyim ürünleri daha rahat ve konforlu bir deneyim sunar (İlhan, 2002).

Alev Almazlık: Alev almazlık, giysi ve kumaşların yanıcı olma özelliğini ifade eder ve bu özelliği etkileyen bir dizi faktör bulunmaktadır. Bu faktörler şunlardır:

1. Lif seçimi ve kullanılan lif karışımı: Kumaşların yanma davranışı, kullanılan lif türüne ve lif karışımına bağlı olarak değişebilir. Bazı lifler daha kolay yanabilirken, diğerleri daha az yanma kabiliyetine sahip olabilir.
2. Lif ağırlığı ve kumaşın sıklığı: Kumaşın sık dokunması ve yoğun lif yapısı, alev almazlık performansını artırabilir.
3. Yüzeydeki hav ilmek miktarı: Kumaşın yüzeyindeki hav ilmek miktarı, yanma davranışını etkileyen bir faktördür.
4. Kumaşın yüzeyine uygulanan terbiye: Kumaş yüzeyine uygulanan kimyasal terbiyeler, alev almazlık özelliğini artırabilir.
5. Giysi tasarımı: Giysinin tasarımı ve kesimi, yanma davranışını etkileyebilir.
6. Giysinin kullanımdan sonra yıkanması: Giysilerin yıkama işlemi, yanma özelliklerini değiştirebilir.
7. Konpozit yapıda kullanılan materyal çeşidi: Giysilerde kullanılan farklı malzemeler, alev almazlık özelliğini etkileyebilir.

Lif cinslerinin yanabilirliklerini belirlemek için Sınır Oksijen İndeksi (LOI) değeri kullanılabilir. LOI değeri, liflerin yanma kabiliyetini gösteren bir kriterdir, ancak yanma derecesini tespit etmek için tek başına yeterli değildir.

Kumaşın sıkı ve yoğun yapısı, alev almazlık performansını artırırken, hafif ve seyrek dokulu kumaşlar daha kolay tutuşabilir. Kumaş yüzeyindeki lif uçlarının çokluğu da yanabilirlik özelliğini artırırken, çeşitli aprelerle tutuşabilirdik özelliği azaltılabilir.

Vücuda oturan giysiler, bol giysilere göre daha az alev alabilirlik özelliğine sahiptir. Perdeler gibi özellikle iç mekanlarda kullanılan ürünlerde alev almazlık özelliği oldukça önemlidir.

Kaynaklar

1. İlhan, İ. (2002) Kumaş Teknolojisi, Ders Notu Yayınları No: 28, Çukurova Üniversitesi Adana Meslek Yüksekokulu, Adana.
2. Öz, İ. O., Korcan, S. E., & Bulduk, İ. (2018). Tekstil Sektöründe Termal Konfor Ölçümleri ve Alınacak Önlemlerin Değerlendirilmesi. *Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi*, *2*(2), 21-34.
3. Türkay, T., & Gerdan, S. (2022). Ameliyathane Çalışanlarının Termal Konfor Şartlarının Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma. *Ergonomi*, *5*(2), 120-128.
4. Yurtsever, Ö. (2021). Aydınlatma, Termal Konfor, Kişisel Gürültü_X000d_ Ölçümleri: Tekstil Fabrikaları Örneği.
5. Coşkun Beyan, A., Alıcı, N. Ş., Bediz, C., & Çımrın, A. H. (2017). Termal Riskler ve İş Sağlığı.
6. Arıtan, A. E., & Tümer, M. (2017). Yeraltı Linyit Kömür Madeninde Termal Konfor Şartlarının İncelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, *5*(3), 362-369.
7. Şimşek, S., & Hüseyin, U. S. L. U. (2023). Uçak Bakım-Onarım Hangarlarında İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları ve Etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 178-189.
8. Aylin, A. D. E. M., & Dağdeviren, M. (2021). Termal konfor ve metabolik oran eşiti faktörlerini içeren personel çizelgeleme modeli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *36*(1), 303-318.
9. Sancar, M. C., & Güngör, Ş. (2022). *Antalya ili biyoklimatik konfor şartlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı analizi* (Master's thesis, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi).
10. Özdamar, M. (2019). Ofis yapılarında iç mekan konforunun değerlendirilmesi.
11. Olcay, Z. F. (2019). Mutfakta iş sağlığı ve güvenliği. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, *14*(53), 21-34.
12. Ekmekçi, İ. (2017). Kimya Sektöründe Havalandırma Ve İsg Açısından Önemi. *Istanbul Ticaret Universitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *16*(32), 65-76.
13. Yeşilbaş, İ. (2021). *Kırklareli ilinde tarım sektörünün iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmesi* (Master's thesis, Kırklareli Üniversitesi).
14. Sandıkçı, M. C., Yurtsever, Ö., & Rüştü, U. Ç. A. N. (2021). Aydınlatma, Termal Konfor, Kişisel Gürültü Ölçümleri: Tekstil Fabrikaları

Örneği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, *26*(1), 171-186.

15. Kutlu, R. (2018). Çevresel Faktörlerin Mekan Kalitesi Ve İnsan Sağlığına Etkileri. *Turkish Online Journal Of Design Art And Communication*, *8*(1), 67-78.
16. Çağlar, B. (2020). Pandemi Sürecindeki İnsan İçin Tasarım İlkesinin Yapıların İç Mekân Hava Kalitesindeki Önemi. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları Ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, *3*(2), 63-76.
17. Mandıracıoğlu, A., & Özvurmaz, S. (2019). Bir Cam Fabrikasında Çalışanların Verimlilik Ve Termal Konfor Algılarının Değerlendirilmesi. *Verimlilik Dergisi*, (4), 25-35.
18. Karademir, D. (2017). Ab Uyum Süreci Ve İklim Değişikliği Eylem Planı Çerçevesinde Kobi'lerin Termal Konfor Şartlarının Değerlendirilmesi: Ordu İli Mobilya Sektörü Örneği. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, *6*(3), 253-262.
19. Uğurluay, İ. (2019). *Üniversite ve kamu binalarındaki havanın termal konfor ve karbondioksit yönünden incelenmesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
20. Güneyli, C. (2019). *İlköğretim sınıf mekanlarının iç ortam hava kalitesi bakımından değerlendirilmesi* (Master's thesis, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi).

Bölüm 19

Betonarme Binaların Tasarım ve İnşasında Yapılan Yaygın Uygulama Hatalarının Değerlendirilmesi

Özlem ÇALIŞKAN[1]

Ahmet Ferdi ŞENOL[2]

[1] Dr. Öğr. Üyesi; Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ozlem.caliskan@bilecik.edu.tr, ORCID No: https://orcid.org/0000-0002-5272-9552

[2] Öğr.Gör.; Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ahmetferdi.senol@bilecik.edu.tr, ORCID No: https://orcid.org/0000-0002-6663-3340

ÖZET

Türkiye'deki konutların çoğunluğu betonarme binalardan oluşmaktadır. Son yıllarda yaşanan depremler sonrasında yapılan hasar tespit çalışmalarından elde edilen veri ve gözlemler, mevcut betonarme binaların büyük bir bölümünde tasarım, malzeme ve işçilik uygulamaları bakımından hataların yapıldığı, hatalı uygulamaların da binaların depreme karşı performansını azaltarak, yıkım ve can kaybına neden olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, betonarme binaların tasarım ve inşasında yapılan yaygın uygulama hatalarının; tasarım, malzeme ve işçilik uygulamaları bakımından neler olduğu araştırılmış, teknik kural ve yönetmeliklere göre yapılacak doğru uygulamaların nasıl yapılması gerektiği açıklanmıştır. Çalışma sonucunda, betonarme binaların tasarım ve inşasında yapılan yaygın uygulama hataları ve eksikliklerinin, gelecekte yapılacak inşaatlarda; müteahhit, inşaat mühendisi, mimar, tekniker, yapı denetim elemanı ve vasıflı-vasıfsız inşaat işçileri tarafından yapılmasının önlenmesi ve konut sahibi olacak kişilere de farkındalık oluşturabilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, Konut, Yapı tasarımı, Yapı malzemesi, İnşaat

GİRİŞ

Türkiye'deki konut stoğu çoğunlukla betonarme binalardan oluşmaktadır. İmar Kanunu'na (İmar Kanunu, 1985:6681) göre; kendi başına kullanılabilen, üstü örtülü, insanların içine girebildiği, oturabildiği, çalışabildiği, dinlenebildiği veya ibadet edebildiği yapılara bina denilmektir. Ülkemizde giderek artan nüfus ve kentleşme oranı, konut ihtiyacını artırmakta, bu durum da betonarme bina inşa faaliyetlerinin giderek artmasına neden olmaktadır. Artan betonarme bina talebinin karşılanabilmesi amacıyla zamanla yeni inşaat şirketleri kurulmakta ve böylece sektörde çalışan mühendis, tekniker, vasıflı ve vasıfsız inşaat işçi istihdamı da artmaktadır. İnşaat sektöründeki bu büyüme, beraberinde inşaat uygulama hatalarının ve eksikliklerinin de artmasına sebep olabilmektedir.

Yapılan araştırmalardan elde edilen verilere göre; bina inşa uygulamalarındaki hata ve eksikliklerin %90'ı, tasarım ve inşaat aşamalarında yapılan uygulamalardan kaynaklanmaktadır. Bu sorunların başlıcaları; yetersiz bilgi, kontrol, teknik uzmanlık ve tecrübe eksikliği olarak sayılabilmekte (Chakravarthy, 2022:798), bunların neticesinde betonarme binalar, inşa sırasında veya inşası bittikten sonra kendi ağırlığı altında veya deprem kuvvetlerinin etkisi ile yıkılabilmektedir.

Geçmiş yıllarda yapılan yapı denetimsiz yapılaşmalar, deprem tehlikesinin anlaşılamaması ve depreme dayanıklı yapı bilincinin oluşmaması, ülkemiz için gelecekte yaşanabilecek felaketlere kapı aralamıştır. Özellikle, 2000'li yıllardan önce yapılan birçok bina inşası, konut yapıp satan küçük sermayeli müteahhitlerin bir araya gelmesiyle oluşan yapı kooperatifleri aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Kooperatif yöneticiliği veya müteahhitlik yapanların büyük çoğunluğu, mühendislik veya mimarlık mesleklerine sahip değildir. Konut yapım sürecinde aktif olan bu kişilerin çoğunluğu, deprem tehlikesini ve inşa uygulamalarında yapılacak hataların hangi sorunlara yol açabileceğini de tam olarak anlayamamışlardır.

Geçmiş yıllardan günümüze kadar geçen zamanda (1975-2023), inşa edilmiş betonarme binaların hangi teknik koşul ve yöntemlere göre inşa edildiğini değerlendirebilmek amacıyla hazırlanan önemli teknik koşul ve yöntemlerin yıllara göre gelişimi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Emniyetli ve güvenli binaların tasarlanarak inşa edilmesi, yaşanılacak can ve mal kayıplarının azaltılması açısından son derece önemlidir. Farklı tarihlerde yayımlanmış ve güncellenmiş deprem yönetmeliklerinin uygulanması, teknoloji ve malzeme çeşitliliği ile her meslek grubunun üstüne düşen sorumluluğu yerine getirmesiyle, meydana gelmesi muhtemel kayıpların en aza indirilebileceği değerlendirilmektedir.

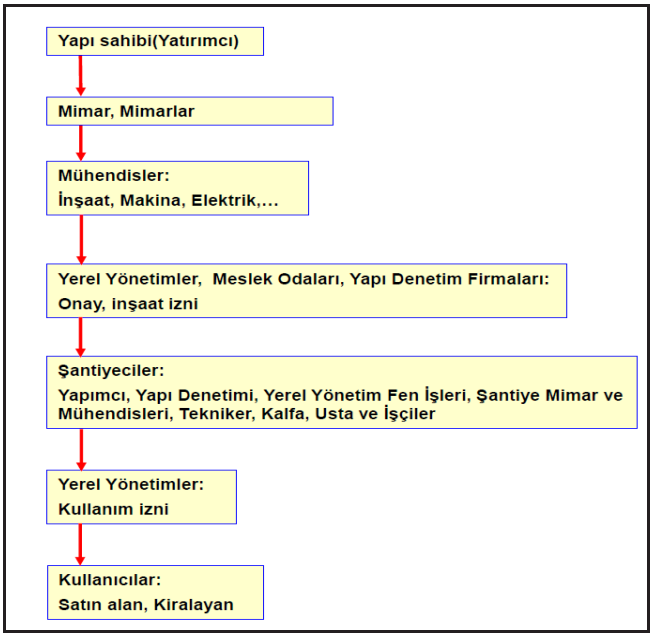
Uygulama ve tarihi	Teknik koşul ve yöntemler
1975 yılında, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, yayımlandı.	Birinci ve ikinci deprem bölgelerinde C18'den daha düşük dayanımda beton kullanılamaz. Sarılma bölgelerindeki etriye kancaları 135 derecelik açı ile bükülmelidir.
1998 yılında, Deprem Yönetmeliği yayımlandı.	Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, C20 veya daha yüksek dayanımlı beton kullanılması zorunludur. Deprem etriyelerinin her iki ucunda mutlaka 135 derece kıvrımlı kancalar bulunacaktır. Dikdörtgen kesitli kolonların en küçük boyutu 25 cm'den daha az olmayacaktır. Sarılma bölgelerinde Ø8'den küçük çaplı enine donatı kullanılmayacaktır.
2000 yılında, TS500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları yayımlandı.	Betonarme yapılarda nervürsüz donatı kullanımı yasaklandı. Etriye ve çiroz donatısı ile döşeme donatısı dışında, nervürsüz donatı çeliği kullanılamaz.
2001 yılında, Yapı Denetim Uygulaması başladı.	19 il pilot olarak seçilmiş ve yapı denetim şirketleri kurularak uygulamaya geçilmiştir.
2002 yılında, TS EN 206-1 yayımlandı.	Hazır betonun; özellik, performans, imalat ve uygunluk standardı yayımlanmıştır.
2004 yılında, ilgili Bakanlığın 248 sayılı genelgesi yayımlandı.	Elle beton dökümünün yasaklanmasıyla hazır beton kullanımı zorunlu hale gelmiştir.
2007 yılında, Deprem Yönetmeliği yayımlandı.	Deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda C20'den daha düşük dayanımlı beton kullanılamaz.
2011 yılında, Yapı Denetim Uygulaması zorunlu oldu.	Bütün illerde Yapı Denetim uygulanması zorunlu olmuştur.
2018 yılında en son Deprem Yönetmeliği yayımlandı.	Kolonlarda minimum en kesit boyutları artırılarak dikdörtgen kesit için 25 cm'den 30 cm'ye çıkartıldı. Tüm yapılarda en az C25 beton sınıfının kullanılması zorunlu hale getirildi.
2019 yılında, Elektronik Beton İzleme Sistemi (EBİS) uygulaması başlatıldı.	İnşaatlarda kullanılan hazır betonun denetimini yapmak amacıyla; beton numunelerine yerleştirilen çiplerin, elektronik ortamda takibi sağlanarak, çiplere ya da deneylerin gerçekleştiği cihazlara Bakanlık bilgisi veya izni dışında herhangi bir müdahale yapılamaması ve sonuçların doğrudan yazılım sistemine aktarılması sağlanmıştır.

Şekil 1: Teknik koşul ve yöntemlerin yıllara göre gelişimi.
Kaynak: Şenol, 2023.

Bu çalışmanın amacı, betonarme binaların tasarım ve inşasında yapılan uygulama hatalarını; malzeme ve işçilik hataları bakımından yönetmeliklere, fen ve sanat kurallarına göre incelemek, nedenlerini kamuoyuna duyurmak ve böylece gelecekte olması muhtemel hataların; müteahhitler, inşaat mühendisleri, mimarlar, teknikerler, yapı denetim elemanları ve vasıflı-vasıfsız inşaat işçileri tarafından yapılmasını önlemektir. Ayrıca, inşa konusunda uzmanlığı bulunmayan konut sahibi olacak kişilere de farkındalık oluşturabilmesi amaçlanmaktadır.

BETONARME BİNALARIN TASARIM VE İNŞASINDA YAPILAN UYGULAMA HATALARI

Bir binanın ortaya çıkması Şekil 2'de verilen aşamaları içermektedir. Bu kadar çok ve farklı meslek gruplarının yer aldığı bir üretimde yapılacak hatalar binanın kaderini belirleyecektir. Her meslek grubu üstüne düşen sorumlulukları yerine getirdiği takdirde emniyetli ve güvenli bir binadan söz edilebilir.



Şekil 2: Bir yapının ortaya çıkma aşamaları.
Kaynak: Topçu, Betonarme II ders notları.

TASARIM UYGULAMALARINDAKI HATALAR

Mimari projesi çizilmiş bir binanın tasarım aşamasında statik-betonarme projeleri oluşturulmalıdır. Bu aşamalar; ön hazırlık, kat kalıp planları, döşeme hesapları, kiriş yükleri, kiriş ve kolonların düşey ve yatay yükler altında statik hesapları, kirişlerin, kolonların/perdelerin, temel ve merdiven statik-betonarme hesapları ve çizimlerini kapsamaktadır. Bu aşamada karşılaşılan hatalar aşağıda açıklanmıştır.

Mimari Hatalar

Bu hatalar; mimari projeyi çizecek mimarın, binanın yapılacağı arsayı gidip yerinde görmemesi, sadece kağıt üzerinden projeyi yerleştirmeye çalışması, yapı sahibinin isteklerini yerine getirebilmek için düzensiz yapıların oluşumuna izin vermesi, mimar-inşaat mühendisi işbirliğinin olmayışı ve mimarın yapısal düzensizlikler ile statik-betonarme konularında bilgi eksikliğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Tasarım Aşamasında Yapılan Hatalar

Projenin en önemli aşaması yapının taşıyıcı sisteminin belirlenmesidir. Seçilecek taşıyıcı sistem binanın kaderini belirler. Bu nedenle gereken zaman

ayrılmalı, aceleye getirilmemelidir. Taşıyıcı sistemi seçmek, kolon/perde, kiriş ve döşemelerin yerlerini ve boyutlarını belirlemek inşaat mühendisinin sorumluluğundadır. Yanlış ve kötü bir taşıyıcı sistemi olan yapıyı hiçbir ince hesap kurtaramaz. Taşıyıcı sistem seçilirken binanın yapılacağı bölge ve zeminin durumuna, binanın kullanım amacı dikkate alınarak salt çerçeveli, salt perdeli veya karma (perde-çerçeveli) sistemlerden biri seçilmelidir. Seçilen bu sistemler binada yapısal düzensizliklere yol açmamalıdır.

Düzensiz taşıyıcı sistem; iç kuvvetlerin yapı içinde dolanmasına, giderek büyümesine ve zayıf noktalarda hasara neden olan taşıyıcı sistem türüdür. Düzenli bir taşıyıcı sistemde kuvvetler bina içinde dolandırılmadan temele oradan da zemine aktarılmalıdır. Fazladan dolaşan her kuvvet, ilave moment ve kesme kuvveti oluşturacaktır. İyi taşıyıcı sistem seçiminde temel kural: "Düşey olsun yatay olsun, yükler en kısa yoldan temele ulaşmalı, yapı içinde dolanmamalıdır!" (Topçu, Betonarme II ders notları).

İstenmeyen düzensizlikler; döşeme süreksizliği, planda girinti-çıkıntı olması, burulma düzensizliği, taşıyıcı eleman eksenlerinin birbirine paralel olmaması, zayıf kat (komşu katlar arası dayanım farklılığı), yumuşak kat (komşu katlar arası rijitlik farklılığı), kiriş ve kolonların süreksizliği, kısa kolon, saplama kiriş şeklindedir.

Düzensizlerin oluşma nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Yapı sahibinin istekleri,
- Arsanın düzensizliği,
- Mimarın deneyimsizliği, sadece fonksiyonelliği ve estetik görüşü önemsemesi,
- Mimar ve mühendis işbirliğinin yoksunluğu,
- Mühendisin deneyimsizliği, taşıyıcı sistem seçimine yeterli zaman ayırmaması, mimari nedenlerle çaresiz kalması,
- Mühendisin kullandığı programlara aşırı güvenmesi,
- Uygulayıcıların projeye uymaması,
- Kalfa ve ustaların "Ben bu işi yıllardır yapıyorum, daha iyi bilirim" savı,
- Denetim yetersizliği,
- Yapı sigorta sisteminin bulunmayışı,
- Yasaların yetersiz kalması veya uygulanmayışı ile kişisel çıkar kaygılarıdır (Topçu, Betonarme II ders notları).

Planda ve düşeyde düzensizlik durumları ile ilgili hükümler 1998 yılında yayımlanan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) ile açıklanmış ve daha sonraki 2007-Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik ile 2018-Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde de yerini almıştır.

Taşıyıcı Sistem Seçiminde Yapılan Hatalar

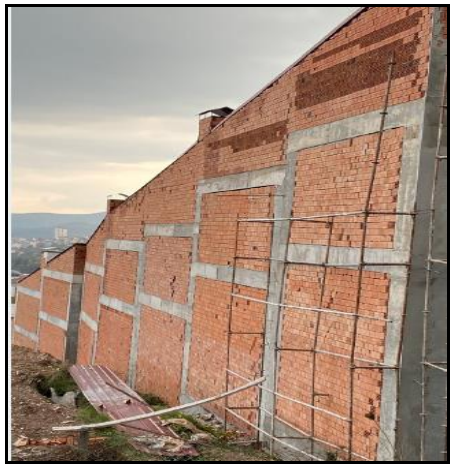
Kolon/perdelerin aynı yönde olması; Binaların zemin katlarının ticarethane olarak tasarlanması ve taşıyıcı sistem bilgisi eksikliğinden dolayı daha geniş açıklıklar oluşturulmak istenilmektedir. Bundan dolayı kolon/perdeler aynı yönde yapılmakta (Şekil 3), zemin katta devam ettirilmemekte veya duvarlar örülmemektedir.

Şekil 3: Kolon/ perdelerin tümünün aynı yönde olması.

Asma kat yapılması; Bina alanının tümüne yayılmayan dolayısıyla döşeme süreksizliğine sebep olan asma katlar aynı zamanda kısa kolon oluşumuna, bölgesel zayıflığa, deprem kuvvetlerinin sistemde aktarımının zorlaşmasına ve yapının burulmasına neden olmaktadır (Şekil 4).

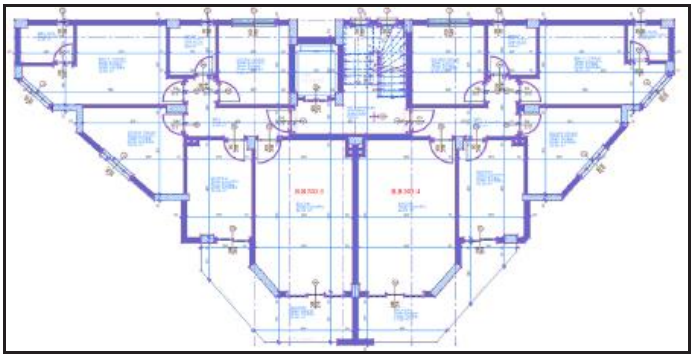
Şekil 4: Asma kat oluşumu.

Kısa kolon oluşumu; Binaların projelendirme aşamasında oluşturulan kısa kolonlar yüksek rijitliğe ve düşük sünekliğe sahip olan yapı elemanlarıdır. Kısa kolonlar yapıda gevrek bir göçme şekli olan kesme kırılması meydana getirirler. Eğimli arazilerde temellerin farklı seviyelerde yapılması, kat kirişlerinin süreksiz olması, merdiven sahanlıkları, binada asma kat bulunması kısa kolon oluşumuna neden olur (Şekil 5).



Şekil 5: Kısa kolon oluşumu.

Çarpık arsa, çarpık mimari, çarpık taşıyıcı sistem; Binanın yapılacağı arsanın şeklinin düzgün olmayışı ve arsadan maksimum şekilde faydalanmak istenilmesinden dolayı taşıyıcı elemanların eksenlerinin birbirine paralel olmadığı düzensiz taşıyıcı sisteme sahip binalar ortaya çıkmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6: Çarpık arsa, çarpık mimari, çarpık taşıyıcı sistem.

Kademeli temel, karma temel, farklı kat seviyesi; Eğimi fazla olan arsalarda inşa edilen yapıların temelleri kademeli olarak yapılmakta, bu temeller birbirlerine düzenli olarak bağlanmamaktadır (Şekil 7).

Şekil 7: Kademeli temel.

Bitişik nizam; İnşa edilen binaların arasında yeterli deprem derzinin bırakılmamasından dolayı binalar birbirine hasar verebilmektedir (Şekil 8). Deprem kuvvetlerinin etkisi ile bitişik nizamdaki binalar birbirine vurarak çekiçleme etkisi oluşturabilirler. Binaların katları da aynı seviyede değilse meydana gelen çarpma etkilerinin artması, binaların yıkılmasına sebep olabilir. 1997, 2007 ve 2018 Türk Deprem Yönetmeliklerinde deprem derzleri ile ilgili olarak "Bırakılacak minimum derz boşluğu, 6 m yüksekliğe kadar en az 30 mm olacak ve bu değere 6 m'den sonraki her 3 m'lik yükseklik için en az 10 mm eklenecektir." denilmektedir. Yönetmelikte verilen bu değerler tasarım aşamasında dikkate alınmalıdır.

Şekil 8: Bitişik nizam kaynaklı çekiçleme etkisi ve arada kalan yapının çökme öncesi ve sonrası.

Yumuşak kat / Zayıf kat; Binaların giriş katlarının dükkan olarak tasarlanmasından dolayı giriş katlarının kat yükseklikleri normal kat yüksekliğinden daha fazla yapılmakta (yumuşak kat) ve zemin kat duvarları (zayıf kat) örülmemektedir (Şekil 9).

Zemin katlarda dolgu duvarlarının olmadığı durumlarda, kolonlara gelen kesme kuvvetlerinin beklenenden daha yüksek oluştuğu, bunlara ilaveten; zemin kat yüksekliğinin diğer katlardan daha yüksek olması ve geniş konsolların kullanılmasının da bu kuvvetleri artırmasıyla, kolonlarda yanal deformasyon kapasitesinin üstünde oluşan hareketlerin kırılmalar meydana getirdiği ve bu durumun da binanın çökmesine neden olabildiği değerlendirilmektedir (Şenol, 2023:77).

Şekil 9: Yumuşak kat etkisi ile zemin kattaki çökme öncesi ve sonrası.

Çıkmalı yapı; Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu şeklinde tanımlanmaktadır (TBDY, 2018). Çıkmalı yapıda oluşan süreksizlik ve çatlaklar Şekil 10'da verilmiştir.

Şekil 10: Çıkmalı yapıda oluşan süreksizlik ve çatlaklar.

Zemin kat inşa alanının üst katların alanından küçük olduğu yapılar ülkemizde çok yaygın olarak yapılmaktadır. Binanın metrekaresini artırmak ve alan kazanmak amacıyla yapılan çıkmalı binalar taşıyıcı sistemde süreksizlik oluşturduğu için düzensizliğe sebep olmaktadır.

Çekme kat/ Çatı katı; Plandaki alanı normal kat alanından daha küçük olan kata çekme kat denilmektedir. Alt katları betonarme olan binada bu katlar yığma veya ahşap yapılmaktadır. Çekme veya çatı katları normal katlar ile uyumlu tasarlanmadığında ve aynı malzeme ile yapılmadığında; binanın rijitlik ve ağırlık merkezinin kaymasına, katlar arası rijitlik farklılığına ve burulma düzensizliği oluşmasına sebep olmaktadır (Şekil 11).

Şekil 11: Binanın ağırlık merkezine yerleştirilmeyen çekme kat.

Saplama kiriş; Emniyetli ve güvenli bir taşıyıcı sistemde kirişin her iki ucu kolona oturmalıdır, böylelikle tasarım yükü en kısa yoldan kolona aktarılmış olur. Kolonun olmaması saplama kiriş oluşumuna sebep olur. Bu durumda kimin kimi taşıdığı kirişlerin rijitliklerine bağlıdır ve her zaman tam olarak belirlenemez. Taşıyıcı sistem belirlenirken birbirine çok yakın kolonların olması veya kolonun merdivene, pencere/kapıya denk gelmesi durumunda kolonun kaldırılması ile saplama kirişler oluşabilmektedir (Şekil 12). Saplama kiriş oluşumundan kaçılamıyorsa tasarımda dikkat edilecek hususlar projeci tarafından bilinmelidir. En kötü ve kesinlikle yapılmaması gereken durum, saplaması olan bir kirişin başka bir kirişe saplanmasıdır. Kirişin kolon civarında başka bir kirişe saplanması çok daha kötü bir durumdur (Topçu, Betonarme II Ders Notları) (Şekil 13).

Şekil 12: Saplama kiriş.

Şekil 13: Kolon civarında saplama kiriş.

Yapışık kirişler; Mimarların 20-30 cm yer kazanabilmek amacıyla tüm dış cephe duvarlarını kolonlar dışına çizmekte ve bu isteğe uyan mühendisler de cephe kirişlerini kolonlar dışına yerleştirmektedirler (Şekil 14).

Şekil 14: Kolonlara oturmayan yapışık kirişler.
Kaynak: Topçu, Betonarme II Ders Notları.

Kiriş-kolon bağlantısının zayıf olduğu bu binalarda çerçeve davranışından bahsedilemez. Hesaplamalarda ise bu durum göz önünde bulundurulmaz.

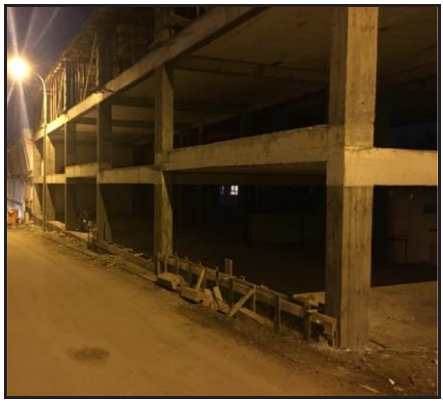
Aydınlık boşluğu; Aynı katta çok daireli binalarda bazı hacimlerin ışık alabilmesi için bırakılan boşluklardır. Bu boşluklarda; döşemeler ve bazen de kirişler devam ettirilmez (Şekil 15). Kirişler devam ettirilmediği için süreksizlik dolayısıyla düzensizlik oluşturacaktır.

Şekil 15: Aydınlık boşluğunda devam ettirilmeyen kirişler.

Alt-üst kolon düşey aksı çakışmazlığı; Tasarım aşamasında; yapı yüksekliğince kolon kesitinin küçültülmesi/büyütülmesi, kolon yönünün değiştirilmesi veya uygulama aşamasında aksların düzgün bir şekilde oturtulmayışından dolayı dış merkezliğe sebep olmakta ve hesaplarda dikkate alınmayan ek kuvvetler doğurmaktadır (Şekil 16).

Şekil 16: Çakışmayan kolon aksı ve süreksizlikler
Kaynak: Topçu, Betonarme II Ders Notları.

Kirişlerde süreksizlik; Emniyetli ve güvenli bir taşıyıcı sistemde yükler yapı içerisinde dolandırılmadan en kısa yoldan temele aktarılır. Dolanan her kuvvet ilave yük etkileri (moment, kesme kuvveti vb.) oluşturacaktır. Şekil 17'de süreksiz kirişlere örnek verilmiştir. Hesaplamalarda bu durum dikkate alınmadığında yapı, kendi ağırlığı altında bile zorlanacaktır.

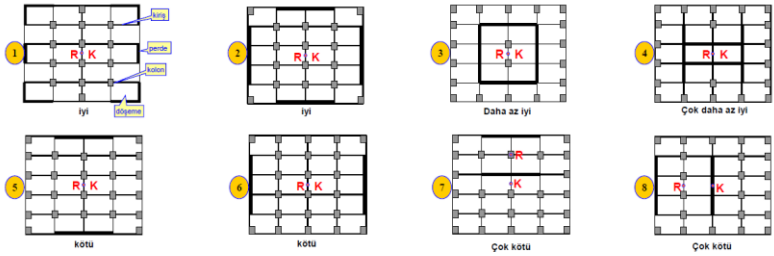


Şekil 17: Kirişlerde süreksizlik.

Kuvvetli kiriş-zayıf kolon; Yüklerin emniyetli bir şekilde aktarılabilmesi için kolonların kirişlerden daha güçlü olması istenmektedir. Kuvvetli kiriş-zayıf kolon durumundaki yapıların kirişleri, dinamik yüklerin oluşturduğu momentlere, zayıf kolonlara göre daha fazla direnç gösterirler. Böylece kirişler elastik davranış gösterirken kolonlarda kesme etkisi oluşarak kırılma meydana gelebilir. Binalarda istenmeyen bu düzensiz tasarım şekli Şekil 18'de görülmektedir.

Şekil 18: Kuvvetli kiriş-zayıf kolon durumu.
Kaynak: Topçu, Betonarme II Ders Notları.

Perde yerleşimi ve alanı; Tasarımda bina için gerekli perde alanı belirlenip binada düzensizlik oluşturmayacak şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Perde yerleşimi son derece önemlidir. Her iki yönde de simetrik olarak yerleştirilmeyen perdeler, yapıya yarardan çok zarar verecektir. Şekil 19'da 8 farklı perde yerleşim detayı verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere binaya sadece perde ilave etmek yeterli olmayıp, bunların yerleri ve yönleri de çok önemlidir.



Şekil 19: Farklı perde yerleşimleri
Kaynak: Topçu, Betonarme II Ders Notları

MALZEME UYGULAMALARINDA YAPILAN HATALAR

Betonarme bina inşaatlarının statik projelerinde belirlenen hazır beton ve çelik donatı dayanımlarına kesinlikle uyulmalıdır. Standartlara uygun olmayan donatı kullanımı ile yetersiz uzamalar oluşabileceği ve böylece donatının çekme dayanımının düşerek gevrek kırılmaların da görüleceği (Şekil 20) değerlendirilmektedir.

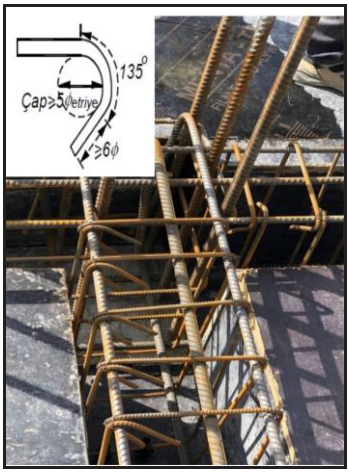
Şekil 20: a) Standartlara uygun malzemedeki uzama ve kopma, b) standartlara uygun olmayan malzemedeki gevrek kırılma.

Donatılardaki Uygulama Hataları ve Eksiklikler

Son yıllarda yıkılan binalar üzerinde yapılan hasar tespit işlemleri ile inşaat aşamasındaki şantiye denetlemelerinde; yapı elemanlarının enine donatı detaylandırmasında eksik malzeme, projeye uygun olmayan farklı çap ve boyutlarda donatı, standartlara uygun olmayan malzeme ve uzun süre açıkta beklemiş paslı çelik donatıların kullanıldığı tespit edilmektedir. Enine donatıların yetersiz yerleştirilmesi, depremlerden sonra en çok karşılaşılan hasar nedenini oluşturmaktadır.

En son yayımlanan Türkiye Deprem Yönetmeliklerinde de belirtildiği üzere, betonarme yapılardaki her bir kolonun alt ve üst uçlarında özel sarılma

bölgelerinin oluşturulması gerektiği ve bu bölgelerdeki etriyelerin sık aralıklarla yerleştirilerek, etriye kancalarının 135º'lik açılar ile bükülmesi gerektiği (Şekil 21) bildirilmektedir. Ancak hasarlı binalarda yapılan gözlemlerde; ağır hasar alan ve yıkılan binaların çoğunluğunda bu kurallara riayet edilmediği, sarılma bölgelerinde etriye sıklaştırmasının yapılmadığı ve özellikle etriye kancalarının 90º'lik açı ile büküldüğü gözlemlenmiştir (Şenol, 2023:75).

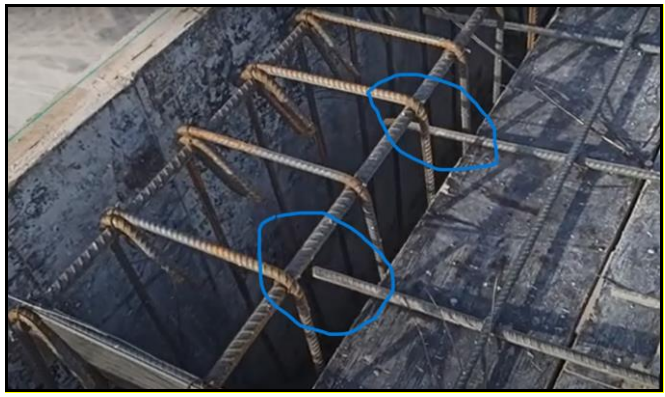


Şekil 21: Enine donatıların yerleştirilmesi ve kancaların 135º bükülmesi.

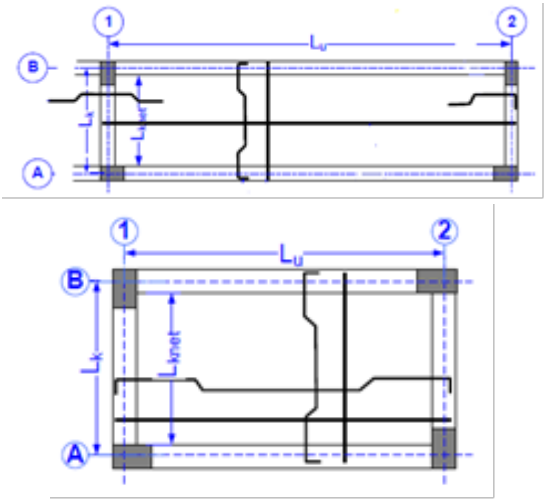
Boyuna donatıların bindirme boyları ve kolon filiz boyları yönetmeliklere (TS 500) uygun olarak yapılmalıdır. Aynı sıradaki donatı çubukları arasındaki net aralık, donatı çapından, maksimum agrega çapının 4/3'ünden ve 25 mm'den az olamaz. Bu sınırlar bindirmeli eklerin bulunduğu yerlerde de geçerlidir. Donatılar arasındaki bu aralıklara dikkat edilmediğinde (Şekil 22), beton dökümü sonrasında donatılar arasında boşluklar oluşmaktadır. Ayrıca, fazla hurda çıkmasın diye donatı boyları gerektiğinden daha kısa bırakılmamalı, statik projelerine uygun olarak yerleştirilmelidir. Bununla birlikte betonun yerleştirilmesi sırasında donatıların konumlarının yer değiştirmemesi için etriyeler donatılara tel ile bağlanarak kontrol edilmelidir.

Şekil 22: Donatı aralıklarının çok sık yerleştirilmesi (max. agrega boyutundan düşük aralık).

Döşeme-kiriş bağlantılarında, döşeme donatılarının kiriş içine kısa uzatılması ve gönye yapılmaması sonrasında oluşan uygulama hataları Şekil 23'te verilmiştir. Bir ve iki doğrultuda çalışan döşemeler için olması gereken donatı düzenlemesi Şekil 24'te gösterilmiştir.



Şekil 23: Döşeme – kiriş bağlantılarındaki donatı birleşim hataları.



Şekil 24: Bir ve iki doğrultuda çalışan döşemelerde donatı düzenlemesi.
Kaynak: Topçu, Betonarme II Ders Notları.

Ses ve Isı Yalıtımında Uygun Malzeme Kullanılmaması

Binaların inşasında projeye uygun olmayan ölçülerde ara duvar malzemeleri kullanımı ile daireler arasındaki ses yalıtımı yeterli uygunlukta yapılamamaktadır. Özellikle komşu daire duvarları arasında kullanılması gereken çift sıra tuğla ve iki tuğla duvar arasında izolasyon malzemelerinin kullanılmaması neticesinde, komşu binalar arasında ses yalıtım problemleri oluşmaktadır. Aynı şekilde dış duvarlarda ve çatıda ısı yalıtımı içinde gerekli yalıtım malzemelerinin kullanılmaması sonrasında ısı transfer problemleri oluşmaktadır. Ses izolasyonunun seviyesi çoğu zaman yapı denetim personeli, şantiye şefi ve müteahhitler tarafından kontrol edilmemektedir. İzolasyon hataları, binaların satışı sonrasında tespit edilmekte ve telafisi yüksek maliyetler oluşturmaktadır.

İŞÇİLİK UYGULAMALARINDA YAPILAN HATALAR

Yetersiz Pas Payı Bırakılması

Betonarme binaların kolon ve kirişlerinde görülen paslanmış, korozyona uğramış, dökülen demir donatı parçalarının sebebi pas payı kullanılmaması ve taze beton dökülürken uygun vibrasyon yapılmamasıdır. Pas payları; temelde, kolonlarda, kirişlerde ve döşemelerde farklı büyüklüklerde kullanılmalıdır (Şekil 25).

Şekil 25: Pas payı yerleştirilmesi ve kontrolü.

Günümüze kadar yapılan birçok araştırma, yapı denetimi ve deprem sonrasındaki hasar tespit çalışmalarına göre; betonarme yapı elemanlarındaki donatı çubuklarının yerleştirilmesinde yeterli pas paylarının (1,5-5 cm) bırakılmadığı, çelik donatıların eleman yüzeyine çok yakın yerleştirilmeleri veya beton dökümünden önce kalıpla donatı arasındaki pas paylarının yerleştirilmemesinden kaynaklı işçilik hatalarının yapıldığı tespit edilmektedir. Bu durum sonucunda donatının etrafında yer yer yetersiz beton örtüsü oluşmakta, maksimum agrega dane boyutundan daha dar olan pas payları bırakılması sonucunda, bu aralıklarda beton geçemediğinden, sökülen kalıplar sonrasında beton yüzeyinde boşluklar oluştuğu görülmektedir. Kalıbın çıkartılması ile tespit edilen bu boşluklar, işçiler tarafından gelişi güzel çimento harcı ile kapatılarak tamir edilmektedir. Bu durum; birkaç yıl sonraki nem, rutubet ve su etkisi ile yapı elemanlarının donatı çubuklarında korozyonlar oluşturarak binanın taşıyıcı sisteminin zayıflamasına sebep olmaktadır.

Enine Donatıların Uygun Yerleştirilmemesi

Bu durum genellikle, işçilerin projeye göre enine donatı hazırlamamasından, projedeki enine donatı yerleştirme aralıklarına uyulmamasından, etriyelerin uçlarının 135º'lik kancalar şeklinde bükülmek yerine 90º veya hiç bükülmeyerek düz bırakılmasından ve şantiye mühendisleri ile yapı denetim personelinin kontrol eksikliğinden kaynaklanmaktadır.

Hazır Beton Dökümü ve Sonrasındaki Uygulama Hataları

Yapı elemanlarına ve özellikle sık donatıların bulunduğu kiriş-kolon birleşim bölgelerine dökülecek hazır beton, mümkün olduğunca vibratör kullanılarak (Şekil 26) iyice sıkıştırılmalı, beton içinde boşluk bırakılmamalıdır. Dalgıç vibratörler kullanıldığında, doğrudan donatıya ve kalıba dokundurulmamalı, bu durumun donatı çevresinin çimento şerbeti ile kaplanmasıyla da aderans kaybı oluşturacağı bilinmelidir.

Beton dökümü sırasında işlenebilirliği artırmak amacıyla, taze betona su ilave edilmesinden kaçınılmalı, bu durumun agrega-çimento hamurunda ayrışmalar (segregasyon) oluşturacağı ve beton dayanımlarını düşüreceği bilinmelidir.

İnşaatlarda, betonu yerleştirip sıkıştırmakla görevlendirilen işçiler özellikle kuru kıvamlı betonu yerleştirmeyi sevmezler. Taze betonu kolay işlemek veya pompalama işini kolaylaştırmak için, beton dökümü sırasında hazır betona gizlice ve gereksiz olarak ek su verme eğiliminde olurlar. Bu durumda beklenen dayanım sağlanamaz. Betonu teslim alan kişinin bu çok tehlikeli durumu önlemesi gerekmektedir (Topçu, Betonarme 1 ders notları).

Taze betonun yerleştirilme işlemine başlandığında bu işlemin yarıda kalmaması gerekmektedir. Aksi takdirde, önceden yerleştirilmiş ve sertleşmiş betonun yüzeyi ile üzerine yerleştirilen taze betonun yüzeyi arasında yeterli bağ (aderans) oluşmayarak "soğuk derz" adı verilen durum oluşur. Bunun önlenmesi için sipariş edilecek hazır betonun miktarı iyi hesaplanmalıdır. Taze betonun yerine yerleştirilmesi işlemi en fazla 60 cm. yüksekliğindeki tabakalar halinde ve pompa ucunun yerden çok yüksekte (max 1,5 m olmalı) tutulmadan dökülmesine (segregasyona sebep olmamak için) dikkat edilerek yapılmalıdır (Erdoğan, 2005:331).

Yapılan hasar tespit çalışmalarında, 2000'li yıllardan sonra inşa edilmiş ve hazır beton kullanılmış betonlarda bile bazı yapı elemanlarının birleşim yerleri ve köşelerinde segregasyon oluşarak (Şekil 27) yer yer boşlukların bulunduğu tespit edilmektedir.

Şekil 26: Hazır beton dökümü ve vibratör ile sıkıştırılması.

Şekil 27: Yetersiz sıkıştırma ile oluşan segregasyonlar

Beton dökümünde, hava şartları da (yoğun yağış, aşırı sıcak veya soğuk) göz önünde bulundurulmalı ve en uygun hava şartlarında beton dökülmelidir. Betonarme binaların inşasında, yerine yerleştirilen hazır beton, döküldükleri günden itibaren en az 7 gün süreyle ıslak küre tabi tutulmalıdır. Betona ıslak kür uygulanması, erken kuruma rötresini en aza indirerek beton dayanımının gelişmesini sağlamaktadır. Böylece, 7 gün süre ile kür edilen betonlar 28 günlük dayanımlarının en az %70'ine ulaşabilmektedir. Şantiyelerde, en çok yapılan hatalardan biri de, bir üst katta kullanmak amacıyla beton kalıplarının erken sökülmesidir. Betonun en az 3 gün sürede sertleşip, yeterli dayanım kazandıktan sonra yapılacak testlerle dayanımları belirlenmeli ve daha sonra kalıpları sökülmelidir.

Taşıyıcı Sistem Üzerinde Yapılan Montaj İşlemleri

Son yıllarda meydana gelen depremler sonrası yapılan hasar tespit incelemelerinde, bazı betonarme binaların taşıyıcı sistemleri üzerinde kesim ve delme işlemleri yapılarak, atık su gider borularının, elektrik ve su tesisatlarının gömüldüğü tespit edilmiştir (Şekil 28). Tesisatçılar tarafından bilinçsizce yapılan montaj işlemleri ile gider borusu ve tesisatlarının, kolon ve kirişlerin etrafından dolaştırılması yerine gizlemek amacıyla kolon ve kiriş betonlarının kırılarak içinden geçirildiği, bu işlem sırasında donatıların da kesildiği ve tesisat borularının gömülerek, çevresinin harç veya alçı ile kapatıldığı gözlemlenmiştir. Bu işlemler, binanın taşıyıcı yapı elemanlarının dayanımını düşürerek binanın en düşük deprem kuvvetinde bile ciddi hasar almasına yol açabilmektedir. Bu gibi durumlarla karşılaşıldığında, binanın taşıyıcı sisteminin incelenerek, gerekiyorsa güçlendirme uygulamalarının yapılması gerektiği bilinmelidir.

Şekil 28: Taşıyıcı sistem üzerinde yapılan montaj işlemleri.

SONUÇ

Betonarme binaların tasarım ve inşasında yapılan yaygın uygulama hatalarının değerlendirildiği bu çalışmada, betonarme binaların tasarımından inşa edilip teslim edilmesine kadar geçen sürede; müteahhitler, inşaat mühendisleri, mimarlar, yapı denetim elemanları, teknikerler, ustalar, vasıflı ve vasıfsız işçilerin yapmış olduğu yaygın hataların neler olduğu tespit edilerek değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki maddelerde özetlenmiştir. Buna göre;

- İnşa aşamasındaki betonarme binaların yeteri kadar denetlenmemesi, üretimden sorumlu teknik personelin yeterli tecrübe ve bilgiye sahip olmaması ve bunlara ilave olarak işçilik hatalarının da bulunması sonucunda inşa edilecek binanın dayanım ve dayanıklılık performansı düşmekte, yapılan hataların düzeltilmesi için hem maddi hem manevi bir yük oluşarak inşaatın tamamlanma süresi de uzamaktadır.
- Taşıyıcı sistem seçiminden dolayı oluşan düzensizliklerin oluşturduğu etkiler, uzman personel tarafından çok iyi bilinmeli ve bu etkileri azaltıcı tedbirler, tasarım ve imalat aşamasında dikkate alınmalıdır.
- Planda ve düşeyde düzensizlik durumları ile ilgili hükümler, 1998-ABYYHY ile açıklanmış ve sonraki 2007-DBYBHY ve 2018-TBDY'de de yerini almıştır. Düzensizlik ile ilgili bilgiler 1998 yılından itibaren bilinmesine rağmen hala düzensizlik içeren yapıların inşa edildiği tespit edilmektedir.
- İnşaat mühendisleri tarafından, kendilerine getirilen her mimari proje kabul edilmemeli, projeler detaylı incelenerek varsa tasarım düzensizliklerine müdahale edilmeli ve gerekli düzeltmeler teklif edilmelidir.

- Betonarme binaların inşasında görev alan inşaat mühendisleri, mimarlar, teknikerler, ustalar ve inşaat işçilerinin; özellikle donatı yerleşimi ve beton uygulamaları konularında ilgili bakanlık kurumları veya eğitim kurumları tarafından belirli sürelerde tazeleme eğitimlerinden geçirilerek hatalı uygulamalar konusunda bilgilendirilmelidir.

REFERANSLAR

Chakravarthy, P. K. (2022). Behaviour of retrofitting in reinforced concrete structures. Materials Today: Proceedings, 69, 798-803.

Erdoğan, T. Y. (2013). Beton, Dördüncü B. Ankara: ODTÜ Yayıncılık.

İmar Kanunu (1985, 9 Mayıs). Resmi Gazete (Sayı:18749) Erişim adresi: https://mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=3194&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5

Şenol, A. F. (2023). Kahramanmaraş Depremleri (6 Şubat 2023) Sonrası Hatay İlindeki Yapıların Hasar Durumlarının Değerlendirilmesi. *In International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences (Vol. 1, pp. 75-80) Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

TBDY, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

Topçu, Ahmet. Betonarme I ders notları, https://drive.google.com/drive/folders/16zp6wMJGCC8xbryRYpmyNdqWEiCugE2A adresinden 17 Ağustos 2023 tarihinde alınmıştır.

Topçu, Ahmet. Betonarme II ders notları, https://drive.google.com/drive/folders/1MoeeHM_GEl7-8e-pR1zYDfmgl6lJqI3B adresinden 17 Ağustos 2023 tarihinde alınmıştır.

TS 500, (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

Bölüm 20

Açık Deniz Üzeri Yüzer Rüzgâr Türbini Platform Konseptleri[1]

Selahattin Alp ERKURTULMUŞ[2]

1 Bu çalışma Dr. Öğr. Üyesi Emre PEŞMAN danışmanlığında 03.10.2022 tarihinde tamamladığımız "Yüzer Açık Deniz Rüzgâr Türbinleri Hareket Analizi ve Performans Üzerinde Etkisi" başlıklı doktora tezi esas alınarak hazırlanmıştır (Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Ünivesitesi, Trabzon, Türkye, 2022). / This article extracted from my doctorate dissertation entitled "Floating Offshore Wind Turbines Motion and Its Effect on Performance", supervised by Assistant Prof. Dr. Emre PEŞMAN (Ph.D. Dissertation, Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkıye, 2022).

[2] Öğr. Gör. Dr.; Yalova Üniversitesi Altınova Melek Yüksekokulu Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü Gemi İnşaatı Programı.
alp.erkurtulmus@yalova.edu.tr ORCID No: 0000-0001-5129-7228

Özet

Rüzgâr enerjisi, elektrik üretimi için yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak dünya çapında sıkça tercih edilmektedir. Her geçen gün artan enerji ihtiyaçları da farklı kaynak arayışına sebep olmaktadır. İklim etkileri ve denizlerdeki rüzgâr potansiyelinin karalara göre daha fazla ve verimli olması nedeniyle açık deniz üzeri rüzgâr türbini ve santrallerinin sayısı ve ölçeği giderek artmaktadır. Ülkemizin üç tarafının denizlerle çevrili olması ve çağın gereklilikleri, gerçekleştirilen bu çalışmaya ilham kaynağı olmuştur.

Gelişen teknolojiye paralel olarak ortaya çıkan gereksinimlerin artmasından dolayı her geçen gün artan elektrik enerjisi tüketimi, üreticileri ve kullanıcıları yeni ve çevreye uyumlu yenilenebilir enerji kaynakları aramaya zorlamaktadır. Sonsuz enerji potansiyeli ve sürekliliği sebebiyle rüzgâr enerjisi, elektrik üretimi için yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak dünya çapında sıkça tercih edilmektedir. Denizlerdeki basınç farklarının ve dolasıyla rüzgâr kuvvetinin karalara oranla daha fazla olması gibi iklim etkileri nedeniyle açık deniz üzeri rüzgâr enerjisi santralleri sayısı ve ölçeği giderek artmaktadır. Ülkemizde henüz kurulu bir açık deniz rüzgâr enerjisi platformu ve santrali bulunmaması nedeniyle gerçekleştirilen bu çalışmanın yapılacak olan çalışmalara ışık tutacağı beklenmektedir

Anahtar Kelimeler: Açık deniz üzeri rüzgâr enerjisi, platform, yenilenebilir enerji, yüzer açık deniz üzeri rüzgâr türbinleri.

Abstract

Wind energy is frequently preferred worldwide as a renewable energy source for electricity generation. Increasing energy needs day by day cause the search for different sources. The number and scale of offshore wind turbines and power plants are gradually increasing due to climate effects and the fact that the wind potential in the seas is more efficient than on land. The fact that our country is surrounded by seas on three sides and the necessities of the ge inspired this study.

The ever-increasing electrical energy consumption due to the increasing requirement arising in parallel with the developing technology forces manufacturers and users to seek new and environmentally compatible renewable energy sources. Due to its enless energy potential and continuity, windd energy is frequently preferred worldwide as a renewable energy source fort he electricity generation The number and scale of offshore wind power plants are gradually increasing due to climate effects such as pressure differences in the seas and therefore the wind fore being higher than on land. Its

is expected that this study will shed light on the studies to be carried out, since there is no offshore wind energy and power plant installed in our country yet.

Keywords: Offshore wind energy, platform, renewable energy, floating offshore wind turbines.

GİRİŞ

Gelişen teknolojiye paralel olarak ortaya çıkan gereksinimlerin her geçen gün artmasından dolayı çoğalarak artan elektrik enerjisi tüketimi, üreticileri ve kullanıcıları yeni ve çevreye uyumlu enerji kaynakları aramaya zorlamaktadır. Kömür ve petrol gibi fosil yakıtların gerek çevreye olumsuz etkileri gerekse de kullanımı sınırlı ve tükenecek kaynaklar olmaları nedeniyle alternatif enerji kaynakları bulunması ihtiyacı doğmuş ve doğanın kendi döngüsü içinde bir sonraki gün tekrar var olabilen sürekliliğe sahip yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır. Güneş, hidro, rüzgâr, akıntı, gel-git ve dalga enerjisi şeklinde sıralanabilen yenilenebilir enerji kaynakları, karbondioksit emisyonunu azaltarak doğanın korunmasına yardımcı olduğu gibi, enerjide dışa bağımlılığı azaltmakta ve aynı zamanda istihdamın artmasına da katkı sağlamaktadır (Akalın, 2018). Sonsuz enerji potansiyeli ve sürekliliği göz önüne alındığında rüzgâr enerjisi diğer enerji türlerine göre daha ön plana çıkmaktadır.

Tarih boyunca, başta yel değirmenleri olmak üzere yelkenli gemilerin deniz ulaşımında kullanılması gibi alanlarda rüzgâr gücünden faydalanılmıştır. Son yıllarda ise gelişen teknoloji ile elektrik üretimine de rüzgâr gücü kullanılmaktadır. Başta Almanya, Danimarka ve İspanya olmak üzere ABD. gibi gelişmiş ülkelerin yanı sıra Hindistan ve Çin gibi gelişmekte olan ülkeler de rüzgâr gücü ile ilgili çalışmalarını artırmaktadır. Ülkemizde de rüzgâr gücünden faydalanarak enerji üretimi son yıllarda artış göstermektedir.

Çevreyi kirletmeyen bir enerji kaynağı olan rüzgâr gücü ile elektrik üretimi, 1800'lü yıllarda yalnızca 12 kW'lık Brush türbinleri kullanımı ile gerçekleştirilirken, günümüzde daha da gelişerek elektrik üretiminde kilit bir unsur haline gelmiştir (Kaldellis ve Zafirakis, 2011). Küresel Rüzgâr Enerjisi Konseyi (GWEC), 2001 yılında küresel olarak kurulu rüzgâr gücünü 23900 MW olarak belirtirken, bu sayı 15 yılda yaklaşık 20 kat artarak 2016 yılında 486000 MW'a (Update, 2017), 2019 yılında ise 51,3 GW yeni kurulum ile birlikte topla kurulu güç miktarı 591 GW'a yükselmiştir ve 2023 yılı sonuna kadar her yıl kara ve açık deniz üzeri kurulumu olmak üzere 55 GW'lık kurulum hedeflenmektedir (Council, 2019).

İklim etkileri nedeniyle açık deniz üzeri rüzgâr santrallerinin sayısı ve ölçeği her geçen gün artmaktadır. Açık deniz üzeri rüzgâr türbinleri, karadaki santrallere göre birtakım avantajlar sağlamaktadır. Denizlerdeki basınç

farklarının karalara oranla daha fazla olması ve denizlerde daha geniş alanların olması nedeniyle, deniz üzerindeki rüzgâr enerji potansiyeli daha kararlı ve daha fazladır. Bu nedenlerle açık denizlerde rüzgâr çiftlikleri kurulumu ve buralardan enerji üretimi giderek yaygınlaşmaktadır. Bunun yanında ekonomik zorluklar ve birtakım hidrodinamik karmaşıklıklar da ortaya çıkmaktadır (Uzunoglu vd., 2016). Açık deniz üzeri rüzgâr gücünün ilerlemesi de petrol ve gaz endüstrisinin ilk yıllarına benzemektedir. 20. yüzyılın başlarında, denizlerde ilk petrol arayışı sığ sularda ve sabit yapılar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yılları içinde teknolojinin gelişmesi ve artan ihtiyaçlar doğrultusunda yüzer platformların geliştirilmesi daha derin sularda çalışılmasını mümkün kılmıştır. İlk açık deniz üzeri rüzgâr platformu, Danimarka'da Vindeby, çiftliği, 1991 yılında açılmış ve 2017 yılında kullanım dışı bırakılmıştır. Kurulumun ilk yıllarında 450 kW olan bu deniz üzeri türbin kapasiteleri, günümüzde ise 10-15 MW seviyelerine ulaşmıştır (Uzunoglu, 2019).

Küresel Rüzgâr Enerjisi Konseyi (GWEC), bu açık deniz üzeri tesislerinin %90'ının Avrupa sularında olduğunu belirtmektedir. Çin, Japonya, Güney Kore, Tayvan ve ABD pazarları da küresel ilgi doğrultusunda önemli ölçüde büyüme göstermektedir. Açık deniz üzeri kurulumlarının durumu, deniz üzeri rüzgâr santrallerinin kıyıdan daha derin sulara hareket ettiğini ortaya koymaktadır. 2013 yılında aktif olan deniz üzeri rüzgâr santrallerinin 16 m ortalama su derinliği ve 29 km kıyı mesafesi, 2016 yılı sonunda önemli bir artış göstererek, ortalama su derinliği 29,2 m ve kıyıya olan mesafe 43,5 km seviyelerine çıkmıştır (Intelligence, 2017).

Açık deniz üzeri rüzgâr türbinleri, yatay eksenli türbinlerdir. Bu tip türbinler bir kule ve kulenin tepesinde bulunan nasel içerisinde bir elektrik jeneratöründen oluşmaktadır. Jeneratör doğrudan veya bir dişli kutusu vasıtası ile göbek grubuna (hub) ve türbin kanatlarına bağlanmaktadır. Deniz derinliğine göre kulenin üzerinde duracağı platform ya da temel tipleri farklılık göstermektedir. Su derinliği 30 m'ye kadar olan bölgelerde türbin tek kazık üzerinde olup, bu kazık deniz yatağına çakılıdır. Su derinliği 50 m'ye kadar olan bölgelerde ise; türbin kulesi daha geniş bir tabana sahip olan kafes yapısına monte şekildedir. Daha da derin sularda ise sadece yüzer sistemler uygulanabilmektedir. Buna rağmen sadece kıyıya yakın bölgelerin sığ su olması, burada kurulu sistemler açısından bazı dezavantajlar oluşturabilmektedir. Kıyıya yakın türbinler kıyı görümünü engelleyebilir ve su taşıtları ile uçaklar için seyir engelleri ve potansiyel tehlikeler oluşturabilmektedir.

Platform, yüzer deniz üzeri rüzgâr türbinlerinin tanımlayıcı unsurudur. Yüzdürücü üzerindeki hareketler ve yükler, yüzer ve sabit yapıları birbirinden

ayıran iki önemli faktördür. Açık deniz üzeri platformları hakkındaki temel bilgiler, petrol ve gaz endüstrisinden kazanılan deneyimlere dayanmaktadır. Bununla birlikte ek olarak aerodinamik yükler, bu yeni rüzgâr gücü alanında hareket davranışının farklı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak bu birleşik yüklere odaklanmak için kazanılan bilgilerin güncellenmesi ve yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir (Uzunoglu, 2019). Bu kapsamda yapılan son araştırmalar ve projeler yarı-batık platformlar (semi-submersible), gergi ayaklı platformlar (TLP) ve safralı tip platformlar (SPAR) üzerine gerçekleşmiştir. Platformların farklarını anlamak için ise dinamiklerini anlamak gereklidir.

Açık Deniz Üzeri Rüzgâr Türbini Platform Konseptleri

Açık deniz üzeri rüzgâr türbini endüstrisi geliştikçe talebi karşılamak için önerilen platformların sayısı da önemli ölçüde artmış, yeni yeni yöntemler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemlerin her biri çeşitli yaklaşımlarla sınıflandırılmış farklı konfigürasyonlar kullanmaktadır. Stabilizasyon yöntemlerine bağlı olarak geliştirilen platformlar, "*yüzdürme*" (buoyancy), "*balast*" (ballast) ve "*bağlama*" (mooring) stabilize edilmiş platformlar olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır (Butterfield vd., 2007). Uygulamada kullanılan platformlardan herhangi biri bu yapı yöntemlerinin bir kombinasyonuna dayanmaktadır.

Yarı-batık platformlar ve mavnalar (barge) bu sınıflandırmada yüzdürme stabilize yapılara örnek olarak verilebilir. Bu iki tip platform da kaldırma kuvvetine bağlı olmaları bakımından birbirine benzemektedir. Ancak hacim dağılımları birbirinden farklıdır. Mavnalar genellikle daha geniş bir su hattı alanına ve daha küçük bir su çekimine sahiptir. Diğer taraftan yarı-batık platformlar ise daha küçük bir su hattı alanı ile balastlamayı birleştirmektedir. Bu sebeple yarı-batık platformlar stabilite kitaplarında genellikle "*kolon stabilize*" platformlar olarak adlandırılmaktadır (DNV-OS, 2011). Yüzdürme stabilize platformların da "*su hattı alanlı stabilize*" platformlar olarak yenilenmesi, hacim dağılımı ile ilgili bu ayrımı açıklığa kavuşturmaktadır (Uzunoglu, 2019).

Gergi ayaklı platformlar (TLP), tendonları yardımıyla stabil hale gelmektedir ve bu sebeple bağlama stabilize yapılara örnektir. Daha derin sularda kullanılan ve oluşan tipping momentini engellemek için derin bir su çekimine ve ağır balasta sahip sütun şeklindeki SPAR platformlar ise balast stabilize yapılar altında sınıflandırılmaktadır. Bunlar göz önüne alındığında platform türleri Şekil 1'deki gibi bir "*stabilite üçgeni*" içerisinde gösterilebilmektedir (Uzunoglu, 2019). Aşağıda açıklanan bu 4 alternatifin ayrıca dalıp-çıkma

hareketi kısıtlı TLP gibi varyasyonları da mevcuttur (Anne Lene Haukanes Hopstad vd., 2018).

Su Hattı Alanlı Stabilize Platformlar

Mavnalar ve yarı-batık platformlar arasında, yarı-batık platformlar, uygun hareket dinamikleri nedeniyle hem petrol-gaz hem de rüzgâr enerjisi sektörlerinde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Petrol ve doğalgaz endüstrisinde ilk nesilleri 1960'larda kullanılmaya başlamış olup, günümüzde 6. nesil platformlar tasarlanmaya başlanmıştır. Bu nedenle, yarı-batık platformların iyi çalışılmış bir platform türü olduğunu söylemek mümkündür. Dalgalarda, özellikle de dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketlerine karşı kararlı yapıda oldukları için tercih edilmektedir. Platform boyutları ve karşılaşılan yükler açık deniz üzeri rüzgâr ve petrol-gaz endüstrisi arasında farklılık gösterse de bu tip platformlar hala önemli türlerden olarak kabul edilmektedir.

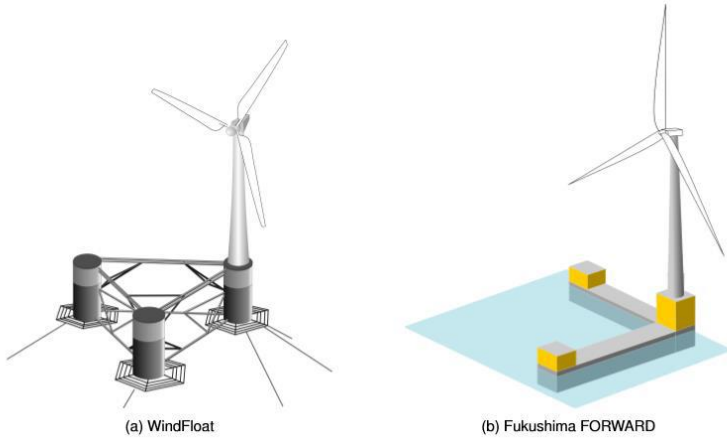
Yarı-batık platformlar, su altında ana hacmi sağlayan kolonlar ve dubalardan meydana gelmektedir. Buradaki bağlantı elemanları, sistemin yapısal bütünlüğünü korumaktadır. Petrol ve gaz endüstrisinde güvertenin su seviyesinin üzerinde kalması için temeli batık tekne formuna dayanan büyük hacimli dubalar ve kolonlar kullanılmaktadır. Deniz üzeri rüzgâr türbini platformlarında ise bu konsept endüstrinin özel ihtiyaçlarına uyacak şekilde tasarlanmaktadır. Ayrıca rüzgâr türbinlerinin yükünün daha düşük olması ve gerekli güverte alanının bu oranda eşit olarak azaltılmasından dolayı platform hacminin de düşürülmesi ekonomik olarak ekstra bir katkı sağlamaktadır (Laura & Vicente, 2014).

Şekil 1: Stabilite Üçgeni ve Stabilizasyon Yöntemlerine Göre Platform Tipleri
Kaynak: (Uzunoglu, 2019)

Yarı-batık platformlar, kolon sayılarına göre farklı konseptler oluşturmaktadır. Platform kurulumu göz önüne alındığında, kolonlar arası mesafenin yapının hidrostatiğini etkilediği görülmüştür. Bağlantı elemanları üzerindeki yükler ve yapısal bütünlük de her bir kolondan gelen momentlerin ve kuvvetlerin fonksiyonu olarak oluşmaktadır. Çok gövdeli (kolonlu) kurulum baş-kıç vurma ve yalpa hareketlerine karşı farklı balastlama seçenekleri sunmaktadır. Dalıp-çıkma hareketini azaltmak için ise yapının alt ucuna geniş yarı çaplı plakalar yerleştirilebilir (Chen vd., 2007; Lopez-Pavon ve Souto-Iglesias, 2015). Bu tip platformlar oldukça küçük su hattı alanına sahip olması nedeniyle dalıp-çıkma hareketi doğal frekansı, ekstrem hava ve deniz koşullarında bile dalga frekansından oldukça düşük kalmaktadır. Böylece yapının rezonansa girmesi zorlaşmış olur. Hidrostatik geri getirici kuvvet nedeni ile dalıp-çıkma, baş-kıç vurma ve yalpa hareketleri etkisiz hale gelmektedir. İleri öteleme, yanal öteleme ve savrulma hareketleri ise *katener* tip bağlantı sistemleriyle engellenmektedir.

Platform tasarımı karar aşamaları, kolon şekilleri (dikdörtgen veya silindirik), kule ve türbinin yerleşimini içermektedir. Şekil 2'de örnek platform tipleri gösterilmiştir. Örneğin WindFloat platformu, yüzer açık açık deniz üzeri rüzgâr türbini teknolojisinin ilk uygulayıcılarından biridir. Burada bağlantı elemanları ile birbirine bağlanmış üç kolon bir araya gelmiştir (Cermelli vd.,

2009; Roddier vd., 2010). Türbin ise bu kolonlardan birine kule ile monte edilmiştir. DeepCwind rüzgâr konsorsiyumu tarafından tasarlanan yarı-batık platformda ise, türbin merkeze yerleştirilmiş ve dört kolon tarafından desteklenen farklı bir konfigürasyona sahiptir. Bağlantı elemanları olmayan modeller için ise tamamen farklı konseptler geliştirilmiştir. Japon Fukishima Konsorsiyumu (Consortium, 2014; Karimirad & Michailides, 2015), dubalarla birbirine bağlanan ve "*V*" şeklinde yerleştirilmiş 3 tane dikdörtgen kolon kullanmaktadır. Nu platformlarda, türbin ve kule V'nin alt ucuna yerleştirilmiştir (Karimirad & Michailides, 2015).



Şekil 2: Yarı-Batık Platform Örnekleri
Kaynak: (Uzunoglu, 2019)

Yarı-batık platformlar kurulumlarından dolayı da avantajlı durumdadır. Hidrostatik olarak stabil olan bu yapılar, karada inşa edildikten sonra çalışma yapacakları yere çekilebilirler. Bağlama sistemleri ve tasarım karmaşıklığı, gergi ayaklı TLP konseptlerine göre daha düşüktür. Yapıyı stabilize etmek için bağlama sistemleri bu platform için bir faktör değildir. Platform geometrisi, çalışma derinliğine göre su çekimi ayarlaması yapılmasına müsaade etmektedir.

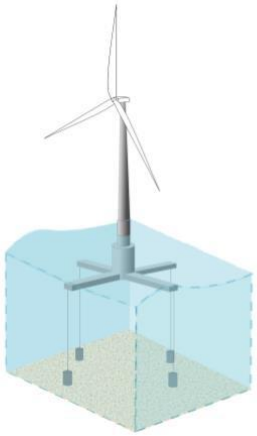
Bağlama Stabilize Platformlar

Petrol ve gaz endüstrisine başlangıçta TLP konsept kullanımı, 1970'lerde daha derin sulardan faydalanmanın maliyetini azaltmanın etkin bir yolu olarak gerçekleştirilmiştir. İlk çalışma tesisi olan Hutton TLP, 1980'lerde Kuzey Denizi'nde Conoco tarafından başarıyla konuşlandırılmıştır (Mercier vd., 1982). TLP tiplerin ana özelliği, stabilizasyon özelliklerinde yatmaktadır. Sualtı geometrisinden kaynaklanan kaldırma kuvveti ile uygun şekilde dağıtılmış

ağırlık arasındaki kuvvet dengesine güvenmek yerine, kararlılık gergin demirleme hatlarına (tendon) bağlıdır. Bu kurulum, tendonlardan gelen ekstra sertlik nedeniyle hareketlere karşı direnç sağlar, bu da yalpa, baş-kıç vurma ve dalıp-çıkma hareketlerinin oldukça kısıtlanmasına neden olur. Bu platformlar, bu hareketlerde daha çok sabit yapı gibi davranırlar. Minimum baş-kıç vurma tepkisi aerodinamik performansı etkileyen önemli bir faktör olduğundan güç üretimi açısından bir avantajdır (Jeon vd., 2014; Tran ve Kim, 2015).

TLP hacmi ve yüzey alanı yarı-batıklardan genel olarak daha küçüktür. Bu durum, gelen dalgalardan kaynaklı yükleri azaltır. Su hattında oluşan korozyon direnci açısından da bir avantaj oluşturmaktadır. Alternatif bir geometri olarak, güverteyi taşıyan tek bir kolona bağlı kollar (teller) kullanılarak yapısal ağırlığın en aza indirilesi amaçlanmaktadır. Bu tip platformlar, SeaStar tasarımı olarak 1990'larda geliştirilmiştir (S E Kibbee vd., 1994).

Tendon teli sayısı ve aralarındaki açı yapılandırmaya bağlı olarak değişmektedir. Ancak yaygın olarak 3 veya 4 tendonlu platformlar kullanılmaktadır. Şekil 3'te Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından tasarlanan MIT/NREL TLP görülmektedir (Matha, 2010).



Şekil 3: SeaStar TLP
Kaynak: (Matha, 2010)**.**

TLP'lerde optimizasyon parametreleri, tellerin şekli (örnek; dikdörtgen veya silindirik), ek ağırlık yerleşimi ve genel gövde formlarıdır. Tendonların ana gövdeden uzaklığı, üzerlerinde oluşan momentlerin değişiminde etkilidir. Katener demirleme ile karşılaştırıldığında, tendon uzunluğu çok daha kısadır. Tendon uzunluğu, tendonun gövde üzerindeki bağlantı noktasından deniz tabanına olan doğrudan mesafeye eşittir. Deniz üzeri rüzgâr türbini

platformlarında, tendonların dalga kuvvetlerinin yanı sıra türbinden gelen aerodinamik yüklemeye karşı koyması gerekmektedir. Bu nedenle, toplam bağlama yüklerinde artış olmaktadır.

Platformun bazı modlarındaki rijitliği, yüksek frekans oluşumuna neden olmaktadır. Bu sebeple, platform gövdesi ve bağlama sistemlerinin tasarımı birbirleriyle ilişkili olacak şekilde gerçekleştirilir. Yani bir bileşenin değiştirilmesi, diğer bileşenin de kurulumunda veya tepkisinde temel değişikliklere neden olacaktır. Burada iki önemli arıza ortaya çıkmaktadır. İlki bir bağlama halatının kırılması stabilite hatasına neden olabilir. Diğeri ise, bağlama halatındaki gerginlik kaybıdır. Bu durum gerginlik geri getirildiğinde yüksek koparma yüklerine yol açar. Bu nedenle, gevşek bağlantı sistemleri TLP tasarımında bir sınır durumu olarak kabul edilmektedir (Uzunoglu ve Guedes Soares, 2019).

Platform kurulum aşamasında, eklenen ağırlıklar, platform işletim yerine çekilmesi sırasında geçici olarak stabilite sağlayabilir. Bu amaçla, platform kurulum öncesi balast işlemi gerçekleştirilir ve balastlar demirlerin takılmasından sonra çıkarılır. Yapı çekilemiyorsa, kurulum mavnaları gibi başka yollarla taşınması gerekmektedir (Amate vd., 2016). Bu durum, türbinin bakım için porta taşınması gerektiğinde de geçerlidir. Bu dezavantajlara rağmen, gergi ayaklı platformlar (TLP) diğer platform türlerine kıyasla en hafif çelik ağırlığına sahip açık deniz üzeri rüzgâr platformlarıdır. Bu durum ekonomik olarak da önemli bir avantaj sağlamaktadır (James ve Ros, 2015).

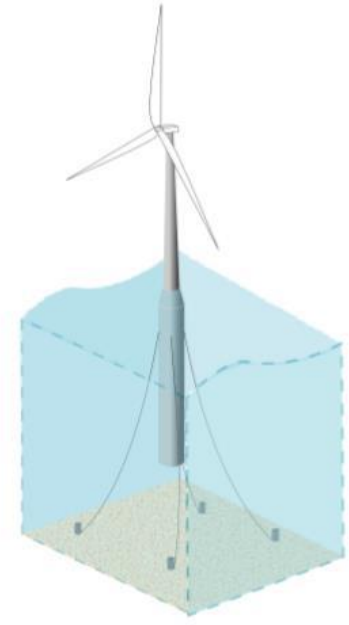
Derin Balast Stabilize Platformlar

SPAR tip platformlar balast stabilize platform grubunda yer alırlar. Başlangıçta oşinografi bilgileri toplamak için kullanılan şamandıralar olarak tasarlanan bu tip platformlar, 90'lı yıllarda Oryx Neptün sahasında petrol ve gaz endüstrisi tarafından kullanılmıştır. O zamandan beri, farklı uygulamalar için farklı alternatif formları geliştirilmiş ancak, ana düşünce değişmemiştir (Uzunoglu, 2019). SPAR platformlar ince bir silindiri andırmaktadır. Ağır bir balast, kaldırma kuvvetinin altındaki ağırlık merkezinin konumunu deniz seviyesinden daha da aşağıya çekmek ve stabiliteyi sağlamak adına platformun alt ucunda kullanılmaktadır. Katener bağlama halatları da platformu dengede tutmayı sağlamaktadır.

Bu platformlar, istenen geri getirici momenti elde etmek için yeterince düşük bir balastın yerleştirildiği derin su platformlarıdır. Silindirin tabanına eklenen balast, baş-kıç vurma ve yalpa hareketlerini kısıtlamaktadır. Diğer platform tiplerine göre nispeten küçük su hattı alanı güçlü dalıp-çıkma kuvveti sağlamakta ve platformu bu modda düşük sertliğe sahip bir platform olarak

karakterize etmektedir. Platformun silindir şeklinde olması, simetri ve küçük boyut sağlamaktadır ve bu nedenle hidrodinamik kuvvetler tarafından oluşan platform hareketlerinden sadece savrulma hareketi ihmal edilebilmektedir. Diğer taraftan da bu platform tipi, açık deniz üzeri rüzgâr türbinleri için kullanıldığında aerodinamik yükler kanatlarda moment oluşturarak, savrulma hareketine neden olmaktadır (Nihei vd., 2014). Bununla birlikte, katener bağlama halatları doğrudan platformun gövdesine bağlandığında, sınırlı savrulma geri getirici moment oluşturmaktadır. Ayrıca yapılan çalışmalarda deniz tabanındaki bağlama kurşunları ile platform arasındaki mesafeler değiştirilerek alternatif düzenekler denenmektedir. Bu platformlar daha derin sulara yönelik olduğundan, bağlama halatlarının da daha uzun olması gerekir ve bu da yüksek maliyet demektir Bunun aksine gövde ise ekonomik olarak üretilmesi kolay bir forma sahiptir.

Gövde formunun sadeliği, SPAR tip platformlar girdap kaynaklı titreşim (VIV) adı verilen olaya neden olmaktadır. Silindir dalıp-çıktıkça girdaplar oluşmakta ve yüzey boyunca basınç dağılımı değişerek akış daha düzensiz hale gelmektedir. Bu basınç değişikliği, düşük frekanslı girdap kaynaklı titreşimler oluşturarak daha yüksek akım kuvvetlerine ve silindir boyunca yorulmalara neden olmaktadır (Hirdaris vd., 2014).



Şekil 4: SPAR Tip Platform
Kaynak: (Uzunoglu, 2019)**.**

Platformun önemli sualtı gövdesi göz önüne alındığında, bir SPAR platform tasarlanırken su akımlarının dikkate alınması gerekebilir. Düşük su hattı alanına sahip olması nedeniyle korozyon etkinliği konusunda önemli avantajların yanında yavaş ve sınırlı hareketlere de sahiptir. Ancak yüksek derinlik ihtiyacı ekonomik olarak büyük bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Hibrit Platformlar ve Çoklu-Türbin Konfigürasyonları

Birçok durumda, platformlar yukarıda verilen sınıflandırmalardan birine dahil olmaktadır. Ancak türbin ve kuleyi daha iyi yerleştirmek için alternatif durumlar söz konusu olabilmektedir. Bu tür yapılar oluşturulurken, her bir yaklaşımın avantajlarından yararlanmak için stabilizasyon yöntemlerinin bir kombinasyonunu kullanmaktadır. Diğer hareketlere uyumlu ama dalıp-çıkma hareketi yönünden kısıtlanmış olan TLP ve SPAR konfigürasyonları bu tür hibrit platformlara örnek olarak gösterilebilir (Veritas, 2013a). Ayrıca dalga enerjisi gibi diğer enerji biçimlerini de tek bir sisteme entegre eden konseptler de bulunmaktadır (Guedes Soares vd., 2014).

Tek bir türbini barındırabilen platformlara alternatif olarak, birden fazla türbini bir araya getirmenin avantajları olduğu gibi dezavantajları da mevcuttur. Tek bir şebeke bağlantısı ve birden fazla bağlama sistemi kullanılması ve ayrıca ortak bir hizmet alanına sahip olması bu konseptin avantajları olarak gösterilebilir. Konseptin dezavantajları ise esas olarak türbinlerin birbirlerine yakın bir şekilde yerleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Sabit yapılı deniz üzeri rüzgâr çiftliklerinde olduğu gibi, önemli miktarda enerji elde etmek ve enerji kaybı yaşamamak için yüzer açık deniz üzeri platformlarının da belirli sayılarla ve düzenle kurulması gerekmektedir. Bu yerleşimler, kanatların arkasında oluşan iz etkisi nedeniyle çevredeki bütün türbinlerin performansını etkilemektedir. Bu durum aynı zamanda nasel savrulma hareketini de iz etkisini azaltmayacağı ve rüzgârı karşılamak için platformun döndürülmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Tüm çoklu-türbin konseptlerinde bu tür etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. İsveçli şirket Hexicon, Şekil 5'te gösterilen tek bir platformda çoklu-türbin barındıran bir konsepte sahiptir (L. Chen vd., 2011).

Şekil 5: Hexicon Çoklu Türbin Konsepti
Kaynak: (L. Chen vd., 2011)**.**

Platform Konsept Uygulamaları

Platformlar, her hareket modu için verdikleri tepkilere göre "*uyumlu*" veya "*kısıtlı*" olarak kategorize edilebilmektedir. Bu koşulların bir özeti Uluslararası Gemi ve Deniz Yapıları Kongresi (ISSIC) 2012'de sunulmuştur (Fricke ve Bronsart, 2012:153-200). Tablo 1'de bu bilgiler platformların stabilizasyonları ile birleştirilerek sunulmuştur. Azalan hareketler bağlama halatları esnekliği ile sınırlıdır (Uzunoglu vd., 2016).

Tablo 1: Stabilizasyon ve Hareket Uyumlarına Göre Platform Sınıflandırılması

Platform Tipi	Stabilizasyon Yöntemi	İleri ve Yanal Öteleme	Dalıp-Çıkma	Baş-Kıç Vurma ve Yalpa	Savrulma
SPAR	Derin Balast	C	C	C	C
Yarı-Batık	Su Hattı	C	C	C	C
TLP	Bağlama	C	R	R	C

Kaynak: (Fricke ve Bronsart, 2012:153-200)**.**

Burada (C) ve (R) sırasıyla "uyumlu" ve "kısıtlı" modları belirtmektedir.

DeepC-Wind Konsorsiyumu

ABD merkezli DeepCwind konsorsiyumu TLP, yarı-batık ve SPAR platform olmak üzere üç tip platformun teslimini gerçekleştirmiştir. Çalışma, araştırmacıların açık verilere erişimini sağlamak için (özel bilgiler hariç tutularak) yapılmıştır. Deney programı Hollanda Denizcilik Enstitüsü'nde (MARIN) gerçekleştirilmiştir.

Yarı-batık (semi-submersible) platformlar DeepCwind konsorsiyumu tarafından tasarlanmıştır (Thiagarajan ve Dagher, 2014). Bu platform tipi, rüzgâr türbini kule ile ortada yer alacak şekilde üçgen oluşturulan 3 yüzdürme

sütunu ile 4 sütunlu bir tasarıma sahiptir. TLP konsepti, Glosten Associates'in PelaStar formuna göre tasarlanmıştır (Moon III ve Nordstrom, 2010). SPAR tip platform ise, daha önceki bir kod karşılaştırma çalışmasının konusu olan Hywind platformunu temel almaktadır (J. Jonkman, 2010). Bunlar Şekil 6'da gösterilmiştir.

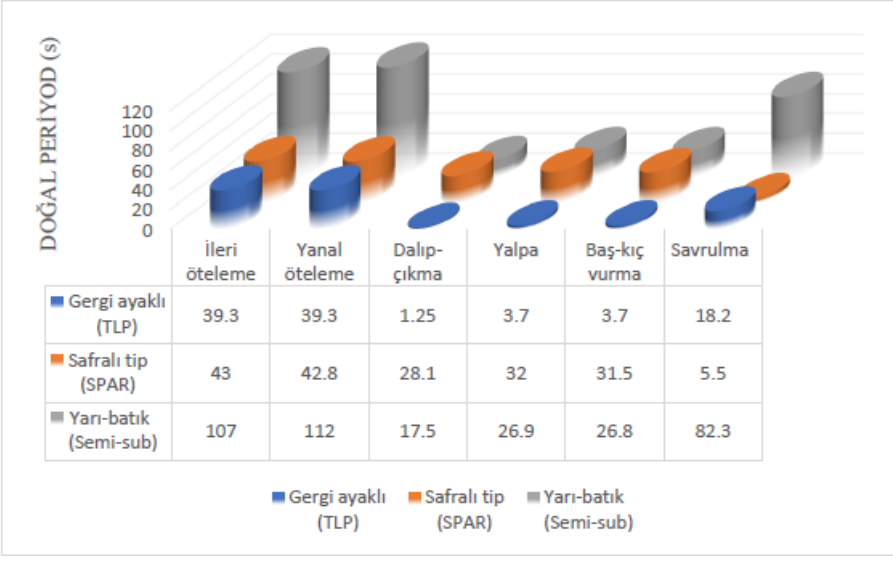
Şekil 6: DeepCwind Konsorsiyumu Platform Modelleri
Kaynak: (A. N. Robertson vd., 2013)**.**

Deney ortamı için 1/50 ölçekli Froude benzerliğine sahip model, rüzgâr ve dalga yükleri kullanılmıştır. Deneydeki asıl zorluğun, benzer Reynolds sayılarına bağlı kalarak Froude benzerliğine uygun bir model yapmaktan kaynaklandığı belirtilmiştir. Buna rağmen hem rüzgâr hem de dalga kuvvetleri doğru bir şekilde ölçeklenmiştir. Buradaki zorluk ise, farklı kanat geometrileri için bir itme eşdeğeri oluşturacak şekilde türbin tasarlanarak aşılmıştır (Coulling vd., 2013). Bu durumda olduğu gibi benzerlik oranları deneylerde önemli bir rol oynamaktadır ve ilgili çalışmalarda tartışılmıştır (Jain vd., 2012; Martin vd., 2014).

Gerçekleştirilen çalışmada test prosedürü, Schmidt setlik testi ile platformların doğal frekansları ve ardından da başlangıç statik denge konumları belirlenmesi şeklindedir (Koo vd., 2014). Viskoz sönümleme değerleri gibi hidrodinamik özellikler, serbest sönümleme testi ile hesaplanmaktadır. Daha sonra da platform hareketleri, önce dış kuvvetler olmadan, sonra rüzgâr ve dalga kuvvetleri altında ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Burada düzenli ve düzensiz dalgalar hidrodinamik çalışmaları içermektedir. Rüzgâr tepkileri ise sabit ve dinamik rüzgâr yükleri ile ilgilenir. Son aşamada ise akuple olarak rüzgâr ve dalga yüklerine karşı davranışları içermektedir.

Platformların doğal frekansları Şekil 7'de özetlenmiştir (Kimball vd., 2012). Platform tiplerinin karşılaştırılması ve birinci dereceden dalga uyarma aralığının

(4-25 s) dikkate alınması, hareketin dinamiği hakkında bilgi vermektedir (Veritas, 2013b). Yarı-batıkların ileri öteleme doğal periyotları TLP ve SPAR platformlarından önemli ölçüde daha uzundur. Simetri nedeniyle, yanal öteleme tüm platformlardaki ileri öteleme hareketi ile neredeyse aynıdır. TLP konseptleri, düşük doğal periyotları (5 saniyenin altında) dalıp-çıkma, baş-kıç vurma ve yalpa hareketlerinde rijit bir yapı olarak davranış göstermektedir. Diğer platformlar 30 saniyeye yakın sürede daha düşük frekanslar sağlamaktadırlar. Savrulma hareketi süresi tüm platformlar için farklıdır. SPAR platformlar, kısıtlanmış bir yapıya benzeyen kısa savrulma periyotları oluşturmaktadır. TLP tip platformların savrulma hareketi süresi ise dalga frekansı (WF) bölgesinin biraz üzerindedir ve yarı-batık diğer iki platforma kıyasla daha uzun sürmektedir. Bu sonuçlar, platforma etkiyen frekansların üstüne çıkarak veya altında kalarak rezonanstan kaçınmak için gerekli yöntemleri açıklığa kavuşturmaktadır. Platformun, sistemin toplam rijitliğini değiştirdiği için, kulenin eğilme frekansları değiştirdiği de görülmüştür (Fricke ve Bronsart, 2012:153-200).



Şekil 7: DeepCwind Platformları Doğal Periyoları
Kaynak: (Kimball vd., 2012)

Sonuçlar incelendiğinde sabit rüzgâr yükü altında TLP ve yarı-batık platformların ileri öteleme tepkilerinin benzer olduğu görülmektedir. Hareket genlikleri SPAR platformlardan daha büyüktür. Dalga kuvvetleri ihmal

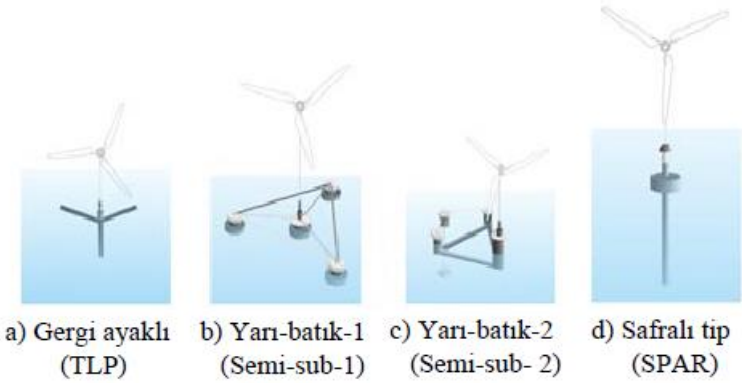
edildiğinde, rüzgâra maruz kalan küçük yüzey alanı, ileri öteleme modunda SPAR platformlara avantaj sağlamaktadır. Bunun aksine, yarı-batık platformlar büyük yüzey alanlarından dolayı genel olarak en yüksek ileri öteleme (surge) hareketine sahiptir.

SPAR platformlarda baş-kıç (pitch) vurma ve yalpa (roll) hareketlerine karşı koymak için balastlar konulmuştur. Bu durumdan dolayı diğer platform tiplerine göre yüksek baş-kıç vurma hareketine sahip oluğu Şekil 7'de görülmektedir. Beklenildiği gibi TLP tipler, bağlantı sistemleri olan tendonları tarafından uygulanan kısıtlamalar nedeniyle limitli tepki göstemektedir. Yapılan çalışmalarda deneysel model için, yarı-batık platform, SPAR platform değerlerinin yarısı kadar baş-kıç vurma genliği göstermiştir (Uzunoglu ve Guedes Soares, 2019). Bu modda belirli açıların aşılması, türbinin aerodinamik performansını sınırlandırmaktadır. 4 derecenin üzerindeki açılar aeroinamik hesaplamalarda önemli farklılıklara neden olmaktadır (Tran ve Kim, 2015). Bu tasarım kısıtlaması, INNWIND gibi yeni platformlar tasarlayan diğer projelerde, maksimum baş-kıç vurma genliği 3,5 derecenin altında tutarak uygulanmkatadır (Azcona vd., 2017). Ayrıca daha yüksek baş-kıç vurma açıları, kulenin tepesindeki nasel-rotor takımının ağırlığı nedeniyle kule tabanında eğilme momentinin artmasına neden olmaktadır.

Japonya Çalışmaları

Japonya, 2011 Fukişima nükleer felaketinden sonra temiz enerjiye yönelmiştir. Bu süreci hızlandırmak için Osaka Eyaleti, Yokahama Ulusal, Nihon ve Osaka üniversitelerinin ortaklığında karşılaştırmalı bir çalışma gerçekleştirilmiştir (Nihei vd., 2014).

Çalışmada platform 5 MW gücünde türbin ve 90 metrelik bir kule için tasarlanmıştır. Bir adet TLP, iki adet yarı-batık ve bir adet 1/100 ölçeğe sahip SPAR platform üzerinde değerlindirmeler gerçekleştirilmiştir. Aşağıda Şekil 8'de gösterilen platformlardan soldaki model DeepCwind TLP ile benzerlik göstermektedir. 120 derecelik yayılı 3 demirleme hattı mevcuttur. Yarı-batık platform modellerinden ilki *tek noktadan bağlama* (SPM) sistemini kullanmakta ve türbin merkez kolonda olmak üzere platform 4 kolondan oluşmaktadır. Tasarlanan SPAR platform su çekiminin %15'ine denk gelecek şekilde yerleştirilen disk ile standart silindir formuna alternatif bir form oluşturmaktadır.



Şekil 8: Japonya'da Geliştirilen Platform Tipleri
Kaynak: (Nihei vd., 2014)**.**

Platform Hareketlerinin Sayısal Analizi

Deniz üzeri yüzer rüzgâr türbinlerinin tepki dinamikleri, türbinin aerodinamiği ile platformun hidrodinamiği arasında önemli bir bağlantı içermektedir. Türbin dalgalar ve bağlantı sistemleri üzerindeki yüklerin tümü sistemin genel tepkisine katkıda bulunmaktadır. Bu soruna yaklaşmanın iki yolu vardır:

Türbin aerodinamiğini de içeren hidrodinamik olarak doğrulanmış bir platform kullanımı, ya da platform hidrodinamiğini de içerecek şekilde genişletilmiş aerodinamik kodlar. Her iki durumda da, rüzgâr türbini platformlardaki tepkilerin doğrusal olmama durumunu tam olarak yakalamak için7 frekans alanı yaklaşımlarının aksine bir zaman alanı analizi tercih edilmektedir (Cordle ve Jonkman, 2011). Hidrodinamik hesaplamalarda, kodlar arasındaki teme fark, hareketleri tahmin etmek için kullanılan teorilerin temelinde bulunmaktadırç Morison denklemi, potansiyel teori veya her ikisini beraber içeren bir yaklaşım uygulanabilir. Çoğu durumda ana yaklaşım, anlık su hattı veya konumu gibi diğer faktörleri içerecek şekilde değiştirilmiştir (Uzunoglu ve Soares, 2018).

Sayısal araç geliştirmede öne çıkan ççalışmalardan biri *Offshore Kod Karşılaştırma İş Birliği* (*OC*) çalışmalırıdır. Bu birlik, karşılaştırmalı sonuçlar sağlamak adına farklı kodlar geliştirmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) *Görev 23* (*OC3*), Aşama IV, Hywind SPAR platformunda yedi farklı kod kullanan birden fazla grubun ortak olarak gerçekleştirdiği bir çalışmayı içermektedir (Jonkman ve Musial, 2010). Devam eden bir çalışmada, OC4 Görev 30 Faz II'de ise artan sayıda işbilikçi ile bir yarı-batık platformu analiz

edilmiştir (Masciola vd., 2014) ve sonuçları yayınlanmıştır (A. Robertson vd., 2014). Bu çalışmalar çeşitli modelleme yaklaşımlarının geçerliliğinin anlaşılmasına ve uygulanabilmesine katkıda bulunmuştur.

Kod çalışmaları, teorilerin hareketler üzerindeki etkisini anlamada önemlidir. Deneyden kodlamaya yönelik çalışmalarda ise sistemin doğrulanması esastır. Bu konuyu ele almak için, NREL'in geliştirdiği "*Fatigue, Aerodynamics, Structures and Turbulance (FAST)*" simülasyon kodundaki sayısal vereilerin ve DeepCwind yarı-batık platformu için deneysel verilerin karşılaştırmaları gerçekleştirilen çalışmalarda yayınlanmıştır (J. M. Jonkman, 2007; Goupee vd., 2014).

Açık deniz kod karşılaştırma projesinin beşinci çalışması olan, OC5 Aşama II, DeepCwind yarı-batık platformunun sayısal veri karşılaştırmalarına yönelik deneyini içermektedir (A. N. Robertson vd., 2017). Çalışmada 11 ülkeden 19 katılımcı yer almıştır. Gerçekleştirilen çalışmalar tartışıldığı gibi bağlama sistemleri vb. kodların iyileştirilmesi gereken alanların belirlenmesinde önemlidir (Hall ve Goupee, 2015; Uzunoglu ve Guedes Soares, 2015).

Yüzer Rüzgâr Türbini Projeleri

Proje ekipleri ve konsorsiyumlar tarafından yüzer rüzgâr türbinleri araştırmaları devam etmekte ve bir çok Ar-Ge projelerine yatırımlar yapılmaktadır. Küresel anlamda Vestas, Siemens, Areva, Mitsubishi ve Fujy Heavy Industries gibi şirketler bu alanda faaliyet göstermektedirler.

Avrupa'da geliştirilmekte olan açık deniz üzeri yüzer teknolojilerinin çoğu, derin su açık deniz potansiyeline sahip ülkeler tarafından yönetilmektedir. Konsept geliştirme üzerine çalışma gerçekleştiren firmalara bakıldığında Hollanda'dan Blue H, Fransa'dan Nass et Wind, IDEOL ve Winflo, Almanya'dan GICON, Danimarka'dan Poseidon, İspanya'dan HiPRWind, İsveç'ten Hexicon ve Nprveç'ten Statoil sıralanabilir. Avrupa haricinde Asya'ya baktığımızda ise Japonya'da gerçekleştirilen çalışmalar ön plana çıkmaktadır ve çoğu araştırma projesi devlet tarafından finanse edilmektedir (Consortium, 2014). 2011 yılında Kyushu'daki Hakata Körfezi'nde ilk ölçekli model piyasaya sürülmüştür (Hu vd., 2013). 2013 yılındaise Tokyo Körfezi'nin girişinde Choshi açıklarında 2 MW'lık tam ölçekli bir SPAR rüzgâr türbini konuşlandırılmıştır (Umaya vd., 2013). ABD hükümeti, 2030 yılına kadar enerji gereksinimlerinin %20'sini karşılayacak güç üretimi için rüzgâr türbini teknolojosini geliştirmeyi planlamaktadır (President, 2015). Orta ve derin su derinliklerinde, Seattle merkezli Principle Power şirketi WindFloat yarı-batık platform konseptinin geliştirilmesinde yer almıştır (Cermelli vd., 2009; Roddier vd., 2010). Yine 2011'in başlarında, Portekiz kıyılarında da bir Vestas 2 MW

türbini ile birlikte yarı-batık platform kurulumu gerçekleştirilmiştir (Uzunoglu, 2019).

Açık deniz Üzeri Platformları Tasarımı

Tasarım Standartları

Tasarım standartları, sektörün ihtiyaçlarına ve durumuna göre gelişmektedir. Bu dikkate alındığında, açık deniz üzeri rüzgâr türbinleri ile ilgili standartların da oldukça yeni olması beklenmektedir. Ayrıca tasarımda açık deniz üzeri rüzgâr türbinlerinin karşılaşılan yükler bakımından karadaki türbinlerden farklı olarak, hidroinamik yükler, deniz buzu ve uzun bekleme süreleri gibi farklı çevresel koşullara maruz kalmaları göz önünde bulundurulmaktadır. Ek olarak rüzgâr yükleri, artan sığ su etkileri nedeniyle açık eniz petrol platformlarından farklıdırlar ve insanla çalışmadıkları gibi, büyük güverteleri de yoktur. Bu nedenlerden dolayı tasarım uygulamalarının güvenilirliğini artırmak için tüm bu konuları ele alarak tasarımlar gerçekleştirilmelidir.

Açık deniz üzeri rüzgâr türbinleri yapıları ile ilgili ilk standartlar Det Norske Veritas (DNV) ve Germanischer Llyod (GL) tarafından 2004 ve 2005 yıllarında yayınlanmıştır (Lloyd, 2005; Veritas, 2004). Uluslarası Elektroteknik Komisyonu (IEC) standardı IEC-61400-3, 1999'da başlayan bir geliştirme süreci ile 10 yıllık bir çalışmanın sonucu olarak ilk olarak 2009'da yayınlanmıştır (Commission, 2009). 2010 yılında ise American Bureau of Shipping (ABS), ABS standardını yayınlamıştır (ABS, 2013a).

Sektördeki eğilimi takip ederek oluşturulan il kurallar önceleri sabit açık deniz yapılarına uygulnırken, DNV standardı OS-J101 durumunda olduğu gibi yüzer rüzgar türbinleri için uygulamalarının değerlendirmesinde bir öncü olmuştur (Ronold vd., 2010). Bureau Veritas (BV), 2010 yılında esas olarak IEC-61400-3'ü ele alan ve test edilecek yük durumlarını tanımlayan açık deniz üzeri yüzer rüzgâr türbinleriyle ilgili bir not yayınlamıştır (Uzunoglu, 2019).

2012 yılından itibaren çalışmaların odağı yüzer platformlara kaydırılarak klas kuruluşları tarafından yüzer rüzgâr türbinleri ile ilgili standartlar geliştirmeye başlamıştır. DNV, 2013 yılında ABS ile birlikte OS-J103'ü yayınlamıştır (ABS, 2013b). 2011'deki Fukushima nükleer felaketi olaylarının ardından, Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK) 2012'de kendi kurallarını yayınlamıştır (Kyokai, 2012). DNV'nin çalışmaları, alanlarında deneyimli olan Statoil, Navantia, Iberdrola, Alstom Gamesa, Sasebo Heavy Industries, Nippon Steel Corporation, STX, Principle Power ve Glosten Associates firmaları ile Eylül 2011'de başlatılan Ortak Sanayi Projesinin bir sonucu olarak sunulmuştur (Anne Lene H Hopstad vd., 2013). Yenilenmiş versiyon, yüzer platform ve sabit yapılı rüzgâr türbinleri arasındaki farkları ele almayı amaçlamaktadır. Bu

çalışmada hidrostatik stabilite ve platform üzerindeki ikinci dereceden hidrodinamik etkiler gibi hususlar dikkate alınmıştır (López-Pavón vd., 2015; Simos vd., 2018; Sirnivas vd., 2014).

Yüzer rüzgâr türbinleri için sistem stabilite sorununu çözmeye çalışırken birçok yük türüne maruz kalmaktadır Bu sebeple klas kuruluşları, yüzer sistemlerin tasarım faktörlerinin, sabit yapılı sistemler için ele alınan konulardan farklı olduğunu söylemektedir (Uzunoglu, 2019). Örneğin, platformun hidrodinamiği kurulum, işletme ve kaza durumlarında farklı şekilde davranış gösterecektir ve bunun kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca kurulum bölgesine bağlı olarak sığ su ya da yüksek dereceli dalga etkileri ön plana çıkabilir. Bu sebeple platformun uzun doğrusal olmayan tepkilerini yakalamak için daha uzun simülasyon sürelerine ihtiyaç duyulabilir (Uzunoglu, 2019).

Bunların yanı sıra yüzer rüzgâr türbinlerindeki diğer bir konu da ekonomik zorluklardır. Maliyetleri düşüürmek için daha verimli tasarımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle klas kuruluşları, standartlarını maliyet-kazanç analizini ve güvenilirliği tasarım sürecine dahil etmeye çalışmaktadır (Karmakar vd., 2014).

Tasarım ve Optimizasyon Çalışmaları

Burada asıl önemli olan konu, platformun işlevi ve güvenliği için uygun özellikleri elde etmek adına platform formunu yenilemektir. Petrol ve gaz endüstrisinde kullanılan büyük güverteli alanlar burada kullanılmaz. Olası kombinasyonların sayısı (örneğin, bir yarı-batıktaki destek bağlantıları) sınırsızdır. Bu da tasarım çalışmaları için oldukça geniş bir yelpaze sunmaktadır.

Rüzgâr enerjisi gibi alanlardaki yeni tasarımlar, açık deniz petrol ve gaz enüstrisinin ilk yıllarında karşılaştığı benzere zorlukları ortaya koymaktadır. İkinci nesil yarı-batıkların beşinci nesilleri ile karşılaştırıldığında, gövdelerin 50 yıllık bir süre içinde mevcut formlarına nasıl dönüştüğü görülebilmektedir Aynı durum rüzgâr platformları için de geçerlidir. Ancak burada çok sayıda bilinmeyen vardır ve en uygun çözüme karar verilmemiştir. Sınırlı kurulum sayısı ve platform tasarımlarındaki öneriken farklılıklar, sektör deneyimini sınırlı kılmaktadır. Örnek olarak, WindFloat yarı-batık platformu bağlantı destek elemanlarıyla birleştirilmiş 3 silindirik kolondan oluşan modeli ve prizmatik kolonlarla destek elemansız V-biçimli bir alternatif modeli çalışılmıştır (Karimirad ve Michailides, 2015). Benzer şekilde, duba temelli SeaStar tasarımının tek kolon varyasyonları üzerine gerçekleştirilmiş birçok çalışma bulunmaktadır (S E Kibbee vd., 1994; Stephen E Kibbee vd., 1999).

Bunun aksine GICON TLP ve örnek bir çalışmada sunulan model, belirli modifikasyonlar ve uyarlamalar ile gövdenin dört kolonlu gergi ayaklı (TLP) platform tasarımlarına daha yakın olduğu formlara odaklanmaktadır (Adam vd., 2013; Han vd., 2017).

Oldukça fazla sayıda bilinmeyen içeren tasarımın erken aşamalarında gerçekleştirilen bir çalışmada ise, karmaşık olan bilgisayar destekli tasarım (CAD) sistemleriyle uğraşmaktan kaçınmak için eketronik tablo tipi hesaplamaların ve kapalı form denklemlerinin kullanılması önerilmektedir (Chakrabarti, 2005). Birçok yazar da tasarım ve ölçek büyütme çalışmalarında bu öneriyi kullanmıştır (Bachynski ve Moan, 2012; Leimeister vd., 2016).

Bir platform gövde formunun optimizasyon süreçleri için 1996'da sunulan panel yöntemlerine girdi olarak parametrel boyutları kullanan ilk çalışmalr, hesaplama gücü arttıkça yıllar içinde gelişim göstermiştir. Petrol ve gaz platformları temalı olan bu çalışmalar rüzgâr türbini platformlarına bir çözüm olarak da uygulanmış ve özellikle bir TLP için kullanılmıştır (Tracy, 2007). Bu yaklaşımda, platform derinliği ve kullanınlan elemanların çapı gibi çeşitli parametreler değişken olarak seçilir ve gövde şekli, tanımlanan kısıtlamalar ile tasarım sınırları içerisinde değiştirilmiştir. Ardından istenen performans özelliklelerini değerlendirmek için bir dizi geometri oluşturulur. Çoğu durumda, çok gövdeli yapıların bağlantı destek elemanlarının atlanması gibi, modeli daha da sadeleştiren basitleştirmeler kullanılmıştır (Andersen vd., 2015). Bilgisayar bilimlerindeki ilerlemeyle birlikte genetik algoritmalar ve diğer benzer yaklaşımların varyasyonları gibi yeni yaklaşımlar da ortaya çıkmıştır (Hall vd., 2013; Kim vd., 2013). Bu yeni yaklaşımın en önemli avantajı döngülü hesaplamalara oranla daha düşük hesaplamalara gereksinimi olmasıdır (Hall vd., 2013).

Daha önce gerçekleştirilmiş hidrodinamik tasarım çalışmalarında, platform gövde formundaki değişikliklerden dolayı kütle ve atalet değerlerindeki değişimlerin dikkate alınmadığı görülmüştür. Ağırlık, isteğe bağlı şekillerin atalet değerlerine kıyasla CAD yazılımı olmadan hesaplamak daha kolay olduğu için varsayımlar yoluyla kısmen ele alınmaktadır. Bu nedenle ilgili çalışmalarda yalnızca dalıp-çıkma hareketine odaklanılmıştır (Park vd., 2015; Venzon vd., 2014). Bununla birlikte platform tepkileri, TLP tendon gerilimlerini belirlemede atalet değerlerinin özellikle önemli olduğu 6x6 kütle matrisine bağlıdır. Baş-kıç vurma ve yalpa hareket modları, bağlama sistemleri kuvvetleri ve momentlerindeki değişiklikle ilişkilidir. Bu sebeple kütle matrisindeki bir yanlış hesaplama, hareket ve yük tahminlerinde açıkça hatalara yol açacaktır. Bu konu kısmen basit bir şekilde 2015 yılında yayınlanan bir çalışmada ele alınmıştır. Bu çalışmada bir yarı-batık platformda istatistik tabanlı hesaplamalar ile bir

optimizasyon değişkeni olarak yapısal ağırlığı kullanmasına rağmen ataletten söz edilmemektedir (Park vd., 2015). Hem kütle hem de atalet kuvvetleri ise örnek başka bir çalışmada tartışılmıştır ve gerekçesi açıklanmadan ana boyutların yüzdesi olarak alınmıştır (Venzon et al., 2014). Benzer şekilde, ağırlık merkezide bir varsayımla seçilmiştir.

Diğer Literatür Çalışmaları

Yukarıda görüldüğü gibi literatürde farklı tip açık deniz üzeri rüzgâr türbinleri için çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların çoğunluğu platform tasarıları ile ilgilidir. Literatürde yine açık deniz üzeri rüzgâr çiftliği kurulum yeri belirlenmesi ile ilgili çalışmalar da mevcuttur.

Açık deniz üzeri alanına yüzer rüzgâr türbinlerinin kurulması zor bir iştir. Zaman verimliliği ve maliyetlerinin önemli bir kısmı hava koşullarına duyarlı kurulum yöntemleriyle ilgilidir. Zhiyu vd.'ne (2020) göre kule, nasel ve rotorun bir SPAR platform üzrine kurulması sırasında yüzen sistemi korumak için, basit tasarım kısıtlamaları kullanarak bir yüzer havuz zkonsepti tasarlamıştır. İki farklı boyutta SPAR platform alınarak yüzer havuz ile birleşik hidrodinamik analizi düzensiz dalgalar için gerçekleştirilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Mevcut yüzer havuz tasarımı platformun baş-kıç vurma tepkilerini azaltarak potansiyel olarak türbin-platform etkileşimini artırmıştır. Yine bakım ve onarı için Shanley vd. (2017) rüzgâr çiftliği için servis gemisi nümerik tasarıı ve analizini gerçekleştirmiştir. Amate vd. (2016) gerçekleştirdikleri çalışmada TLP kurulumu için yüzer mavna tasarımı gerçekleştirmişler ve TLPWind için validasyon çalışmalarında bulunmuşlardır.

Serret vd. (2018) ise gerçekleştirdikleri çalışmada derin deniz için yüzer türbin model deneyi geçekleştirmişlerdir. Bunun için çalımada, kule ve nasel setini yükseltip alçaltabilen bir yenilik, hibrit bir SPAR platform ile birleştirilerek yeni bir konsept geliştitilmiş ve hidrodinamik testleri yapılmıştır. Ayrıca bu yeni konsept için model testleri tanımlanmış ve farklı bağlama sistemleri için rezonans ve RAO'ları sunulmuştur.

Oğuz vd. (2018) gerçekleştirdikleri çalışmada gerçek rüzgâr ve dalga koşullarında Iberdola, TLPWIND yüzer rüzgâr platformları için deneysel ve sayısal araştırmalar yapmıştır. Çalışmada NREL 5 MW referans türbini TLP üzerine kurulmuş ve 70 m'lik bir su derinliğinde çalışacak şekilde tasarlanmış, serbest sönümleme testleri, düzenli ve düzensiz dalgalardaki testleri ve rüzgâr koşullarında simülasyonla gerçekleştirilmiştir. Fiziksel deneylerin yanında aerodinamik yüklerden kaynaklanan platfoorm tepkileri de gözlenmiştir. Bu tepkileri incelemek için NREL tarafından geliştirilen açık kaynaklı FAST paket programı kullanılmıştır.

Burmester vd. (2016) ise gerçekleştirdikleri çalışmalada BEMT (Blde Element Momentum Theory) paket programını kullanarak üç boyutlu RANS analizlerini gerçekleştirmiştir.

Oğuz vd.'ne (2013) göre Türkiye'de Güney Marmara bölgesi açık deniz üzeri rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından güçlüdür. Bu amaçla potansiyel araştırması için 4 farklı bölge seçilmiş ve bölgelerin rüzgâr özellikleri değerlendirilmiştir. Seçilen bölgeler ortalama günlük zaman serileri olarak ölçülen rüzgâr verileri dikkate alınarak analiz edilmiştir. Çalışmada verilen bulgulara göre, Kapıdağ Yarımadasının kuzey, oğu ve batı açık deniz üzeri alanları, açık deniz üzeri rüzgâr türbinlerinin kurulması için uygun görülmektedir. Kapıdağ Yarımadası'nın kuzey tarafında yerleşim alanı bulunmakta ve bu bölgedeki deniz trafiği de seyrektir. Civardaki nispeten sığ su derinlikleri incelendiğinde, Marmara adasının kuzey kıyılarına kadar uzanan açık deniz üzeri rüzgâr türbinlerinin konuşlandırılması uygun bir yatırım gibi görülmektedir. Çanakkale Boğazı'nın girişine doğru uzanan Karabiga'nın açık deniz tarafı olarak ikinci bir uygulanabilir bölge verilebilirken, Kurşunlu'nun açık deniz tarafı olarak üçüncü bir alan tanımlanmıştır. Düşük rüzgâr hızları nedeniyle en az uygulanabilir bölge ise Yalova bölgesi gösterilmiştir.

Auani vd.'ne (2019) göre, iki kanatlı açık deniz üzeri rüzgâr türbinleri de kullanmak mümkündür ve bu doğrultuda iki ve üç kanatlı açık deniz üzeri rüzgâr türbinleri için FAST programında analizler gerçekleştirerek karşılaştırmalar yapmıştır.

Lamai vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise, yüzer açık deniz üzeri rüzgâr türbinlerinde hareket ve hidro-elastik analizler yapılmıştır. Yapının dinamik tepkisi hem aerodinamik hem de hidrodinamik yükler tarafından yönlendirilirken, bu çalışma yeni yüzer yapının sadecec hidrodinamik yüklere hareketine ve elastik tepkisine odaklanmıştır. Yapı, birden fazla türbini barındıracak şekilde tasarlanmıştır.

Şekil 9: Çok Türbinli Üçgen Yarı-Batık Platform
Kaynak: (Lamei et al., 2019)**.**

Micallef ve Sant (2015) ise gerçekleştirdikleri çalışmada yatay eksenli yüzer açık deniz üzeri rüzgâr enerjisi platformlarının ileri öteleme hareketi için yükleme etkileri incelemiştir. Bunun için NREL tarafından geliştirilen 5 MW'lık yatay eksenli referans türbin kullanılmış ve ilgili analizler FAST programı yarımıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, sabit dalgalanma koşulları ve değişen uç hız oranları altında çalışan rotorun araştırması yapılmıştır. Kararsız etkiler çoğunlukla nominal koşulda ve üstünde olduğu vurgulanmıştır. Bununla birlikte böyle bir sonuun, dalgalanma genliği ve frekansına bağlı olarak değişeceği beklenmektedir.

Tran vd. (2016) tarafından gerçekleştrilen çalışmada yarı-batık yüzer açık deniz üzeri rüzgâr türbini platformu için dinamik akış ve yapı etkileşimi kullanılarak tam bağımlı aero-hidrodinamik analizi gerçekleştirilmiştir.

Vire vd. (2013), yüzer açık deniz üzeri rüzgâr türbini platformlarının tam bağımlı sayısal modellemesini yaparak analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, tamamen doğrusal olmayan modeller kullanarak sıvılar ve katılar arasındaki etkileşimler modellenmiştir. Bu nedenle çalışma, akışkan ortam veyüzer katılar arasındaki etkileşimleri modellemek için birçok olanak sağlamaktadır. Ayrıca her model, akışkan ve katı dinamikler için tam doğrusal olmayan denklem setini çözmüşlerdir.

Recalde ve Leithead (2018) tarafından yapılan çalışmada yüzer rüzgâr türbin platformlarında istenmeyen dalgalanmaların ve hareketlerin azaltılması için yeni bir strateji sunulmuştur. Nominal rüzgâr hızlarında rüzgâr türbininin monte

edildiği platform, jeneratör hız kontrol döngüsünün kararsız hale gelmesine neden olmaktadır. Burada önerilen yöntem ise, kule kuvvetleri kullanılarak ölçülen jeneratör hızının ilave bir ayarlamayla kontrol döngüsünün stabilitesini sağlamasıdır. Geliştirilen yöntem, platform ve dalga dinamiklerinden bağımsızdır.

Ülkemizde gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde ise aşağıdaki örneklere rastlanmıştır. Bu çalışmaların daha çok kurulum yeri seçimi üzerine gerçekleştirildiği görülmektedir.

Ülkü (2019), gerçekleştirdiği çalışmada türbinlerin konumu, kablo türünütasarlayan türbinlerin bağlanması ve hem türbin konumunun hem de kablo yerleşimi sorunlarının eş zamanlı çözümü olacak şekilde üç ana bölümde ele almıştır. Rüzgâr enerji santrali içindeki her bir türbinin yerlerinin belirlenmesine *türbin yeri* (TL) problemi denir. Tezin ilk bölümünde, rüzgâr türbinlerinin yerleşimi için çoklu gölge etkileri dikkate alınarak yeni bir doğrusal olmayan matematiksel programlama modeli önerilmiştir. Modelde iki amaç fonksiyon ayrı ayrı dikkate alınmaktaadır. Bunlar, üretilen toplam gücün en iyiye çıkarılması ve güç birimi başına maliyetin en aza indirilmesidir. Türbinlerin göreceli konumları, gölge etkilerden dolayı toplam enerji üretim miktarını etkilemektedir. Önerilen modelde birden fazla gölge etkisini dahil etmek için, Jensen'in gölge modeli kullanılmıştır. Bu modelin çözümuzayının bütünsel birimsellik (totally unimodularity) olan bir özelliğe sahip olduğu ve rüzgâr türbini konumlarını gösteren ikili değişkenlerin gevşetilmesinin modelin çözülmesini nispeten kolaylaştırdığı deneysel olarak kanıtlanmıştır. Tezin ikinci kısmında, türbinler ve koveyörler arasındaki kablo bağlantıları, rüzgâr enerji santrali düzeninin tasarımında zorlayıcı sorunlardan biri olarak ele alınmaktadır. CL tasarımı adı verilen bu problem, özellikli ve yüksek maliyetli kabloların kullanıldığı açık deniz üzeri rüzgâr santralleri için çok önemlidir. Bu çalışmanın ikinci kısmında, toplam kablo maliyetini en aza indirmek için açık deniz üzeri rüzgâr santrallerinin kablo bağlantılarının optimizasyonu ele alınmıştır. Çalışmanın üçüncü kısmında ise; TL ve CL problemlerinin çözümü eşzamnlı olarak ele alınmıştır. Hem TL hem de CL problemlerini çözmek için açık deniz üzeri rüzgâr çiftlikleri üzerine bir bütünleşik matematiksel model geliştirilmiştir.

Turhanlar'a (2018) göre, öncelikle açık deniz üzeri rüzgâr enerji santrallerinin kurulumundan önce seçilecek konum üzerinde incelenmesi gereken parametrelerin gözden geçirilmesi gereklidir. Daha sonra Türkiye rüzgâr haritasına göre başlangıç bölgesi olarak Ege Bölgesi'ndeki Çanakkale ve çevresi uygulama alanı olarak seçilmiştir. Ardından Çanakkale ve çevresi için Meteoroloji Genel Müürlüğü'nden alınan ortalama rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü

bilgilerini inceleyerek Bozcaada ve çevresinin deniz üzeri rüzgâr çiftliği kurulumu içinen uygun alan olduğunu belirlemiştir. Türbin sayısı, temel tipi ve türbin türü; deniz durumu, rüzgâr hızı, deniz derinliği, dalga yükleri, çevreye ve yerleşimin deniz ulaşımına etkisi gibi koşullar göz önüne alınarak Bozcaada'nın kuzeydoğusu kurulum alanı olarak seçilmiş ve potansiyel kurulum çalışmasını tamamlamıştır. Çalışmasında ayrıca "VESTAS V116-2.0 MWIEC IIB" rüzgâr türbininin bölge için en uygun türbin olduğunu tespit etmiştir.

Akalın'a (2018) göre, çok kriterli karar verme tekniklerinden Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (F-AHP) kullanılarak açıkdeniz rüzgâr enerjisi türbinlerinin kurulum yeri seçimi için bir model önerisinde bulunulmuştur.

Alkan (2013) gerçekleştirdiği çalışmada 5 MW'lık refereans bir açık deniz üzeri rüzgâr türbini için yüzer platform ve demirleme sistemleri tasarımı üzerine odaklanmıştır.

Leblebicioğlu (2020), yaptığı çalışmada WindSim programı kullanarak açık deniz üzeri rüzgâr santrali mikro konumlandırılmasını Bozcaada için gerçekleştirmiştir. Ayrıca çalışmasında iki tane 2 MW'lık türbin kullanarak, kapasite faktörünü %24 olarak hesaplamıştır.

Gülay'a (2019) göre, Gökçeada ve Gaziköy için açık deniz üzeri rüzgâr çiftliği tasarımı gerçekleştirilmiştir. Meteorolojiden alınan veriler doğrultusunda yine "VESTAS V116-2.0 MWIEC IIB" rüzgâr türbini kullanımının bölge içinen uygun tercih olacağı belirlenmiştir.

Yumurtacı ve Özdilim'e (2017) göre Bozcaada ve çevresi, Türkiye'de kurulabilecek deniz üzeri rüzgâr türbinleri için en uygun bölgedir. Ayrıca kurulumu gerçekleştirilecek olası bir deniz üzeri rüzgâr santralinin yıllık net getirisi 57381 M€, geri ödeme süresi ise 8,7 yıldır.

Güzel vd. (2012) gerçekleştirdikleri çalışmada fizibilite adımları ile Bozcaada ve Gökçeada örneklemelerinde bulunmuştur. Açık denizde kurulabilecek açık deniz üzeri rüzgâr enerjisi santralinin elektrik üretme kapasitesi ve ekonomik etüdü yine bu çalışmaa incelenmiştir. Ayrıca Bozcaada bölgesi için "1,8 MW VESTAS" türbini ve 100 m kule yüksekliği kullanımının en uygun yatırım olacağını belitmiştir.

Erkurtulmuş (2022) ise gerçekleştirdiği çalışmasını 3 kısımda ele almıştır. Öncelikle ilk kısımda Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) tabanlı Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (F-AHP) kullanarak bir yüzer açık eniz rüzgâr enerjisi santrali kurulum bölgesi belirlemiştir. Uzman görüşleri doğrultusunda belirlenen kriterler ve kısıtlamalar ile Gökçeada'nın kuzeydoğusunda 12 km kıyıdan olan uzaklıkta kalan bölge kurulum yeri için en uygun bölge olarak belirlenmiştir. Daha sonra açık erişim kodlu yüzer açık deniz üzeri rüzgâr türbini platform konseptleri türlerinden dört tanesi belirlenmiştir ve yapılan simülasyonlar ile

validasyon işlemleri gerekleştirilerek birbirleri arasında kıyaslaması yapılmıştır. Böylece önceki kısımda belirlenen alternatif kurulum bölgesi için en uygun türbin-platform konsepti belirlenmiştir. Validasyon işlemi için aero-servo elastik çözümleme yapan NREL tarafından geliştirilmiş FAST programı kullanılmıştır. Sonraki aşamada ise en uygun alternatif bölgede kurulumu gerçekleştirilecek yüzer açık deniz üzeri rüzgâr türbini konsepti belirlenerek çevresel koşullar ve yükler altında simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle rüzgâr hızına göre hesaplar gerçekleştirilerek türbin ve türbin kulesine uygun platform tipi belirlenmiştir. Kurulum gerçekleştirilmek istenen alternatif bölgede ortalama rüzgâr hızı 9,6 m/s'dir. Göbek yükseklikleri dikkate alınarak 90 m ve 119 m için hesaplamalar gerçekleştirilmiş ve türbin göbek yükekliği 119 m seviyesinde ortalama rüzgâr hızı "*logaritmik güç kanunu*" yöntemi kullanılarak 11,25 m/s hesaplanmıştır. Bulunan bu rüzgâr hızına göre ise rüzgâr gücü 8,93 MW olarak bulunmuştur. Bu gücün eldesi için Danimarka Teknik Üniversitesi (DTU) tarafından geliştirilen 10 MW'lık referans rüzgâr türbini belirlenen alternatif kurulum bölgeinde kullanılmak üzere seçilmiştir. Çalışmada incelenen platform konseptlerinden NAUTILUS ve Olev Olsen tarafından geliştirilen LIFES50+ OO-STAR, belirlenen bu türbini ve kulesini destekleyecek şekilde tasarlanmıştır. Bunlardan da, önceki kısımlarda gerçekleştirilen hareket analizleri incelendiğinde daha stabil olan LIFES50+ OO-STAR platformu, bu çalışmada belirlenen alternatif en uygun kurulum yeri bölgesi için, tecih edilmiştir ve simülasyonları gerçekleştirilek performans ve hareket analizleri incelenmiştir. Çalışmanın son kısmında ise belirlenen alternatif bölgede olası kurulacak bir yüzer açık deniz üzeri rüzgâr enerjisi santrali için maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Rüzgâr türbinleri kurulurken D kanat çapı olmak üzere aralarında yatay doğrultuda 5D, düşey doğrultuda ise 10D boşluk bırakılmalıdır. Bu husus dikkate alındığında düşeyde 6000 m, yatayda ise 2000 m'lik bir alana sahip kurulum bölgesine, yatayda 3 sıra, düşeyde ise 4 sıra olmak üzere 3x4= 12 tane yüzer açık deniz üzeri rüzgâr türbini kurulumu gerçekleştirilebilecektir. Seçilen 10MW'lık türbin göz önüne alındığında ise 12 türbinli yüzer açık deniz üzeri rüzgâr enerjisi santrali kurulu gücü 12x10= 120 MW olmaktadır. Ülkemizde henüz açık eniz rüzgâr enerjisi santralleri için bir kanun ya da yürütme olmadığından referans çalışmalar doğrultusunda maliyet analizi, "*Levelized Cost of Energy*" (LCOE) yönemi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve 3100€/kWh olarak belirlenen tesis ilk yatırım maliyeti, %6 faiz, %14,75 iskonto ve %8 eskalasyon oranı ile yapılan hesaplamalar sonucunda 486,12 Milyon€'luk bir yatırım için birim maliyet , işletme ve bakım masrafları dahil 8,40€cent/kWh olarak hesaplanmıştır. Ülkemize açık deniz üzeri rüzgâr enerjisi santralleri ile ilgili bir teşvik ve tarife

henüz olmadığından diğer yenilenebilir enerji santralleri göz önünde bulundurularak bu çalışma gerçekleştirilmiş ve bu yatırımın ilgili teşvik ve tarifeler doğrultusunda yaklaşık 8 yıl gibi bir sürede kendini geri ödeyeceği bulunmuştur.

SONUÇ

Bu çalışmada, olası kurulumu gerçekleştirilecek olan yüzer açık deniz üzeri platformları hakkında genel derleme yapılarak, literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Açık deniz üzeri rüzgâr türbini platformları gibi yeni alanlarda, kurulum sayısının düşük olması ve gövde formlarının önemli ölçüde farklı olması nedeniyle istatistiklerin mevcut olmadığı dikkate alınmalıdır. Bu konular, tasarım uygulamaları değerlendirilirken, hareket tahminlerindeki sınırları içerecek şekilde genişletilen çalışmalar ile ele alınmalıdır.

Çalışmalara öncü olan DeepCwind konsorsiyumu platformları incelendiğinde deneysel veriler, karışık rüzgâr/dalga yüklerinin tepki genlik operatörlerinin (RAO) rüzgârsız dalgalara verilen tepkilere benzer olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, dalgaların rüzgârın aksine tüm modlarda platform hareketlerinin ana itici gücü olduğunu belirtmektedir. Bununla birlikte, aerodinamik özelliklerin, öcellikle rüzgâr itkisinin dinamik etkileri, platform hareketlerinde önemli bir role sahiptir

Japonya çalışmaları incelendiğinde ise çalışmanın bulguları platform özellikleri ile igili DeepCwind çalışmaları ile uyumlu olmuştur. Ayrıca TLP tiplerin dalıp-çıkma (heave), baş-kıç vurma ve yalpa hareketlerinde stabilitesinin olumlu olduğu görülmüştür. SPAR platformun ise çoğu çevre koşulunda en yüksek ivme ve hareket değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiş ve yüksek ivmenin nasel seviyesinde çalışan mürettebatı olumsuz etkileyeceğini göz önünde bulundurarak platform bakımının zorluğu irdelenmiştir. Platformların dalga ve rüzgâr kaynaklı hareketlerine ek olarak, çalışma, SPAR platformun rotorun jiroskopik etkisinden dolayı ekstra bir savrulma hareketine maruz olmaktadır.

Bu çalışmalar incelendiğinde genel olarak yarı-batık platformların daha stabil olduğu sonucuna varılmıştır. Ülkemizin deniz derinlikleri göz önünde bulundrurulduğunda ise en uygun platform konseptinin yine yarı-batık bir platform olan Olev Olsen tarafından geliştirilen LIFES50+ OO-STAR platformunun olduğu, Erkurtulmuş (2022) tarafından hareket analizleri FAST programı ile gerçekleştirilerek bulunmuştur. Bunun yanında yeni platformlar da tasarlanabilir. Bunun için konu ile çalışmalar gerçekleştrilecek bilgi birikimine sahip kişiler yetiştirilmelidir. Bu amaçla üniversitelerde konu ile ilgili dersler ve

uygulamalar verilebilir. Böylece üç tarafı denizlerle kaplı ülkemizde sürdürülebilir bu enerji hakkında farkındalık oluşturulacaktır. Ancak şu aşamada yeterli bilgi birikiminin olmayışı, donanım eksikliği gibi sebeplerden ötürü, tecrübe edilmiş çalışmalar üzerinden hareket etmek daha olumlu sonuçlar sağlayacaktır.

REFERANSLAR

American Bureau of Shipping. (2013a). *Guide for building and classing bottom-founded offshore wind turbine installations*. Texas: ABS.

American Bureau of Shipping. (2013a). *Guide for building and classing bottom-founded offshore wind turbine installations*. Texas: ABS.

Adam, F., Steinke, C., Dahlhaus, F., ve Großmann, J. (2013). GICON®-TLP for wind turbines–validation of calculated results. *The Twenty-Third International Offshore and Polar Engineering Conference(ISOPE)*, *Alaska,United States, Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Akalın, S. (2018). *Açık deniz rüzgar enerjisi türbinlerinin kurulum yeri seçimi için bir model önerisi*. Ankara: Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Alkan, S. (2013). *Bir açık deniz rüzgâr türbini için yüzer platform sistemi tasarımı ve demirleme sisteminin hidrodinamik analizi*. Bartın: Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Amate, J., Sánchez, G. D., ve González, G. (2016). Development of a semi-submersible barge for the installation of a TLP floating substructure. TLPWIND® case study. *Journal of Physics: Conference Series: Vol.749(1). (pp. 12016-12030)*. *Hamburg*, *Germany, Kongresine Sunulmuş Bildiri*.

Andersen, M. T., Hindhede, D., ve Lauridsen, J. (2015). Influence of model simplifications excitation force in surge for a floating foundation for offshore wind turbines. *Energies*, *8*(4), 3212–3224.

Aouani, N., Ritschel, U., ve Chaabane, F. (2019). Comparative study of two and three-bladed wind turbine's performances, FAST as framework. *ERDD'2019 3rd International Conference on Renewable Energies and Sustainability, Monastir, Tunisie Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Azcona, J., Vittori, F., Schmidt, U., Svanije, F., Kapogiannis, G., Karvelas, X., Manolas, D., Voutsinas, S., Amann, F., ve Faerron-Guzman, R. (2017). Design solutions for 10 MW floating offshore wind turbines. *INNWIND. EU, Deliverable D*, *4*, 37.

Bachynski, E. E., ve Moan, T. (2012). Design considerations for tension leg platform wind turbines. *Marine Structures*, *29(1), 89–114.*

Barış, G. (2012). Açık deniz rüzgar enerjisi, fizibilite adımları ile Bozcaada ve Gökçeada örnek çalışması.İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi,Enerji Enstitüsü.

Burmester, S., Gueydon, S., ve Make, M. (2016). Determination of scaled wind turbine rotor characteristics from three dimensional RANS calculations. *Journal of Physics: Conference Series*,*Vol. 753(8)*, 82003.

Butterfield, S., Musial, W., Jonkman, J., ve Sclavounos, P. (2007). *Engineering challenges for floating offshore wind turbines*. Golden, CO: National Renewable Energy Lab.(NREL).

Cermelli, C., Roddier, D., ve Aubault, A. (2009). WindFloat: A floating foundation for offshore wind turbines—part II: hydrodynamics analysis. *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, *43444*, 135–143.

Chakrabarti, S. (2005). *Handbook of Offshore Engineering (2-volume set)*. Elsevier.

Chen, C.-Y., Mei, X., ve Mills, T. (2007). Effect of heave plate on semisubmersible response. *The Seventeenth International Offshore and Polar Engineering Conference*, *Lisbon, Portugal Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Chen, L., Ponta, F. L., ve Lago, L. I. (2011). Perspectives on innovative concepts in wind-power generation. Energy for Sustainable Development, 15(4), 398-410.

International Electrotechnical Commission. (2009). *IEC 61400-3 wind turbines Part3: Design requirements for offshore wind turbines.* Genava: IEC.

Cordle, A., ve Jonkman, J. (2011). State of the art in floating wind turbine design tools. *The Twenty-First International Offshore and Polar Engineering Conference, Hawaii, United States Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Coulling, A. J., Goupee, A. J., Robertson, A. N., Jonkman, J. M., ve Dagher, H. J. (2013). Validation of a FAST semi-submersible floating wind turbine numerical model with DeepCwind test data. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, *5*(2), 23116.

Det Norske Veritas. (2011). *DNV-OS C301: Stability and watertight integrity*. Oslo: DNV.

Det Norske Veritas. (2004). Design of Offshore Wind Turbine Structure. *Offshore Standard DNV-OS-J101*. Oslo: DNV.

Det Norske Veritas. (2013a). Design of Floating Wind Turbine Structures, DNV-OS-J103. Hovik: DNV.

Det Norske Veritas. (2013b). DNV-OS-J101 Offshore standard: Design of offshore wind turbine structures. Oslo: DNV.

Erkurtulmuş, S. A. (2022). *Yüzer açık deniz rüzgâr türbinleri hareket analizi ve performans üzerinde etkisi.* Trabzon: Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitei, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Floting Offshore Wind Consortium. (2014). *Fukushima floating offshore wind farm demonstration project (Fukushima FORWARD)*. Fukushima:

FOWC.

Fricke, W., ve Bronsart, R. (2012). Offshore renewable energy. *International Ship and Offshore Structures Congress (ISSC) Rostock, Germany Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Germanischer Lloyd. (2005). Rules and Guidelines, IV–Industrial Services, Part 2–Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines. Hamburg: GL.

Global Wind Energy Council. (2019). *GWEC Global Wind Report 2019*. Bonn: GWEC.

Goupee, A. J., Koo, B. J., Kimball, R. W., Lambrakos, K. F., ve Dagher, H. J. (2014). Experimental comparison of three floating wind turbine concepts. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, *136*(2).

Guedes Soares, C., Bhattacharjee, J., ve Karmakar, D. (2014). Overview and prospects for development of wave and offshore wind energy. *Brodogradnja: Teorija i Praksa Brodogradnje i Pomorske Tehnike*, *65*(2), 87–109.

Gulay, A. (2019). *Potential off-shore wind farm on Gaziköy and Gökçeada*. İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hall, M., Buckham, B., ve Crawford, C. (2013). Evolving offshore wind: A genetic algorithm-based support structure optimization framework for floating wind turbines. *MTS/IEEE OCEANS-Bergen*, *Norway Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Hall, M., & Goupee, A. (2015). Validation of a lumped-mass mooring line model with DeepCwind semisubmersible model test data. *Ocean Engineering*, *104*, 590–603.

Han, Y., Le, C., Ding, H., Cheng, Z., ve Zhang, P. (2017). Stability and dynamic response analysis of a submerged tension leg platform for offshore wind turbines. *Ocean Engineering*, *129*, 68–82.

Hirdaris, S. E., Bai, W., Dessi, D., Ergin, A., Gu, X., Hermundstad, O. A., Huijsmans, R., Iijima, K., Nielsen, U. D., ve Parunov, J. (2014). Loads for use in the design of ships and offshore structures. *Ocean Engineering*, *78*, 131–174.

Hopstad, Anne Lene H, Ronold, K. O., Sixtensson, C., & Sandberg, J. (2013). Standard Development for floating wind turbine structures. *Proceedings of EWEA Offshore 2013*.

Hopstad, Anne Lene Haukanes, Argyriadis, K., Manjock, A., Goldsmith, J., ve Ronold, K. O. (2018). DNV GL standard for floating wind turbines. *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*,

California, United States Kongresine Sunulmuş Bildiri.

Hu, C., Sueyoshi, M., Liu, C., Kyozuka, Y., ve Ohya, Y. (2013). Numerical and experimental study on a floating platform for offshore renewable energy. *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, *California, United States Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Intelligence, W. B. (2017). The European offshore wind industry–Key trends and statistics 2016. *Wind Europe, Brussels*, *Belgium Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Jain, A., Goupee, A. J., Robertson, A. N., Kimball, R. W., Jonkman, J. M., ve Swift, A. H. P. (2012). FAST code verification of scaling laws for DeepCwind floating wind system. *The Twenty-Second International Offshore and Polar Engineering Conference*, *Rhodes, Greece Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

James, R., ve Ros, M. C. (2015). Floating offshore wind: market and technology review. *The Carbon Trust*.

Jeon, M., Lee, S., ve Lee, S. (2014). Unsteady aerodynamics of offshore floating wind turbines in platform pitching motion using vortex lattice method. *Renewable Energy*, *65*, 207–212.

Jiang, Z., Yttervik, R., Gao, Z., ve Sandvik, P. C. (2020). Design, modelling, and analysis of a large floating dock for spar floating wind turbine installation. *Marine Structures*, *72*, 102781.

Jonkman, J. (2010). *Definition of the Floating System for Phase IV of OC3*. Golden, CO: National Renewable Energy Lab.(NREL).

Jonkman, J. M. (2007). *Dynamics Modeling and Loads Analysis of an Offshore Floating Wind Turbine, National Renewable Energy Laboratory*. Technical Report NREL/TP-500-41958.

Jonkman, J., ve Musial, W. (2010). *Offshore code comparison collaboration (OC3) for IEA Wind Task 23 offshore wind technology and deployment*. Golden, CO: National Renewable Energy Lab.(NREL)

Kaldellis, J. K., ve Zafirakis, D. (2011). The wind energy (r)evolution: A short review of a long history. *Renewable Energy*, *36*(7), 1887–1901.

Karimirad, M., ve Michailides, C. (2015). V-shaped semisubmersible offshore wind turbine: An alternative concept for offshore wind technology. *Renewable Energy*, *83*, 126–143.

Karmakar, D., Guedes Soares, C., ve Pena, F. L. (2014). Reliability based design loads of an offshore semi-submersible floating wind turbine. *Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources*. London: Guedes Soares, C. and FL Pena, Eds., Taylor & Francis Group.

Kibbee, S E, Chianis, J., Davies, K. B., ve Sarwono, B. A. (1994). The Seastar Tension-Leg Platform. *Offshore Technology Conference, Texas, United States Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Kibbee, Stephen E, Leverette, S. J., Davies, K. B., ve Matten, R. B. (1999). Morpeth seastar mini-tlp. *Offshore Technology Conference, Texas, United States Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Kim, J. H., Hong, S. Y., ve Kim, H. J. (2013). The shape design and analysis of floating offshore wind turbine structures with damper structure and shallow draft. *The Twenty-Third International Offshore and Polar Engineering Conference, Alaska, United States Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Kimball, R. W., Goupee, A. J., Coulling, A. J., ve Dahger, H. J. (2012). Model test comparisons of TLP, spar-buoy and semi-submersible floating offshore wind turbine systems. *SNAME Maritime Convention, Rhode Island, United States Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Koo, B. J., Goupee, A. J., Kimball, R. W., ve Lambrakos, K. F. (2014). Model tests for a floating wind turbine on three different floaters. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, *136*(2).

Nippon Kaiji Kyokai. (2012). *ClassNK Guidelines for Offshore Floating Wind Turbine Structures.* Tokyo: Nippon Kaiji Kyokai.

Lamei, A., Hayatdavoodi, M., Wong, C., ve Tang, B. (2019). *On Motion and Hydroelastic Analysis of a Floating Offshore Wind Turbine*. https://doi.org/10.1115/OMAE2019-96034

Laura, C.-S., ve Vicente, D.-C. (2014). Life-cycle cost analysis of floating offshore wind farms. *Renewable Energy*, *66*, 41–48.

Leblebicioğlu, E. (2020). An Onshorew wind farm design in Büyükada via WindSim, *International 100% Renewable Energy Conference (IRENEC), İstanbul, Türkiye Kongresine Sunulmuş Bildiri*.

Leimeister, M., Bachynski, E. E., Muskulus, M., ve Thomas, P. (2016). Rational upscaling of a semi-submersible floating platform supporting a wind turbine. *Energy Procedia*, *94*, 434–442.

Lopez-Pavon, C., ve Souto-Iglesias, A. (2015). Hydrodynamic coefficients and pressure loads on heave plates for semi-submersible floating offshore wind turbines: A comparative analysis using large scale models. *Renewable Energy*, *81*, 864–881. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.04.003

López-Pavón, C., Watai, R. A., Ruggeri, F., Simos, A. N., ve Souto-Iglesias, A. (2015). Influence of wave induced second-order forces in semisubmersible FOWT mooring design. *Journal of Offshore Mechanics*

and Arctic Engineering, *137*(3).

M. Masciola. (2014). *Definition of the Semisubmersible Floating System for Phase II of OC4*.

Martin, H. R., Kimball, R. W., Viselli, A. M., ve Goupee, A. J. (2014). Methodology for wind/wave basin testing of floating offshore wind turbines. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, *136*(2).

Matha, D. (2010). *Model development and loads analysis of an offshore wind turbine on a tension leg platform with a comparison to other floating turbine concepts*. Golden, CO: National Renewable Energy Lab.(NREL).

Mercier, J. A., Branch, D. W., Vories, D. W., ve Marr, T. O. (1982). Design of the Hutton TLP. *Offshore South East Asia Show*.

Micallef, D., ve Sant, T. (2015). Loading effects on floating offshore horizontal axis wind turbines in surge motion. *Renewable Energy*, *83*, 737–748.

Moon III, W. L., ve Nordstrom, C. J. (2010). Tension leg platform turbine: A unique integration of mature technologies. *SNAME 16th Offshore Symposium, Texas, United States Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Nihei, Y., Iijima, K., Murai, M., ve Ikoma, T. (2014). A comparative study of motion performance of four different FOWT designs in combined wind and wave loads. *ASME 2014 33rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Californi, United States Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Oguz, E., Akgul, A., ve Incecik, A. (2013). Offshore Wind Farms: Potential and Applicability in the Southern Marmara Region, Turkey, *15th Congress of International Maritime Association of the Mediterranean, Coruna, Spain Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Oguz, E., Clelland, D., Day, A. H., Incecik, A., López, J. A., Sánchez, G., ve Almeria, G. G. (2018). Experimental and numerical analysis of a TLP floating offshore wind turbine. *Ocean Engineering*, *147*, 591–605.

Park, Y., Jang, B. S., ve Du Kim, J. (2015). Hull-form optimization of semi-submersible FPU considering seakeeping capability and structural weight. *Ocean Engineering*, *104*, 714–724.

President, E. O. of the. (2015). *Executive order 13693: Planning for federal sustainability in the next decade*. Executive Office of the President Washington, DC.

Recalde, L. F., ve Leithead, W. E. (2018). Reduction of unwanted swings and motions in floating wind turbines. *Journal of Physics: Conference Series*, *1037*(3), 32031.

Robertson, A., Jonkman, J., Vorpahl, F., Popko, W., Qvist, J., Frøyd, L., Chen, X., Azcona, J., Uzunoglu, E., ve Guedes Soares, C. (2014). Offshore code

comparison collaboration continuation within IEA wind task 30: Phase II results regarding a floating semisubmersible wind system. *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, California United States Kongresine Sunulmuş Bildiri*.

Robertson, A. N., Jonkman, J. M., Goupee, A. J., Coulling, A. J., Prowell, I., Browning, J., Masciola, M. D., ve Molta, P. (2013). Summary of conclusions and recommendations drawn from the DeepCwind scaled floating offshore wind system test campaign. *ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Nantes, France Kongresine Sunulmuş Bildiri.*

Robertson, A. N., Wendt, F., Jonkman, J. M., Popko, W., Dagher, H., Gueydon, S., Qvist, J., Vittori, F., Azcona, J., ve Uzunoglu, E. (2017). OC5 project phase II: validation of global loads of the DeepCwind floating semisubmersible wind turbine. *Energy Procedia*, *137*, 38–57.

Roddier, D., Cermelli, C., Aubault, A., ve Weinstein, A. (2010). WindFloat: A floating foundation for offshore wind turbines. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, *2*(3), 33104.

Ronold, K. O., Hansen, V. L., Godvik, M., Landet, E., Jørgensen, E. R., ve Hopstad, A. L. H. (2010). Guideline for offshore floating wind turbine structures. *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Shangai, China Kongresine Sunulmuş* Bildiri.

Serret, J., Tezdogan, T., Stratford, T., Thies, P. R., ve Venugopal, V. (2018). Model test of the DTI-Floating wind concept. *3rd International Conference on Offshore Renewable Energyt, Lisbon, Portugal Kongresine Sunulmuş Bildiri*.

Shanley, M., Wright, C., Desmond, C., Murphy, J., ve Otter, A. (2017). Access to a floating wind turbine, *Design and Construction of Wind Farm Support Vessels, London, England Kongresine Sunulmuş Bildiri*.

Simos, A. N., Ruggeri, F., Watai, R. A., Souto-Iglesias, A., ve Lopez-Pavon, C. (2018). Slow-drift of a floating wind turbine: An assessment of frequency-domain methods based on model tests. *Renewable Energy*, *116*, 133–154.

Sirnivas, S., Musial, W., Bailey, B., ve Filippelli, M. (2014). Assessment of offshore wind system design, safety, and operation standards. Golden, CO: National Renewable Energy Lab.(NREL).

Thiagarajan, K. P., ve Dagher, H. J. (2014). A review of floating platform concepts for offshore wind energy generation. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, *136*(2).

Tracy, C. C. H. (2007). *Parametric design of floating wind turbines.*

Cambridge: Yüksek Lisans Tezi, Massachusetts Institute of Technology.

Tran, T. T., ve Kim, D. H. (2015). The platform pitching motion of floating offshore wind turbine: A preliminary unsteady aerodynamic analysis. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, *142*, 65–81.

Tran, T. T., ve Kim, D. H. (2016). Fully coupled aero-hydrodynamic analysis of a semi-submersible FOWT using a dynamic fluid body interaction approach. *Renewable Energy*, *92*, 244–261.

Turhanlar, O. (2018). *A Potential Off-shore Wind Farm Arrangment Off The Bozcaada*. İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ülkü, İ. (2019). *Offshore Wind Farm Layout Optimization Using Mathematical Approaches and Heuristic Techniques*. İstanbul: Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Umaya, M., Noguchi, T., Uchida, M., Shibata, M., Kawai, Y., ve Notomi, R. (2013). Wind power generation-development status of offshore wind turbines. *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*, *50*(3), 29.

Update, A. M. (2017). Global wind report. *Global Wind Energy Council*.

Uzunoglu, E. (2019). *A system for the hydrodynamic design of floating wind turbine platforms*. Lisbon: Doktora Tezi, Instituto Superior Tecnico.

Uzunoglu, E., ve Guedes Soares, C. (2015). Comparison of numerical and experimental data for a DeepCwind type semi-submersible floating offshore wind turbine. *Renewable Energies Offshore. Lisbon: Taylor & Francis Group*, 747-754.

Uzunoglu, E., ve Guedes Soares, C. (2019). A system for the hydrodynamic design of tension leg platforms of floating wind turbines. *Ocean Engineering*, *171*, 78-92.

Uzunoglu, E., Karmakar, D., ve Soares, C. G. (2016). Floating offshore wind platforms. *Floating Offshore Wind Farms* (pp. 53–76). Springer.

Uzunoglu, E., ve Soares, C. G. (2018). On the model uncertainty of wave induced platform motions and mooring loads of a semisubmersible based wind turbine. *Ocean Engineering*, *148*, 277–285.

Venzon, R. Z., Tancredi, T. P., ve Andrade, B. L. R. de. (2014). Hull optimization of semisubmersible with multidirectional seakeeping criteria evaluated with neural network response surface. *Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources: Proceedings of IMAM 2013*.

Viré, A., Xiang, J., Piggott, M., Cotter, C., & Pain, C. (2013). Towards the fully-coupled numerical modelling of floating wind turbines. *Energy Procedia*, *35*, 43–51.

Bölüm 21

Beyin-Bilgisayar Arayüzleri ve Elektroensefalogram (EEG) Sinyal İşleme: Temel Prensipler ve Uygulama Yaklaşımları[1]

Selma BULUT[2]

İlhan UMUT[3]

[1] Bu çalışma, Trakya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Hesaplamalı Bilimler Ana Bilim Dalında doktora tezi olarak hazırlanan EEG Klavyesi Tasarımı adlı çalışmadan üretilmiştir.

[2] Dr. Öğr. Üyesi;Kırklareli Üniversitesi, TBMYO Bilgisayar Programcılığı Programı.
selma.bulut@klu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-6559-7704

[3] Doç. Dr.; Namık Kemal Üniveristesi ÇMYO, Elektronik Teknolojisi Programı .
iumut@nku.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5269-1128

ÖZET

GİRİŞ

Beyin-Bilgisayar Arayüzleri (BCI'lar), beyin aktivitesini elektroensefalogram (EEG) gibi beyinsel sinyaller aracılığıyla algılayarak, bu sinyalleri bilgisayar sistemlerine dönüştürme ve yorumlama yeteneğini sağlayan yenilikçi teknolojilerdir. BCI teknolojisi, nörobilim, mühendislik ve bilgisayar bilimlerinin kesişim noktasında yer alırken, potansiyel uygulamaları tıp, rehabilitasyon, iletişim ve hatta eğlence alanlarını kapsamaktadır. Bu alanın hızla gelişen doğası ve multidisipliner yapısı, hem araştırmacıları hem de uygulayıcıları, beyin aktivitesini bilgisayar sistemleriyle etkileşime dönüştürme konusunda heyecan verici fırsatlar sunmaktadır.

Bu kitap bölümü, EEG sinyallerinin analiz edilmesi ve işlenmesi konusundaki temel prensipleri ele almayı amaçlamaktadır. Beyin aktivitesinin EEG ile ölçülmesi, insan beyninin elektriksel aktivitesini yüzeydeki elektrot dizileri aracılığıyla kaydetmeyi içerir. Bu temel ölçümler, beyin fonksiyonlarını anlamak ve bu bilgiyi beyin tabanlı uygulamalara dönüştürmek için önemli bir veri kaynağı sağlar.

Kitap bölümünün ilerleyen ksıımlarında, EEG sinyallerinin analizinde kullanılan temel kavramlar ve yöntemler ayrıntılı bir şekilde incelenecektir. EEG spektrumu, farklı frekans bantlarının beyin aktivitesiyle ilişkisini gösterirken, beta, alfa, teta ve delta gibi dalgaların karakteristik özellikleri ele alınacaktır (Niedermeyer & Silva, 2012). Beyin kontrol sinyallerinin sınıflandırılmasının ardındaki temel fikirler, görsel uyarılmış sinyallerden P300 ve spontan sinyallere kadar farklı kategorilerde üretilen sinyallerin kullanımını içerecektir. Ayrıca, EEG sinyallerinin ölçülmesi için geliştirilen yeni teknolojiler ve bu teknolojilerin gerçek zamanlı BCI uygulamalarındaki rolü de tartışılacaktır.

Ön işleme, özellik çıkarımı ve sınıflandırma olmak üzere üç aşamadan oluşan EEG sinyal işleme süreci, BCI sistemlerinin temel taşlarından biridir (Garcés & Orosco, 2008). Bu bölümde, ön işleme aşamasının önemi vurgulanırken, EEG sinyallerini temizlemek ve istenmeyen gürültüleri ortadan kaldırmak için kullanılan yöntemler ele alınacaktır. Ayrıca, özellik çıkarımı aşamasında EEG verilerinden elde edilen genlik değerleri, güç spektral yoğunluğu, zaman frekansı ve otoregresif parametreler gibi temel özellikler incelenecektir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, EEG verilerinin analizi için çeşitli yöntemlerin kullanıldığını göstermektedir. Güç spektral yoğunluğu, kısa zamanlı Fourier dönüşümü, uyarlanabilir ayarlanabilir Q dalgacık dönüşümü, diferansiyel entropi, dalgacık dönüşümü, istatistiksel özellikler ve daha birçok

yöntem, EEG sinyallerinin işlenmesinde ve özellik çıkarımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang & Wang, 2021).

Bu kitap bölümü, EEG sinyal işleme tekniklerinin temel prensiplerini ve uygulamalarını ele alarak, okuyuculara BCI teknolojisinin altında yatan kompleks yapıyı anlamalarına yardımcı olmayı amaçlamaktadır. EEG sinyal işleme alanındaki güncel gelişmeler ve gelecekteki potansiyel uygulamaları inceleyerek, BCI'nın multidisipliner doğasının önemini vurgulamaktadır. Bu bölüm, hem akademisyenlerin hem de endüstri profesyonellerinin BCI teknolojisinin temel yönlerini anlamalarına ve bu alandaki araştırmalara katkıda bulunmalarına yardımcı olmayı hedeflemektedir.

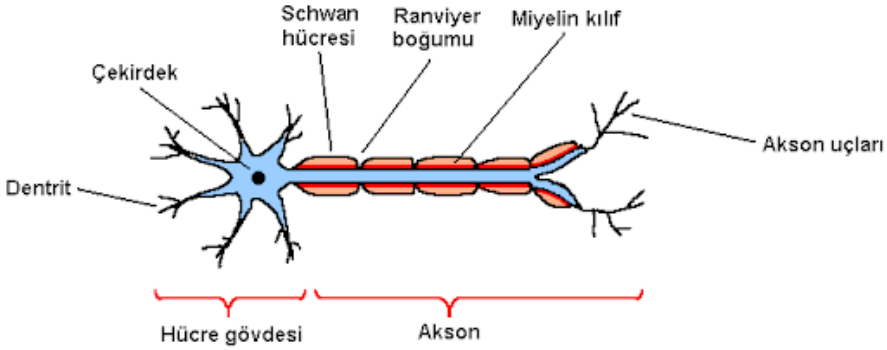
Çalışma beyin ile ilgili olduğundan ilk olarak beynin yapı taşı olan nöronlara odaklanılacaktır.

1- Nöronlar

Nöronlar, beyin ve sinir sisteminin anatomik ve fonksiyonel temel birimlerini oluşturan özelleşmiş hücrelerdir. Bu hücreler, çeşitli hayati işlevleri yerine getirerek kas hareketlerinin koordinasyonundan duyusal algılama süreçlerine, düşünsel faaliyetlerden hafıza oluşumuna kadar geniş bir yelpazede etkileşime giren ve iletişim kuran bir rol üstlenirler. Temelde elektriksel sinyalleri ileten ve alıcı işlevi gören nöronlar, sinir sisteminin işleyişini sağlamak için hayati bir rol üstlenirler. Merkezi sinir sisteminde yer alan nöronların sayısı yaklaşık olarak 100 milyar olarak tahmin edilmektedir; ancak nörobilimci Suzana Herculano-Houzel, yenilikçi bir yöntemle yaptığı çalışmada bu sayının aslında 86 milyar olduğunu öne sürmüştür (Herculano-Houzel, 2009)

Nöronlar, farklı işlevlere sahip alt tiplere ayrılarak özelleşmiş görevleri yerine getirirler. Örneğin, duyu nöronları, gözler, kulaklar, burun, dil ve deri gibi duyu organlarından gelen bilgileri beyne ileterek çevresel uyaranların algılanmasını sağlarlar. Diğer yandan motor nöronlar, beyinden gelen mesajları vücudun farklı bölgelerine ileterek kas hareketlerinin gerçekleşmesini sağlarlar. Bunlarla birlikte, nöronlar arasında karmaşık bir elektrokimyasal iletişim yoluyla bilgi aktarımı gerçekleşir.

Bu bağlamda, nöronlar sinir sisteminin temel yapı taşları olarak işlev görerek, karmaşık anatomik ve fonksiyonel etkileşimler aracılığıyla vücudun çevresel uyaranlara yanıt vermesini, koordineli hareket etmesini, düşünsel süreçleri yürütmesini ve hafıza oluşumunu mümkün kılarlar. Nöronların farklı alt tipleri, özelleşmiş işlevleri sayesinde sinir sisteminin bütünlüğünü ve etkinliğini desteklerler.



Şekil 1. Nöron Yapısı

Şekil 1'de sunulan görsel, nöronun temel yapısını tanımlamaktadır. Nöronlar, vücutta önemli bir işlevi yerine getiren dört ana yapıdan oluşurlar: soma (hücre gövdesi), dendritler, akson ve terminal butonlar. Her bir yapı, nöronun özgün işlevini gerçekleştiren belirli hücresel bileşenlerle donatılmıştır.

Soma, nöronun hücre gövdesini temsil eder ve diğer hücrelerde olduğu gibi, temel hücresel organelleri içermektedir. Bu organeller arasında çekirdek, endoplazmik retikulum ve Golgi aygıtı gibi yapılar bulunur. Soma, nöronun genetik materyali olan DNA'yı barındırarak hücresel işlevlerin düzenlenmesine katkıda bulunur.

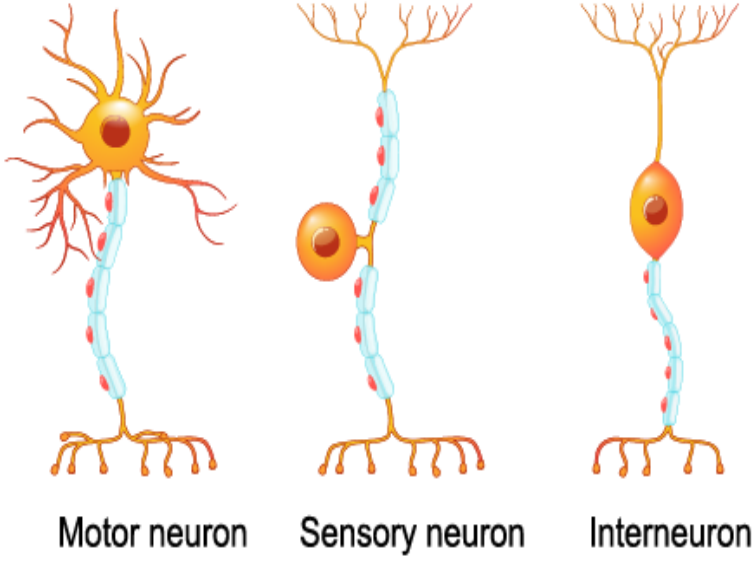
Dendritler, soma üzerinden uzanan uzantılardır ve diğer nöronlardan gelen sinirsel sinyalleri almak amacıyla tasarlanmışlardır. Bu yapılar, karmaşık dallanmalarla çevreleriyle iletişim kurarlar ve sinaptik bağlantıları oluşturarak bilgi iletimine hizmet ederler. Nöronlar arası iletişimin sağlanmasında dendritlerin önemi büyüktür.

Akson, hücre gövdesinden çıkan uzun bir uzantıdır ve genellikle dendritlerden daha uzundur. Aksonlar, nöronların diğer sinir hücreleriyle iletişim kurmasına olanak tanır, çünkü onlar aracılığıyla sinirsel sinyaller hücre gövdesinden uzak bölgelere iletilir. Miyelin adı verilen yağlı bir madde, bazı aksonların etrafını sardığı miyelin kılıfını oluşturur. Bu izolasyon, elektrik sinyalinin iletim hızını arttırırken, aynı zamanda sinyalin dışarı sızmasını engeller. Aksonun üzerindeki Ranvier düğümleri, sinyalin iletimi sırasında yeniden düzenlenme ve yeniden yükleme sağlayarak iletim verimliliğini optimize eder.

Sonuç olarak, nöronun anatomik bileşenleri olan soma, dendritler, akson ve terminal butonlar, sinir sisteminin temel işlevini yerine getirmesine yönelik özgün adaptasyonlara sahip yapılar olarak ön plana çıkar. Bu yapılar, sinirsel iletişimi mümkün kılar ve vücudun çeşitli işlevlerini düzenler.

Nöron Türleri

Beyin, vücudun geri kalan kısmıyla etkili bir iletişim kurabilmek adına duyusal (sensory) nöronlar, motor nöronlar ve internöronlar gibi çeşitli nöron türlerine gereksinim duyar.



Şekil 1. Nöron Tipleri (Toppr, 2021).

Şekil 2, farklı nöron türlerini açıkça tanımlamaktadır. Duyusal nöronlar, çevresel uyarıcıları algılayarak içsel uyarılara dönüştüren ve bu bilgiyi sinir sistemi içinde ileten nöronlardır. Duyusal uyarılarla etkileşime girerek faaliyete geçerler ve duyusal bilgileri merkezi sinir sistemi olan beyin veya omurilik boyunca ileterek diğer sinir sistemi bileşenlerine yönlendirirler. Duyusal nöronlar, görünür ışık, ses, sıcaklık, dokunsal temas gibi fiziksel etkenler veya koku, tat gibi kimyasal sinyallerle aktive olabilirler.

Genellikle, duyusal nöronlar dendritlere bağlı olan ve bu bilgiyi omurilik veya beyne ileten aksonlar şeklinde iki uzantıya sahiptir.

Motor nöronlar ise merkezi sinir sisteminde yer alan nöronlardır ve aksonlarını kasların hareketini yönlendirmek üzere merkezi sinir sisteminin dışına doğru uzatırlar. Motor nöronlar ile kas lifleri arasındaki etkileşim nöromüsküler bağlantı olarak adlandırılan özel bir sinapsis aracılığıyla gerçekleşir. Bu nöronlar yapı itibariyle çok kutupludur, yani bir hücrede tek bir

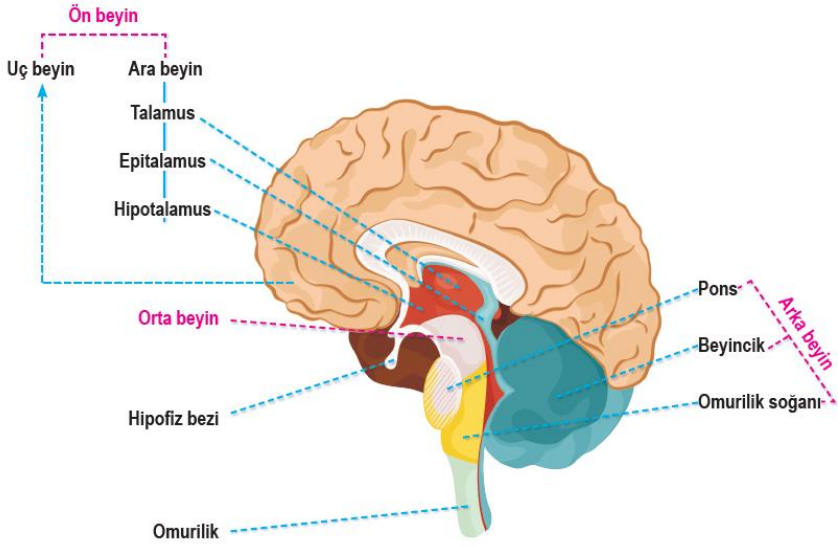
akson ve birden fazla dendrit bulunmaktadır. Motor nöronlar, nöron türleri arasında en yaygın olanlarındandır.

İnterneuronlar ise merkezi sinir sisteminde yer alır ve yerel düzeyde işlev görerek aksonları yalnızca yakın çevredeki duyusal veya motor nöronlarla bağlantılıdır. Internöronlar, zamandan tasarruf sağlamak amacıyla omurilik veya beyne geri bildirim ileterek yaralanmaları önlemeye yönelik bir mekanizma sunarlar. Yapısal olarak, motor nöronlar gibi, internöronlar da çok kutupludurlar (Nöronlar, 2021) .

Sonuç olarak, duyusal nöronlar dış uyaranları içsel uyaranlara dönüştürerek iletişimi başlatırken, motor nöronlar merkezi sinir sistemi ve kaslar arasında etkileşimi sağlar. Internöronlar ise merkezi sinir sistemi içinde işlev görerek iletişimin hızlı ve etkili olmasına katkıda bulunurlar. Bu çeşitli nöron türleri, sinir sisteminin bütüncül işleyişini temin eden önemli bileşenler olarak öne çıkarlar.

2- Beyin

Beyin, esasen temel vücut fonksiyonlarını (kalp atış hızı, solunum, açlık, kan basıncı ve uyku döngüsü gibi) düzenlemenin ötesinde, dış çevreyi algılayıp anlamlandırmamızı (duyusal bütünleşme) ve dışsal uyarılara uygun bir şekilde yanıt verme ve adapte olma yeteneğimizi (yürütme fonksiyonu) sağlayan merkezi bir yapıdır (Teo, 2018) .



Şekil 1. Beynin Temel Kısımları (Fikir, 2020)

Şekil 1.3, beynin yapısını göstermektedir. İnsan merkezi sinir sisteminin (CNS) temel orgaı olarak, ortalama olarak 1,4 kg ağırlığındadır, bu da vücut ağırlığının yaklaşık %2'sini temsil eder. Şekil 3, beyni ön beyin, orta beyin ve arka beyin olmak üzere üç ana bölüme ayırmaktadır.

Ön Beyin

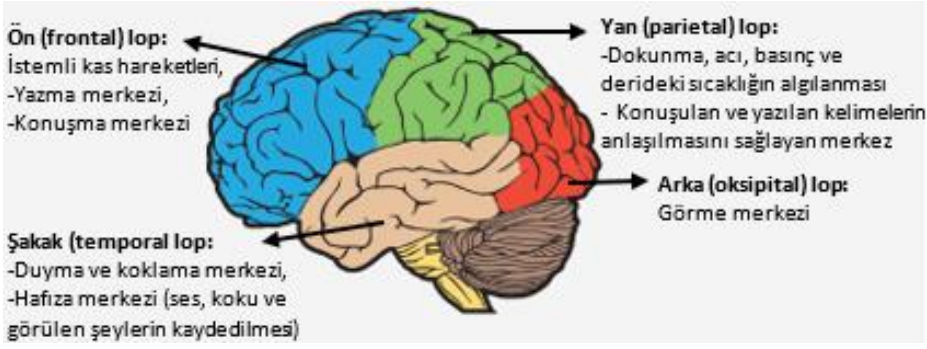
Beyin anatomisinde en büyük ve en karmaşık bölümü oluşturan ön beyin, serebral korteks ile birlikte beyin yüzeyindeki karakteristik kıvrımların ve olukların yer aldığı alanı içerir. Aynı zamanda serebral korteks altında bulunan diğer yapıları da içerir.

Serebral korteks, beynin en dış katmanını oluşturarak kıvrımlı görünümünü sağlar. Serebral korteks, uzunlamasına korpus kallozum aracılığıyla birbirine bağlanan sol ve sağ serebral yarımkürelere bölünmüştür. Sağ yarım küre, bedenin sol tarafını kontrol ederken, sol yarım küre bedenin sağ tarafını kontrol etmektedir.

Sol yarımküre, mantıksal, analitik ve nesnel işlevlerle ilişkilendirilirken, sağ yarım küre daha sezgisel, yaratıcı ve öznel işlevlere katkıda bulunduğuna inanılmaktadır. Örneğin, finansal kararlar verirken sol yarımküre daha baskınken, müzik dinlerken sağ yarım küre daha aktif hale gelir.

Her iki yarımkürenin de frontal, parietal, temporal ve oksipital loblar olarak adlandırılan dört ana bölümü bulunmaktadır. Her lob, belirli işlevleri denetler. Örneğin, frontal lob kişilik, karar verme ve mantık yürütme gibi süreçleri kontrol ederken, temporal lob hafıza, konuşma ve koku alma duyularını düzenler.

Sonuç olarak, beynin ön kısmı serebral korteksi ve bu korteksin altındaki yapılardan oluşur. İki serebral yarımküre, farklı işlevleri denetlerken, her bir lobun özelleşmiş görevleri vardır ve bu karmaşık yapılar, insan zihinsel faaliyetinin temel düzenleyicileri olarak görev yapar.



Şekil 2. Beyin lobları ve gerçekleştirdiği fonksiyonları

Şekil 4, beynin yarım kürelerinde farklı işlevleri kontrol eden lobları göstermektedir. Serebrumun dış yüzeyi Korteks (gri madde) olarak adlandırılır. Beş duyudan toplanan bilgiler, kortekse ulaşmak üzere beyne gelir. Bu bilgi daha sonra işlenmek üzere sinir sisteminin diğer bölgelerine yönlendirilir. Örneğin, sıcak bir yüzeye dokunduğunuzda, sadece elinizi hareket ettirmek için bir ileti üretilmez; aynı zamanda bu tür bir temasın tekrarını önlemek amacıyla hafızanızın etkilendiği beyin bölgelerine de ileti gönderilir.

Ön beyin bölgesinin iç kısmında Talamus, Hipotalamus ve Hipofiz Bezi bulunur. Talamus, gözler, kulaklar, burun ve parmaklar gibi duyusal organlardan kortekse mesajlar taşır. Hipotalamus ise nabız, susuzluk, iştah, uyku düzeni ve diğer otomatik süreçleri kontrol eder. Ayrıca büyüme, metabolizma, su ve mineral dengelemesi, cinsel olgunluk ve stres tepkisi gibi hormonları üreten hipofiz bezini de düzenler.

Orta Beyin

Ön beyin ortasının altında yer alan orta beyin, beyin ile omurilik arasında giren ve çıkan tüm mesajların ana koordinasyonunu sağlar.

Arka Beyin

Arka beyin, serebrumun arka ucunun altında bulunur. Beyincik, pons ve medulla oblongata'dan oluşur. Serebellum (beyincik), serebrumun küçük bir kopyası gibi göründüğü için "küçük beyin" olarak da adlandırılır. Denge, hareket ve koordinasyondan sorumludur. Orta beyin ile birlikte, pons ve medulla oblongata genellikle beyin sapı olarak adlandırılır. Beyin sapı, beyin iletilerini alır, gönderir ve koordine eder. Ayrıca solunum, kalp atış hızı, kan basıncı, yutma, sindirim ve göz kırpma gibi otomatik vücut işlevlerinin birçoğunu kontrol eder.

3- Sinir Sisteminin Bileşenleri

Sinir sistemi, merkezi sinir sistemi ve periferik sinir sistemi olmak üzere iki ana bölümden oluşur. Beyin ve omurilik, merkezi sinir sisteminin bir parçasını oluştururken, vücudun çeşitli bölgelerinden geçen sinirler periferik sinir sisteminin bir parçasını oluşturur. Sinir sistemi, vücudun ana iletişim ağı olarak işlev görür. Aynı zamanda endokrin sistemiyle birlikte vücut fonksiyonlarını düzenler ve korur. Sinirler, vücut ile beyin arasında mesajları ileten lif demetleridir. Bu mesajlar, nöron adı verilen hücrelerdeki kimyasal ve elektriksel değişiklikler aracılığıyla iletilir. Sinir sistemi, merkezi ve periferik olmak üzere iki bölümden oluşur:

Merkezi Sinir Sistemi (CNS):

Merkezi Sinir Sistemi (CNS), vücudun komuta merkezini oluşturur ve beyin ile omuriliği içerir. Omurgalar, omuriliği korurken; beyin kafatasının içerisinde korunur.

Periferik Sinir Sistemi (PNS):

Periferik Sinir Sistemi (PNS), CNS'den ayrılan sinirlerden meydana gelir. Bu sinirler, sinyalleri iletmek için bir arada çalışan akson demetleridir. PNS, duyusal ve motor olarak iki bölüme ayrılır.

Duyusal bölüm, vücudun hem içinden hem de dışından gelen bilgileri CNS'ye iletir. Bu bilgiler arasında ağrı hissi, kokular ve manzaralar gibi çeşitli duyusal veriler bulunabilir.

Motor bölüm, CNS'den gerçekleşmesi gereken eylemlere dair sinyalleri alır. Bu eylemler, istemli hareketlerden (örneğin, kolun hareket ettirilmesi gibi) istemsiz fonksiyonlara (örneğin, sindirim sistemi kasılmaları gibi) kadar değişebilir (Healthline, 2021).

4- Beyin Görüntüleme Teknikleri:

Beyin görüntüleme yöntemleri, beyin aktivitesini görselleştirmek amacıyla kullanılan çeşitli teknikleri ifade eder. Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme (fMRG), Magnetoensefalografi (MEG), Pozitron Emisyon Tomografisi (PET), Optik Beyin Görüntüleme (OBG), Elektrokortigram (ECoG), İşlevsel Yakın Kızılötesi Spektroskopi (iYKAS), İşlevsel Manyetik Rezonans Görüntüleme (iMRG) ve Elektroansefalografi (EEG) bu yöntemlerden bazılarıdır. Ancak, fMRG, MEG, PET ve OBG yöntemleri pratik değildir ve maliyetlidir. ECoG, yüksek sinyal/gürültü oranı ve invazif özellikleri nedeniyle tercih edilmezken, EEG ve iYKAS taşınabilir ve maliyeti düşük olduklarından araştırmalarda tercih edilir. Özellikle EEG, yüksek zamansal çözünürlüğü ve pratik uygulanabilirliği nedeniyle kullanımı yaygındır (Gevins, 1999).

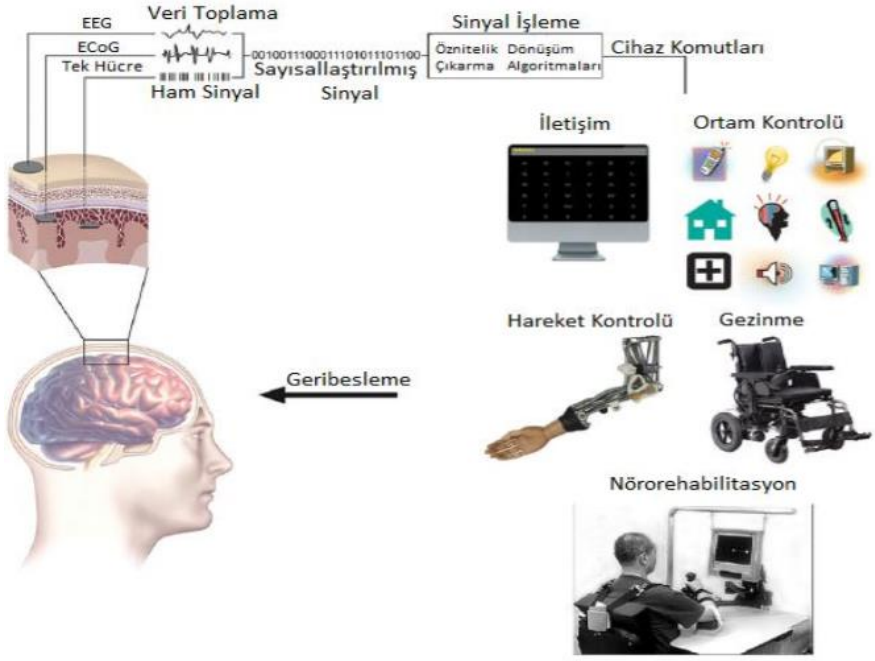
5- Beyin Bilgisayar Arayüzleri (BBA - Brain Computer Interface):

Beyin Bilgisayar Arayüzü (BBA), kullanıcının beyin aktivitesinden elde edilen sinyalleri alarak bunları harici cihaz kontrolüne dönüştürebilen bir sistemdir. BBA, insanların beyin elektrik sinyallerini kullanarak harici cihazlarla etkileşime girmesine ve bunları kontrol etmesine olanak sağlar (Wolpaw, Birbaumer, McFarland, Pfurtscheller, & Vaughan, 2002).

Beyin Bilgisayar Arayüzü (BCI), insanların beyin sinyallerini işleyen yazılım ve donanımı içeren bir sistemdir, böylece bilgisayarlar ve çeşitli iletişim cihazları kontrol edilebilir. BCI, farklı tanımlamalarla da anılmaktadır:

- Donoghue (2002), BCI'yi Beyin-Makine Arayüzü (BMI) olarak adlandırır. Burada temel amaç, felçli uzuvları veya robotik uzuvlar gibi fiziksel cihazları korteksten gelen komut sinyalleriyle kontrol etmektir (Donoghue, 2002).
- Wolpaw ve diğerleri (2002), BCI'yı, beynin elektriksel sinyallerini kullanarak iletişim ve kontrol kanalı sağlayan bir cihaz olarak tanımlar (Wolpaw, Birbaumer, McFarland, Pfurtscheller, & Vaughan, 2002).
- Schwartz (2004), BCI'yi "Kronik olarak serebral kortekse gömülü mikroelektrotlar, felçli bireylerde doğal, canlı hareketlerin yerini alacak yeterli hız ve çevikliğe sahip cihazları kontrol etmek için nöral aktiviteyi kullanma sözü vermektedir" şeklinde tanımlar (Schwartz, 2004).

Bu tanımlar, beyin sinyallerini yakalama, işleme, sınıflandırma ve kontrol sinyallerine dönüştürme işlevlerini vurgular. Bu nedenle, Beyin Makine Arayüzü (BMI) ve BCI terimleri, beyin ile bilgisayar ve/veya harici cihazlar arasındaki iletişimi tanımlamak için birbirinin yerine kullanılabilir (Büyükgöze, 2019b).



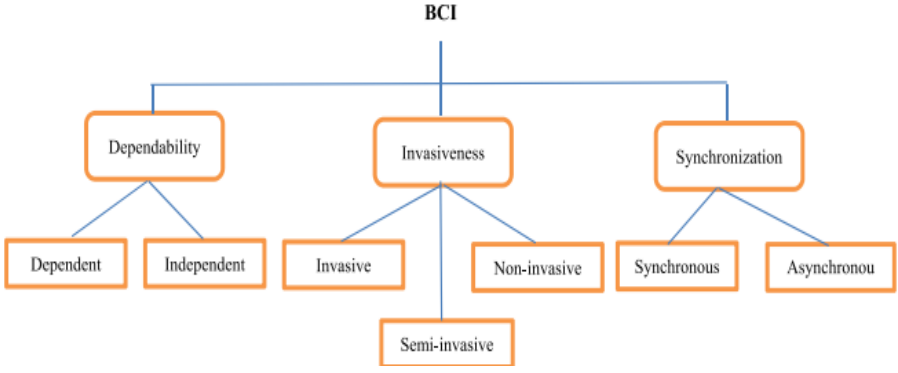
Şekil 5. BCI çalışma mantığı

Şekil 1.5, BCI'nın temel bileşenlerini ve çalışma mantığını göstermektedir. Beyinden alınan sinyaller, sinyal işleme yöntemleri kullanılarak harici cihaz komutlarına dönüştürülür. Bu sayede bireyler, bu sinyalleri kullanarak çeşitli cihazları kontrol edebilirler.

Beyin-Bilgisayar Arayüzü (BCI) sistemleri, belirli zihinsel görevler sırasında beyin tepkilerinin ayırt edici özelliklerini kullanarak iletişim için kontrol sinyallerine dönüştürebilir. Bu sistemler, insan iletişimini sinirsel seviyeye genişleterek sınırları genişletebilir (Hosni, Borgheai, McLinden ve Shahriari, 2020).

Bu bağlamda, beyin bilgisayar arayüzleri (BCI), insanlar ve teknoloji arasındaki etkileşimi derinlemesine dönüştüren, beynin elektriksel aktivitesini çeşitli harici cihazların kontrolüne dönüştüren bir inovasyon olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemler, hastalıklardan kaynaklanan motor fonksiyon kayıplarının tedavisinde ve rehabilitasyonunda umut verici bir rol oynayabilirken, aynı zamanda sağlıklı bireylerin bilgisayar tabanlı etkileşimlerini zenginleştirme potansiyeline sahiptir. Bu, gelecekteki teknolojik gelişmelerin ve beyin sinyallerinin anlamını çözme yeteneklerinin bir yansıması olarak değerlendirilebilir.

Beyin-bilgisayar arayüzleri alanındaki bu gelişmeler, insan-bilgisayar etkileşimini derinlemesine anlama ve zenginleştirme potansiyeli taşımaktadır. Bu alandaki ilerlemeler, insanların zihinsel yeteneklerini genişletmelerine, bedensel kısıtlamaları aşmalarına ve teknoloji ile daha doğrudan ve sezgisel bir şekilde etkileşimde bulunmalarına olanak tanıyabilir. Bu nedenle, beyin-bilgisayar arayüzleri, gelecekte hem tıp alanında hem de teknolojide büyük etkiler yaratabilecek önemli bir alan olarak görülmektedir.

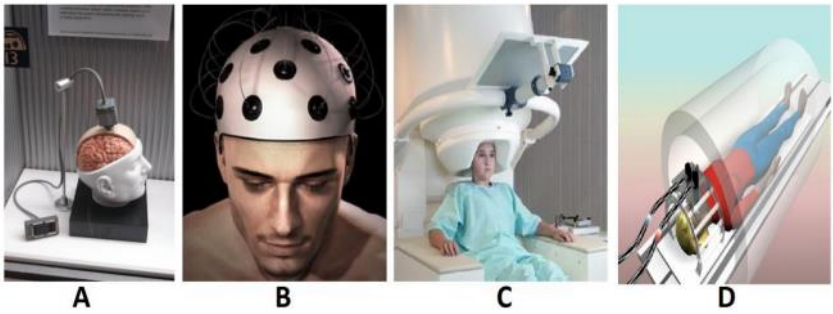


Şekil.1. BCI Sınıflandırması (George & Lécuyer, 2010)

BCI (Beyin Bilgisayar Arayüzü), işlevselliği, invazivlik düzeyi ve senkronizasyon özelliklerine göre sınıflandırılabilmektedir. Güvenilirlik

açısından, BCI bağımlı ve bağımsız olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Bağımlı BCI, bireyden belirli bir motor kontrol düzeyini gerektirirken, bağımsız BCI herhangi bir kontrol gerektirmez. Örneğin, bağımlı BCI, video oyunlarını oynamak veya tekerlekli sandalyeyi hareket ettirmek gibi görevleri kolaylaştırmak için kullanılabilir. Ciddi engelliler için ise motor kontrolü gerektirmeyen bağımsız BCI sistemleri daha uygundur.

BCI, beyin aktivitesinin ölçülme şekline göre invaziv, non-invaziv ve semi-invaziv olarak sınıflandırılabilir. İnvaziv BCI'da, beyin cerrahisi sırasında kafatasının altına mikroelektrotlar implante edilir. Bu yöntem, yüksek kalitede sinyal üretme avantajına sahip olmakla birlikte, zamanla yara dokusu oluşumuna eğilimlidir ve sinyal kaybı riski taşır. Bunun yanı sıra, beyin diğer bölgeleri ölçülmek istendiğinde implante edilen elektrotlar hareket ettirilemez. Non-invaziv BCI'da ise sinyaller kafa derisine penetrasyon olmadan kaydedilir. Bu yöntem, sinyallerin kalitesi düşük olabileceği için tercih edilmektedir. Yarı invaziv BCI, elektrotların kafatasının altına implante edildiği ve beyin sinyallerinin Elektrokardiyografi (ECoG) kullanılarak kaydedildiği bir yöntemdir.



Şekil 2.İnvaziv ve Non-İnvaziv BCI türleri (A-ECOG. B-EEG. C-MEG. D-fMRI) (Cheng, 2014).

Şekil 7, cerrahi ve cerrahi olmayan BCI türlerini göstermektedir. Cerrahi BCI, beyin sinyallerini elde etmek için mikroelektrotlar veya diğer invaziv yöntemler kullanırken, cerrahi olmayan BCI yöntemleri daha az invazivdir ve genellikle elektroensefalografi (EEG), manyetik beyin görüntüleme (MEG), fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) gibi yöntemleri içerir.

BCI sistemi, kullanıcıyla sistemin belirli bir süre boyunca senkronize olarak etkileşimde bulunduğunda senkron olarak adlandırılır. Sistem, belirli bir zaman diliminde kullanıcıyla etkileşime girmesi gerekmektedir, aksi takdirde sinyalleri alamaz. Asenkron BCI'da ise kullanıcı zihinsel görevlerini istediği zaman gerçekleştirebilir ve sistem bu zihinsel aktivitelere tepki verir.

Özellikle elektroensefalografi (EEG), düşük maliyeti, taşınabilirliği ve anlık sinirsel aktivite ölçümü sağlaması nedeniyle bilişsel-motor temelli BCI araştırmalarında en yaygın non-invaziv görüntüleme yöntemi olarak kullanılmıştır (Hosni, Borgheai, McLinden, & Shahriari, 2020).

BCI, başlangıçta felçli veya uzuvlarını kullanamayan bireylere yardımcı olmak için tasarlanmış olsa da, son zamanlarda sağlıklı bireylere yardımcı olma amacıyla Pasif Beyin Bilgisayar Arayüzleri (PBBA-pBCI) geliştirilmiştir. PBBA'lar, düşük sinyal gücüne sahip olmalarına rağmen ekonomik, taşınabilir ve kullanımı kolaydır. Bu sistemler, kullanıcının duygusal durumlarını, zihinsel iş yükünü ve dikkati anlamayı amaçlamaktadır. pBCI teknolojisi, nöropazarlama, nörosinematik, nöro-eğitim, uyku izleme, duyusal değerlendirme, sürücü izleme ve insan faktörü gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır.

Sonuç olarak, BCI teknolojisi, beyin sinyallerini yakalayarak çeşitli cihazları kontrol etme yeteneğini sağlayan önemli bir alanı temsil etmektedir. Bu teknolojinin sınıflandırılması ve uygulanabilirliği, kullanıcıların ihtiyaçlarına ve sağlık durumlarına göre değişebilir. Güvenilirlik, invazivlik ve senkronizasyon gibi faktörler, BCI'nin hangi türünün bireyin ihtiyaçlarına en uygun olduğunu belirlemede önemli rol oynar.

Bağımlı ve bağımsız BCI, bireylerin motor kontrol yeteneklerine bağlı olarak tercih edilen yöntemleri tanımlar. Bağımlı BCI, kullanıcının belirli düzeyde motor kontrolüne sahip olduğu durumlarda kullanışlıdır. Örneğin, oyun oynamak veya tekerlekli sandalyeyi hareket ettirmek gibi görevlerde yardımcı olabilir. Bağımsız BCI ise motor kontrolüne ihtiyaç duymayan veya motor yetenekleri sınırlı olan bireyler için uygundur.

BCI'nin invazivlik düzeyi, beyin sinyallerinin nasıl elde edildiğini belirler. İnvaziv BCI, beyin cerrahisi gerektiren yöntemlerle sinyalleri elde eder. Bu yöntemler, yüksek kalitede sinyal sağlasa da cerrahi riskler taşır. Non-invaziv BCI ise kafa derisi üzerinden sinyalleri kaydeder, bu nedenle daha az invazivdir ancak sinyal kalitesi düşebilir. Yarı invaziv BCI, invaziv ve non-invaziv yöntemlerin bir kombinasyonunu kullanarak sinyalleri elde eder.

BCI sistemi, kullanıcının belirli bir süre boyunca sisteme etkileşimde bulunduğunda senkron olarak çalışır. Bu yöntem, belirli bir zaman diliminde etkileşim gerektirdiği için kullanıcıya bazı kısıtlamalar getirebilir. Asenkron BCI ise kullanıcının istediği zaman zihinsel görevleri gerçekleştirebileceği ve sistemin bu görevlere tepki verebileceği bir yöntemdir.

Son olarak, BCI teknolojisinin gelişimi sadece engellilere yardımcı olmakla sınırlı değildir. Sağlıklı bireylere yönelik kullanımı da artmaktadır, özellikle duygusal durumların, zihinsel iş yükünün ve dikkatin izlenmesi gibi alanlarda

kullanılmaktadır. PBBA-pBCI türü sistemler, düşük maliyeti ve kullanım kolaylığı nedeniyle tercih edilmekte ve çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Park, Han, & Im, 2020).

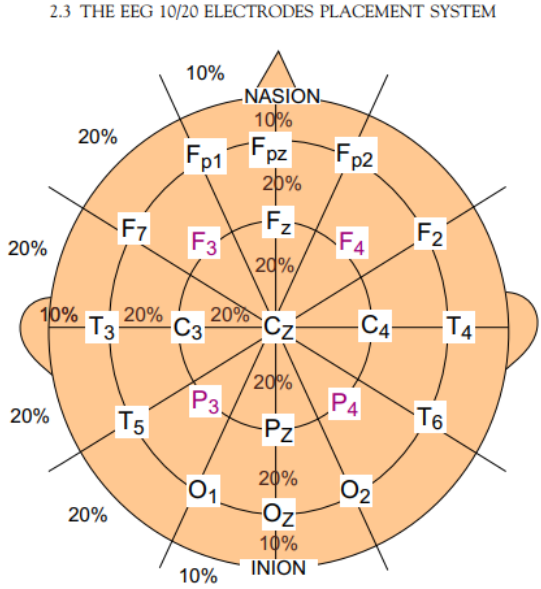
Bu bağlamda, BCI teknolojisi hem engellilere hem de sağlıklı bireylere yönelik geniş bir potansiyele sahiptir. Teknolojinin gelişimi ve uygulama alanlarının çeşitlenmesi, gelecekte daha da büyük etkiler yaratması muhtemeldir.

6- Elektroensefalografi (EEG)

Elektroensefalografi (EEG), saçlı deri yüzeyinden metal elektrotlar ve iletken bir ortam kullanılarak elde edilen elektriksel aktivitenin non-invaziv bir şekilde kaydedilmesini sağlayan tıbbi bir görüntüleme tekniğidir (Abhang, Gawali, & Mehrotra, 2016). EEG dalgaları, beyindeki nöronların sinaptik uyarılmaları sırasında oluşan elektriksel aktivitenin sonucunda üretilir. Bu aktivite, piramidal hücrelerin soma ve apikal dendritleri arasında oluşan elektriksel dipollerden kaynaklanır.

EEG tekniği, beyindeki elektriksel aktivitenin kaydedilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntem ilk kez 1912 yılında Vladimir Pravdich-Neminsky tarafından köpeklerin beyinlerinde elektriksel aktivite ölçülerek elektroserebrogram olarak adlandırıldı. On yıl sonra ise Hans Berger, insanlarda EEG dalgalarını kaydeden ve "ElectroEncephaloGraphy" terimini kullanan ilk kişi oldu (Millett., 2001).

Elektrotlar genellikle saçlı deriye "10-20 Uluslararası Elektrot Yerleştirme Sistemi" kullanılarak yerleştirilir. Şekil 8. Uluslararası Elektrot yerleşimini göstermektedir. Bu sistemde harfler, beyin loblarını temsil eder. Örneğin, "F" frontal lobu, "T" temporal lobu, "C" merkezi lobu, "P" parietal lobu ve "O" oksipital lobu ifade eder. Bu sistem sayesinde farklı beyin bölgeleri hedef alınarak beyin aktivitesi kaydedilir (Büyükgöze, 2019a).



Şekil 1. 10-20 Uluslararası Elektrot yerleşimi
(Abhang, Gawali, & Mehrotra, 2016)

EEG dalgaları farklı frekansta ve mikrovolt aralığında ölçülen elektriksel potansiyel değişiklikleridir. Bu dalgaların incelenmesi, çeşitli beyin bozukluklarının ve durumlarının teşhisine yardımcı olabilir. EEG dalgaları, alfa (α), teta (θ), beta (β), delta (δ) ve gama (γ) olmak üzere beş temel grupta sınıflandırılır. Bu dalgaların frekans aralıkları ve beyin durumları arasındaki ilişki, farklı beyin aktivitelerini yorumlamada kullanılır (Jatoi & Kamel, 2017).

Tablo 1: Temel Beyin Dalgaları, Frekans Aralıkları ve Beyin Durumları

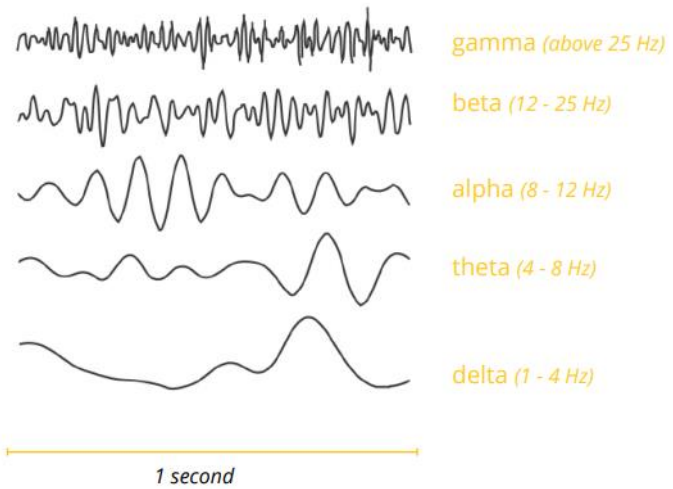
Beyin Dalga Türü	Frekans Aralığı (Hz)	Beyin Durumu
Gama (γ)	30 - 100	Dikkat, Algılama
Beta (β)	13 - 30	Bilinçli Uyanıklık
Alfa (α)	8 - 13	Rüya, Gözler Kapalı
Teta (θ)	4 - 8	Hafıza, Yaratıcılık
Delta (δ)	0.5 - 4	Derin Uyku, Rüya Değil

Kaynak: (Abhang, Gawali, & Mehrotra, 2016)

EEG, beyin aktivitesini incelemek ve anlamak için önemli bir araçtır ve çeşitli alanlarda kullanım potansiyeline sahiptir.

EEG Frekans Aralıkları ve Özellikleri

EEG dalgaları, tarihsel olarak keşfedildikleri sıraya göre Delta, Theta, Alpha gibi adlandırmaları almıştır. EEG'nin frekansı ve genliği, beynin durumuna (dinlenme, uyanıklık vb.), elektrot konumuna, yürütülen göreve (örneğin, okuma veya meditasyon), bireyin özelliklerine (yaş, cinsiyet vb.) ve hatta günün saati gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir (Jones D., 2018)



Şekil 6.2 Beyin dalgaları

Şekil 1.9'da EEG beş temel beyin dalgalarının frekans aralıkları ve dalga boyları gösterilmiştir.

Delta Dalgaları (1-4 Hz)

Delta dalgaları, en yavaş ve en yüksek genlikli beyin dalgalarıdır ve genellikle 1-4 Hz aralığında bulunurlar (Niedermeyer & Silva, 2012). Delta dalgaları özellikle Derin Yavaş Dalga Uykusu (Slow Wave Sleep - SWS) sırasında, yani REM olmayan derin uyku evresinde gözlenir. Delta dalgalarının gücü, uykunun derinliğiyle ilişkilidir. Bu dalgalar genellikle sağ beyin yarım küresinde daha belirgindir ve kaynakları genellikle talamus bölgesindedir. Uyku, bellek konsolidasyonu ile ilişkilendirildiğinden, delta frekansları edinilen becerilerin, öğrenilen bilgilerin ve biyografik belleğin oluşumu ve düzenlenmesinde önemli bir rol oynar (Mizuhara, Wang, Kobayashi, & Yamaguchi, 2004).

Teta Dalgaları (4-7 Hz)

Beyin salınımları arasında 4-8 Hz frekans aralığındaki dalgalar teta bant olarak adlandırılır (Niedermeyer & Silva, 2012). Teta aktivitesi, odaklanmış dikkat, bilgi işleme, öğrenme sırasında veya hafıza geri çağırma sırasında özellikle önemlidir. Görev zorluğu arttıkça teta frekansları daha belirgin hale gelir. Bu nedenle teta genellikle zihinsel iş yükü veya çalışma belleği süreçleriyle ilişkilendirilir (Mizuhara, Wang, Kobayashi, & Yamaguchi, 2004).

Alfa Dalgaları (7-12 Hz)

Alfa dalgaları, 8-12 Hz frekans aralığında ritmik salınımlar olarak tanımlanır ve genellikle posterior kortikal bölgelerde, özellikle oksipital, paryetal ve posterior temporal bölgelerde üretilir (Niedermeyer & Silva, 2012). Alfa dalgalarının duyusal, motor ve hafıza işlevleri yansıtan çeşitli işlevsel bağlantıları vardır. Gözler kapalıyken alfa bandı gücü genellikle artar, bu da zihinsel ve fiziksel rahatlama anlarıyla ilişkilendirilir. Aksine, gözler açıldığında alfa gücü bastırılır. Alfa bastırmanın beynin duyusal bilgileri işlemeye hazırlandığını, dikkat kaynaklarını koordine ettiğini ve önemli gördüğü konulara odaklandığını gösterdiği söylenmektedir (Pfurtscheller & Aranibar, 1977).

Mu Ritimleri (9-11 Hz)

Mu ritimleri, özellikle oksipito-parietal kortekste olmak üzere perisentral ve sensörmotor kortekste ifade edilen alfa salınımlarıdır ve 7.5-12.5 Hz aralığına (özellikle 9-11 Hz) yayılır (V. Romei, 2008). Mu ritimleri genellikle motor aktivitenin anlaşılmasına katkıda bulunur (L, JH, & GD, 2013). Bu ritimler, gönüllü hareketi kontrol eden birçok piramidal nöronun elektriksel aktivite modellerini senkronize etmeye yardımcı olur (Hobson & Bishop, 2016). Aslında μ ritimleri, kişi herhangi bir şeye odaklandığı zaman ortaya çıkan α dalgalarıdır (Aydemir, 2008).

Beta Dalgaları (12 - 30 Hz)

Beta bant aktivitesi, genellikle 12 - 30 Hz aralığındaki salınımları ifade eder ve hem ön hem de arka beyin bölgelerinde üretilir (Niedermeyer & Silva, 2012). Bu frekanstaki aktivite, aktif, meşgul veya endişeli düşünme, yoğun konsantrasyon ve fiziksel hareketlerle ilişkilendirilir. Merkezi korteks üzerinde beta gücü, özellikle ince parmak hareketlerini planlarken veya uygularken, örneğin uzanmak veya bir şeyi kavramak gibi, ve odaklanmış dikkat gerektiren görevlerde daha yüksek seviyelere yükselir. Aynı zamanda, diğer insanların

beden hareketlerini gözlemlediğimizde de beta gücünde bir artış fark edilebilir (Zhang, Chen, Bressler, & Ding, 2008).

Gama Dalgaları (> 30 Hz)

Gama dalgaları, hızlı salınımlar içeren bir frekans bandını ifade eder ve genellikle bilinçli algılama sırasında ortaya çıkarlar. Ancak, gama dalgaları genellikle düşük genlikleri ve kas artefaktlarından kaynaklanan yüksek kontaminasyonları nedeniyle göz ardı edilmiş ve diğer daha yavaş beyin dalgaları kadar geniş bir şekilde araştırılmamıştır. Zaman içindeki yüksek gama etkinliği, bellek işlemleriyle bağlantılıdır. Araştırmalar, gama aktivitesinin dikkat işleme, bellek oluşturma ve uzun süreli bellek gibi süreçlere dahil olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda, şizofreni, halüsinasyonlar, Alzheimer hastalığı ve epilepsi gibi psikiyatrik bozukluklarla da ilişkilendirilmiştir (Malik & Amin, 2017).

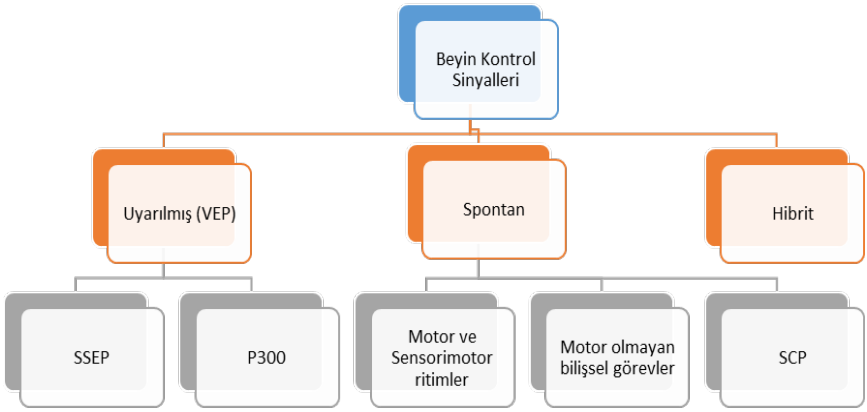
EEG dalgaları, beyin fonksiyonlarını anlamada ve farklı durumları değerlendirmede değerli bir araç olarak kullanılmaktadır.

7- EEG Sinyalinin Ölçümü

Tek bir nöron tarafından üretilen elektriksel potansiyel, EEG tarafından yakalanmak için yeterli değildir. Bu nedenle, benzer uzamsal yönelimlere sahip milyonlarca nöronun eşzamanlı olarak toplanan verileri kullanılarak EEG analizi yapılır (Büyükgöze, 2019b).

Son zamanlarda, gerçek zamanlı kullanıma uygun EEG sistemleri için özel cihazlar geliştirilmiştir. Bu cihazlar, genellikle 16, 32, 64 veya daha fazla kanala sahip olup standart elektrotlara kıyasla daha az sayıda elektrotla donatılmıştır. Bu tür cihazlar kafa bandı veya kulaklık tipi olarak tasarlanabilir. Kuru elektrotlar ve kablosuz sensör ağı teknolojisi kullanarak kayıt yapabilirler. Bu yaklaşım, kullanıcının üzerindeki baskı hissini azaltabilir, iletken jel veya macun kaynaklı rahatsızlığı gidermeye yardımcı olabilir ve amplifikatöre bağlı kabloları ortadan kaldırarak kullanıcının hareket özgürlüğünü artırabilir (Kanoga & Mitsukura, 2017).

BCI teknolojisi, doğrudan beyinden alınan kontrol sinyallerine dayanmaktadır. Bu sinyallerin çıkarılması bazen kolay olabilirken, bazen ek ön işlemlere ihtiyaç duyan zorluğu olan sinyaller içerebilir. Bu kontrol sinyalleri üç kategoriye ayrılır: uyarılmış sinyaller, spontan sinyaller ve hibrit sinyaller.



Şekil 1.Beyin Kontrol Sinyallerinin sınıflandırılması

Şekil 10, beyin kontrol sinyallerinin sınıflandırmasını göstermektedir. Bu sınıflandırmaya göre, uyarılmış sinyaller, kişinin harici uyaranlara tepki olarak bilinçsizce ürettiği sinyallerdir ve görsel uyarılmış potansiyeller (VEP) olarak da adlandırılırlar. En bilinen uyarılmış sinyaller Kararlı Durum Uyarılmış Potansiyeller (SSEP) ve P300'dür. Ancak, uyarılmış sinyaller dış uyarılara bağlı oldukları için denek için rahatsız edici ve yorucu olabilirler.

VEP (Görsel Uyarılmış Potansiyeller), retinanın uyarılmasından kaynaklanan görsel uyarılmış potansiyelleri ifade eder. Görsel uyaranlar, görüntünün yoğunluğundan, deseninden veya renginden kaynaklanan görüş alanındaki değişikliklere bağlı olarak tetiklenir. İki tür VEP vardır: geçici VEP (4,5 Hz'e kadar) ve sabit durum VEP (SSVEP) (4,5 Hz'in üstü) (Nawrocka & Holewa, 2013).

VEP'ler, görsel stimülasyonla tetiklenen elektriksel beyin potansiyelleridir ve oksipital bölgeden ölçülebilirler. VEP'ler, farklı modülasyon yaklaşımlarına göre üç ana kategoriye ayrılabilir: flash-VEP (f-VEP), kararlı durum VEP (SS-VEP) ve kod modülasyonlu VEP (C-VEP) (Zhao, Wang, Zhang, & Hu, 2021).

Beyindeki EEG sinyal gücü, uyaran frekansına ulaştıkça artar. Bu nedenle, farklı beyin bölgelerindeki sinyaller duyu sürecine bağlı olarak gözlenebilir. Kararlı durum görsel potansiyelleri (SSVEP), somato-sensoriyel SSEP veya işitsel SSEP gibi çeşitli SSEP sinyalleri ile tespit edilir. Özellikle SSVEP, tekrar eden görsel uyaranlarla tetiklenir. Bu uyaranlar, görsel kortekste titreşen görüntünün aynı frekansına sahip (genellikle 6 ile 30 Hz arasında) SSVEP üretir (Bin, Gao, Wang, Hong, & Gao, 2009).

P300 sinyali; denek nadir veya şaşırtıcı bir göreve maruz kaldığında yaklaşık 300 ms sonra ortaya çıkan bir EEG sinyalidir. Bu sinyal genellikle, denekten

diğerlerinden daha az sıklıkta olan rastgele bir uyaran dizisine katılmasının istendiği durumlarda üretilir. P300 sinyali, nadir uyaranın denekle ilgili olduğunda tetiklenir. P300 sinyali genellikle eğitim gerektirmez; ancak, tekrarlayan uyaranlara ihtiyaç duyabilir ve bu da denek için yorucu ve tutarsızlık yaratabilir.

Spontan sinyaller, herhangi bir dış uyarının olmadan denek tarafından istemli olarak üretilen sinyallerdir. Bu kategoriye motor ve sensori-motor ritimler, yavaş kortikal potansiyeller (SCP) ve motor dışı bilişsel görevler dahildir.

Motor ve sensori-motor ritimler, motor hareketlerle ilgili olan ritimlerdir, örneğin kol hareketleri. Bu ritimler, motor korteksten gelen 8–13 Hz aralığındaki μ ritimleri ve 13–30 Hz aralığındaki β ritimlerini içerir. Bu ritimlerin genliği denek tarafından kontrol edilebilir ve işlemsel koşullandırma ve motor imgeleme olmak üzere iki farklı yöntemle kontrol edilir.

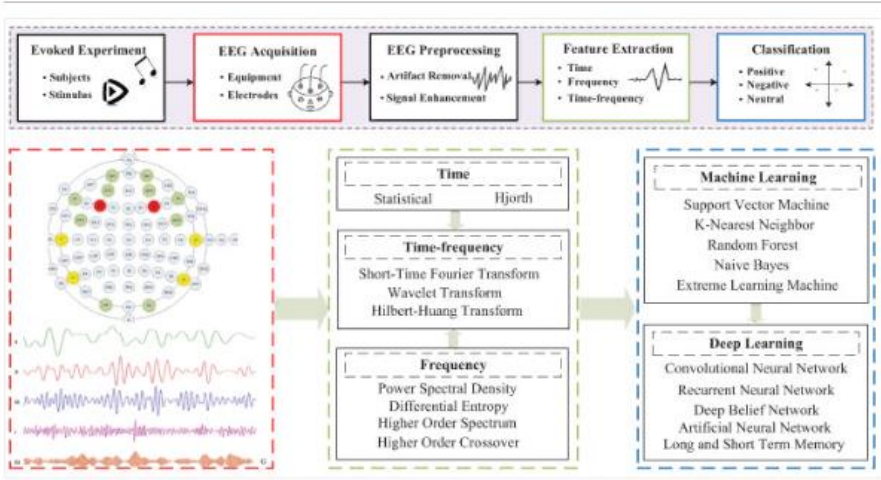
İşlemsel koşullandırmada, denek kendi sensori-motor ritimlerinin genliğini uzun eğitimlerle gönüllü olarak değiştirebilir. Motor imgeleme ise denek tarafından yapılan bir motor hareketinin kontrol sinyallerine dönüştürülmesidir. Örneğin, sol el hareketi, motor korteksten gelen μ (8–12 Hz) ve β (18–26 Hz) ritimlerinde azalma ile ilişkilendirilmiştir. Motor imgeleme farklı uygulamalarda kullanılabilecek farklı motor ritimlerini içerebilir, örneğin bir bilgisayar oyunu oynamak gibi.

Yavaş kortikal potansiyel (SCP), 1 Hz'nin altındaki bir frekansa ait olan bir EEG sinyalidir. Düşük frekanstaki bir potansiyeldir ve korteksin ön ve orta kısımlarında tespit edilir. SCP, kortikal aktivitenin milisaniyeden birkaç saniyeye kadar sürebilen yavaş pozitif veya negatif varyasyonudur. Denek, işlemsel koşullandırma kullanarak bu sinyallerin üretimini kontrol edebilir.

Hibrit sinyaller, farklı beyin sinyallerinin bir kombinasyonunun kontrolünde kullanılır. Bu yaklaşım, BCI sisteminin güvenilirliğini artırmak ve kullanılan sinyal türlerinin dezavantajlarından kaçınmak amacını taşır (Ramadan & Vasilakos, 2017).

EEG ile Sinyal İşleme Aşamaları

EEG sinyali, beynin ve vücudun işleyişi hakkında hayati bilgiler içerir. Ancak, ham EEG sinyalinin anlamını çıkarmak zor olabilir. Bu nedenle, uygun yöntemlerle işlenmesi gereklidir. Sinyal işleme genellikle üç aşamada gerçekleştirilir: ön işleme, özellik çıkarma ve sınıflandırma (Garcés & Orosco,2008).



Şekil 2. EEG Sinyalleri Çıkarım Aşamaları (Wang & Wang, 2021)

Şekil 11'de gösterildiği gibi, EEG sinyallerinin işlenmesi ön işleme, özellik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarından geçer.

Preprocessing - Ön İşleme

BCI sistemlerinde ilk adım, elektrotlar aracılığıyla kafa derisi üzerinden veri toplamaktır. Bu veri toplama sürecinde, EEG sinyali genellikle farklı kaynaklardan gelen gürültü (artefakt) ile karışabilir. Bu artefaktlar, göz kırpma (EOG), elektrokardiyogram (EKG), hareket artefaktları (EMG) ve harici cihazlardan kaynaklanabilir. Bu artefaktlar, EEG sinyali ile benzer genliklere sahip olabilir, bu nedenle onları tanımlamak zor olabilir. Ön işleme, serbest bir EEG sinyalindeki gürültüyü azaltarak güvenilir özellikler elde etmeyi amaçlar (Büyükgöze, 2019b).

Özellik Çıkarma - Feature Extraction

BCI'nın amacı, ölçülebilir sinyallere dönüştürülen beyin aktivitesini kullanıcının niyetini ileten bir komuta-kontrol sistemi oluşturmaktır. Bu verilerin işlenmesi, özellikle sinyal-gürültü oranını artırmaya yardımcı olan algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilir.

Şekil 12'de EEG sinyalinden özellik çıkarma metotları verilmiştir (Umut, 2016).

Zaman Düzlemi	Frekans Düzlemi	Entropi Tabanlı
Ortalama değer	Dalgacık enerjisi	Shannons Entropisi
Standart sapma	AR katsayısı 1	Spektral Entropi
RMS genliği	AR modelleme hatası 1	Fisher Entropisi
Minimum değer	AR katsayısı 2	SVD Entropisi
Maksimum değer	AR modelleme hatası 2	
Hat uzunluğu	AR katsayısı 4	
Eğim	AR modelleme hatası 4	
Etkin olmayan örnekler	AR katsayısı 8	
Aktivite	AR modelleme hatası 8	
Hareketlilik	Tepe frekansı	
Karmaşıklık	Toplam spektrum	
Minimum	Delta (Güç Spektral Yoğunluğu)	
Maksimum	Teta (Güç Spektral Yoğunluğu)	
1 türevin sıfır geçişleri	Alfa (Güç Spektral Yoğunluğu)	
2 türevin sıfır geçişleri	Beta (Güç Spektral Yoğunluğu)	
Kurtoz	Normalleştirilmiş Delta (Göreceli Yoğunluk Oranı)	
Çarpıklık	Normalleştirilmiş Teta (Göreceli Yoğunluk Oranı)	
Doğrusal olmayan enerji	Normalleştirilmiş Alfa (Göreceli Yoğunluk Oranı)	
Sıfır geçiş	Normalleştirilmiş Beta (Göreceli Yoğunluk Oranı)	
Petrosian Fraktal Boyutu	Ortalama güç spektrumu	
Higuchi Fraktal Boyutu	Yoğunluk ağırlıklı ortalama frekans	
Eğilimden Arındırılmış Dalgalanma Analizi	Yoğunluk ağırlıklı bant genişliği	
Hurst üssü	Medyan frekans	

Şekil 12. EEG özellikleri

EEG verilerinden çıkarılan özellikler BCI (Beyin-Bilgisayar Arayüzü) uygulamalarında kullanılmaktadır ve bu özellikler farklı işleme tekniklerini temsil eder. Bu özellikler, sinyalin farklı yönlerini ve özelliklerini yakalamak için çeşitli analiz yöntemleriyle elde edilir ve sonuç olarak sınıflandırma aşamasında kullanılırlar.

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda kullanılan özellik çıkarım yöntemleri :

- Güç Spektral Yoğunluğu (Power Spectral Density - PSD)
- Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (Short-Time Fourier Transform - STFT)
- Uyarlanabilir Ayarlanabilir Q Dalgacık Dönüşümü (Adaptive Tunable Q Wavelet Transform - ATQWT)
- Diferansiyel Entropi (Differential Entropy - DE)
- Dalgacık Dönüşümü (Wavelet Transform - WT)
- İstatistiksel Özellikler (Statistical Features - SF)
- Güç Spektral Entropisi (Power Spectral Entropy - PSE)

- Yüksek Dereceli Spektral (High-Order Statistics - HOS)
- Yüksek Dereceli Geçiş (High-Order Crossings - HOC)
- Ampirik Mod Ayrıştırma (Empirical Mode Decomposition - EMD)
- Dalgacık Enerji Entropisi (Wavelet Energy Entropy - WEE)
- Derin Özellik Kümeleme (Deep Feature Clustering - DFC)
- Fraktal Boyut (Fractal Dimension - FD)
- Diferansiyel Asimetri (Differential Asymmetry - DASM)
- Rasyonel Asimetri (Rational Asymmetry - RASM)
- Dalgacık Enerjisi (Wavelet Energy - WE)
- Çok Aşamalı Doğrusal Olarak Azalan Atalet Ağırlığı-Parçacık Sürü Optimizasyonu (Multi-Stage Linearly Decreasing Inertia Weight - Particle Swarm Optimization - MLDW-PSO)
- Ayrık Dalgacık Dönüşümü (Discrete Wavelet Transform - DWT)
- Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis - PCA)
- Ağırlıklı Dalgacık Paketleri Cepstral Katsayıları (Weighted Wavelet Packet Coefficient - WPCC)
- Maksimal Bilgi Katsayısı (Maximal Information Coefficient - MIC)
- Dinamik Diferansiyel Entropi (Dynamic Differential Entropy - DDE)
- Düzgünleştirilmiş Sözde Wigner Ville Dağılımı (Smoothed Pseudo Wigner Ville Distribution - SPWVD)
- Değişken Mod Ayrışımı (Variational Mode Decomposition - VMD)
- Dalgacık Ayrışımı (Wavelet Decomposition - WD)

Bu yöntemler, özellik çıkarım aşamasında kullanılarak EEG verilerinin işlenmesini ve anlamlı bilgilerin çıkarılmasını amaçlar. Elde edilen özellikler daha sonra sınıflandırma algoritmalarına giriş olarak kullanılarak, kullanıcının niyetini belirlemeye yönelik tahminler yapılır (Wang & Wang, 2021).

Birçok özellik çıkarma metodu, EEG sinyallerinin temsilini iyileştirmek ve istenmeyen gürültüyü azaltmak amacıyla geliştirilmiştir. Güç Spektral Yoğunluk (PSD), EEG sinyalinin farklı frekans bantlarında dağılımını analiz ederek beyin aktivitesini karakterize eden önemli bir özellik çıkarma yöntemidir (Niedermeyer & Silva, 2012). Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (STFT), frekans bileşenlerinin zaman içindeki değişimini gözlemlemek için kullanılan başka bir yaygın yöntemdir (Mallat, 1999)). Otoregresif (AR) ve uyarlanabilir otoregresif parametreler, EEG sinyalinin önceki değerlerine dayalı bir modelleme yaklaşımını temsil eder (Kayser & Tenker, 2006).

Ayrıca, zaman-frekans özellikleri de EEG sinyali analizinde önemli bir rol oynamaktadır. Dalgacık Dönüşümü (WT), EEG sinyalinin hem frekans hem de

zaman ölçeğinde temsilini sağlayarak zaman-frekans analizi için kullanılır (Daubechies, 1992).Özellikle, Dalgacık Enerji Entropisi (WEE), EEG sinyalinin zaman-frekans düzlemdeki dağılımını özetlemek için entropi temelli bir yaklaşım sunar (Nurfirdausi, Wijaya, Prajitno, & Ibrahim, 2022).

İstatistiksel özellikler de EEG sinyali analizinde kullanılan yaygın yöntemlerden biridir. Bu tür özellikler, sinyaldeki istatistiksel dağılımları yakalayarak farklı beyin aktivitelerini ayırt etmeye yardımcı olabilir (Urigüen & Garcia-Zapirain, 2015). Aynı şekilde, Fraktal Boyut (FD) gibi özellikler, EEG sinyalinin karmaşıklığını ve düzensizliğini değerlendirmek için kullanılır (Pincus, 1991).

Sonuç olarak, EEG sinyallerinden etkili özellik çıkarma yöntemleri, beyin aktivitesinin anlaşılmasını geliştirmek ve beyin-bilgisayar arayüzlerinin performansını artırmak için kritik öneme sahiptir. Bu metotlar, sinyalin anlamlı özelliklerini vurgulayarak gürültüyü azaltmaya ve beyin aktivitelerini daha doğru bir şekilde karakterize etmeye yönelik stratejiler sunmaktadır. Bu bağlamda, farklı özellik çıkarma metotlarının birleştirilerek kullanılması, EEG sinyal analizindeki başarının artırılmasına katkı sağlayabilir.

8- SONUÇ

Bu bölüm, beyin-bilgisayar arayüzlerinin (BCI'lar) temel bir bileşeni olan elektroensefalogram (EEG) sinyallerinin analizi ve işlenmesine odaklanarak, BCI teknolojisinin heyecan verici potansiyelini incelemeyi amaçlamaktadır. Beyin aktivitesini ölçme ve yorumlama yeteneği, tıp, rehabilitasyon, iletişim ve eğlence gibi farklı alanlarda dönüştürücü uygulamalara yol açmıştır. Bu kitap bölümünde ele alınan konular, BCI teknolojisinin önemini ve etkisini vurgulamak amacıyla geniş bir perspektiften ele alınmıştır.

EEG sinyali, beyin aktivitesinin yüzeydeki elektrot dizileri aracılığıyla ölçülmesini sağlar. Ancak, bu sinyaller genellikle çeşitli kaynaklardan gelen gürültü ve artefaktlarla kirlenir. Bu nedenle, EEG sinyallerinin analizi ve yorumlanması için öncelikle bir ön işleme aşamasının gerekliliği vurgulanmıştır. Ön işleme, EEG verilerini temizlemek, gürültüyü azaltmak ve istenmeyen bileşenleri ortadan kaldırmak için kullanılan yöntemlerle ilgilidir (Büyükgöze, 2019b).

Özellik çıkarımı aşaması, elde edilen temiz EEG verilerinden anlamlı bilgilerin çıkarılmasını içerir. Genlik değerleri, bant gücü, güç spektral yoğunluğu, otoregresif parametreler ve zaman frekansı gibi özellikler, beyin aktivitesinin farklı yönlerini yansıtmak üzere kullanılan temel parametrelerdir. Bu özellikler, sınıflandırma ve kontrol algoritmalarına girdi sağlamak için kullanılır (Wang & Wang, 2021).

Çeşitli özellik çıkarım yöntemleri ve analiz teknikleri, EEG verilerinin işlenmesinde kullanılmaktadır. Güç spektral yoğunluğu, kısa zamanlı Fourier dönüşümü, dalgacık dönüşümü, istatistiksel özellikler ve daha birçok yöntem, EEG sinyallerinin farklı yönlerini anlamak ve yorumlamak için kullanılan etkili araçlardır. Bu yöntemler, beyin aktivitesinin dinamik yapısını çözmek ve farklı durumları ayırt etmek için kullanılan değerli araçlardır (Nguyen & Chung, 2018).

Bu bölüm, BCI teknolojisinin gelecekteki araştırmaları ve uygulamaları için bir temel sağlamayı amaçlamaktadır. EEG sinyal işleme tekniklerinin sürekli gelişimi, beyin aktivitesinin daha iyi anlaşılmasını ve insan-makine etkileşiminin daha da geliştirilmesini sağlayacaktır. Bu alandaki ilerlemeler, beyin-bilgisayar arayüzlerinin daha geniş bir yelpazede kullanılmasını mümkün kılacaktır.

REFERANSLAR

Abhang, P. A., Gawali, B. W., ve Mehrotra, S. C. (2016). Introduction to EEG- and speech-based emotion recognition. *Academic Press*, 19-50.

Aydemir, Ö. (2008). Beyin bilgisayar arayüzü uygulamalarina yönelik EEG işaretleri için öznitelik çikarma (Doctoral dissertation, Karadeniz Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü).

Bin, G., Gao, X., Wang, Y., Hong, B., ve Gao, S. (2009). VEP-based brain-computer interfaces: time, frequency, and code modulations. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 4(4), 22-26.

Büyükgöze S. (2019a). The Brain-Computer Interface. *International Conference On Technics, Technologies And Education ICTTE 2019* (16.10.2019 - 18.10.2019).

Büyükgöze, S. (2019b). Beyin Bilgisayar Arayüzleri ve Uygulama Alanları. *Mühendislik Alanında Araştırma Makaleleri.* Gece Kitaplığı. ISBN: 978-625-7958-40-0.

Cheng, Y. C. (2014). A hybrid brain-computer interface for intelligent prosthetics. (Doctoral dissertation).

Daubechies, I. (1992). Ten Lectures on Wavelets. Society for Industrial and Applied Mathematics.

Donoghue, J. P. (2002). Connecting cortex to machines: recent advances in brain interfaces. *Nature Neuroscience*, 5(11), 1085-1088.

Fikir. (2020). Merkezi Sinir Sistemi . https://www.fikir.gen.tr/merkezi-sinir-sistemi-omurilik-beyin-ve-gorevleri/ adresinden 8 Ağustos 2021 tarihinde alınmıştır.

Garcés, M. A., ve Orosco, L. L. (2008). EEG signal processing in brain–computer interface. . In Smart wheelchairs and brain-computer interfaces (pp. 95-110). *Academic Press.* (Chapter 5).

George, L., ve Lécuyer, A. (2010). An overview of research on" passive" brain-computer interfaces for implicit human-computer interaction. *In International Conference on Applied Bionics and Biomechanics ICABB 2010*-Workshop W1" Brain-Computer Inter.

Gevins, A. S. (1999). Electroencephalographic imaging of higher brain function. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 354. 1125-1134.

Healthline. (2021). https://www.healthline.com/health/how-many-nerves-are-in-the-human-body#takeaway adresinden 8 Ağustos 2021 tarihinde alınmıştır.

Herculano-Houzel, S. (2009). The human brain in numbers: a linearly scaled-up primate brain. *Front Hum Neurosci.* 2009;3:31. Doi:10.3389/neuro.09.031.2009.

Hobson, H. M., ve Bishop, D. (2016). Mu suppression: a good measure of the human mirror neuron system? *Cortex* 82:290–310.

Hosni, S. M., Borgheai, S. B., McLinden, J., ve Shahriari, Y. (2020). An fNIRS-Based Motor Imagery BCI for ALS: A Subject-Specific Data-Driven Approach. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering.*

Jatoi, M. A., & Kamel, N. (2017). Brain source localization using EEG signal analysis. *CRC Press*.

Jones D. (2018). Types of Brain Waves. https://www.biofeedback-tech.com/articles/2018/5/4/types-of-brain-waves adresinden 5 Ağustos 2021 tarihinde alınmıştır.

Kanoga, S., ve Mitsukura, Y. (2017). Review of artifact rejection methods for electroencephalographic systems. *Electroencephalography*, 69, 69-89.

Kayser, J., ve Tenker, C. (2006). Principal components analysis of Laplacian waveforms as a generic method for identifying ERP generator patterns: I. Evaluation with auditory oddball tasks. . *Clinical Neurophysiology*, 117(2), 348-368.

L, B., JH, W., & GD, W. (2013). Do mirror neuron areas mediate mu rhythm suppression during imitation and action observation? . *Int J Psychophysiol* 89(1):99–105.

Malik, A. S., & Amin, H. U. (2017). Designing EEG experiments for studying the brain: Design code and example datasets. *Academic Press*.

Mallat, S. (1999). A Wavelet Tour of Signal Processing: The Sparse Way. *Academic Press.*

Millett., D. (2001). Hans Berger: from psychic energy to the EEG. *Perspectives in Biology and Medicine, Johns Hopkins University Press,* 44.(4):522–542.

Mizuhara, Wang, Kobayashi, ve Yamaguchi. (2004). A long-range cortical network emerging with theta oscillation in a mental task. *Neuroreport*, 15(8), 1233.

Nguyen, T., ve Chung, W. (2018). A single-channel SSVEP-based BCI speller using deep learning.

Niedermeyer, ve Silva, L. D. (2012). Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields. . Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.

Nöronlar. (2021). Neurons. https://courses.lumenlearning.com/boundless-psychology/chapter/neurons/#:~:text=There%20are%20three%20major%20types,body%20(and%20vice%20versa adresinden 10 Ağustos 2021 tarihinde alınmıştır.

Nurfirdausi, A. F., Wijaya, S. K., Prajitno, P., ve Ibrahim, N. (2022). Classification of acute ischemic stroke EEG signal using entropy-based features, wavelet decomposition, and machine learning algorithms. *In AIP Conference Proceedings* (Vol. 253. In AIP Conference Proceedings (Vol. 253).

Park, S., Han, C. H., ve Im, C. H. (2020). Design of Wearable EEG Devices Specialized for Passive Brain–Computer Interface Applications. *Sensors*, 20(16), 4572.

Pfurtscheller, G., ve Aranibar, A. (1977). Event-related cortical desynchronization detected by power measurements of scalp EEG. *Electroencephalography And Clinical Neurophysiology*, 42(6), 817-826.

Pincus, S. M. (1991). Approximate entropy as a measure of system complexity. . Proceedings of the National Academy of Sciences, 88(6), 2297-2301.

Ramadan, R. A., ve Vasilakos, A. V. (2017). Brain computer interface: control signals review. *Neurocomputing*, 223, 26-44.

Schwartz, A. (2004). Cortical neural prosthetics. Annu. Rev. *Neurosci.* 24 pp. 487-508.

Teo, W. v. (2018). Using noninvasive methods to drive brain–computer interface (BCI): the role of electroencephalography and functional near-infrared spectroscopy in BCI. In Smart Wheelchairs and Brain-Computer Interfaces (pp. 33-63). Academic Press.(chapter 3).

Toppr. (2021). Nöron tipleri. https://www.toppr.com/ask/content/story/amp/types-of-neurons-on-the-basis-of-function-73166/ adresinden 3 Ağustos 2021 tarihinde alınmıştır.

Umut, I. (2016). PSGMiner: a modular software for polysomnographic analysis. . *Computers in biology and medicine,* 73, 1-9.

Urigüen, J. A., ve Garcia-Zapirain, B. (2015). EEG artifact removal—State-of-the-art and guidelines. *Journal of Neural Engineering,* 12(3), 031001.

V. Romei, V. B.-L. (2008). Spontaneous fluctuations in posterior α-band EEG activity reflect variability in excitability of human visual areas. . *Cerebral cortex*, 18(9), 2010-2018.

Wang, J., ve Wang, M. (2021). Review of the Emotional Feature Extraction and Classification Using EEG Signals. *Cognitive Robotics.Volume* 1,Pages 29-40,ISSN 2667-2413,https://doi.org/10.1016/j.cogr.2021.04.001.

Wolpaw, J., Birbaumer, N., McFarland, D., Pfurtscheller, G., ve Vaughan, T. (2002). Braincomputer Interfaces For Communication And Control. *Clin. Neurphysiol.* 113 (6), 767–791.

Zhang, Chen, Bressler, & Ding. (2008). Response Preparation And Inhibition: The Role Of The Cortical Sensorimotor Beta Rhythm. *Neuroscience,* 156(1), 238–46.

Zhao, X., Wang, Z., Zhang, M., & Hu, H. (2021). A comfortable steady state visual evoked potential stimulation paradigm using peripheral vision. *Journal of Neural Engineering*, 18(5), 056021.

Bölüm 22

Lityumun (Li) Çevre Üzerine Olan Etkileri

Serpil SAVCI[1]

Güllü KIRAT[2]

[1] Doç. Dr..; Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü. serpil.savci@yobu.edu.tr ORCID No:0000-0003-2015-2223

[2] Doç. Dr.; Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü. gullu.kirat@yobu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-1167-0574

ÖZET

Fosil yakıtların yerine temiz enerji kaynaklarının kullanımı ve özellikle lityum pillerle çalışan teknolojiler geliştirilmiştir. Bu piller dizüstü bilgisayarlardan cep telefonlarına, elektrikli araçlardan enerji depolama tesislerine kadar pek çok alanda kullanılmakta ve çok sayıda avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle lityuma olan talep artmıştır. Ancak lityum madenciliğinin çevre üzerine zararları olduğu yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Bu kitap bölümünde lityumun kaynağı, kullanım alanları ve çevre üzerinde oluşturduğu kirlilik anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Lityum, çevre, kirlilik, kullanım alanı, lityumun kaynağı

GİRİŞ

Bilim ve teknolojideki gelişmelerle birlikte çok sayıda kimyasal madde günlük hayatımıza girmiştir. Bütün bu ürünler hayatımızı kolaylaştırıyor olsa da, bu kimyasalların yaygın kullanımı doğal ortamımızı yavaş yavaş değiştirmektedir. Daha da kötüsü çevresel etkilerin çoğu yıllarca sürebilmektedir (Chow, 2021:1348; Chow 2022:875).

Atom numarası 3 ve atom ağırlığı 6.941 olan lityum, en hafif metalik elementtir (Chow, 2022:875). Lityum (Li), beyaz altın veya yeşil enerji alkali metal olarak bilinen modern teknolojiyi güçlendiren ana unsurdur. Küresel olarak toplam lityum üretimi 2010'dan bu yana % 256 artışla 2021'de 100.000 ton olmuştur. Lityum iyon piller küçük taşınabilir elektronik cihazlardan, elektrikli araçlara ve pil enerji depolama sistemlerine kadar hayatımızın her alanında bulunmaktadır.

Bu piller yenilenebilir enerjinin geniş çapta benimsenmesini desteklemek için çok önemli kaynaklardır. Li iyon pillerin otomotiv sektöründe kullanılması, hava kirliliğini azaltma ve ulaşım sektörünün karbonsuzlaştırılması açısından büyük öneme sahiptir (Mrozik ve ark., 2021:6102). 1991 yılında ilk defa lityum iyon piller ticarileşmiştir.

Li temel bir enerji teknolojisi oluşturmuş ve sürekli kullanılmaktadır (Bae ve Kim, 2021:33). Şarj edilebilir Lityum iyon pil üretimi 2021 yılına kadar toplam lityum üretiminin % 74'ünü oluşturmaktadır. Bu durum lityumun elektrikli araçlara ve ürünlere yönelik artan talebini göstermektedir. Lityumun cam ve seramik üretimi, elektrikli araçlar ve ilaç sanayinde antidepresan üretiminde kullanılmaktadır.

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan Li sızıntı suları, kanalizasyon ve yağmur suyu akışı yoluyla toprağı kirletebilmektedir (Shakoor ve ark., 2023:6; Bibienne ve ark., 2020:268).

Son günlerde küresel olarak toprakta, suda ve tarımsal ekosistemde lityum konsantrasyonlarına rastlanmaktadır. Madencilik faaliyetlerinden çevreye salınan lityuma ek olarak, atık su deşarjı, özellikle metropol şehirlerde çevredeki bir başka Li kaynağını oluşturmaktadır (Choi ve ark., 2019:2). Son zamanlarda farklı çalışmalar Li'un bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerini göstermiştir (Da Silva ve ark., 2019:2103; Bakhat ve ark., 2020:39718).

Bu kitap bölümünde lityumun kullanım alanları, çevre üzerine olan etkileri anlatılmıştır.

Li'un Tarihçesi ve Özellikleri

Lityum (Li), periyodik tabloda H ve He sonra gelen ve çok düşük yoğunluğa sahip bir metaldir. Yunancada lithos taş anlamında olup, atom numarası 3 ve

atom ağırlığı 6.941'dir. 19. yy'da Johan August Arfvedson, Liunu (Li) ilk kez spodümen [LiAl(Si206)] olarak bilinen mineralde keşfetmiştir. Ancak Arvfedson, 1855 yılına kadar bu metalin sentezini gerçekleştirilememiştir. Augustus Matthienson ve Robert Bunsen LiCl'un elektrolizi sonucu Li'mu elde etmişlerdir. Li üretimi, 1900'lu yıllarda Güney Dakota'daki Etta ocağından spodümen mineralinin çıkarılmasıyla başlamıştır. Li ve bileşiklerinin tüketimi 1950'li yıllarda başlamıştır. Li ve bileşikleri esas olarak pegmatit minerallerinden Spodümen ($LiAlSi_2O_6$), Lepidolit ($K_2Li_3Al_4Si_7O_{21}(OH,F)_3$), Ambligonit ($LiAl(F,OH)PO_4$) ve Petalit ($LiAlSi_4O_{10}$)'den üretilmektedir. Az miktarda karbonat, yan ürün olarak da potasyum ve sodyum minerallerinden elde edilmektedir (Akgök ve Şahiner, 2017:5-6).

21. yüzyılda bir enerji metali olan Li, endüstri, elektronik, kimya, metalürji ve havacılık gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmakta ve çok önemli bir rol oynamaktadır (Zheng ve Liu, 2007; Peng, 2012; Xu ve ark., 2018; Zhang ve ark., 2022:734-735).

Dünya'daki Li kaynakları, kapalı havza çözeltilerinde 58%; pegmatitler ve pegmatitlerle ilişkili granitlerde 26%; Li bakımından zengin killerde 7%; petrol sahalarında bulunan çözeltilerde 3%; jeotermal çözeltilerde 3%; ve Lica zengin zeolitlerde 3% olmak üzere farklı yatak tiplerinde yer almaktadır. Li, esas olarak magmatik ve pegmatit yataklarda, evaporit çözeltilerinde ve birçok farklı jeolojik ortamlarda bulunmaktadır. Granitik pegmatitler, Li, berilyum, tantalyum, kalay, niobyum, sezyum, skandiyum, rubidyum, uranyum, toryum ve nadir toprak elementlerinin (NTE) kaynağını oluşturmaktadır. Pegmatitlerde bulunan spodümen minerali önemli bir Li mineralidir. Ambiligonit nadir olarak ekonomik değerdedir ancak, yaygın bir şekilde bulunur. Petalit, lepidolit ve eukırıptit (LiAlSiO4) az miktarda bulunan minerallerdir. Kings Mountain (Kuzey Amerika) pegmatit kuşağı dünyada en önemli ve en büyük Li pegmatit yataklarıdır. Bir kısım pegmatitler, az bulunan Li, sezyum ve tantalum (LCT) gibi metaller yönünden zengin olup, bu LCT pegmatitler Li için işletilirler. Bu tür maden yataklarında en önemli Li minerali spodümendir (Helvacı, 2018:265).

Lityum (Li) Kullanımı

Li'un kullanım alanları, seramik, cam, piller, akıllı telefonlar, küçük elektronik cihazlar, dizüstü bilgisayarlar ve elektrikli araçlar gibi daha büyük sistemlerdir. Pillerde lityumun tercih edilmesinin üç temel nedeni; çok hafif metal olması, metaller arasında çok yüksek elektrokimyasal potansiyele sahip olması ve tüm metaller arasında enerji yoğunluğunun çok yüksek olması olarak sıralanabilmektedir. Seramiklere lityum eklenmesi, camın erime hızını arttırır

ve viskoziteyi azaltır. Organik lityum malzemeleri karbon - karbon bağları oluşturmak için polimerlerde kullanılmaktadır (Bae ve Kim, 2021:33).

Li talebindeki artışlar genel olarak, 2017 verilerine göre toplam Li'un %46'sını pillerin kullanımından kaynaklanmaktadır (Ambrose ve Kendall, 2020). Küresel anlamda Li üretimi 2000 yılından sonra yılda %20 oranında büyümüştür (Martin ve ark., 2017). Metaller arasında çok hafif olan Li, piller, hava iyileştirme, seramik, metalurji, cam, polimer ve ilaçta kullanılmaktadır. Şarj edilebilir özelliğe sahip Li iyon pilleri, küresel ısınmayı azaltma açısından önemlidir (Şekil 1). Kara taşıtlarında fosil yakıtlar yerine, yenilenebilir enerji kaynaklarından (örn., güneş, rüzgar, hidroelektrik) güç sağlayabilir (Bradley ve ark., 2017; Ertürk ve Yalçın, 2022:557).

Şekil 1. Li-iyon pilleri (Peiro ve ark., 2013:987; Ertürk ve Yalçın, 2022:566).

Doğal Kaynaklardan Lityum Üretimi

Li yaygın olarak kullanılmasına rağmen, rezevleri ve üretimi dünya çapında eşit olarak dağılmamıştır. Güney Amerika, Şili, Bolivya, Arjantin gibi ülkeler lityum rezervlerine sahiptir. En fazla lityumu Avustralya üretmekte, ardından Şili, Arjantin ve Çin gelmektedir (Bae ve Kim, 2021:33). Şekil 2'de Lityum gösterilmiştir (https://www.enerjiportali.com/lityum-nedir-nerelerde-kullanilir/).

Şekil 2. Lityum
(https://www.enerjiportali.com/lityum-nedir-nerelerde-kullanilir/)

Lityum Rezevleri

Lityum karbonat, spodümenin yanı sıra pegmatit kayalarında bulunan diğer cevherlerden de kaynaklanabilir. Bunlar ağırlıkça %1–6 Li içerir ve ambliyonit, ökriptit, lepidolit, petalit veya zinwaldit olarak adlandırılır. Yüksek demir içeriği sayesinde petalit, özellikle cam üretiminde kullanılır. Lepidolit, lityum tuzları üretimi ve özel cam üretimi gibi marjinal kullanımlar için kullanılan ilk cevherlerden biriydi, ancak daha sonra yüksek fluor içeriği nedeniyle o zamanki pazardaki önemini yavaş yavaş kaybetmiştir (Grosjean ve ark., 2012:1739).

Madencilik aşaması spodumen kullanımı olmasına rağmen, bileşim, sertlik ve lityum içeriği açısından farklılıklarla gösterdiğinden çok çeşitli Li içeren sert kaya mineralleri, herhangi bir endüstriyel kullanım için içsel bir sınırlamaya işaret eder, çünkü yeni süreçlerin her biri için ayrı ayrı geliştirilmesi gerekir (Grosjean ve ark., 2012:1739).

Li yerin derinliklerinde jeotermal ve petrol sahası tuzlu sularından da elde edilebilir. Su ceplerinde tuzlu akiferler, lityum açısından zenginleşir (Grosjean ve ark., 2012:1739).

2005 yılında Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Servisi (USGS), yaklaşık 15 milyon ton (Mt) Li rezerv tabanı ve 6.8 Mt rezerv olduğunu bildirmiştir. 2008 yılında, çeşitli araştırmacılar 39.4 Mt rezerv ve 27.7 Mt rezerv tabanından bahsetmişlerdir. Küresel kaynak tahmini birkaç farklı nicelik cinsinden ifade edilir: "kaynak", "rezerv tabanı" ve "rezervler" (Grosjean ve ark., 2012:1739).

En büyük Li miktarı Arjantin, Bolivya ve Şili üçgeninde yer almaktadır. Dünyanın bu bölgesinde %43.6 oranında bulunan Li, çoğunlukla Güney Amerika'da bulunan tuz gölü tuzlu sularından gelmektedir. Kuzey Amerika ve

Avustralya, her biri için yaklaşık %25 pay ile geri kalan kaynakların neredeyse tamamını temsil etmektedir (Grosjean ve ark., 2012:1739).

Tuzlu sular söz konusu olduğunda, Kuzey Amerika'da bulunan jeotermal ve petrol sahalarından gelirken, Çin'de bulunanların tamamı tuz göllerinden gelmektedir. Bir bütün olarak, tuzlu su kaynakları olağan tüketim merkezlerinden uzak yerlerde Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'nın bazı yerlerinde yoğunlaşmıştır. Kaya mineralleri kaynakları birikintilerle Dünya üzerinde çok daha homojen bir şekilde dağılmıştır ve her kıtada bulunmaktadır. Ancak yine de, Kanada, Avustralya ve Çin'de üretim yapılmaktadır (Grosjean ve ark., 2012:1739).

Kaynakları ve Kirletici Yolları

Kullanılmış Li iyon piller, ağır metallerle ilişkili potansiyel çevre ve insan sağlığı riskleri nedeniyle tehlikeli atıklar olarak kabul edilir (Zand ve Abduli, 2008:2087; Bernardes ve ark., 2004:293; Choi ve ark., 2020:383). Lityum iyon pillerin bertarafı sırasında çeşitli çevresel etkilere sahiptir. Bu piller reaktif tuzlar ve katı maddeler içerir. Ayrıca atık depolama alanlarında meydana gelen yangınlar biyogazla birlikte toksinleri havaya salabilir ve zararlı bileşikler havaya, toprağa, yeraltı ve yerüstü sularına karışabilir. Bu kirleticiler çevre için de risk oluşturmaktadır. Ağır metaller çöp sızıntı suları ile yeraltı sularına karışabilir. Buradan nehir ve göl sularına geçiş yapabilir. Arsenik, krom, kobalt, bakır, kadmiyum ve geri dönüşebilir pillerin ayrışmasından kaynaklanan kurşun tozları solunum yoluyla canlılara geçebilir ve kardiyovasküler, endokrin sistem üzerinde olumsuz sağlık etkilerine neden olabilir (Dockery, 2009:258).

Li iyon pillerden havaya salınan çeşitli tehlikeli gazlar arasında hidroflorik asit en yüksek tehlike kaynağıdır ve çok dikkatli bir şekilde ele alınması gerekmektedir. İnsan vücuduna deri ve solunum sistemi yoluyla girebilir ve ciddi korozif etkilere ve sistemik toksisiteye neden olabilir. Hidroflorik asit cilde kolayca nüfus eder ve serbestçe çözünebilen fluorür iyonunu serbest bıraktığı daha derin doku katmanlarına hızla hareket edebilir. Bu iyon güçlü reaktivitesi nedeniyle son derece zehirlidir. Dokularda dermal maruziyete ve insan ölümlerine neden olabilir (Derewku ve ark., 1985:76; Dennerlein ve ark., 2016:27).

Katı atıkların bertafında kullanılan düzenli depolama alanlarında oluşan en önemli tehlikelerden biri de sızıntı suyu oluşumudur. Çeşitli biyolojik ve kimyasal bozunma işlemlerinin ve atıklardan sızan yağmur suyunun bir sonucu olarak oluşmaktadır. Sızıntı suları önemli miktarda çözünmüş organiklerin karışımı, inorganik tuzlar, amonyak, ağır metaller, kişisel bakım ürünleri, parçalanmaya karşı dayanıklı maddeler, endüstriyel ve evsel kimyasal kalıntılar,

bunların dönüştürme ve bozunma ürünlerini içermektedir. Sızıntı suyu bir taşıma aracı görevi görebileceğinden dolayı ciddi bir çevresel etki yaratabilir. Toprakları veya yeraltı sularını kirletebilir ve kirleticileri sahadan kilometrelerce uzağa taşıyabilir (Samadder ve ark., 2017:595).

Li iyon içeren sızıntı suları, ağır metaller, katkı maddeleri, elektrolit bozunma ürünleri gibi potansiyel olarak çeşitli kirleticiler taşıyacaktır. Ayrıca çözünmüş gazlar HF, HCl, SO_2 sadece basit bir toksik etkiye sahip değildir. Aynı zamanda alıcı suların ve çözeltilerin özelliklerini de değiştirebilir. Bu aşındırıcı türlerin neden olduğu asitlenme asit yağmurları ile aynı etkiye sahiptir, pH'ı düşürür ve gerek bitkileri gerekse de hayvanları güçlü bir şekilde etkileyebilir. Ayrıca toprağa bağlı ağır metallerin salınımını artırır (Mrozik ve ark., 2021:6103).

Li iyon pillerden gelen ağır metallerin zehirliliği karbonhidratların, yağların, proteinlerin, enzimlerin yapısını bozabilir. Ağır metaller ile kontamine olmuş meyveler veya ekinler yoluyla canlılara geçebilir. Yapılan çalışmalarda çocuklarda düşük akademik performansa neden olduğu bilinmektedir (Prabhakar ve ark., 2019; Chatham-Stephens ve ark., 2013:793; Mishra ve ark., 2019; Zeng ve ark., 2016:409; Yu ve ark., 2019:179).

Li içeren pillerden gelen ağır metaller yasal ve yasa dışı bertaraf yollarından dolayı malzeme geri kazanım süreçleri ile doğal ortama girebilirler (Mrozik ve ark., 2021:6103).

Günümüzde kömür ve petrol üretimleri dahil olmak üzere antropojenik bozulmalarda çevreye Li salınımı oldukça fazladır ve çözünmüş lityumun denize taşınması iki katına çıkmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar kıyı bölgelerindeki kamu ve evsel kuyular, deniz organizmaları dahil olmak üzere kaynak sularında ve biyotada yüksek Li seviyelerine rastlanmıştır (Lindsey ve ark., 2021:7). Araştırmalar, yüksek düzeydeki Li'un suda yaşayan organizmalar ve insanlar için toksik olduğunu göstermiştir (Bolan ve ark., 2021:2). Kıyı ve kentsel ortamlarda lityum kirliliği tarımsal ekosistemlerde de endişe kaynağı olabilmektedir. Hidratlı Li iyonları toprak dağılımına kil trombositine ve agrega şişmesine neden olabilir. Toprak üzerindeki dağıtıcı etkisi sodyum iyonlarından daha fazladır. Ayrıca toprak çözeltisindeki Li bitki kökleri tarafından difüzyonla su hareketleri veya suyun ozmoz yöntemiyle hareketi sonucu kolayca alınabilmektedir. Li'un bilinen bir biyokimyasal işlemi olmamasına rağmen, bitkiler kirlenmemiş topraklardan bile Li alabilmektedir.

Li'un ayçekirdeği, marul, karabuğday, mısır, biber, salatalık, patates ve narenciye gibi yaygın mahsullerde birikimi 5-30 mg/kg konsantrasyon olarak bildirilmiştir (Franzaring ve ark., 2016:859). Li bitkilerde klorofil azalmasına neden olabilmektedir. Aynı zamanda hayvanlar ve insanlar için potansiyel

sağlık riskleri oluşturmaktadır. Daha da önemlisi insanlar üzerinde akut ve kronik Li zehirlenmesi gözlenmiştir. Özellikle kurak bölgelerde atık sularla sulama nedeniyle tarımsal ekosistemlerde olmaması gereken Li kirliliği riskleri oluşturmaktadır (Chow ve ak., 2022:875).

Li'un hidrosfer, atmosfer, pedosferdeki konsantrasyonları, önümüzdeki on yılda karbondioksit içermeyen enerji pazarlarına hitap etmek için Li iyon pillerin kullanılması nedeniyle önemli ölçüde artabilir (Kaunda, 2020:238; Grosjeana ve ark., 2012:1737).

SONUÇ

Son yıllarda küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini en aza indirmek amacıyla temiz enerjinin kullanımına yönelik benzeri görülmemiş bir talep olmuştur. Dizüstü bilgisayarlar, enerji depolama aygıtları, cep telefonları, elektrikli araçlar için Li iyon pillerinin ideal bir aday olduğu tespit edilmiştir. Li metalininin çıkartılması ve işlenmesi sırasında ortaya çıkan çevresel etkiler, flora ve fauna üzerindeki toksisite etkileri, Li madenciliğinin atık su oluşturması, arazi çökmesi gibi potansiyel risklerin mevcut olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmiştir.

Atık suların en aza indirilmesi, geri dönüştürülmesi, alternatif teknolojilerin kullanılması gibi önlemler Li çıkartılmasının olumsuz çevresel etkilerini azaltma potansiyeline sahiptir.

Bu kitap bölümünde lityumun kullanımı, üretimi, rezevleri, kaynakları ve kirletici yolları anlatılmıştır.

REFERANSLAR

Akgök, Y.Z., Şahiner, M., 2017. Dünyada Ve Türkiye'de Li, MTA, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı

Ambrose H. Kendall A. Understanding the future of lithium: Part 1, resource model. J. Ind. Ecol. 2020, 24, 80–89

Bae, H., Kim, Y., (2021). Technologies of lithium recycling from waste lithium ion batteries: a review. Material Advance, 2, 32-34.

Bakhat, H.F., Rasul, K., Farooq, A.B.U., Zia, Z., Natasha, Fahad, S., Abbas, S., Shah, G.M., Rabbani, F., Hammad, H.M., (2020). Growth and physiological response of spinach to various lithium concentrations in soil. Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 27, 39717–39725.

Bernardes, A. M., D. C. R. Espinosa and J. A. S. Teno´rio, J. (2004). Characterization of Spent Household Zinc-Carbon Dry Cell Batteries in the Process of Recovery of Value Metals Power Sources, 130, 291–298.

Bibienne, T., Magnan, J.-F., Rupp, A., Laroche, N., (2020). From mine to mind and mobiles: society's increasing dependence on lithium. Elements 16, 265–270.

Bolan, N., Hoang, S. A., Tanveer, M., Wang, L., Bolan, S., Sooriyakumar, P., Robinson, B., Wijesekara, H., Wijesooriya, M., Keerthanan, S., Vithanage, M., Markert, B., Fränzle, S., Wünschmann, S., Sarkar, B., Vinu, A., Kirkham, M. B., Siddique, K. H. M., & Rinklebe, J. (2021). From mine to mind and mobiles: Lithium contamination and its risk management. Environmental Pollution, 290, 118067, 1-15.

Bradley D. C. Stillings L. L. Jaskula B. W. Munk L. A. McCauley A. D. Lithium, chap. K of Schulz K. J. DeYoung J. H. Jr. Seal R. R. II, and Bradley D. C. eds., Critical mineral resources of the United States-Economic and environmental geology and prospects for future supply: U.S. Geological Survey Professional Paper, 2017, 1802, p. K1-K21, https://doi.org/10.3133/ pp1802K.

Chatham-Stephens, K., Caravanos, J., Ericson, B., Sunga-Amparo, J., Susilorini, B., Sharma, P., Landrigan, P.J., Fuller, R. (2013). Burden of Disease from Toxic Waste Sites in India, Indonesia, and the Philippines in 2010. Environ. Health Perspect., 121, 791–796.

Choi, H.-B., Ryu, J.-S., Shin, W.-J., & Vigier, N. (2019). The impact of anthropogenic inputs on lithium content in river and tap water. Nature Communication, 10 (1), 5371, 1-7.

Chow, A. T. (2021). Natural organic matter under human-influenced environments: Implications for future environmental quality research. Journal of Environmental Quality, 50(6), 1347–1350.

Chow, A. T., (2022). Proactive approach to minimize lithium pollution, Journal of Environmental Quality, 51, 872-876.

Choi, H.-B., Ryu, J.-S., Shin, W.-J., & Vigier, N. (2019). The impact of anthropogenic inputs on lithium content in river and tap water. Nature Communication, 10 (1), 5371.

da Silva, R.R., de Faria, A.J.G., Alexandrino, G.d.C., Ribeiro, E.A., dos Santos, A.C.M., Deusdara, T.T., do Nascimento, I.R., Nascimento, V.L., (2019). Enrichment of lithium in lettuce plants through agronomic biofortification. J. Plant Nutr. 42, 2102–2113.

Dennerlein, K., Kiesewetter, F., Kilo, S., Jäger, T., Göen, T., Korinth, G., & Drexler, H. (2016). Dermal absorption and skin damage following hydrofluoric acid exposure in an ex vivo human skin model. Toxicology Letters, 248, 25-33.

Derewku, M. J., Gad, S. C., Gavigan, F., Dunn, B. J., (1985). Acute Dermal Toxicity of Dilute Hydrofluoric Acid J. Toxicol., Cutaneous Ocul. Toxicol., 1985, 4, 73–85.

Dockery, D.W., (2009). Health Effects of Particulate Air Pollution**.** Ann. Epidemiol., 19, 257–263.

Ertürk, M.A. ve Yalçın, C., 2022. Geleceğin Enerji Kaynağı: Lityum, Farklı Yaklaşımlarla Enerji Ve Kaynakları (pp.557-569), Publisher: Orient Yayınları

Franzaring, J., Schlosser, S., Damsohn, W., & Fangmeier, A. (2016). Regional differences in plant levels and investigations on the phytotoxicity of lithium. Environmental Pollution, 216, 858–865.

Grosjeana, C., Mirandaa, P. H., Perrina, M., Pogg, P., (2012). Assessment of world lithium resources and consequences of their geographic distribution on the expected development of the electric vehicle industry. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 1735-1744.

Derewku, M. J., Gad, S. C., Gavigan, F., Dunn, B. J., (1985). J. Toxicol., Cutaneous Ocul. Toxicol., 1985, 4, 73–85.

Helvacı, C., 2018. Lityum Ve Lityum Minerallerinin Kaynakları, Yatakların Dağılımı Ve Ekonomik Önemi, 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 23-27 Nisan/April 2018

Kaunda, R. B. (2020). Potential environmental impacts of lithium mining. Journal of energy & natural resources law, *38*(3), 237-244.

Lindsey, B. D., Belitz, K., Cravotta, C. A., Toccalino, P. L., Dubrovsky, N. M. (2021). Lithium in groundwater used for drinkingwater supply in the United States. Science of The Total Environment, 767, 144691, 1-15.

Martin G. Rentsch L. Hock M. Bertau M. Lithium market research-global supply, future demand and price development. Energy Storage Mater, 2017, 6, 171–179.

Mishra, S., Rath, C. C., Das, A. P., (2019). Marine microfiber pollution: A review on present status and future challenges. Mar. Pollut. Bull., 140, 188–197.

Mrozik, W., Rajaeifar, M. A., Heidrichab, O., Christensen, P., (2021). Environmental impacts, pollution sources and pathways of spent lithium-ion batteries, Energy Environmental Science, 14, 6096, 6099-6121.

Peiro L T, Villalba Mendez G., Ayres R U. Lithium: Sources, production, uses, and recovery outlook, The Journal of The Minerals, 2013;65: 986-996.

Peng AP. 2012. The status quo and future prospective of the lithium industry. China Metal Bulletin, 11, 19–21.

Samadder, S. R., Prabhakar, R., Khan, D., Kishan, D., Chauhan, M. S., (2017). Analysis of the contaminants released from municipal solid waste landfill site: A case study Sci. Total Environ., 580, 593–601.

Shakoor, N., Adeel, M., Azeem, I., Ahmad, M. A., Zain, M., Abbas, A., Hussain, M., Jiang, Y., Zhou, P., Li, Y., Xu, M., Rui, Y., (2023). Interplay of higher plants with lithium pollution: Global trends, meta-analysis, and perspectives. Chemosphere, 310, 13663, 1-10.

Xu ZQ, Wang RC, Zhao ZB, Fu XF. 2018. On the structural backgrounds of the large-scale “Hard-rock Type” lithium ore belts in China. Acta Geologica Sinica, 92(6), 1091–1106 (in Chinese with English abstract).

Yu, Y., X. Zhu, L. Li, B. Lin, M. Xiang, X. Zhang, X. Chen, Z. Yu, Z. Wang and Y. Wan, (2019). Health implication of heavy metals exposure via multiple pathways for residents living near a former e-waste recycling area in China: A comparative study. Ecotoxicol. Environ. Saf., 169, 178–184.

Zand, A. D., and M. A. Abduli, Waste Manage., (2008). Current situation of used household batteries in Iran and appropriate management policies. 28, 2085–2090.

Zhang H, He P, Lu XZ, He XT, Liu X. 2022. Discovery and significance of rare and rare earth metal deposits in the south of Washixia, northern margin of Altun. Modern Mining, 38(1), 34–36, 87 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3969/j.issn.1674-6082.2022. 01.008.

Zhang, B., Qia, F-Y., , Gao, X-Z., , Li , X.L., Shang , Y.T., Kong , Z-Y., Ji, L-Q, ,Meng, J., Guo, H., Fu-kang Fang, F-K., Liu, Y-B., Jiang, X., Chai, H., Liu, Z., Ye, X-T., Wang, G-D., 2022. Geological characteristics,

metallogenic regularity, and research progress of lithium deposits in China, China Geology, 5, 734-767

Zheng MP, Liu XF. 2007. Lithium resources in China. Advanced Materials Industry, 9(8), 13–16.

Zeng, X., Xu, X., Boezen, H. M., Huo, X., (2016). Children with health impairments by heavy metals in an e-waste recycling area. Chemosphere, 148, 408–415.

https://www.enerjiportali.com/lityum-nedir-nerelerde-kullanilir/. Erişim Tarihi:14.08.2023.

Bölüm 23

Eğitim Kurumlarının Doğal Işık Performansının İncelenmesi: Antalya Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Örneği

Sertaç GÖRGÜLÜ[1]

Hatice KOLAK[2]

[1] Doç.Dr. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü.
sgorgulu@mehmetakif.edu.tr ORCID No: 0000-0002-8394-5362

[2] Doktora Öğrencisi. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
ORCID No: 0000-0003-4751-8272

ÖZET

Kamusal yapıların iç mekânlarının tasarımlarında gün ışığının denetimi ve miktarının dengesinin sağlanması kullanıcının performansını arttırması ya da azaltması yönüyle önem kazanmaktadır. Kamu yapıları arasında da eğitim yapılarının kullanıcı performansının arttırılması yönünde tasarım müdahaleleri verimliliği arttıran ve görsel konforu sağlayan önemli bir unsurdur. Antalya orta öğrenim kurumları arasında bina yapısının niteliği ve fonksiyonu ile öne çıkan yapılardan biri olan Antalya Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nin bulunduğu alandaki konumu ve cephe tasarımıyla beraber önemli bir yeri vardır. Antalya Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi yapısı; bir ana bina ve teknik atölyelerin bulunduğu daha küçük yapılardan oluşan bir kompleks niteliği taşır. Burada özellikle ana dersliklerin bulunduğu yapısı (A Blok) cephe tasarımlarının ışığın denetimi noktasında güneş kırıcı niteliği taşıyan saçaklar söz konusu olmuştur. Yapının cephe tasarımındaki bu saçaklar güney cepheden gelen yüksek ışığı kırarak ışığın şiddetini azaltmaktadır.

Bu çalışmada yapının AutoCAD çizimleri üzerinden üç boyutlu modellemesi hazırlanarak gün ışığına doğrudan maruz resim atölyesi dersliğinin üzerinden gün ışığı modellemelerini aydınlanma değerleri inceleyerek analiz edilmiştir. Elde edilen verilerle gün ışığının, görsel konforun iç mekânlardaki aydınlık düzeyi üzerinden bir değerlendirmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmayla birlikte gün ışığının eğitim yapıları üzerinden kullanıma ve kullanıcıya etkisinin önemi vurgulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Eğitim yapıları, gün ışığı analizi, görsel konfor, doğal aydınlatma

GİRİŞ

Mekânla bireyin ilişkisini algılanmışlık, tasarlanmışlık ve yaşanmışlık olarak tanımlanan üç farklı derinlik düzeylerinde yaşandığını belirten Lefebvre'e, mekânsal derinliğin algılanması durumunu mekânla iletişim içinde bulunan bireyin bakışında olduğunu göstermektedir. Bu durumla da görme eylemi ile gerçekleşmektedir (Lefebvre, 1991). Görmekle bir şeyi anlamak ve anlamlandırmak durumu mekânın kendisi ve kullanıcısı açısından önemli bir yer tutmaktadır. Bireyin mekâna dönük yaklaşımı ise mekâna ait kimliğin varlığı, kent içinde karşılaştığı diğer mekânsal unsurlarla etkileşimi doğrultusunda sürekliliğini sağlan bir unsur olarak karşılaşılmaktadır. Mekânlar, kullanıcı deneyimlerinin ve karşılaşmaların yaşandığı yerlerdir (Arslanoğlu, 1998).

Mekânının eğitim yapıları özelinde görsel algılamanın öğrenmedeki katkısı, diğer duyu organlarının katkılarından daha fazla olduğu gözlemlenmektedir. Dolayısıyla, öğrenmenin tam, eksiksiz, doğru, yorucu hale gelmeden ve çok fazla çaba harcamadan yapılabilmesi için büyük oranda mekânın iyi görme koşullarının sağlanması yani görsel konforun tesisine bağlı olmaktadır. Bu durum ise mekândaki aydınlatmanın, nicelik ve nitelik yönünden gerektirdiği koşulların yerine getirilmesiyle mümkün olmaktadır. Özellikle, eğitim yapıları gibi gün boyunca kullanılan yapılarda, görsel konfordan ödün vermeden sağlanan etkin güneş enerjisinin kullanımı ile büyük oranda enerji tasarrufu elde edileceği yapılan diğer araştırmaların da öne çıkardığı önemli bir bulgudur (Bilasa, 2015).

Eğitim yapılarının tasarlanmasında kullanıcı odaklı ve işlevsel açıdan nitelikli mekânların oluşturmak için fiziksel konfor şartlarının yapıya uygun bir planlamayla sağlanması gerekmektedir (Yanılmaz & Tavşan, 2021, Akyıldız & Yıldız, 2020). Kullanıcıların algılaması, yorumlaması, düşünmesi ve açıklaması noktasında paylaşımda oluğu eğitim yapılarının daha gelişkin ve çevresiyle uyumlu tasarlanmış bir ilişki kurmayı amaçlamaktadır. Öğrencilerin ise bu yapılarda sosyal çevresini tanımada ve çevresel ilişkilerini kurmasındaki etkisi olumlu yönde gözlemlenmektedir (Karakuş, 2019). Mimari tasarımlarda sürdürülebilir kalkınma kavramı ile enerji verimliliğinin öne çıkmasıyla gün ışığının kullanımı artmaktadır. Bu doğrultuda sınıf aydınlatmalarının tasarımında yeni standartlar oluşturmuştur. Örnek olarak parlamalardan ve gölgelerden kaçınmak amaçlı pencere açıklıklarının zemin alanlarının yaklaşık %20'si kadar olması gerektiği belirlenmiştir (Djalilova & Şahin, 2020, Aydın, 2016).

EĞİTİM YAPILARINDA AYDINLATMANIN ÖNEMİ

Eğitim kurumlarında daha verimli çalışma ortamlarının oluşturulması amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Yapıyı oluşturan çeşitli bileşenlerin tasarım, materyal ve teknikle birlikte bütüncül bir gözle ele alınması gerekliliğini göstermektedir. Çeşitli nedenlerden dolayı eğitim binaları doğal aydınlatma performansı çalışmalarında ilk incelenmesi gereken yapılar arasında gelmektedir. Derslikler, gün boyu kullanıldıklarından yeterli ve düzgün dağılımlı doğal aydınlatmaya sahip olmalıdırlar. Doğal ışığın yeterli olmadığı durumlarda yapay aydınlatma kullanımı elektrik enerjisi tüketimini arttırmaktadır. Aynı zamanda, kullanıcıların görsel konforlarının da sağlanması gerekir (Erlalelitepe vd., 2011). Gün boyunca en temel ışık kaynağı olan gün ışığı ile aydınlatılan binalarda verimli ve konforlu bir ortamın sağlanması esastır. Eğitim binalarında gerçekleşen öğrenmenin gün ışığı ile doğrudan ilişkili olduğu ve öğrencilerin bilgiyi akılda tutmalarında yardımcı olduğu bilinmektedir (Winterbottom & Wilkins, 2009).

Lise öğrencileri üzerinde yapılan bir çalışmasında aydınlatma ve görsellik unsurlarının etkileşimli bir faktör analizi ile öğrenmeyi etkileyen maddeler arasındaki etkileşime dikkat çekmektedir. Bu etken faktörler sosyal etkileşim, dokunsallık, görsellik, aydınlatma, otorite, işitsellik, zaman ve sebat etkenleri ile birlikte genişleyen bir bakış açısı sağlamaktadır (Otrar, 2007). Ortaöğrenim öğrencilerinin örenme becerilerini etkileyen faktörler üzerinde yapılan başka bir araştırmada öğrencilerin mekânsal istek ve eğilimleri farklı ölçütler üzerinden değerlendirmiştir. Aydınlatma ile ilgili olarak, öğrencilerin aydınlık ve karanlık olma durumlarının dengeli orta düzeyde aydınlık mekânlar tercihinin olduğu yargısına varılmıştır. Bu durum dengeli bir aydınlatmanın odağı kendinden ziyade öğrenme durumuna çekeceğini göstermektedir (Pilasa, 2015). Işığın bu tür kamu yapılarında bir destekleyici unsur olarak kullanılmasını gerektirmektedir.

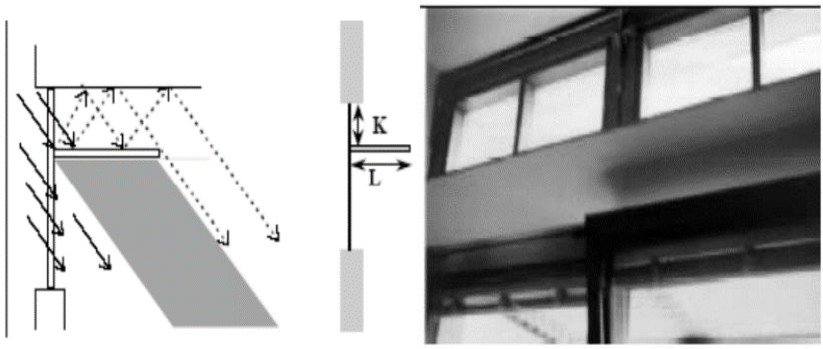
Işık mekânın içerisinde görmenin sağlanması için bir araçtan öteye geçmektedir. İyi tasarlanmamış mekânlarda niteliksiz aydınlatma biçimlerine öğrencileri maruz bırakmak, farklı sorunlara yol açmaktadır. Işık, besin ve suyun ardından bedensel fonksiyonları kontrol etmedeki en önemli çevresel girdi olarak değerlendirilmektedir (Wurtman, 1975). Farklı renkteki ve şiddetteki ışıklar kan basıncını, nabzı, solunum hızını, beyin aktivitesini ve biyoritimleri etkilemektedir. Bazı hormonların sentezini etkilemek için gerekli olan tam spektrum ışık, vücudun serotonin çıktısını belirlemeye yardımcı olan melatonin sentezini etkilemektedir. Gelişim çağındaki çocuğun sağlığı ve gelişimi için çok önemlidir (Ott, 1973). İnsanların "sirkadiyen ritimleri" düzenlemek için gün ışığına ihtiyaç duyduğuna dair pek çok çalışma vardır. Zayıf aydınlatılmış sınıflar, öğrencilerin zamandan ve bulundukları mekândan kopma hissini

deneyimlemelerine neden olabilmektedir. Gün ışığı hem mekândaki zaman algısını kurmada hem de psikolojik olarak kullanıcıya motivasyon sağlayan bir etkiye sahiptir (Alexander vd., 1977). Eğitim kurumlarında mekânsal tercihlerin doğal ışık aydınlatmalarının daha çok tercih edildiği gözlemlenmektedir. Günün büyük bir kısmının geçtiği bu alanlarda doğal ışık daha süreli kullanıma uygun bulunmaktadır (Smith, 2020). Işığın her yönüyle mekânda doğru yönelimler sağlaması gerekmektedir.

Işığı yönlendirmek için kullanılan en temel tasarım elemanı ışık rafları olmaktadır. (Şekil 1) Işık rafı, pencereyi alt ve üst bölümlere ayırarak üzerine düşen gün ışığını içeriye yansıtarak, pencereye uzak bulunan bölgelerin aydınlatılmasını sağlar. Böylece daha dengeli ve homojen bir ışık dağılımı sağlanmaktadır. Pencerenin iç veya dış kısmında olabilen ışık rafları yüksek yansıtma özelliğine sahip malzemelerden veya işlenmiş alüminyumdan yapılır (Kazanasmaz, 2009).

Mekânda ışığın yayılma miktarını belirleyebilmek için aydınlık düzeyinin ölçülmesi ve gün ışığı çarpanının hesaplamalarının üzerinden değerlendirme yapılmaktadır. Aydınlık düzeyi kavramı temel olarak; "bir yüzeyin, bir noktasını çevreleyen sonsuz küçük bir parçacığının aldığı akının, bu yüzey parçacığının alanına bölümüdür". Gün ışığı çarpanı kavramı ise; "ışık dağılımları bilinen, ya da varsayılan bir gökten dolaysız ya da dolaylı olarak gelen ışığın, verilmiş bir düzlemin bir noktasında oluşturduğu aydınlık düzeyinin, hiç engellenmemiş yarım küre biçimindeki gökten gelen ışığın, yatay düzlem üzerinde oluşturduğu aydınlık düzeyine oranını gösteren çarpan" olarak tanımlanmaktadır (Sirel, 1997).

Gün ışığın mekândaki dağılımını iyileştirmek ve bulunulan mekânın aydınlık değerlerinin dengede olmasını sağlamak için ışık rafları kullanılmaktadır. Pencere kenarındaki gün ışığı faktörünün düşüşü odanın düzgünlük çarpanını daha iyileştirmektedir. Bu mekânda yapay aydınlatmayı daha az kullanmasına neden olması ile verimlilik sağlanmış olur. Ayrıca ışık rafları istenmeyen açılarda gelen direk güneş ışığının içeriye girmesini engeller ve böylece odada dengeli bir aydınlık ortamı oluşturmaktadır (Aksoylu, 2008).



Şekil 1: Işık rafı ve yansıtıcı ile aydınlık etkisinin arttırılması (Kazanasmaz, 2009)

ANTALYA MESLEKİ VE TEKNİK ANADOLU LİSESİ

Çalışma için Antalya İlinin Muratpaşa mevkiinde Şekil 2'deki konumunda yer alan Antalya Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi 1944 yılında Şarampol mevkiinde Erkek Sanat Okulu olarak tesviye, demircilik ve marangozluk bölümleri ile eğitime başlamıştır. İki yıl sonra şu andaki mevcut konumu olan Konyaaltı Caddesi üzerinde yer alan binalarına taşınmıştır (Antalya EML, 2023). İlerleyen süreçte okulun binası Konyaaltı Caddesi üzerinde inşa edilen yapıya alınmıştır ve günümüze kadar da eklenen çeşitli ek binalarla eğitim sürecine devam etmektedir. Kamusal bir yapı ve aynı zamanda bir eğitim yapısı olarak özellikle konumu ve tasarımı itibariyle öne çıkmakta olan bir yapıdır. Bu nedenle sürekli gelişen bir yapı profili çizmektedir. Şekil 3'te görüldüğü gibi yapının ön cephe tasarımındaki cephe düzeni ve açıklıklarıyla dikkat çeken bir yapı olduğu görülmektedir.

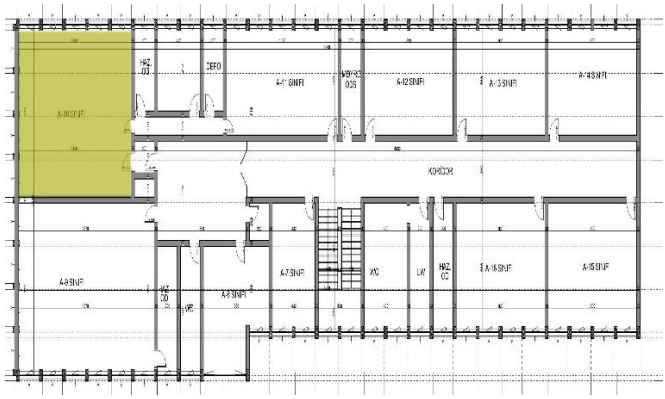
Şekil 2: Antalya Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinin Antalya'daki konum gösterimi (Kolak vd., 2022)

Şekil 3: Antalya Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinin güney cephesinin görünüşü (Kolak vd., 2022)

Antalya Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi karakteristik bir özelliği olan yüksek tavanlı, geniş hacimlere sahip ve dönemsel niteliğe bir sahip yapı olduğu görülmektedir. Cephe açıklıklarında yüksek pencere açıklıklarının yanı sıra üst bölümde ayrıca yatay bir saçak düzeniyle bölünen yapının görünümü ve iç mekân aydınlatma düzeni farklılaşmaktadır. Bu noktada yapının gün ışığını bu cephe açıklıklarından iç mekânın aydınlık düzeylerini ne yönde etkilediği araştırılmak istenmiştir.

Gün ışığını yönlendiren sistemlerle ilgili bir tanımlama olarak; ışık kaynağı olan pencerelerden ya da tepe aydınlatmalarından gelen gün ışığının kullanıldığı genellikle pencere veya tepe pencerelerinden gelen gün ışığı seviyesinin düzenlenmesi, iç hacimlere doğru yönlendirilmesi ve sıcaklık kontrolü (gölgeleme) amacıyla kullanılan sistemler olarak görülmektedir (Çiftçi & Arpacıoğlu, 2021). Bu doğrultuda yapının cephesinde yer alan ışık rafı ışığın iç mekânla olan yönlendirmesinde kullanılan bir tasarım unsurudur.

Araştırma kapsamında doğal ışığın görsel konforun sağlanmasında önemli bir unsur olan aydınlık düzeyinin belirlenmesi ve alanda dengeli dağılımının olması durumu incelenmesi amaçlanmıştır. Yapının güncel durumuna okuldan alınan Şekil 4'te verilen AutoCAD çizimlerinin düzenlemesinin üzerinden temellenmiştir. Yapının plan ve kesitleri 3ds Max programı ile uyarlanarak bir modelleme çalışması yürütülmüştür. Hazırlanan bu modelleme üzerinden yapının günışığı analizini gerçekleştirecek olan DIALux programında hazırlanan modellemesinin aktarımı yapılmıştır.

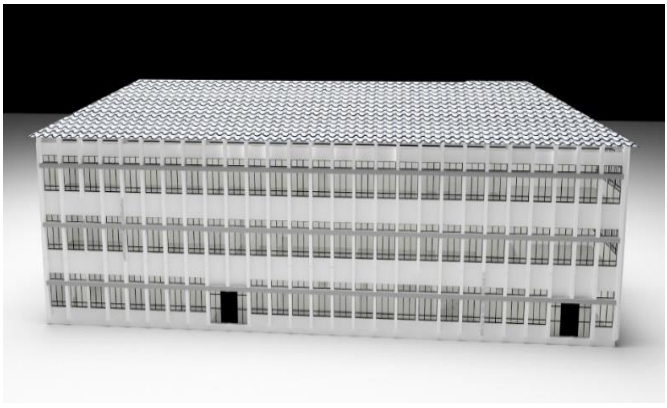


Şekil 4: Antalya Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinin ikinci katta çalışma yapılan A-10 dersliğinin konumu

Gün Işığı Analizi

Yapının cephe açıklıklarında bulunan altta geniş açıklık üzeri dar açıklık cephede hareket sağlamasının yanında gün ışığının denetiminde de önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu iki pencerenin arasında yaz döneminde artan ışık miktarını kesebilmek amaçlı bir saçak yapılmıştır. Güney cephede yer alan bu saçakların mekâna gelen gün ışığının üzerinde ne ölçüde etkisinin olduğunu belirlemek amacıyla saçağın olmadığı, mevcuttaki gibi bulunduğu ve ayrıca mekânın aydınlık dengesini sağlamaya dönük yansıtıcı panellerle kaplandığı bir alternatif çalışma ile değerlendirilmiştir. Doğru bir analiz yapabilmek için gün ışığına aynı yönden maruz kalan sınıflardan biri bu değerlendirmeye tabi tutulmuştur (Şekil 5).

DIALux programında hazırlanan yapının ve belirlenen sınıfın modellemesinin üç farklı durum için alternatifli aydınlatma değerleri incelenmiştir.



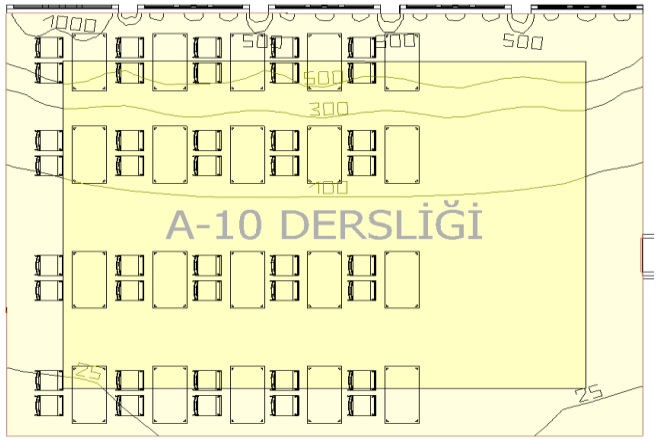
Şekil 5: Antalya Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinin 3D modellenmesi

BULGULAR

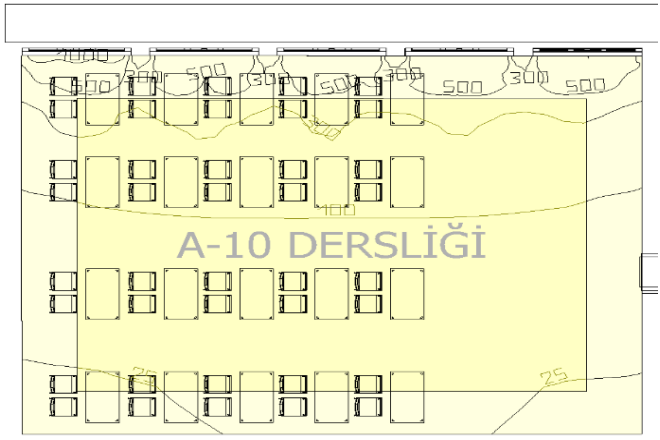
DIALux programı ile yapılan gün ışığının değerlendirmesi analizinde yapının cephe açıklıklarında bulunan saçak uzantılarının alt pencere üzerinden ve üst pencereler üzerinden mekâna gelen ışığın dağılımındaki etkisi irdelenmiştir. Yapının mevcut haninde bulunduğu saçağın ışığı me ölçüde kestiğini anlamak için saçağın ihmal edildiği bir alternatif üretilmiştir. Elde edilen bu iki bulgular doğrultusunda mekânda ışık dağılımının pencereye yakın kesimlerde aydınlatma değerleri yüksek gözlemlenirken mekânın en az ışık alan uç noktalarında düşük olarak değerler üzerinden dengeli olmayan bir dağılıma sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum üzerinden mekândaki ışık dağılımını dengeli hale getirmek için iki pencere arası ışığı kıran saçağın üst yüzeyine yansıtıcı paneller ekleyerek dersliğin az ışık alan kısımlarına da ışığın ulaşması bir alternatif öneride bulunulmuştur. Yapının gün ışığı ile ilişkisini değerlendirmek için bu üç durum için de ortak sabit girdiler üzerinden ilerlenmiştir.

Yapılan çalışmanın DIALux analiz değerleri girdilerinde çalışma alanın yüksekliği 3,90 m, yansıma derecesi: tavan %70, duvarlar %50 Zemin %20, Bakım çarpanı: 0,80 olarak alınmıştır.

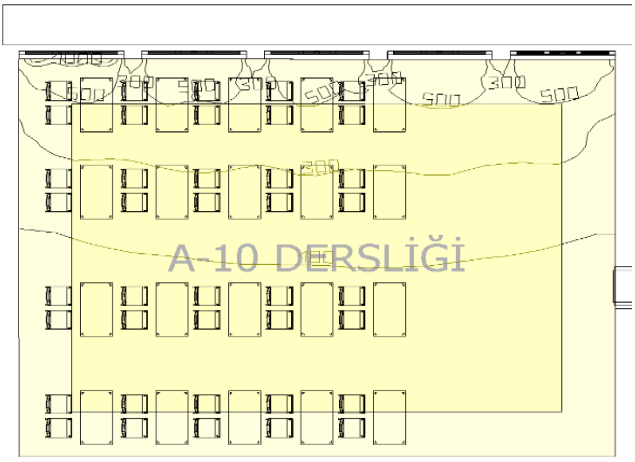
- Üçüncü alternatif olan güneş kırıcı saçak üzerine eklenen yansıtıcı panellerin yansıma derecesi %90 olarak belirlenmiştir.
- Gün ışığı bilgileri DIALux veri tabanında mevcut değerleri en yakın olacak İstanbul (41,00° K 29,00° D) Koordinatı olarak belirlenmiştir.
- Gökyüzü Modeli: Açık gökyüzü (doğrudan Güneş Işığı)
- Tarih ve Saat: 15 Şubat, saat 12:00 (Türkiye Standart Saati)
- Zenit Parıltısı (bağıl parıltı dağılımı değeri): 6076 cd/m²,
- Ortam Şartı: Temiz,
- Kirlilik Kategorisi: Orta-yoğun trafik, toz yükü 600 mikrogram/metreküpün altında olarak girilmiş olup,
- Kirlenme Katsayısı: 0,80 olarak ele alınmıştır.
- A-10 dersliği içerisinde, büyüklüğüne bağlı olarak sıra ve sandalye gibi mobilyalar ile birlikte modellenerek hesaplamalar bu değerler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Doğal aydınlatma unsuru olan gün ışığının belirlenen mekânlarda hesaplamaları ve ışığın mekândaki dağılımları planlar üzerinden aktarılmıştır (Şekil 6-8).



Şekil 6: Antalya Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinin A-10 dersliğinin güneş kırıcı olmadan modellenen alternatifte eş aydınlık düzeyi eğrileri



Şekil 7: Antalya Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinin A-10 dersliğinin güneş kırıcının olduğu mevcut durum üzerinden modellemede eş aydınlık düzeyi eğrileri



Şekil 8: Antalya Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinin A-10 dersliğinin güneş kırıcı üzerinde yansıtıcı plakaların önerildiği modellemeden, eş aydınlık düzeyi eğrileri

Aydınlık düzeylerinin ölçümlerinin yapıldığı çalışmanın devamında elde edilen bulgularda yapının üç alternatifinde değişikler olduğu görülmüştür. Öncelikli olarak aydınlatma düzeyindeki nominal değer değişimleri öne çıkmaktadır. Güneş kırıcı saçakların bu değerler üzerinden minimum ve maksimum değerlerde önemli ölçüde farklar oluşturduğu Tablo 1'de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 1: Değerlendirilen sınıflarda güneş kırıcı uygulamasının üç farklı durum üzerinden ele alındığı analiz dökümü

A-10 dersliği için üç alternatifli değerlendirme	**Analiz Bulguları**				
	Orta (nominal)	**Min**	**Maks**	**Min/Orta**	**Min/Maks**
Işık kırıcı olmadan modellenmesinin verileri	288 (≥300)	33,9	3710	0,12	0,009
Işık kırıcı ile modellenmesi verileri	223 (≥300)	31,2	2330	0,13	0,013
Işık kırıcı üzerinden yansıtıcı paneller var iken modellenmesi verileri	259 (≥300)	35,4	2330	0,14	0,015

İçeriğinde farklı disiplinlerde çalışma alanları bulunduran Antalya Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinin yüksek tavanlı ana yapısı için her fonksiyona cevap verebilecek nitelikte konfor ortamlarının sağlanması kullanıcı memnuniyeti açısından önemlidir. Yapının modellemeleri üzerinden yapılan gün ışığı analizi sonuçlarından çıkan verilere göre gün ışığını bir çevresel etken engeli olmadan direkt alan A-10 dersliğinde aydınlık düzeyinin yeterli olduğunu ancak pencereye yakın kısımlarda aydınlık seviyesinin yüksek olduğu ve dersliğin diğer uç bölgelerinde seviyenin düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu mekânda dengesiz bir durum oluşturmaktadır. Analiz sonucunda elde edilen verilerde güneş kırıcı saçakların eklendiği durumda gün ışığı seviyesinde azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Üçüncü durumda ise dengeli bir durum oluşturmak adına yansıtıcı panellerin bu güneş kırıcı saçakların üzerinden Yapının çevresel etkenler nedeniyle gün ışığını direkt alamayan sınıflar için bu durum ışık rafı sisteminin gerekliliği ön plana çıkarmaktadır. Belirlenen sınıfların pencerelerden uzak kalan alanları için ışığı yansıtarak yayacak ışık rafı bu noktada iyi bir öneri olabilmektedir.

Uluslararası Enerji ajansının verilerine göre ılıman iklim koşullarında gözlenen ışık rafı kullanımının performans açısından homojen aydınlatma ve yapay aydınlatmadan tasarruf noktasında iyi ışığı içeri taşıma ve gölgeleme performansı açısından normal değerler olarak görülmüştür (IEA-SHC, 2022). Güneş ışınımının iklimsel konfor üzerindeki etkisi ve saydam yüzeylerin güneş ışınımı karşısındaki performansları gün ışığı yönlendirme sistemleri ile hacimlerin aydınlatılması sağlar. Saydam yüzeyler aracılığıyla iç ve dış ortam arasında kesintisiz bir bağ oluşturulmasıyla beraber iç mekâna gün ışığının iletilmesini sağlanır (Kutlu, 2019). Gün ışığının kuvvetli olduğu bir iklim kuşağında yer alan çalışma materyalinin iç mekânla olan ilişkisi ışık rafı çalışmasıyla desteklenmektedir.

Bir mekândaki gün ışığı etkisi; hacmine ve pencere boyutlarına, engelleyici materyal durumuna, günışığına bağlı etkileşen kontrol sistemlerine, camın ışık geçirgenliğine ve coğrafi konumuna bağlı değişkenlerle ilişkilidir. Mekândaki günışığı aydınlığının; aydınlatma için kullanılan enerji tüketiminin belirli değerlere ulaşması gerekmektedir (Sümengen & Yener, 2015). Buradan hareketle çalışmada alan derinliği ve pencereden gelen ışık miktarı dengesi için ek aydınlatma ihtiyacı olduğu söylenebilir.

SONUÇ

Yapılan analizden alınan veriler doğrultusunda sınıflardaki doğal ışığın pencere açıklıkları üzerinden aktarımın iç mekân tasarımında önemli bir detay olduğu gözlemlenmektedir. Özellikle örnek çalışmada olduğu gibi alan

derinliğinin fazla olduğu durumlarda dışarıdan gelen doğal ışıkla yapay ışık tasarımının bütüncül bir şekilde ele alınması gereklidir.

Eğitim kurumlarında öğrenmenin, mekândaki görsel konfor koşullarının sağlandığı ve verimli çalışma alanları oluşturması temel gerekliliklerden biridir. Mekâna gelen doğal ışığın yeterli olmasının yanında mekândaki ışık dengesinin sağlanmasının sadece fonksiyona dayalı bir çözüm önermesinden ziyade tasarımın bütünüyle alakalı olarak geliştirilmesi gereken bir olgu olarak değerlendirilmelidir. Bu noktada mimari yapıların hem cephe tasarımıyla hem de iç mekân tasarımıyla birlikte yapının gün ışığı ile ilişkisinin uyum kazanması daha nitelikli mekân kurguları sağlamaktadır. Kullanılacak bu uygulama üst açıklıklarda yansıtıcı materyal kullanımı ile gün ışığından daha dengeli ve verimli bir aydınlatma imkânı sağlayacaktır.

REFERANSLAR

Aksoylu, E. (2008). Güneşlenme olasılığına bağlı olarak enerji tüketiminin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Akyıldız, R. & Yıldız N. (2020). Eğitim yapılarında fiziksel konfor koşullarının öğrenci memnuniyeti üzerinden değerlendirilmesi, *3. Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, 11-19.

Alexander, C., Ishikawa, S. & Silverstein, M. (1977). *A Pattern Language*, New York, USA: Oxford University Press.

Antalya EML. (2023). https://antalyaeml.meb.k12.tr/meb_iys_dosyalar/07/19/970149/icerikler/listele_tarihce.html?CHK=5000b713b046ff789226553a11cee7c9 adresinden 10 Şubat 2023 tarihinde alınmıştır.

Aslanoğlu, R.A. (1998). *Kent, Kimlik ve Küreselleşme*, Bursa, Türkiye: Asa Kitabevi.

Aydın, M. (2016). Enerji verimliliğinin sürdürülebilir kalkınmadaki rolü: Türkiye örneği. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 14(28), 409-441.

Bilasa, P. (2015). Ortaöğretim öğrencilerinin öğrenme stillerinin belirlenmesi: Ankara ili, Hacı Ömer Tarman Anadolu Lisesi Örneği. *Turkish Journal of Educational Studies*, 2(3), 49-78.

Çiftçi, M.E. & Arpacıoğlu Ü. (2021). Gün ışığı yönlendirme sistemleri. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 6(1), 59-76.

Djalilova, L. & Şahin, B.E. (2020). Sürdürülebilir okul tasarımında gün ışığı kullanımına yönelik uygulamalar üzerine bir inceleme. *Artium*, 8(1), 44-60.

Erlalelitepe, İ., Aral, D. & Kazanasmaz, T. (2011). Eğitim yapılarının doğal aydınlatma performansı açısından incelenmesi, *Megaron*, 6(1), 39-51.

IEA-SHC, (2022). Daylight in Buildings - a source book on daylighting systems and components. 4 – 78, https://facades.lbl.gov/sites/default/files/Downloads/daylightingc4.pdf adresinden 21 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.

Karakuş, S.İ. (2019). İlkokul ve ortaokul yapılarının tasarım ilkeleri ve mekan kurgusunun incelenmesi: Yugoslavya döneminden örnekler. *Yüksek Lisans Tezi*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Kazanasmaz, T. (2009). Binaların doğal aydınlatma performanslarının değerlendirilmesi, *V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi Bildirileri*, 7-9 Mayıs 2009, İzmir, Türkiye.

Kolak, H., Aşıkkutlu, H.S. & Kaya, L.G. (2022) Analysis of the spatial perception of Antalya Vocational and Technical Anatolian High School as a historical

building, *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*, 10(8), 1594-1602. https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i8.1594-1602.5408.

Kutlu, R. (2019). Bir tasarım öğesi olarak günışığı. *Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, 9(2), 226–233.

Lefebvre, H. (1991). *Modern Dünyada Gündelik Yaşam*, (Çeviren: I. Gürbüz), İstanbul, Türkiye: Metis Yayınları.

Otrar, M. (2007). Marmara öğrenme stilleri ölçeğinin (ösö-m) geçerlik ve güvenirlik çalışması, *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri*, 7(3), 1379-1419.

Ott, J. (1973). *Health and Light*, New York, USA: Simon & Schuster.

Smith, Hannah B., Natural Light and Its Effect on Student Perceptions of Learning Performance and Well-Being in Classroom Environments (2020). Honors College Theses. 486.

Sirel, Ş. (1997). *Aydınlatma Sözlüğü*, İstanbul, Türkiye: YEM Yayın.

Sümengen, Ö. & Yener, A.K. (2015). Binalarda aydınlatma enerji performansının belirlenmesinde günışığına ilişkin değişkenlerin incelenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(3), 135-148.

Winterbottom, M. & Wilkins, A. (2009). Lighting and discomfort in the classroom, *Journal of Environmental Psychology*, 29, 63-75.

Wurtman, R.J. (1975). The effects of light on the human body, *Scientific American*, 233(1), 68-77.

Yanılmaz, Z. & Tavşan, F. (2021). Sürdürülebilir eğitim yapılarında konfor koşullarına ilişkin kullanıcı görüşleri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(2), 240-254. Doi:10.29048/makufebed.928538.

Bölüm 24

Hibiskusun (*Hibiscus sabdariffa* L.) Genel Özellikleri ve Mühendislikte Kullanım Alanları

Şule Azime YENİÇERİ[1]

Ebru AKKEMİK[2]

[1] Dr. Öğr. Üyesi.; Siirt Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, sulezengin@siirt.edu.tr, ORCID No: 000-0003-4014-5274

[2] Doç. Dr.; Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, eakkemik@siirt.edu.tr ORCID No: 0000-0002-4177-4884

ÖZET

Malvaceae familyasına ait önemli türlerden biri olan *Hibiscus sabdariffa L*. sahip olduğu antioksidan, antimikrobiyal özellikler nedeniyle değerli bir bitki türüdür. Bu nedenle bitkinin kaliksleri, yaprakları ve tohumları gıda, kozmetik, hayvan yemi, ilaç gibi birçok farklı sektörde kullanılmakta ve değerlendirilmektedir. Hibiskus bitkisinin özellikle *Hibiscus sabdariffa L*. türü olmak üzere çok farklı türlerine ait literatürde sayısız çalışma mevcuttur. Hibiskus'un önemli hayati ve işlevsel fonksiyonları dikkate alındığında dünyanın herhangi bir yerinde bilim insanları birbirlerinden habersizce bu konuda çalışmaya devam etmektedir. Ayrıca diğer önemli bir hususta Ülkemizde Hibiskus'un bilinirliğinin çok az olmasıdır. Dolayısıyla Hibiskus ile ilgili oluşan dağınık bilgi akışını toparlayabilmek, Ülkemizdeki tanınırlığını arttırmak için mevcut çalışmaların incelenmesi, karşılaştırılması, derlenmesi ve sunulması gerekmektedir. Belirtilen nedenler dikkate alındığında bu çalışmada hibiskus ile ilgili literatür bilgilerinin bir araya getirilmesi ve sunulması amaçlanmıştır. Bu amaçla google akademik, web of science, science direct, dergi park ve yök tez veri tabanlarında *Hibiscus sabdariffa L*, fizikokimyasal, antimikrobiyal, gıda, sağlık anahtar kelimeleri ile arama yapılmıştır. Sonuç olarak özellikle bu bitkinin fizikokimyasal, antimikrobiyal özellikleri ve kullanım alanları ile ilgili toplamda 58 çalışma analiz edilmiş, içlerinden 44 çalışma detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen çalışmanın söz konusu alanda çalışacak bilim insanlarına, ilgililerine iyi ve güncel bir kaynak sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Hibiscus sabdariffa L*, fizikokimyasal, antimikrobiyal, gıda, sağlık

HİBİSKUSUN (*Hibiscus sabdariffa L.*) GENEL ÖZELLİKLERİ

Hibiskus bitkisi, tropikal ve subtropikal bölgelerde yetişen 300'den fazla (yıllık veya çok yıllık) çalı veya ağaç türünü içermektedir (Kim vd. 2019; Çelik ve Göncü, 2021). Bu türler içerisinde ticari potansiyele sahip, en önemlileri ise başta *Hibiscus sabdariffa L. var. altissima Wester* olmak üzere *Hibiscus sabdariffa var. sabdariffa'*dır (Eyiz ve Tontul, 2020). *Malvaceae* familyasına ait, tek yıllık bir bitki olan *Hibiscus sabdariffa L.* (roselle), Afrikaya özgü bir bitki olup Amerika ve Güney Asya gibi birçok ülkede yaygın olarak yetiştirilmektedir (Riaz ve Chopra, 2018; Bakır ve Aytekin Şahin, 2020; Paraíso vd. 2021). Dünya çapında üretiminde ise başta Çin (%27,76) olmak üzere bunu Hindistan (%17,91), Sudan (%9,1), Uganda (%8,40), Endonezya (%6,23), Malezya (%5,53) ve Meksika (%5,14) takip etmektedir (Cid-Ortega ve Guerrero-Beltrán, 2015). Ülkemizde bamya çiçeği, kara bamya, Sudan bamyası veya kerkede olarak bilinmektedir (Dinçer vd. 2020; Naji vd. 2021).

Gül ve kestane renginde çiçeklere; yeşil, kırmızımsı renklerde yapraklara sahip olan Hibiskus, yaklaşık 3-3,5 m boyundadır. Yaprakları ise 7,5-12,5 cm uzunluğundadır. Çiçekleri kurudukça renkleri pembeye dönmektedir (Eyiz ve Tontul, 2020).

Hibiskusun fizikokimyasal özelliği

Her 100 gram Hibiskus'un farklı kısımlarının besin içerikleri değerlendirildiğinde; kaliks, çekirdek ve yapraklarının sırasıyla, 2, 28.9, 3.5 g protein; 10.2, 25.5, 8.7 g karhondidrat; 0.1, 21.4, 0.3 g yağ; -,-,1000 I.E vitamin A, 0.05, 0.1, 0.2 mg tiamin, 0.07, 0.15, 0.4 mg riboflavin, 0.06, 1.5, 1.4 mg niasin, 17, 9, 2.3 mg C vitamini, 150, 350, 240 mg kalsiyum, 3, 9, 5 mg demir içerdiği belirtilmiştir (Singh vd. 2017).

Hibiskus (roselle) yüksek oranda C vitamini ve Cyanidin gibi antosiyaninin yanında Ca, K, Mg, Na, Fe, niasin ve riboflavin (Islam vd. 2016; Bakır ve Aytekin Şahin, 2020) alkaloidler, L-askorbik asit, quarsetin, beta-karoten, hibiskus asit, hibissitrin, pektin vb. birçok kimyasal bileşeni de yapısında bulundurduğu ifade edilmiştir (Bakır ve Aytekin Şahin, 2020).

Ayrıca içeriğinde fenolik asit ve flavonoidleri bulunduran *H. sabdariffa*; neoklorojenik asit, klorojenik asit, kriptoklorejenik asit, metil klorojenat, kumaroilkinik asit, dihidroferulik asit- 4-O-glukuronit, etil klorojenat ve 5-O-kafeoil shikimik asit gibi fenolik asitlerin yanında kalikslerinde en az 95 adet flavonoid bulundurduğu, tanımlanan flavonoidler arasında en fazla antosiyaninler olmak üzere ve delphinidin-3-Osambubiosit ve siyanidin-3-O-sambubiosit ihtiva ettiği belirtilmiştir (Demiray Teymuroğlu, 2022).

Hibiskus, antosiyaninlerin yanında protokateşuik asit açısından da zengin bir bitkidir. Kurutulmuş kaliksler (çanak yaprakları), gossipetin, hibisketin ve sabdaretin gibi flavonoidleri içermektedir. Daha önce hibiskin olarak tanımlanan ana pigment maddesi daha sonra daphniphylline olarak tanımlanmıştır. Myrtillin (delphinidin 3-monoglukozit), krisanteminin (sianidin 3-monoglukozit) ve delphinidin gibi küçük miktarlarda antosiyaninler de bulundurmaktadır (Mohamed vd. 2012).

Hibiskus tohumları ise, kolesterolü düşük ve diğer fitosterol ve tokoferoller özellikle β-sitosterol ve γ-tokoferol açısından zengin bir bitkisel yağ kaynağıdır (Mohamed vd. 2007). Bu nedenle Hibiskus tohumları, özellikle γ-tokoferol olmak üzere lipid çözünür antioksidanlar açısından da iyi bir kaynak sağlamaktadır (Mohamed vd. 2012). Aynı zamanda Hibiskus tohum yağının genel özellikleri, önemli endüstriyel uygulamalar için olanak sağlar ve bu bitki kültürünün yetiştirilmesi için değer oluşturur (Mohamed vd. 2007).

Hibiskusun antimikrobiyal özelliği

Hibiskus antibakteriyel, antifungal, antiparazidik özellikleriyle bilinmektedir (Singh vd. 2017). Yapılan bir çalışmada Hibiskus kaliksinin sulu ekstraktının ve kaliksinden türetilmiş bir bileşik olan protokateşinik (protocatechuic) asidin (5 mg/mL), metisilin dirençli *S. aureus, K. pneumoniae*, *P. aeruginosa* ve *A. baumannii*'nin gelişimini inhibe ettiği görülmüştür (Liu vd. 2005). Hibiskus kaliks ektresi ve protokateşik asitin *Campylobacter* türleri (*C. jejuni, C. coli* ve *C. fetus*) için minimum inhibisyon konsantrasyon aralığı sırasıyla 96-152 ve 20-44 µg/mL olarak belirlenmiştir (Yin ve Chao, 2008). Kurutulmuş hibiscus sulu metonol kaliks ekstraktının ise *in vitro* koşullarda *S. aureus, B.stearothermophilus, M. luteus, S. mascences, C. sporogenes, E. coli, K. pneumonia, B. cereus ve P. fluorescence* gibi bakterilere antimikrobiyal etki gösterdiği ancak C. *albicans* mayasına karşı antimikrobiyal etki göstermediği görülmüştür (Da Costa Rocha vd. 2014). Yedisi bakteri (*Bacillus subtilis ATCC 6633, Enterococcus faecali, Sarcina lutea ATCC 9341N, Proteus sp., Escherichia coli ATCC 309628, Klebsiella pneumonia*) ikisi maya hücresi (*Candida albicans, Saccharomyces cerevisia*) olmak üzere Hibiskus ekstraktlarının etkisinin incelendiği başka bir çalışmada ise, *Saccharomyces cerevisia* dışındaki tüm organizmalar üzerinde doza bağlı olarak inhibisyon etki gösterdiği belirlenmiştir. Böylece birçok üründe gıda katkısı olarak kullanılmasının yanında bağırsak florasının korunmasında da etkili olabileceği ayrıca ultrasonik banyonun (USB) soksalete göre ekstraktların biyoaktif içeriklerini ortaya çıkarmada daha etkili olduğu ifade edilmiştir (Çömlekcioğlu

ve Aygan, 2020). Hibiskus ekstratının *Streptococcus mutans*'a karşı minimum inhibisyon konsantrasyonu 2.5 g/mL olarak belirtilmiştir (Afolabi vd. 2008).

Hibiscus sabdariffa bitkisinin tohumlarından elde edilen yağın bazı bakteriler üzerinde (*Bacillus anthracis* ve *Staphylococcus albus*) ve kurutulmuş yapraklarından elde edilen etanol ekstraktının aflatoksin oluşumunu azaltmasının yanında bazı mantarları (*Aspergillus fumigatus, Rhizopus nigricans* ve *Trichophyton mentagrophytes*) *in vitro* (deneysel ortamda) koşullarda inhibe ettiği ifade edilmiştir (Ali vd. 2005). *Hibiskus* tohumlarından elde edilen yağın, *Bacillus anthracis* ve *Staphylococcus albus* üzerinde *in vitro* koşullarda inhibitör etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Singh vd. 2017). Ayrıca hibiskus çayı ekstraktının influenza virüsüne karşı da etkili olduğu belirtilmektedirler (Takeda vd. 2020).

Sağlık açısından faydaları

Hibiskusun farklı kısımlarından yüksek tansiyon, karaciğer hasarı, ateş düşürücü gibi çeşitli tedavilerde yararlanılmaktadır. Hibiskusun kaliks ekstresi, antihiperkolesterolemik, antinoseptif, antipiretik ve antiinflamatuar aktivite gösterirken tohum yağ ekstrelerinin *antimikrobiyal, antifungal* özelliklerinin olduğu belirtilmektedir (Ali vd. 2005).

Hibiskus birçok halk tıbbında kullanılmaktadır. Afrika halk tıbbında Hibiskus yaprakları antimikrobiyal, yumuşatıcı, ateş düşürücü, idrar söktürücü, antihelmentik, sedatif ve öksürük yatıştırma ilacı olarak kullanılırken, Hindistan'da yapraklar apseler üzerinde tampon (lapa) olarak kullanılmaktadır (Singh vd. 2017). Çin'de hipertansiyon, ateş ve karaciğer hasarı tedavisinde ve ayurveda tıbbında kullanılmaktadır (Tseng vd. 2020; Mohamed vd. 2012). Alternatif tıpta kaliks ekstraklarından yukarıda bahsedilen (hipertansiyon, ateş ve karaciğer hasarı) şikayetlerin tedavisinde yararlanılmaktadır. Ancak sıçan ve tavşanlarda kaliks ekstresi, antihiperkolesterolemik, antinoseptif ve antipiretik etki gösterirken antiinflamatuar aktivite göstermemiştir (Ali vd. 2005). *Hibiscus sabdariffa L.*'nin kurutulmuş çiçeğinden izole edilen bir fenolik bileşik olan Hibiscus protocatechuic asit, antioksidan ve antitümör etkiye sahiptir. Hatta Prokateşinik asit lösemiye karşıda etkili olmaktadır (Tseng vd. 2020). Yapılan bir çalışmada da *in vivo* ortamda *Hibiskus sabdariffa*'nın antihipertansif ve kardiyoprotektif etkiler sergilediği ve kullanışlı bir antihipertansif ajan olabileceği belirlenmiştir (Odigie vd. 2003). Yapılan başka bir çalışmada, hibiskusun içerdiği antisiyaninden dolayı antihipertansif ilaçlarla kıyaslanabilir şekilde hipotansif etki gösterdiği de tespit edilmiştir (Bakır ve Aytekin Şahin, 2020).

Çay şeklinde tüketildiğinde, soğuk algınlığını hafifletme, tıkalı burunları açma, mukusu temizleme, burkulmaları iyileştirme, böbrek fonksiyonlarını destekleme, sindirime yardımcı olma, idrar söktürme, ateşi düşürme etkisinin yanında tonik etkisi de olmaktadır (Mohamed vd. 2012). Çalışmalar Roselle çayının amilaz üretimini engelleyen bir enzim inhibitörü içerdiğini ve yemeklerden sonra bir fincan hibiskus çayı içmenin diyet karbonhidratlarının emilimini azaltabileceğini ve kilo vermeye yardımcı olabileceğini göstermiştir (Singh vd. 2017). Ayrıca bitki ekstraktlarının son derece düşük bir toksisite derecesi mevcuttur. Sıçanlarda *H. sabdariffa* kaliks ekstraktının LD_{50}'si 5000 mg/kg'dan yüksek bulunmuştur. Ancak nispeten uzun süreli aşırı dozların sıçanların testislerinde zararlı bir etkiye sahip olabileceği öne sürülmüştür (Ali vd. 2005).

Hibiskus kaliksinden elde edilen fenolik ekstraktın asetilkolinesteraz (AChE), bütiril-kolinesteraz (BChE), monoamin oksidaz (MAO) ve ekto-5'nükleotidaz (E-NTDaz) enzim aktiviteleri üzerindeki inhibisyon etkisi göstermesi ile Alzheimer hastalığı ve Parkinson hastalığı gibi bazı nörodejeneratif hastalıkların tedavisi ve/veya yönetimi için umut verici bir potansiyel sergilediği ifade edilmektedir (Oboh vd. 2018).

MÜHENDİSLİKTEKİ KULLANIM ALANLARI

Roselle çok amaçlı kullanılan bir bitkidir. Özellikle kaliskleri ve yaprakları için yetiştirilen *Hibiskus'*un bazı jöle benzeri maddeler ve turşu yapımında kullanılan yenilebilir kısımları yüksek bir ihracat değerine sahiptir (Sankaralingam vd. 2023). Ayrıca birçok ülkede çay olarak da tüketilmektedir (Riaz ve Chopra, 2018; Bakır ve Aytekin Şahin, 2020; Paraíso vd. 2021). Kalikslerinden dünyanın birçok yerinde sıcak ve soğuk içecek üretilmektedir (Ali vd. 2005). Aynı zamanda yapısında bulunan antosiyanidin grubuna giren Cyanidin, boyar madde özelliği taşımaktadır (Sunerli ve Aydın Çakır, 2019). Bu nedenle gıda renklendiricisi olarak da Hibiskustan yararlanılmaktadır (Yıldız, 2022). Ayrıca reçel, marmelat, içecek, şarap, jöleli şekerlemeler, dondurma, çikolatalar, lezzet verici ajanlar, pudingler, kekler ve süt ürünleri gibi birçok üründe renklendirici ve aroma verici olarak kullanılmaktadır (Eyiz ve Tontul, 2020). Bunlara ilaveten kozmetik, hayvan yemi, ilaç (Mohamed vd. 2012) ve tekstil sektöründe de değerlendirilmektedir (Mansour ve Ben Ali, 2019; Sankaralingam vd. 2023). Malezya da tohumları sabun yapımında kullanılmaktadır (Ismail vd. 2008).

Dış yaprakları (kaliks) jöle, reçel, meyve suyu, şarap, şurup, jelatin, puding, kek, dondurma ve tatlandırıcı üretiminde kullanılmaktadır. Parlak kırmızı rengi ve benzersiz tadı, onu değerli kılmaktadır. Kaliks, gövde ve yapraklar asitli bir

tada sahiptir. Kalikslerden elde edilen meyve suyu, yüksek C vitamini, antosiyaninler ve diğer antioksidan madde içeriği nedeniyle sağlık açısından faydalı maddeler bulundurmaktadır (Mohamed vd. 2012). Kaliksler bitkisel içecekler, soğuk ve ılık içecekler, reçel ve jölelerin hazırlanmasında kullanılmaktadır. Meksikada Jamaika olarak bilinen kırmızı bir içecek, Hibiskus'dan yapılan popüler bir üründür. Batı Hint Adaları'nda kaliksler taze olarak şarap, jöle, şurup, jelatin, içecekler, puding ve kek yapımında ve kurutulmuş Hibiskus kaliksleri ise çay, jöle, marmelat, buz, dondurma, şerbet, tereyağı, turta, sos, tart ve diğer tatlılarda kullanılmaktadır (Ismail vd. 2008).

Sudan'da ise kuru kaliks, lezzetli ve sağlıklı bir içecek üretmek için kullanılır ve kurutulmuş kaliksler de çay, jöle, marmelat, buzlar, dondurma, şerbetler, tereyağı, turtalar, soslar ve diğer tatlılar gibi ürün üretiminde değerlendirilir. Tohumlarda ayrıca afrodizyak kahve ikamesi olarak yararlanılmaktadır (Mohamed vd. 2012). Ancak kurutulmuş ve taze (kırmızı ve bordo) kalikslerin kullanılmasıyla hazırlanan reçeller üzerinde gerçekleştiren çalışmada sonucunda bordo kalikslerin kullanılmasıyla üretilen reçelin duyusal açıdan kalite özelliklerinin daha yüksek olduğu ve taze kaliks ile reçel yapmanın ve düşük sıcaklıklarda depolamanın, kurutulmuş kalikslerle yapılan veya oda sıcaklığında saklanan reçellerden daha yüksek askorbik asit içerdiği ve daha iyi olduğu gözlenmiştir (Ashaye ve Adeleke, 2009; Cid-Ortega ve Guerrero-Beltrán, 2015).

Ayrıca Hibiskus'dan enkapsüle edilmiş toz (Duangmal vd. 2004), biyonanokompozit (El-Sayed vd. 2020), kefir (Hastuti ve Kusnadi, 2016; Kim vd. 2019; Nurfadilah, 2022), süt (Kim vd. 2019), yoğurt (Iwalokun ve Shittu 2007; Henry ve Badrie, 2007; Rasdhari vd. 2008; Kim vd. 2019), peynir (Farrag vd. 2017), kek (Almana, 2001), kavurma (Bozkurt ve Belibağlı, 2009), pizza (Daramola ve Asunni, 2006) yapımına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmalar neticesinde Henry ve Badrie (2007), Rosella nektarı kullanarak üretilen tüm yoğurtların nektarsız yoğurtlardan daha iyi bir duyusal özellik gösterdiğini belirlemiştir (Cid-Ortega ve Guerrero-Beltrán, 2015). Yumuşak peynirler üzerinde gerçekleştirilen çalışma sonucunda ise Hibiskus meşrubatının antimikrobiyal olarak değerlendirilebileceği görülmüştür (Farrag vd. 2017). Almana (2001) ise kaliks tozlarını ilave ederek üretmiş olduğu çikolatalı keke %5 oranında Hibiskus kalisk tozu ilavesinin kontrol örneğine göre lif içeriğini 5 kat, kalsiyum içeriğini dört kat, demir içeriğini iki kat arttırdığını tespit etmiştir (Cid-Ortega ve Guerrero-Beltrán, 2015). Bozkurt ve Belibağlı (2009) Rosella kalikslerinin, biberiye yapraklarının ve BHT'nin kavurmada antioksidan etkisini inceledikleri çalışmada biberiye eklenen etin en düşük (0.23±0.02 mg/kg) Tbars değerine sahip olduğunu gözlemlerken,

Hibiskus kaliksleri (0.47 ± 0.03 mg/kg) ve BHT (0.41±0.01 mg/kg) eklenen etlerin birbirine yakın değerler gösterdiğini gözlemlemiştir. Aynı zamanda Rosella kaliksi ve biberiye eklenmiş etlerin lezzet, renk, kesme kolaylığı gibi duyusal özelliklerinin iyileştiği görülmüştür. Daramola ve Asunni (2006), Rosella kaliks ektraktlarını antioksidan ve demir takviye edici olarak pizzalara eklediği çalışmada ekstrakt ilaveli pizzaların peroksit değeri daha düşükken demir içeriğinin daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Yoğurtlara fermentasyondan önce ve sonra *H. sabdariffa* ekstraktı (20 mL/L) eklenmesinin etkisi incelenen çalışmada ise fermentasyondan önce ekstrakt eklenmesinin fermentasyon süresini yaklaşık 42 dakika kısalttığı belirlenmiştir, bu durumun ise ekstraktın içermiş olduğu yüksek miktardaki organik asitin starter kültürle sinerjik etki göstermesi böylece pH düşüşünü ve protein pıhtılaşmasını hızlandırmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Ayrıca sineresin, çilekli kontrol yoğurt örneğinden önemli düzeyde düşük olduğu görülmüştür. Ancak, Hibiskus ekstraktı eklenen yoğurt, muhtemelen Roselle ekstraktının hoş olmayan bir tada neden olan aşırı asitliği nedeniyle, yoğurt kontrolüne göre daha az kabul görmüştür (Iwalokun ve Shittu, 2007). Rasdhari vd. (2008) ise üretmiş olduğu probiyotik yoğurtlarda Rosella ekstraktı ilavesinin antioksidan özellikleri iyileştirmekle birlikte sineresisi azalttığı, Iwalokun ve Shittu (2007)'nin çalışmasının aksine duyusal açıdan da kabul edilebilirliğinin yüksek olduğunu sonuç olarak yoğurdun kalitesini arttırdığını belirlemişlerdir. Kapsülleyici ajan olarak maltodekstrin ve trehaloz kullanılarak liyofilize kaliks ekstraktlarının elde edildiği çalışmada antosiyanin ve renk özellikleri açısından en iyi özellikler %3 maltodekstrin içeren örnekte görülmüştür. Serinletici içeceğe toz olarak eklenmesi durumunda 12 hafta süresinde renk stabilitesi değerlendirildiğinde, Rosella tozu içeren içeceğin rengi 56 gün sonra antosiyaninlerin degradasyonu nedeniyle kabul görmezken, sentetik boyalarla (kırmızı pigment ve yapay karmin) renklendirilen içecekler 84 gün boyunca kabul edilebilir özellikler gösterse de genel duyusal kabul edilebilirliğinin yüksek olduğu görülmüştür (Duangmal vd. 2004; Cid-Ortega ve Guerrero-Beltrán, 2015). Rosella kaliks eksraktı eldesi için maltodekstrin DE 10, maltodekstrin DE 20 ve arap sakızı olmak üzere üç enkapsülasyon ajanının değerlendirildiği çalışmada ise 20 DE olan maltodekstrin tozunda, antosiyaninler en iyi şekilde korunduğundan dolayı çilek reçeli ve sert şeker yapımında renklendirici olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak tozun renk stabilitesini 6 ay süresince koruduğu, kaliks tozu ilaveli reçellerin 9 ay sonra bile kontrol örneğinden kabul edilebilirliğinin daha iyi olduğu görülmüştür. Şekerler söz konusu olduğunda ise dört ay depolama süresince herhangi bir

farklılık gözlenmemiştir (Selim vd. 2008; Cid-Ortega ve Guerrero-Beltrán, 2015).

Eyiz ve Tontul (2020) farklı demleme yöntemlerinin (sıcak, soğuk, mikrodalga) soğuk Hibiskus çayının bazı fiziksel ve biyoaktif özellikleri üzerine etkisini inceledikleri çalışmada biyoaktif özellikler açısından en yüksek değerler mikrodalga demleme yöntemiyle elde edilmiştir. Farklı ekstraksiyon yöntemlerinin Hibiskus ekstraktının kalite özellikleri üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada ekstraksyonda termosonikasyon uygulamasının geleneksel termal yönteme göre daha kısa sürede hedeflenen ekstrakt seviyesini sağladığı görülmüştür (Dinçer vd. 2020). Yapılan başka bir çalışma da Hibiskus bitkisinin yapraklarından çalkalamalı su banyosu ile ekstrakt elde edilerek püskürtmeli kurutma tekniğiyle maltodekstrin kullanılarak toz formuna dönüştürülmüştür ve soğuk çay üretiminde kullanılmıştır (Naji vd. 2021).

Dünya çapında yılda tonlarca sentetik boya üretilmekte ve buna bağlı olarak fabrika atıkları başta temiz su kaynakları olmak üzere çevreye oldukça zarar verebilmektedir. Günümüzde, çevre dostu ve insan sağlığı üzerine toksik etkileri olmayan ürünlere yönelik ilgi de bu anlamda artış göstermektedir (Sunerli ve Aydın Çakır. 2019). Yapılan çalışmada bir *H. sabdariffa* ekstaktıyla boyanmış kumaşların aynı anda mordanlama işlemine tabi tutulduğunda en iyi renk stabilitesini verdiği görülmüştür. Bunu post- ve pre-mordanlama yöntemleri takip etmiştir (Hashim vd. 2018).

SONUÇ

Hibiscus sabdariffa L.' altarnatif tıp, sağlık, gıda ve tekstil gibi birçok alanda yararlanılan ticari potansiyele sahip bir bitkidir. Ayrıca antioksidan, antimikrobiyal, antidiyabetik, antihipertansif, lipit azaltıcı, antidiyabetik, antikanser etkilerinin olduğu belirtilmiştir. Ancak Ülkemizde yeterince tanınmamakta ve çok fazla tüketilmemektedir. Bu bitkinin Ülkemizde yetiştirilmesi için doku kültürü çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Ayrıca belirtilen hastalık tedavilerinin mekanizmalarının aydınlatılması için ilave antienzim çalışmalarının yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda bitkinin toksititesinin düşük olması ve medikal anlamda da oldukça yararlı olması nedeniyle farklı sağlık parametrelerindeki etkilerine bakılmalıdır. Son olarak fermente ürünler, süt ürünleri ve meyve sebze gibi alanlarda Ülkemize özgü gıda maddelerinin içeriğine ilave edilerek fonksiyonel ürünler geliştirilmesi için çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışmayla gerek araştırmacılara gerekse tüketicilere farkındalık oluşturulması öngörülmektedir.

REFERANSLAR

Afolabi, O. C., Ogunsola, F. T., Coker, A. O. (2008). Susceptibility of cariogenic Streptococcus mutans to extracts of Garcinia kola, Hibiscus sabdariffa, and Solanum americanum. The West African Journal of Medicine, 27(4), 230-233.

Ali, B. H., Wabel, N. A., Blunden, G. (2005). *Phytochemical, pharmacological and toxicological aspects of Hibiscus sabdariffa L.: A review. Phytotherapy Research, 19, 369–375.*

Almana HA (2001). Karkade (Hibiscus sabdariffa) as a mineral and fiber supplement in chocolate cakes. Arab Universities J Agric Sci 9(1), 283–295.

Ashaye OA, Adeleke TO (2009) Quality attributes of stored Roselle jam. Int Food Res J 16(3), 363–371.

Bakır, B ve Aytekin Şahin, G. A. (2020). Polifenollerden Zengin Besinler ve Hipertansiyon. *Turkiye Klinikleri J Health Sci*, *5*(1), 135-144.

Bozkurt H ve Belibağli KB (2009). Use of rosemary and Hibiscus sabdariffa in production of kavurma, a cooked meat product. J Sci Food Agric 89, 1168–1173.

Çelik, İ. ve Göncü, A. (2021). Effects of hibiscus (*Hibiscus sabdariffa L.*) and poppy (*Papaver rhoeas L.*) extracts on dough and bread properties the usage of hibiscus and poppy in bread. Gıda, 46(5), 1270-1278.

Cid-Ortega, S. ve Guerrero-Beltrán, J. A. (2015). *Roselle calyces (Hibiscus sabdariffa), an alternative to the food and beverages industries: a review. Journal of Food Science and Technology, 52(11), 6859–6869.*

Çömlekcioğlu, N ve Aygan, A. (2020). Fatty acids, bioactive content and antimicrobial activity of Hibiscus sabdariffa L. Extract obtained by different techniques. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, *8* (12), 2723-2728.

Da Costa Rocha, I., Bonnlaender, B., Sievers, H., Pischel, I., Heinrich, M. (2014). Hibiscus sabdariffa L. -A phytochemical and pharmacological review. Food Chemistry, 165, 424–443. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.002

Daramola B ve Asunni OA (2006). Nutrient composition and storage studies on Roselle extract enriched deep-fat-fried snack food. African J Biotechnol 5(19), 1803–1807.

Demiray Teymuroğlu, M., 2022. Fonksiyonel Fermente Yayık Altı Suyu Üretimi. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 208s, Bursa.

Dinçer, C., Tongur, T., Erkaymaz, T. (2020). Farklı Ekstraksiyon Yöntemlerinin Hibiskus Ekstraktlarının Kalite Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması. *Gıda*, *45*(3), 409-420.

Duangmal K, Saicheua B, Sueeprasan S. (2004). Roselle anthocyanins as a natural food colorant and improvement of its colour stability. Proceedings of the AIC 2004 Color and Paints, Interim Meeting of the International Color Association. Porto Alegre, Brazil. November 2–5, 155–158

El-Sayed, S. M., El-Sayed, H. S., Ibrahim, O. A., Youssef, A. M. (2020). Rational design of chitosan/guar gum/zinc oxide bionanocomposites based on Roselle calyx extract for Ras cheese coating. *Carbohydrate polymers*, *239*, 116234.

Eyiz, V, ve Tontul, İ. (2020). Farklı Demleme Yöntemlerinin Soğuk Hibiskus Çayının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, *13*(2), 779-787.

Farrag, A. F., Bayoumi, H. M., Ibrahim, W. A., El-Sheikh, M. M., Eissa, H. A. (2017). Characteristics of white soft cheese fortified with hibiscus soft drink as antimicrobial and hypertension treatment. Science, 12, 122-129.

Hashim, F. J., Zarkani, A. A., Al Azzawi, O. T., Shawkat, M, S. (2018). Fabrics Dying With hibiscus Sabdariffaand Curcuma Longaextracts Usingdifferent Mordants And Mordanting Methods, Tikrit Journal of Pure Science, 23 (1), 61-69.

Hastuti, A.P ve Kusnadi, P. 2016. Organoleptik dan karakteristik fisik kefir rosela merah (Hibiscus sabdariffa Linn) dari teh rosela merah di pasaran. Jurnal Pangan dan Agroindustri, 4 (1), 313-320

Henry N ve Badrie N. (2007). Utilization of sorrel/Roselle (Hibiscus sabdariffa L.) nectar in stirred yoghurts: physicochemical and sensory quality. J Food Technol 5(1), 55–61.

Islam, A, Jamini, T.S, Islam M. and Yeasmin, S. (2016). Roselle: A Functional Food with High Nutritional and Medicinal Values. Fundam. appl. agric., 1(2), 44-49.

Ismail, A., Ikram, E. H. K., Nazri, H. S. M. (2008). Roselle (Hibiscus sabdariffa L.) seeds nutritional composition protein quality and health benefits. Food, 2(1), 1-16.

Iwalokun BA ve Shittu MO. (2007). Effect of Hibiscus sabdariffa (calyce) extract on biochemical and organoleptic properties of yogurt. Pakistan J Nutr 6(2), 172–182.

Kim, S. H., Lim, H. W., Chon, J. W., Song, K. Y., Seo, K. H. (2019). Sensory profiles of dairy products supplemented with Hibiscus sabdariffa

Linnaeus (Roselle) powder: A preliminary study. Journal of Milk Science and Biotechnology, 37(4), 247-255.

Liu, K. S., Tsao, S. M., Yin, M. C. (2005). In vitro antibacterial activity of roselle calyx and protocatechuic acid. Phytotherapy Research, 19(11), 942-945.

Mansour, R., Ben Ali, H. (2019). Investigating the use of chitosan: Toward improving the dyeability of cotton fabrics dyed with Roselle (Hibiscus sabdariffa L.). Journal of Natural Fibers, 18(7), 1007-1016.

Mohamed, B. B., Sulaiman, A. A., Dahab, A. A. (2012). Roselle (Hibiscus sabdariffa L.) in Sudan, cultivation and their uses. Bulletin of Environment Pharmacology and Life Sciences, 1(6), 48-54.

Mohamed, R., Fernadez, J., Pineda, M. and Aguilar M. (2007). Roselle (Hibiscus sabdariffa) seed oil is a rich source of γtocopherol. Journal of Food Science, 72, 207–211.

Naji, A., Berktaş, S., Çam, M. (2021). Hibiskus (Hibiscus sabdariffa L.) Ekstraktı Tozu ile Soğuk Çay Üretimi: Antioksidan Aktivite ve Duyusal Özellikler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 31 (Ek sayı 1), 831-836.

Nurfadilah, S. (2022). Optimasi Suhu Inkubasi Terhadap Mutu Kefir Ekstrak Bunga Rosella (Hibiscus sabdariffa L). *Farmakologika: Jurnal Farmasi*, *19*(2), 191-203.

Oboh, G., Adewuni, T. M., Ademiluyi, A. O., Olasehinde, T. A., & Ademosun, A. O. (2018). Phenolic Constituents and Inhibitory Effects of Hibiscus sabdariffa L. (Sorrel) Calyx on Cholinergic, Monoaminergic, and Purinergic Enzyme Activities. *Journal of dietary supplements*, *15*(6), 910–922. https://doi.org/10.1080/19390211.2017.1406426

Odigie, I.P., Ettarh, R.R. and Adigun, S. (2003). Chronic administration of aqueous extract of Hibiscus sabdariffa attenuates hypertension and reverses cardiac hypertrophy in 2K-1C hypertensive rats. Journal of Ethnopharmacology, 86, 181–185.

Paraíso, C. M., Januário, J. G. B., Mizuta, A. G., dos Santos, S. S., dos Santos Magon, T. F., Ogawa, C. Y. L., de Oliveira Silva, J., V., Sato, F., Visentainer, J. V., Mikcha, J. M. G., Madrona, G. S. (2021). Comparative studies on chemical stability, antioxidant and antimicrobial activity from hot and cold hibiscus (Hibiscus sabdariffa L.) calyces tea infusions. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *15*(4), 3531-3538.

Rasdhari M, Parekh T, Dave N, Patel V, Subhash R. (2008). Evaluation of various physico-chemical properties of Hibiscus sabdariffa and L. casei incorporated probiotic yoghurt. Pakistan J Biol Sci 11(17), 2101–2108.

Riaz G ve Chopra R. (2018). A review on phytochemistry and therapeutic uses of Hibiscus sabdariffa L. Biomedicine & Pharmacotherapy, 102, 575-586.

Sankaralingam, B., Balan, L., Chandrasekaran, S., Muthu Selvam, A. (2023). Anthocyanin: A Natural Dye Extracted from Hibiscus sabdariffa (L.) for Textile and Dye Industries. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *195*, 2648-2663.

Selim KA, Khalil KE, Abdel-Bary MS, Abdel-Azeim NA. (2008). Extraction, encapsulation and utilization of red pigments from Roselle (Hibiscus sabdariffa L.) as natural food colourants. Special Volume Conference. Alexandria Journal of Food Science and Technology. Alexandria University. Alexandria, Egypt, pp 7–20.

Singh P, Khan M, Hailemariam H. (2017). Nutritional and Health Importance of Hibiscus Sabdariffa: A Review and Indication for Research Needs. Journal of Nutritional Health & Food Engineering, 6(5), 1-4. DOI: 10.15406/jnhfe.2017.06.00212.

Sunerli, E., ve Aydın Çakır, M. (2019). Doğal boyamanın farklı tekstil lifleri ile oluşturulan yüzeylere etkisi. *The Journal of International Lingual, Social and Educational Sciences*, *5*(1), 196-203.

Takeda, Y., Okuyama, Y., Nakano, H., Yaoita, Y., Machida, K., Ogawa, H., Imai, K. (2020). Antiviral Activities of Hibiscus sabdariffa L. Tea extract against human influenza A virus rely largely on acidic pH but partially on a low-pH-independent mechanism. Food and Environmental Virology, 12(1), 9–19. https://doi.org/10.1007/s12560-019-09408-x.

Tseng, T., Kao, T., Chu, C., Chou, F., Lin, W. and Wang, C. (2000). Induction of apoptosis by hibiscus protocatechuic acid in human leukemia cells via reduction of retinoblastoma (RB) phosphorylation and Bcl-2 expression. Biochemical Pharmacology. 60: 307–315.

Yin, M. C., ve Chao, C. Y. (2008). Anti-Campylobacter, anti-aerobic, and anti-oxidative effects of roselle calyx extract and protocatechuic acid in ground beef. International Journal of Food Microbiology, 127(1-2), 73-77.

Yıldız, E. (2022). Hibiskus (Sabdariffa L.) İle Zenginleştirilmiş Pandispanya Kekinin Fizikokimyasal Ve Duyusal Özelliklerinin İncelenmesi. İstanbul Gelişim Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gastronomi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 57s, İSTANBUL.

Bölüm 25

Mühendislikte Sürdürülebilir Bir Hammadde: Mermer Tozu

Yasemin ASLAN TOPÇUOĞLU[1]
Zülfü GÜROCAK[2]

[1] Arş. Gör. Dr.; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü. yaslan@firat.edu.tr ORCID No: 0000-0002-3135-5926

[2] Prof. Dr.; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü. zgurocak@firat.edu.tr ORCID No: 0000-0002-1049-8346

ÖZET

Mermer ocaklarında mermer bloklarının kesilmesi sırasında ortaya çıkan mermer tozu atıkları çok büyük miktarlarda oldukları için depolama sahası problemini ortaya çıkarmaktadır. Mermer tozunun mühendislikte kullanımı eski yıllara dayanmakla birlikte bu tozların alternatif olarak kullanıldığı alanlar da mevcuttur. İnşaat sektörü ya da sanayi uygulamaları bunlardan bazılarıdır. Ancak büyük hacimler kaplayan mermer tozlarının daha etkili şekilde kullanılabilirliği ortaya konulabilirse kullanım alanı artacaktır. Bu durum hem ekonomik anlamda olumlu geri dönüş sağlayacak hem de çevreye zarar verme potansiyeli ortadan kaldırılacaktır. Mermer tozu son yıllarda zemin stabilizasyonu çalışmalarında da kirecin alternatifi olarak kullanılan puzolanik özelliğe sahip bir malzemedir. Bu anlamda zemin stabilizasyonu konusunda yapılmış çalışmalar mevcuttur, ancak daha fazla çalışma ile zeminin dokusu, dayanımı, şişme potansiyeli ve diğer özellikleri üzerinde meydana getirdiği değişimlerin ortaya konması oldukça önemlidir. Böylelikle bu atıkların değerlendirilmiş olması ekonomiye, çevre ve ekolojik sisteme katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Mermer tozu, zemin stabilizasyonu, puzolonik özellik

GİRİŞ

Artan kentleşme ve nüfusa bağlı olarak ihtiyaç duyulan yapı sayısı artmaktadır. Buna bağlı olarak da hem bu yapıların yapılacağı zeminin bulunmasında güçlüklerle karşılaşılacak hem de kullanılacak olan beton, çimento ve agrega üretiminde artış meydana geldiği için bu durum ekonomik ve çevresel anlamda olumsuzluklara neden olacaktır. Mühendislik çalışmaları yapılacağında her zaman çalışmaya uygun özellikte zemin bulmak mümkün olmamaktadır ve o sahada çalışma zorunluluğu da doğmuşsa zeminlerin iyileştirilmesi kaçınılmaz olmaktadır. Zeminin iyileştirilmesi amacıyla çok farklı yöntem kullanılmakta ve bunlardan biri olan katkılı stabilizasyon son yıllarda oldukça dikkat çekmektedir. Fakat kullanılacak olan katkı malzemesinin doğal ve ekonomik olması çok önemlidir. Mermer tozu da bu maddelerden biri olup hem zemin stabilizasyonunda hem de beton/çimentoda kullanımı, araştırılması, geliştirilmesi önem arz etmektedir.

Çok eski çağlardan beri mermer yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Mermer ihtiyacının artması mermer atıklarının depolanması için gerekli olan atık sahalarına olan ihtiyacı artırmıştır. Mermerlere düzgün geometrik şekiller verilebilmesi için kesilmesi gerekmektedir. Kesme işlemi sonunda mermer tozu açığa çıkmaktadır. Mermerlerin kesilmesi sırasında hem soğutma hem de tozların engellenebilmesi için su kullanılmaktadır. Mermerden bu esnada kopan küçük parçacıklar önce ıslak bir şekilde depolandığı için çevreyi kirletmektedir (Filiz vd. 2010). Bu mermer tozlarının etkili bir şekilde kullanılması hem depolanma sorununu ortadan kaldıracak hem de farklı kullanım alanlarına katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada mermer ve mermer tozunun oluşumu, üretimi, kullanım alanları ve mühendislik çalışmalarındaki yeri ve önemi konusunda bilgiler verilmiş olup zemin iyileştirme çalışmaları ve inşaat sektöründeki kullanımına dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Böylelikle mermer tozunun mühendislik çalışmalarında kullanımının artırılması, öneminin daha detaylı bir şekilde ortaya konmasına katkı sağlayacaktır.

MERMER VE TARİHSEL GELİŞİMİ

Mermer, jeolojik olarak tanımlandığında metamorfizma sonucunda kalker ve dolomitik kalkerlerin yeniden kristalleşmesiyle meydana gelmiş bileşimdir. %90-98 oranında $CaCO_3$'ten (kalsiyum karbonat) oluşmakta ve düşük oranda ise $MgCO_3$ (magnezyum karbonat) içermektedir. $CaCO_3$ kristallerinden oluşan mermerlerde esas mineral kalsit olup az miktarda silis, silika, feldspat, demiroksit, mika, fluorin ve organik maddeler de bulunabilmektedir. Endüstriyel anlamda ise; kesilip parlatılabilen her cins taş mermer olarak kabul edilmektedir (Karahan, 2018).

Şekil 1: Mermerin genel görünümü (URL-1)

Mermerin bulunması çok eski yıllara dayanmaktadır. Ülkemizde M.S. 2. yüzyılda Efes kazılarında doğal taş tarihinde blok kesiminde kullanılan ilk lamalı katrak bulunmuştur. Antik ocaklarda tel kesmenin ilk prototipinin izi Selçuk (İzmir) dolaylarında belirlenmiştir. Bu bilgiler değerlendirildiğinde ülkemizde yaklaşık 2000 yıldır mermerciliğin varlığından bahsedilebilir. Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde Marmara Adası ve Afyon-İscehisar, tüm Akdeniz ülkelerine mermer ihracatı yapan önemli merkezlerdi.

Araştırmalara göre ülkemizde dünya mermer rezervlerinin yaklaşık %40 bulunmakta olup 80'den fazla farklı yapıda ve 120'den fazla değişik renk ve desende mermer çeşidi bulunmaktadır (URL-2)

Mermerin Üretimi

Mermer ocaklarında mermer üretimi farklı süreçlerde gerçekleşmektedir. Bunlar aşağıda özetlenmiştir.

Maden Çıkarımı: Büyük bloklar şeklinde mermer ocaklarında bulunan mermer blokları açığa çıkartılır.

Kesme ve Blok Hazırlama: Büyük kesme makineleri kullanılarak mermer blokları, daha küçük bloklara bölünmekte ve bu işlemle arzu edilen boyut ve kalınlıkta mermer levhaları elde edilmektedir.

Şekillendirme: Özel kesme makinelerinin ve tezgâhların kullanılmasıyla mermer levhaları istenilen şekle getirilmekte ve plaka, levha, karo veya diğer şekillerde kesilebilmektedir.

Cilalama ve Zımparalama: Şekillendirilmiş mermer yüzeylerinin pürüzsüz hale getirebilmesi için, cilalama ve zımparalama işlemleri uygulanmaktadır. Bu işlemin amacı mermerin doğal parlaklığını ortaya çıkarmaktır.

Son İşlemler: Bu aşamada mermere desen verilmesi ya da koyucu malzeme uygulanması gibi işlemler yapılmaktadır.

Paketleme ve Dağıtım: İşlenmiş mermer ürünleri, talepler doğrultusunda paketlenmekte ve dağıtılmaktadır. Bu aşamada mermer plakaları, levhaları veya kesilmiş parçaları farklı boyutlarda ve şekillerde müşterilere ulaştırılmaktadır (URL-3)

Mermerlerin Kullanım Alanları

Mermerin çok fazla kullanım alanı bulunmaktadır.

- İnşaat sektöründe
- Bina iç ve dış kaplamasında
- Dekorasyon işlerinde
- Anıt, heykel, hediye ve süs eşyalarında
- Yer döşeme, duvar kaplama, mutfak ve banyolarda
- Masa, sehpa ve diğer mobilyalarda
- Vazo, biblo avize vb.'de
- Mezar taşlarında
- Yem ve gübrelerde
- Beton asfalt, karayolu ve dolgu malzemesi olarak (URL-4) kullanılmaktadır.

MERMER TOZU

Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında ortaya çıkan ve çoğunlukla l mm'den küçük boyutlu mermer taneleri olup en küçük boyuta sahip mermer atıklarıdır. Kesme işlemi su ile gerçekleştirildiği için bu atıklar doğrudan suya karışmakta ve şlam halinde çöktürme havuzlarında arıtma

tesislerinden alınmaktadır (Çelik, 1996). Mermer blokların kesilmesi testere takımıyla yapılırken soğutucu olarak su kullanılmaktadır. Yaklaşık 5 mm bıçak kalınlığına sahip olan testereler ile 20 mm kalınlıkta bloklar kesilmekte ve böylelikle 25 mm mermerin 5 mm kadarı toza dönüşmektedir. Bu toz ile birlikte çamur şeklinde akmakta ve açığa çıkan bu toz çamurunun su içeriği %35-40'dır (Yıldız, 2008).

Şekil 2. Mermer tozunun görünümü

Mermer Tozunun Kullanım Alanları

- Çok çeşitli sanayi kollarında mermer tozu katkı ve dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.
- Zirai kireçtaşı-zirai toprak ve zemin ayarlayıcı olarak
- Yem ve mineralli besinlerde,
- Sıva katkı malzemesi olarak
- Çimento üretiminde,
- Kireç üretiminde,
- Kalsine dolomit üretiminde,
- Cüruf yapıcı malzeme olarak,
- Refrakter malzeme olarak,
- Cam üretiminde,
- Kâğıt üretiminde,
- Asit nötrleştirmede,
- Şeker rafinasyonunda,
- Baca gazından kükürt gideriminde (URL-5) ve
- Zemin stabilizasyonu çalışmalarında kullanılmaktadır.

Mermer Tozunun Çevreye Olan Etkileri

Mermer atıklarının çevreye ait fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlere büyük oranda etkisi bulunmaktadır (Bilensoy, 2010). Bu etkileri şu şekilde sıralamak mümkündür;

1. Toprağın porozitesi ve su emmesini azaltmasından dolayı ürün verimliliğini azaltmaktadır.
2. Havada uçuşan küçük parçalar hava kirliliğine neden olurken insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.
3. Su ortamlarındaki suyu özelliğini bozmakta ve suyun depolanma kapasitesini düşürmektedir.
4. Suyun akış rejimini engellerken yer altı su havzaları üzerinde olumsuz etki yapmaktadır.
5. Etrafa dağılmış olan atık yığınları görsel kirliliğe neden olduğu için turizm ve endüstriyel potansiyeli olumsuz etkilemektedir (Yamanel, 2015).

Mermer Tozunun Değerlendirilmesi

Farklı alanlarda kullanım alanı bulan mermer tozu tane boyu, renk ve kimyasal bileşimi ile dikkat çekmektedir. Mermer tozunun kimyasal bileşimindeki $CaCO_3$ miktarının fazla olması ile kalsitin yerine kullanılabilme olanağı sağlamaktadır. İtalya'da bulunan Carrara mermerlerinin atıkları ve blok alınamayan ocaklardaki mermer oluşumları kalsit olarak üretilip endüstrinin kullanımına sunulmaktadır. Fakat yüksek $CaCO_3$ yüzdesi ve beyazlık kalsitin yerine kullanılabilme kriteridir ve kullanılan sektöre bağlı olarak tane boyutunun 1-2 μ'dan 50-100 μ'a kadar küçük boyutlarda olması istenmektedir (Ceylan, 2000).

Mermer tozu ayrıca stabilizasyon çalışmalarında kullanım alanı bulmaktadır. Eski yıllardan beri şişme potansiyelinin kontrolü amacıyla kullanılmaktadır. Stabilizasyonu sağlayan mekanizma katyon değişimi, kilin flokülasyonu ve puzolanik reaksiyonlar şeklindedir. Katyon değişimi ve flokülasyon hızlı gerçekleşirken kür öncesi dayanım ve yük deformasyon özelliklerine ek olarak plastisite, işlenebilirlik ve şişme özelliklerinde ani değişimlere sebep olmaktadır (Bell, 1988). Diğer bir reaksiyon ise zamana bağlı olarak gelişen puzolanik reaksiyondur. Aglomerasyon ile yapı bütünlüğü artarak zeminin ilave su tutma kabiliyetinde azalmaya neden olmaktadır. Böylece şişme potansiyeli de azalmaktadır (Nelson ve Miller, 1992). Mermerin kimyasal bileşiminin kireçle benzerlik göstermesi ve mermer tozu taneciklerinin çok küçük boyutlu olması, ince taneli zeminlerin iyileştirilmesi için kireç yerine mermer tozunun kullanılabileceği fikrini oluşturmuştur (Zorluer, 2003).

Ayrıca mermer tozu agrega ve çimento yerine kullanılarak ekonomik bir şekilde değerlendirilmektedir. Betonda da kullanımı ile kaliteli ve dayanıklı beton üretimi de yapılabilmektedir.

Şekil 3: Mermer toz atığından bir görünüm (Ersoy vd. 2015)

LİTERATÜRDE MERMER TOZU

Ünal ve Kibici (2001), mermer tozu atıklarını beton üretiminde kullandıkları çalışmasında mermer tozunun belirli oranlarda beton üretiminde kullanılabileceğini ve ekonomi, insan ve çevre üzerinde olumsuz etkilerin azaltılabileceğini ifade etmiştir.

Zorluer ve Usta (2003), çalışmasında mermer tozunu zeminde katkı olarak kullanmış ve killerin şişme potansiyelinde mermer tozu katkısının etkili olduğunu belirtmiştir.

Usta (2004), zemine farklı oranlarda mermer tozu ekleyerek yaptıkları deney sonuçlarına göre katkı oranı arttıkça maksimum kuru yoğunluğun ve eksenel gerilme değerlerinin arttığını belirlemiştir.

Sabat vd. (2005), uçucu kül ve mermer tozunu zeminde katkı olarak kullanmışlar ve karışımlarda mermer-uçucu külün oranı arttıkça kuru birim hacim ağırlığın ve şişme basıncının azaldığını, serbest basınç dayanımı değerinin arttığını ifade etmişlerdir.

Başer (2009), çalışmasında atık dolomitik mermer tozunu şişen zeminlerin stabilizasyonu için kullanmış ve artan katkı oranıyla şişme yüzdesinin azaldığını ve şişme oranının arttığını belirlemiştir.

Çimen vd. (2010) çalışmasında atık mermer tozunu yüksek plastisiteli zeminde katkı olarak kullanmış ve %20 mermer tozu katkısına kadar likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerlerinin azaldığını ancak %20'den daha fazla kullanılması durumunda likit limit değerinin arttığını belirlemişlerdir. Mermer tozundaki artışa bağlı olarak optimum su içeriğinin azaldığı, maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinin arttığı, serbest basınç dayanımının ise %5 mermer tozu katkısına kadar artış gösterip daha fazla mermer tozu kullanıldığı durumda azaldığı ileri sürülmüştür.

Kalay (2010), yüksek plastisiteli kilde mermer tozu, pomza ve kireç kullanarak kilin mühendislik özelliklerine olan etkisini araştırmıştır. Kile belirli oranlarda kireç, pomza ve mermer tozu ilave ederek, kıvam limitleri, standart kompaksiyon, serbest basınç ve şişme deneyleri yapmıştır. Kil-kireç, kil-mermer tozu ve kil-pomza ikili karışımlarının yanı sıra kil-pomza-mermer tozu, kil-pomza-kireç ve kil-mermer tozu-kireç üçlü karışımlarının da etkileşimlerini inceleyen araştırmacı, içerisinde kireç bulunan üçlü karışımların genellikle daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Ali vd. (2012), mermer tozu kullanarak şişen killerde yaptığı çalışmasında %10 oranında mermer tozu ilavesiyle likit limit, plastik limit, plastisite indisi ve şişme indisi değerlerinin azaldığını belirlemiştir.

Cömert, (2012), karayolu dolgusunda mermer tozu, endüstriyel atık kum ve uçucu külün değerlendirmesini yaptıkları çalışmada kullanılacak yaş California Taşıma Oranı (CBR)'ı düşük (% 8, 13) CI ve CL sınıfı plastik zeminlerin iyileştirilmesinde zemin/atık oranı olarak 85/15 oranında kullanılabileceğini belirtmiştir.

Öntürk vd. (2014), uçucu kül ve mermer tozu katkılarının muhtemel bir otoyol alt temel yapısında değerlendirilmesi amacıyla zemine %5, %10 ve % 15 oranlarında eklenmiştir. Hazırlanan örneklere 7 ve 14 gün kür uygulandıktan sonra CBR değerinin arttığı ifade edilmiştir.

Saygılı (2015), şişen killer gibi problemli zeminlerin stabilizasyonunda atık mermer tozunu kullanmış ve yapılan deneysel çalışma sonuçlarına göre mermer tozu katkısının kil örneklerinin kayma direnci parametrelerini iyileştirdiğini ve şişme potansiyelini azalttığını belirlemiştir.

Yamanel (2015), yaptığı çalışmasında farklı oranlarda %5, %10, %15 ve %20 mermer tozunu çimento yerine kullanmış ve %5 oranında kullanılmasıyla oluşturulan harçların portland çimentolu harçların özelliklerine yakın olduğunu tespit etmiştir.

Ali vd. (2016), zeminde mermer tozu ve küspe külünü katkı olarak kullandıkları çalışmalarında portland çimentosu ve diğer kimyasal stabilizatörlere ekonomik bir alternatif olarak mermer tozu ve torba külünün kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Taşpolat vd. (2016), tarafından yapılan çalışmada atık depolama tabakalarında kullanılan Afyon mermer tozlarının donma ve çözülme özelliğine etkisi araştırılmıştır. %10 bentonit + %90 kaolin karışımını kil tabakası olarak kullanılmış ve bu tabaka üstüne %5, %10, %15 oranlarında mermer tozu eklenmiştir. Bu karışımlar üzerinde deney sonuçlarına göre çevresel şartlara karşı geçirimsiz kil tabakalarda %10 ve %15 mermer tozu katkısının dayanımı artırdığı belirlenmiştir.

Yorulmaz (2018), zeminde farklı kür aralıklarıyla mermer tozu katkısı kullandığı çalışmasında CBR değerleri üzerinde kaolin ve dolomit mermer tozu atıklarının pozitif yönde etki gösterdiğini belirlemiştir.

Zorluer ve Gücek (2019), mermer tozunu (%0, %3, %5, %10, %15) oranlarında yüksek plastisiteli kile karıştırarak şişme özelliklerini inceldikleri çalışmada karışımlarda mermer tozu oranın artmasıyla şişme yüzdesi değerinin azaldığını belirlemiştir.

Yılmaz (2020), yaptıkları çalışmada düşük plastisiteli kil zeminde %25 uçucu kül ve farklı oranlarda (%0, %5, %10, %15, %20) mermer tozu katkısı kullanarak karışımlar hazırlamış ve yapılan deney sonuçlarına göre uçucu kül+mermer tozu karışımlarının sadece uçucu kül kullanılarak hazırlanan karışımlara göre daha yüksek dayanım değerleri verdiğini belirtmiştir.

Özpolat (2020), çalışmasında bentonit kiline %10 kireç, %15 uçucu kül devamında %10 kireç, %15 uçucu kül ve sırası ile %5, %10, %15 mermer katkısı ekleyerek homojen olarak karıştırılan örnekleri CBR deneyleri için 7 ve 14 gün küre bırakmışlardır. Deneysel sonuçlara göre bentonit kiline eklenen her katkı maddesinin zeminin dayanımını artırdığı belirlenmiştir.

Orman (2021), yaptığı çalışmada düşük plastisiteli ve yüksek plastisiteli kil zeminlerin dayanım değerlerin belirlenmesinde mermer tozu, yüksek fırın cürufu ve polipropilen lif olmak üzere üç farklı katkı maddesi kullanmıştır. Deneysel çalışmaların sonuçlarına göre kil zeminlerin iyileştirmesinde üç katkı malzemesinin de olumlu etkisi olduğu belirlenmiş ve 28 günlük kür uygulamasından sonra maksimum dayanım değerleri elde edilmiştir.

Minhas ve Devi (2016), tarafından yapılan çalışmada mermer tozunun alüvyal toprakların stabilizasyonu üzerindeki etkisi incelenmiş ve mermer tozu katkısıyla maksimum kuru yoğunluğun azaldığı belirlenmiştir. CBR deney sonuçlarına göre doğal zemin yerine mermer tozu ilave edildiğinde belirgin bir iyileşme görülmüştür.

Yılmaz ve Demir (2021), çalışmalarında donma-çözülme ve ıslanma-kuruma çevrimlerinin kireç ve mermer tozu ile stabilize edilmiş kil zeminin dayanım ve durabilitesi üzerindeki etkisini incelemişler ve yüksek plastisiteli zemine kireçsiz ve %6 kireçli olarak %5, %10, %15 ve %20 mermer tozu ilave ederek deney örnekleri hazırlamışlardır. Yapılan deneysel çalışmalara göre mermer tozu katkısının dayanımı artırdığı, kireç ve mermer tozunun beraber kullanılması durumunda, doğal zemine ve sadece kireç kullanımına kıyasla dayanım değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Yüksek plastisiteli killi zeminin dayanımı ve durabilitesi üzerinde kireç ve mermer tozunun birlikte kullanılmasının, olumlu etkisi olduğu ifade edilmiştir.

Amena ve Kabeta (2022), yaptıkları çalışmada plastik atık ve mermer atık tozunun şişen zeminlerin mühendislik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Deney sonuçları, mermer tozu ve plastik şeritlerin eklenmesi ile dayanım parametrelerinde iyileşmeler meydana geldiği belirlenmiştir. Mermer tozu ve plastik şerit yüzdelerindeki artışla birlikte CBR değerleri yükselmekte mermer tozu ilavesi ile serbest basınç dayanımı değerleri doğrusal olarak artmaktadır. Mermer tozu ve plastik şerit oranları arttıkça zeminin serbest şişmesi ve CBR şişmesinin önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir.

Rama Indera vd. (2023), yaptıkları çalışmada, zemini stabilize etmek için katkı maddesi olarak mermer atık tozu kullanmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarına göre mermer tozunu oranının artışıyla plastisite indeksi değeri azalmıştır. Kür süresinin artması ile serbest basınç dayanımı değerleri artmıştır ve düşük maliyetli mermer tozunun killi zeminleri etkili bit şekilde iyileştirdiği belirlenmiştir.

MERMER TOZU KATKISI İLE ZEMİNİNİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNDE MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLER

Literatür incelendiğinde mermer tozu katkısıyla zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştiği görülmektedir. Çalışmacılar mermer tozu katkısının serbest basınç dayanımı değerlerini arttığını (Sabat vd. 2005), %5 mermer tozu katkı oranına kadar dayanımın arttığını daha fazla katkı oranlarında azaldığını (Çimen vd. (2010), uçucu kül+mermer tozu karışımlarının sadece uçucu kül kullanılarak hazırlanan karışımlara göre daha yüksek dayanım değerleri verdiğini (Yılmaz, 2020), killi zeminin dayanımı ve durabilitesi üzerinde kireç ve mermer tozunun birlikte kullanılmasının, olumlu etkisi olduğunu (Yılmaz ve Demir, 2021), zemine mermer tozu ve plastik şeritlerin eklenmesi ile dayanım parametrelerinde iyileşmeler meydana geldiğini (Amena ve Kabeta 2022) belirlemişlerdir.

Ayrıca zemine farklı oranlarda mermer tozu katkısıyla katkı oranı arttıkça maksimum kuru yoğunluğun arttığını (Usta, 2004), mermer-uçucu külün oranı arttıkça kuru birim hacim ağırlığın azaldığını (Sabat vd. 2005), mermer tozundaki artışa bağlı olarak optimum su içeriğinin azaldığını, maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinin arttığını (Çimen vd. 2010) tespit etmişlerdir.

Zeminde mermer tozu katkısının şişme üzerindeki etkisi de farklı çalışmacılar tarafından incelenmiş ve karışımlarda mermer-uçucu külün oranı arttıkça şişme basıncının azaldığı (Sabat vd. 2005), atık dolomitik mermer tozunun oranının artmasıyla şişme yüzdesinin azaldığı ve şişme oranının arttığı (Başer, 2009), %10 oranında mermer tozu ilavesiyle şişme indisi değerinin azaldığı (Ali vd. 2012), atık mermer tozunun şişme potansiyelini azalttığı (Saygılı, 2015), mermer tozu oranın artmasıyla şişme yüzdesi değerinin azaldığı (Zorluer ve Gücek, 2019) ifade edilmiştir.

Yapılan çalışmalar CBR değeri üzerinde de mermer tozunun etkisini ortaya koymuştur. Uçucu kül ve mermer tozu katkılı örneklerde 7 ve 14 gün kür uygulandıktan sonra CBR değerinin arttığını (Öntürk vd. 2014), mermer tozu katkısıyla CBR de belirgin bir iyileşme meydana geldiği (Minhas ve Devi 2016), mermer tozu ve plastik şerit oranlarının artmasıyla CBR şişmesinin önemli ölçüde azaldığını (Amena ve Kabeta 2022) tespit etmişlerdir.

Mermer tozunun, zeminin kıvam limitlerine olan etkisinin incelendiği çalışmalarda %10 oranında mermer tozu ilavesiyle likit limit, plastik limit, plastisite indisi değerlerinin azaldığı (Ali vd. 2012), %20 mermer tozu katkısına kadar likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerlerinin azaldığını ancak %20'den daha fazla kullanılması durumunda likit limit değerinin arttığı (Çimen vd. 2010) belirlenmiştir.

SONUÇLAR

Zemin stabilizasyonu amacıyla kullanılan çok fazla katkı malzemesi bulunmakla birlikte bunlardan ekonomik, bol, doğal, sürdürülebilir, kolay elde edilebilir ve kolay ulaşılabilir olanlarının tercih edilmesi oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde zemin stabilizasyonunda puzolanik özelliğe sahip olan mermer tozunun verimli bir şekilde değerlendirildiği görülmektedir. Zeminin dayanımının artırılmasında, şişme potansiyelinin azaltılmasında oldukça etkili olduğunu söylemek mümkündür. Daha fazla sayıda çalışma ile mermer tozunun zemin stabilizasyonunda kullanılması, hem mermer tozunun depolanma probleminin ortadan kaldırılmasına katkı sağlayacak hem de doğal ve atık olarak bulunduğu için diğer katkı malzemelerine ekonomik bir alternatif olacaktır. Buda ülke ekonomisi ve çevresel olumsuzlukların giderilmesi noktasında büyük katkı sağlayacaktır.

REFERANSLAR

Ali, R., Khan, H., Shah, AA. (2012). Expansive soil stabilization using marble dust and bagasse ash. International Journal of Science and Research, 3(6), 2812-2816.

Ali, R., Khan, H. Shah, AA. (2016). Expansive soıl stabilization using marble dust and bagasse ash. International Journal of Science and Research (IJSR).

Amena, S., Kabeta, WF. (2022). Mechanical behavior of plastic strips-reinforced expansive soils stabilized with waste marble dust. Hindawi Advances in Civil Engineering, 2022, 1-8.

Başer, O. (2009). Stabilization of expansive soıls using waste marble dust. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

Bell, FG. (1988). Stabilization and treatment of clayey soils with lime. Part 1-Basic Principles, Ground Engineering, 21(1), 10-15.

Bilensoy, M. (2010). Mermer fabrikaları toz atıklarının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi.

Ceylan, H. (2000). Mermer fabrikalarındaki mermer toz atıklarının ekonomik olarak değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.

Cömert, AT. (2012). Uçucu kül, mermer tozu ve endüstriyel atık kumu yol alt yapısında kullanılabilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi.

Çelik, MY. (1996). Mermer atıklarının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi Afyon Kocatepe Üniversitesi.

Çimen, Ö., Keskin, SN., Şimşek, S., Kalay, E. (2010). Yüksek plastisiteli bir kilin mühendislik özelliklerine pomza ve mermer tozunun etkisi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi, 855-862.

Ersoy, B., Sayın, Z. E., Arsoy, Z., & Sayın, Ü. (2015). Yeterince farkında olamadığımız atıl kaynağımız: Doğaltaş ocak ve fabrika atıkları.

Filiz, M., Özel, C., Soykan, O., Ekiz, Y. (2010). Atık mermer tozunun parke taşlarında kullanılması. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6(2) 57-72.

Kalay, E. (2010). Sıkıştırılmış yüksek plastisiteli kil zemin stabilizasyonunda pomza, mermer tozu ve kirecin kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.

Karahan, DS. (2018). Dünyada ve Türkiye'de doğal taşlar. MTA, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı

Minhas, A., Devi, VU. (2016). Soil stabilization of alluvial soil by using marble powder. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 7(5), 87-92.

Nelson JD. ve Miller, JD. (1992). Expansive soils-problems and practice in foundation and pavement engineering. J.Willey and Sons, New York.

Orman, A. (2021). Düşük ve yüksek plastisiteli kil zeminlerde yüksek fırın cürufu, mermer tozu ve polipropilen fiberin zemin iyileştirilmesine katkısının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi.

Öntürk, K., Fırat, S., Vural, İ. M Khatib, J. (2014). Uçucu kül ve mermer tozu kullanarak yol altyapısının iyileştirilmesi. Journal of Polytechnic, 17(1), 35-42.

Özpolat, N. (2020). Kireç, uçucu kül ve mermer tozu ile zemin stabilizasyonu. Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi 2020, 3(1): 38-53

Rama Indera, K., Enden, M., Woelandari, B., Adjie Anfasha, B. (2023). The ınfluence of marble waste powder on clay soil stabilization. International Journal on Advanced Science, Engineering & Information Technology. 13(2), 487-493.

Sabat, AK., Behera, SN., Dash, SK. (2005). Effect of flay ash-marble powder on the engineering properties of an expansive soil. Indian Geotechnical Conference Proceedings, 269-272.

Saygılı, A. (2015), Use of waste marble dust for stabilization of clayey soil. Constructıon Materıals, 21(4), 601-606.

Taşpolat, LT., Zorluer, İ. Koyuncu, H. (2016). Atık mermer tozunun geçirimsiz kil tabakalarda donma - çözülmeye etkisi. Electronic Journal of Construction Technologies, 2(2), 11-16.

Usta, M. (2004). Atık mermer tozunun zeminlerin serbest basınç dayanımına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.

Ünal, O. Kibici, A. (2001). Mermer tozu atıklarının beton üretiminde kullanılmasının araştırılması. Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem '2001) Bildiriler Kitabı, 317-325.

Yamanel, K. (2015). Kayseri yöresi atık mermer tozu katkılı harçların özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi.

URL-1 https://tr.wikipedia.org/wiki/Mermer

URL-2 https://hurok.com/dunden-bugune-mermerin-tarihi/

URL-3 https://www.balmahmutmarble.com/tr/mermer-uretimi-nasil-yapilir/

URL-4 https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-kullanim-alanlari

URL-5 https://www.mermer.com.tr/sektorel-bilgi-merkezi/mermer-atiklarinin-degerlendirilmesi.html

Yıldız, AH. (2008). Mermer toz atıklarının yol inşaatında değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

Yılmaz, F. (2020). Uçucu kül ve mermer tozu katkılarının zeminin stabilizasyonuna ve donma çözülmesine etkisinin araştırılması. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 8-1, 56-61.

Yılmaz, F., Demir, E. (2021). Kireç ve mermer tozu ile stabilize edilmiş killi zeminlerin dayanım ve durabilite performansı. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9, 511-520.

Yorulmaz A, (2018). Mermer tozu ile stabilize edilmiş kil zemin mukavemetinin donma-çözülme etkisi ve zamana bağlı olarak değişiminin CBR deneyleri ile değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi.

Zorluer, İ., Usta, M. (2003). Zeminlerin atık mermer tozu ile iyileştirilmesi. Türkiye 4. Mermer Sempozyumu, 305-308.

Zorluer, İ. (2003). Atık Mermer Tozlarının Kil Zeminlerin Şişme Potansiyeline Etkisi, l. Ulusal Kil Sempozyumu, Ege Üniversitesi

Zorluer, İ., Gücek, S. (2019). Şişen killerin mermer tozu katkı maddesiyle Stabilizasyonu. International Symposium on Innovations in Civil Engineering and Technology, 595-602.

Bölüm 26

Yılansı Robotun Tasarımı, Statik, Dinamik Ve Modal Analizi

Yusuf COŞKUN[1]

Muhammet AYDIN[2]

[1] Arş. Gör.; İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü. yusuf.coskun@istun.edu.tr ORCID No:0009-0008-0959-311X

[2] Dr. Öğr. Üyesi; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü. muhammeta@firat.edu.tr ORCID No: 0000-0003-2746-9477

ÖZET

Teknolojinin ilerlemesiyle robotların hayatımıza girmesi ciddi bir şekilde hızlanmıştır. Neredeyse her alanda bu insan yapımı akıllı makinelerden istifade ediyoruz. Arama kurtarma çalışmalarından sanayiye kadar her alanda kullandığımız bu robotlar üzerinde, çalışabilecekleri ortamların zorlu şartlarına fiziki olarak nasıl tepki vereceklerini öğrenmek için gerçek imalattan önce belli analizlerin yapılması önem arz etmektedir. Bu çalışmada yılansı bir robot üzerine çalışılmış, yılansı robotun tasarımı gerçekleştirilmiş ve yılansı robot üretilmeden önce belli analizlere tabi tutulmuştur. Yılansı robot 7 adet eklemden oluşup her eklemi hareketlidir. Sistem tasarımı SolidWorks paket programında gerçekleştirilip sistemin montajı yapılmıştır. Oluşturulan tasarımın fiziksel özellikleri ve parametreleri kullanılarak Matlab ortamında, Denavit-Hertenberg parametrelerinden yararlanılarak yılansı robotun ileri kinematik sonuçları bulunmuştur. Daha sonra Ansys paket programında üç adet analize tabi tutulmuştur. Bu analizler statik analiz, doğal frekans analizi ve rijit dinamik analizidir. Dar ve pürüzlü yollarda, arama kurtarmada, araştırmalarda kullanılan bu robotların sınır şartları belirlenerek hareketlerinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bunun sonucunda gerekli parametrelerle analiz gerçekleşmiş ve maksimum çalışma şartları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yılansı robot, Tasarım, Statik analiz, Dinamik analiz, Modal analiz

GİRİŞ

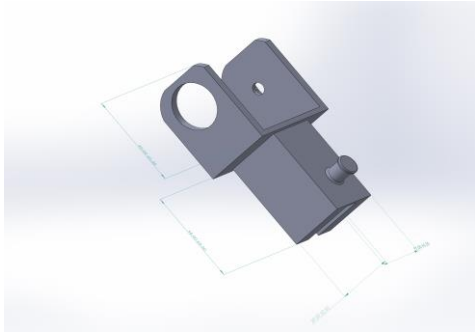
Doğadaki hareket kalıpları, yılanların süzülüşü veya çekirgenin zıplaması gibi, gerçek dünya ortamlarında etkili ve verimli mekanizmaların temsilcileridir. Bu doğal ritimler ve mekanizmalar, mobil robot tasarımlarına ilham verirken, belirli arazi ve ortam koşullarına göre optimize edilmiş her robotun her türlü arazide etkin hareket etme yeteneğine sahip olmayabileceğini unutmamak gerekir (Baysal ve Altas, 2022:353). İnce ve uzun yapıları, yılan robotlara esneklik kazandırır ve çeşitli engellerin üstesinden gelmelerini kolaylaştırır. Yılan robotlar, bu esneklikleri sayesinde dar alanlarda hareket edebilir, engebeli arazilerde tırmanabilir ve kavisli yüzeylerde dolaşabilir (Shmakov, 2006). Yüksek serbestlik derecesi, yılan robotların çok çeşitli hareketler yapabilmesini sağlar. Her bir segmentin bağımsız olarak hareket edebilmesi, robotun zeminle uyumlu bir şekilde ilerlemesini sağlar. Bu da yılan robotların düz, eğimli veya engebeli arazilerde etkin bir şekilde hareket edebilmelerine olanak tanır (Günal ve Kacar, 2016). Yılan robotlarla ilgili bilinen ilk çalışma Japon bilimci Shiego Hirose tarafından 1972 yılında gerçekleştirilmiştir. Hirose, arkadaşı Umetami ile birlikte yaklaşık 2 metre boyunda bir robot geliştirerek yılanların serpentine hareketlerini formülize etmesi, yılansı robotlarının ilerlemesini ve dönmesini sağlayan hareket algoritmalarının geliştirilmesine temel oluşturmuştur. Bu tasarımın her bir uzvuna pasif tekerlekler yerleştirilmiştir ve sağ-sol hareketleri uzuvlarına yerleştirilen servolar sayesinde sağlanmıştır (Hirose ve Mori, 2004:1). Joel Burdick ve onun öğrencisi olan Greg Chirikjian, yılanların hareket mekanizmalarını inceleyerek, yılan robotlarının tasarımını ve kontrolünü geliştirmeye odaklanmışlardır. Burdick ve Chirikjan'ın tasarladıkları bu prototipte 10 adet uzuv bulunmaktadır. Serbestlik derecesini her uzuv için 3 er tane olacak şekilde ayarlamışlardır. Her ekleme servo motor yerleştirerek hareketin kontrol etmiş ve aynı anda konum bilgisini elde etmek için ise lineer potansiyometre kullanılmıştır (Chirikjian ve Burdick, 1994:343). Shan kendi çalışmasında tıpkı diğer araştırmacılar gibi her ekleme tahrik elemanı olarak birer servo motor eklemiştir. Ancak yılan robotun hareketine şekil verme sistemi diğerlerinin aksine farklıdır. Shan her ekleme birer tane selenoid ekleyerek selenoidin aktif olduğu uzvu kısıtlayarak robotun çalışma alanında kendine yön vermesini sağlamıştır (Shan ve Koren, 1993:1091).

Bu çalışmada Soliworks programında mevcutlarından farklı yeni bir yılansı robot tasarlanmıştır. Tasarlanan katı model Matlab ortamına aktarılarak burada robotun kinematik hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca Ansys programda tasarlanan yılansı robot hakkında üretilmeden önce önbilgi edinebilmek adına,

robotun dinamik analizi, statik analizi ve doğal frekans analizi gerçekleştirilmiştir.

YILANSI ROBOT KATI MODEL TASARIMI

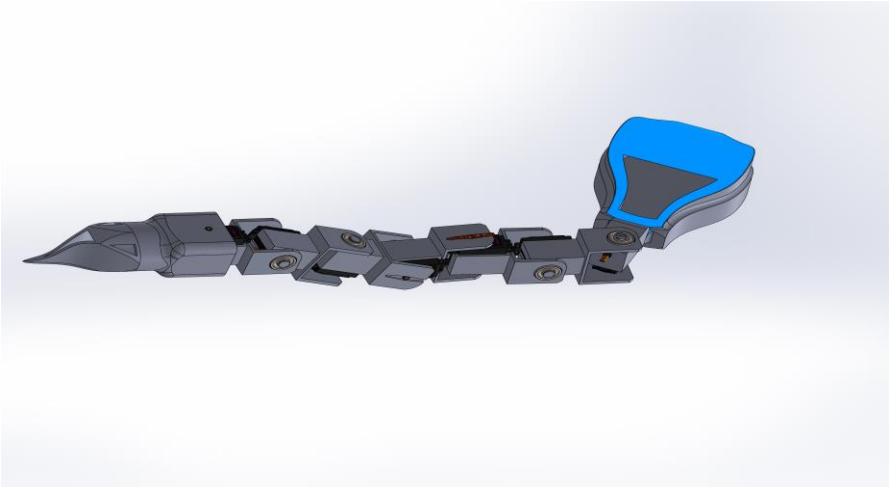
Yılansı robot tasarım sürecinde, tasarımı oluştururken SolidWorks paket programı kullanılmıştır. Sistemin kafa, kuyruk ve gövde olarak 3 temel bölgesi vardır. Kafa yapısında 1, gövde yapısında 5 ve kuyruk yapısında 1 uzuv olmak üzere toplamda hareketli olarak 7 uzuv mevcuttur. Çizime ilk başlandığı zaman robotun gövde tasarımı yapılmış daha sonra kuyruk ve en son olarak kafa tasarımı yapılmıştır. Tasarım bittikten sonra yine SolidWorks paket programında tasarım hareket ettirilmiş ve yılansı hareketler elde edilmiştir.



Şekil 1: Modelin Gövde Elamanının Görüntüsü

Şekil 2: Modelin Kafa Elemanının Görüntüsü

Yılanın tek bir ekleminin uzunluğu Şekil 1' de görüldüğü üzere 87,50 mm' dir. Şekilde gösterilen eklem yapısında 5 adetin birleşmesiyle yılansı robotun gövdesi oluşmaktadır. Şekil 2' de verilen kafa yapısının uzunluğu ise 222,41 mm' dir.



Şekil 3: Modelin Montaj Görüntüsü

Bütün eklemlerin birleştirilmesiyle montajı tamamlanan tasarım Şekil 3' te göründüğü gibidir.

YILANSI ROBOTUN KİNEMATİĞİ

Robot kinematiği, üç boyutlu olarak robotların hareketini inceler. Bu bilim maddelerin, cisimlerin ya da canlıların yer değiştirmelerini inceler. Robot kinematiği, robotun konumunu, hızını, ivmesini ve yönelimini analiz eder ve bu parametreleri hesaplamak için matematiksel yöntemler ve denklemler kullanır. Robot kinematiği, robotun eklem konfigürasyonu, uzuv uzunlukları ve eklemler arasındaki bağlantıları içeren geometrik bilgilere dayanır (Abut vd., 2013:554).

Robotun eklemleri, robotun hareketli parçalarının birbirine bağlanmasını sağlayan bağlantı elemanlarıyla birbirine bağlanır. Bu bağlantılar, genellikle sabitlenmiş veya hareketli eklem eksenleri etrafında dönme veya öteleme hareketi sağlayan bağlantı noktalarıdır. Eklemlerin her birinin konumu ve yönelimi kendinden önceki veya kendinden sonraki ekleme göre ifade edilir. Birbirini takip ederek oluşturulan bu sisteme kinematik zincir denilir. Bu kinematik zinciri oluşturan sistemde konum ve yönelim matrisini içinde barındıran homojen matrisler vardır. Bütün eklemler için 4x4 biçiminde homojen matrisler oluşturulur.

İleri kinematik, robotun eklemlerinin açılarını veya konumlarını girdi olarak alır ve robotun konumunu ve yönelimini hesaplar. Robot eklemleri birbirine sırayla bağlı eklemlerden oluşur. Bu eklemlerin arasındaki bağ ilişkisi homojen dönüşüm matrisi ile ifade edilir. Bu matrislerin birbiriyle çarpımından robotun uç işlevcisinin diğer eklemlere göre devinimi elde edilir. Kısacası ileri

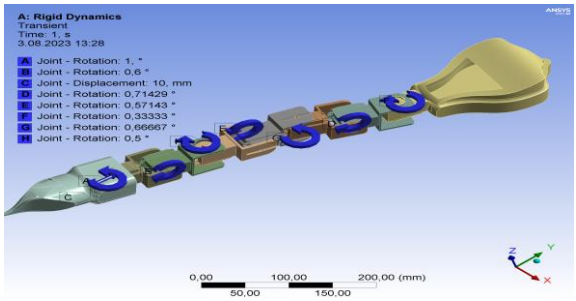
kinematik, robotun eklemlerine göre uç işlevcisinin konumunu belirler. Bu, robotun belirli bir ekleme sahip olduğunda uç işlevcisinin nerede olacağını tahmin etmek için kullanılır.

Robotların ters kinematiği ise, konumu verilen uç işlevcilerin bu konuma yönelmeleri için gerekli olan açıların hesaplaması olarak anlamlandırılır. İleri kinematiğe göre biraz karmaşıktır çünkü doğrusal denklemlere sahip değildir (Kurtulmuş, 2010).

İleri Kinematik

Yedi eklemli bir yılansı robot için Matlab script dosyası kullanılarak ileri kinematiğini hesaplayan ve grafini çizdiren bir kod yazıldı. Bu kod, D-H parametrelerini, homojen matrislerini ve ileri kinematiğini içeren T dönüşüm matrisini hesaplayarak son konumu ve ilk konumu arasında kalan eklemlerle birlikte bir grafik eşliğinde tüm hesaplamaları vermektedir.

Hesaplamalardan önce robotun eklemleri üzerinde konum vektörleri Ansys programında Şekil 4' de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.

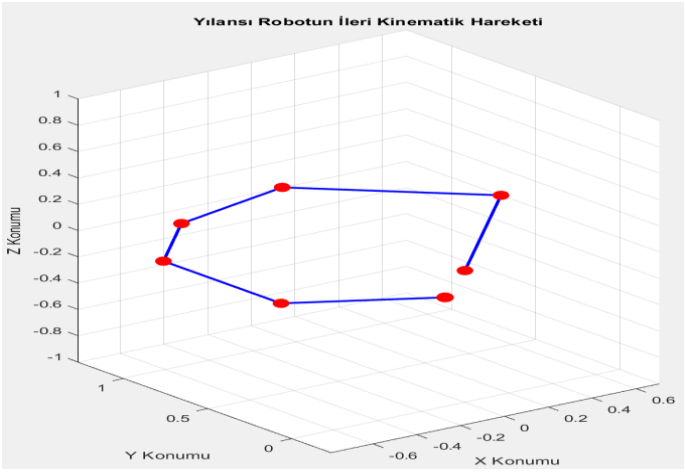


Şekil 4: Modelin Eksen Takımlarının Yerleştirilmiş Hali

Her bir eklemin dönüşü z ekseni etrafında olacak şekildedir. İleri kinematik için hesaplanan temel dönüşüm matrisi aşağıda gösterilmiştir.

$$T=\begin{vmatrix} 0{,}866 & 0{,}5 & 0 & -0{,}272 \\ -0{,}5 & 0{,}866 & 0 & -0{,}2361 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (1)$$

Denklem 1' de elde edilen temel dönüşüm matrisi kullanılarak Şekil 5' de, tasarlanan yılansı robotun ileri kinematik hareketi grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5: Yılansı Robotun İleri Kinematik Hareketi

MATERYAL VE METOD

Tasarımı gerçekleştirilen yılansı robotun imalatı gerçekleştirilmeden önce ön bigi edinilmesi amacıyla belli analizlere tabi tutulmuştur. Bu analizler statik analiz, rijit dinamik analiz ve modal analizlerdir. Aşağıda sırasıyla detaylı olarak bu analizlerin nasıl gerçekleştirildiği açıklanmıştır.

Statik Analiz

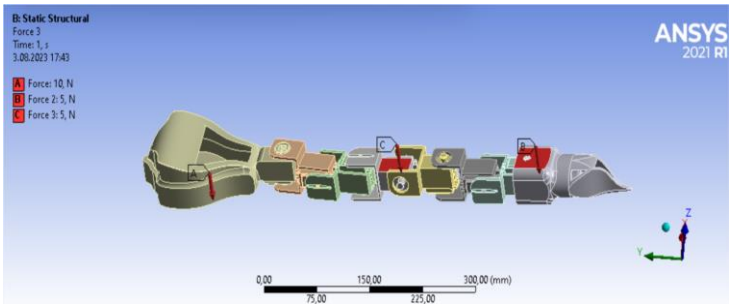
SolidWorks ortamında tasarımı gerçekleştirilen yılansı robot, Ansys ortamına aktarılarak statik analize tabi tutulmuştur. Analiz yapılırken malzeme seçimi olarak paslanmaz çelik tercih edilmiştir. Paslanmaz çeliğin özellikleri Tablo 1' de verilmiştir (Abut vd.,2012).

Tablo 1: Paslanmaz Çeliğin Özellikleri

Özellikler	Değerler	Birimler
Elastise Modülü	190000	N/mm^2
Poisson Oranı	0,26	-
Von Mises	79000	N/mm^2
Kütle Yoğunluğu	7700	kg/m^3
Gerilme Mukavemeti	448,08	N/mm^2
Akma Mukavemeti	241,28	N/mm^2

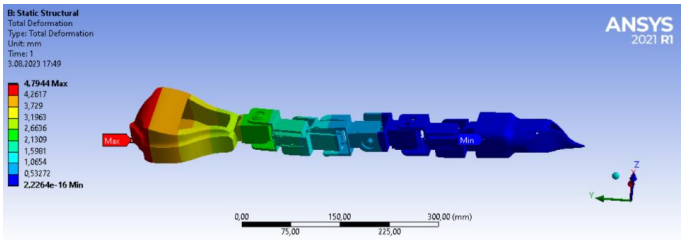
Statik analiz, bir yapı veya sistemdeki bileşenlerin, kuvvetlerin ve etkilerin dengesini incelemek için kullanılan bir mühendislik yöntemidir. Bu analiz yöntemi, yapıların veya sistemlerin dayanıklılığını değerlendirmek amacıyla kullanılır. Sonlu elemanlar içerisinde statik analizi basite indirgersek eğer, analizi yapılmış parçanın lineer olan malzeme özelliğiyle anlık olarak görüntülenen çözümlemesidir. Dinamik analizdeki gibi zamana bağlı olarak çözümlenen analiz türü değildir (Buğday, 2018).

Şekil 6' da görüldüğü üzere yılanın kafa, gövde ve kuyruk kısımlarına sırasıyla 10 N, 5 N ve 5 N' luk kuvvetler uygulanarak statik analiz için sınır şartları verilmiştir. Bu üç bölgeye kuvvet uygulanmasının nedeni yılanın hareket anında vücudunda en çok kasılmaya sebep olan bölgelerin bu alanlar olmasıdır. Buna ek olarak, dar alanlarda yılanların hareketlerini daha elverişli kılmak için doğrusal hareketlere başvurmaları gerektiği daha önce de bahsedilmişti. Bu hareket tipinde, yılan kendisini katlayarak doğrusal hareket etmek için kendisini maksimum olarak en çok kastığı ana ulaşır. Bu kasılma anında yılanın kafa, kuyruk ve gövde bölgeleri aynı anda çalışır.



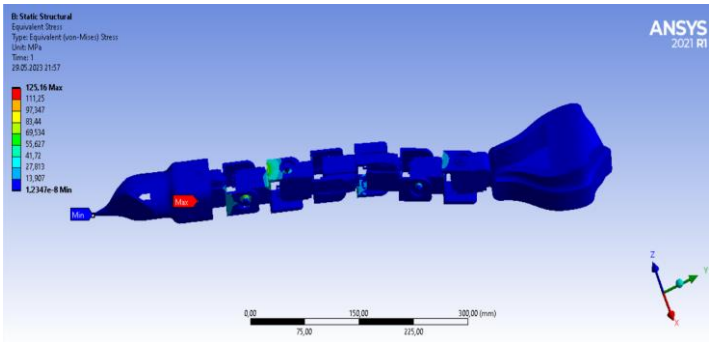
Şekil 6: Uygulanan Sınır Şartları

Analiz sonucunda ise maksimum 4,7944 mm' lik bir yer değiştirme gerçekleşmiştir. Şekil 7' de maksimum ve minimum deformasyon sonuçları da gösterilmiştir.



Şekil 7: Deformasyon Sonuçları

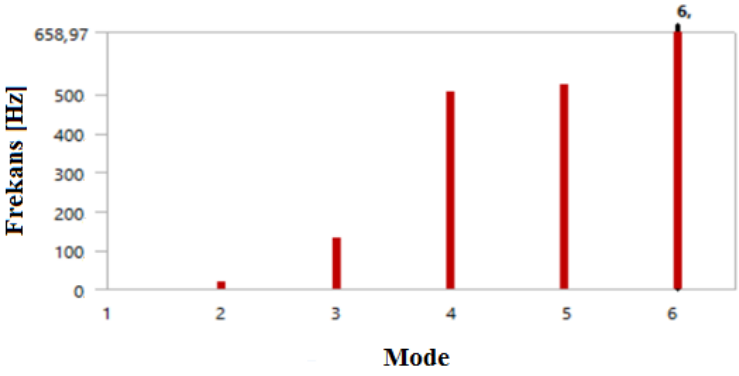
Analiz sonucunda maksimum gerilme (Von-mises) 125,16 MPa olarak bulunmuştur. Bulunan maksimum gerilmenin değeri malzemenin akma değerinden küçük olduğu için deforme olmadığı anlaşılıyor. Fakat bulunan gerilme değeri, akma gerilmesinden büyük olsaydı istenmeyen bir sonuç olan deformasyon durumu oluşacaktı. Bulunan maksimum gerilme sonucu Şekil 8' de görüldüğü gibidir.



Şekil 8: Maksimum Gerilme Sonuçları

Doğal Frekans (Modal) Analizi

Doğal frekans, mühendislikte yapıların titreşim analizinde önemli bir etkendir. Bir sistem belirli bir kütleye ve sertliğe sahip olduğunda sistemin kendine has bir frekansı oluşur. Her tasarım kendine özgü sertlik ve kütleye sahiptir. Bu sahip olduğu özellikler sistemin parametrelerine bağlı olduğundan dolayı parametrelerin değişimi bu katsayıları da etkileyecektir. Dolayısıyla doğal frekansta kütle ve sertlik gibi katsayılara bağlı olduğu için parametrelerin değişimi doğal frekansı da etkileyecektir. Tasarımın Modal analizinin sonuçları grafik olarak Şekil 9' da ve Tablo 2' de gösterilmiştir (Günyar vd. 2012:33).

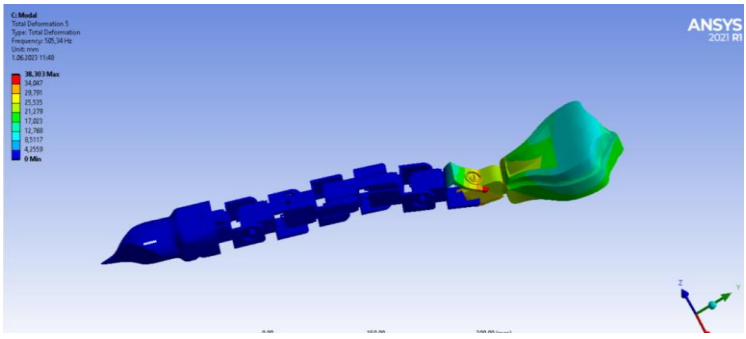


Şekil 9: Maksimum Gerilme Sonuçları

Tablo 2: Farklı Modlardaki Frekans Değerler

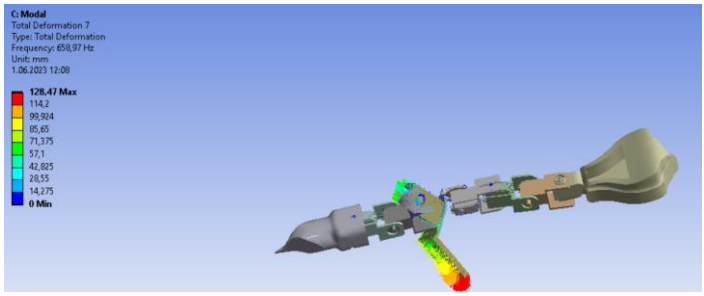
Mode	Frekans [Hz]
1	0
2	20,067
3	132,11
4	505,34
5	522,85
6	658,97

Doğal frekans analizinde, sisteme işleyen 6 adet mod değeri bulunmuştur. Bu mod değerleri sistemin rezonans değerlerini bulmamızda yardımcı olur. Eğer modelimiz ikinci mod değerimiz olan 20,067 Hz' lik bir frekansa maruz kalırsa 30,276 mm' lik bir yer değiştirmeye uğrayacaktır. Benzer şekilde, analiz sonucunda yılansı robat 5. modda Şekil 10' da verildiği gibi 38,303 mm' lik deformasyona maruz kaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 10: 5. Mod Değerinin Sonucu

Eğer uyguladığımız kuvvetlerin frekansı bulduğumuz farklı değerlerdeki frekanslardan biriyle çakışırsa sistem rezonansa uğramış olur (Günyar vd. 2012:33). Buda istenmeyen bir durumdur, olumsuz sonuçlanır ve sistem deforme olmuş olur. Şekil 11' de 6. modda tasarımın rezonansa uğradığı açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 11: 6. Mod Değerinin Sonucu

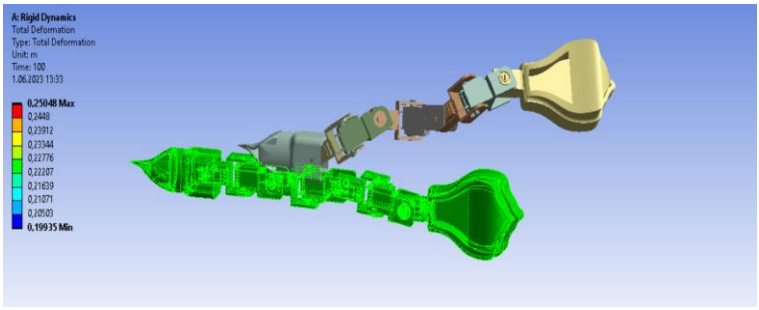
Rijit Dinamik Analiz

Bu bölümde yapılan çalışmalar rijit dinamik ara yüzünde yapılmıştır. Amaç verilen momentler doğrultusunda yılansı robotu hareket ettirmektir. Bu ara yüzde sistem, rijit cisim olarak kabul edildiği ve deformasyonlarının ihmal edildiği durumları modeller. Yani rijit cisimler yüzeylerinin tümünün sabit boyut ve şekilde olduğu kabul edilen cisimlerdir. Bu analizde rijit cismin hareketi incelenecektir. Kuvvet ve moment dikkate alındığı zaman modelin yer değiştirmesi hesaplanır ve dinamik davranışı değerlendirilebilir. Şekil 12' de gösterildiği gibi momentler z ekseni etrafında hareket gerçekleşecek şekilde yerleştirilmiştir. Sistemin hangi eksende hangi eklemde nasıl hareket etmesi gerektiği elle girilerek ayarlanmıştır. Sistemin hareket etmesi genel olarak tek düzlem üzerinde olacaktır fakat her eklemde farklı düzlemler arasında hareket mevcuttur, çünkü sistemin her eklemi hareketlidir (Sapietová vd., 2019:23).

Şekil 12: Kuyruk Hareketi

Sisteme hareket verildiği zaman robotun kuyruk hareketi Şekil 12' de gözlemlenmektedir.

Sisteme uygulanan farklı moment değerleri üzerinden yılansı robotun durağan halinden hareketli hale geçerken ki durumu Şekil 13' de gösterilmiştir.



Şekil 13: Hareket Başlangıç ve Bitiş Konumu

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, yılan robot modelinin tasarımı ve analizine odaklanmıştır. Tasarım süreci SolidWorks tabanında gerçekleştirilmiştir. Tasarımın analizi için ise Ansys 2021 R1 programı kullanılmıştır.

Analizler arasında rijitlik, statik davranış ve doğal frekanslarının belirlenmesi yer almıştır. Rijitlik analizi, robotun yapısal sağlamlığını ve deformasyon miktarını değerlendirmek için yapılmıştır. Statik analizler, robotun üzerine uygulanan kuvvetler altında gerilme dağılımını ve yük taşıma kapasitesini incelerken, doğal frekans analizi ise robotun titreşim özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Bu analizler sayesinde, tasarlanan yılan robotunun deformasyon durumu, gerilme miktarı ve hareket kabiliyeti hakkında bilgi elde edilmiştir. Analiz sonuçları, tasarımın güvenilirliği ve performansı hakkında önemli bir geri bildirim sağlamıştır.

Bu çalışma, yılan robot tasarımının temel aşamalarını ve ön analizlerini içermektedir. Daha sonra, bu tasarımın üretimine geçilebilir. Yapılan bu çalışma sayesinde, ilk aşamada tasarımın doğruluğunu ve kullanılabilirliğini değerlendirmek için yapılan analizlerle önemli bir fikir edinilmiştir.

Her ne kadar yapılan çalışma belirli durumları dikkate alarak yapılmış olsada önemli tasarım ve analiz sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak, robotun daha hızlı hareket edebilmesi için tasarım iyileştirmelerinin yanı sıra optimizasyon analizlerinin de yapılması önerilmektedir. Ayrıca, çeşitli çevresel koşullarda robotun verimliliğini ve dayanıklılığını artırmak için, kullanılan malzemelerin ve yapısal tasarımın detaylı bir değerlendirmesi yapılmalıdır. Buna ek olarak, robotun enerji verimliliği üzerine daha fazla araştırma yapılmalı ve enerji tüketimini azaltacak teknolojik yeniliklerin entegrasyonu değerlendirilmelidir.

REFERANSLAR

Abut, T., Soygüder, S. ve Alli, H. (2013). Bir Yılansı Robotun Dinamik Analizi ve Kontrolü. 16. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, Erzurum.

Abut, T., Soygüder, S. ve Alli, H. (2012). Bir Yılansı Robotun Tasarımı ve Kinematik Analizi. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK2012), Niğde.

Baysal, Y. A. ve Altas, I. H. (2022). A fast non-dominated sorting multi-objective symbiotic organism search algorithm for energy efficient locomotion of snake robot. *Computer Science and Information Systems*, 19(1), 353-378.

Buğday, M. (2018). Endüstriyel robot kollarının tasarımından kaynaklanan ölü yüklerin sonlu elemanlar yöntemi ile optimize edilmesi ve işletme maliyetlerine etkisinin incelenmesi. Doktora Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi.

Chirikjian, G. S. ve Burdick, J. W. (1994). A modal approach to hyper-redundant manipulator kinematics. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 10(3), 343-354.

Günal, A. ve Kacar, İ. (2016). Mekatronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Niğde Üniversitesi, Bitirme Tezi.

Günyar, A., Öztürk, H. ve Sabuncu, M. (2012). Kompozit Eğri Çubuklarin Doğal Frekans ve Burkulma Yükü Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 14(3), 33-42.

Hirose, S. ve Mori, M. (2004). Biologically inspired snake-like robots. In 2004 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, ss. 1-7.

Kurtulmuş, E. (2010). Locomotion and control of a modular snake like robot Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

Sapietová, A., Novák, P., Sága, M., Šulka, P. ve Sapieta, M. (2019). Dynamic and stress analysis of a locking mechanism in the Ansys Workbench software environment. *Advances in Science and Technology*. Research Journal, 13(1), 23-28.

Shan, Y. ve Koren, Y. (1993). Design and motion planning of a mechanical snake. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(4), 1091-1100.

Shmakov, O. (2006). Snakelike robots locomotions control. Mechatronics–Foundations and Applications.

Bölüm 27

Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması Üzerine Sistematik Bir Derleme

Hatice ÖZDEMİR[1]

[1] Öğr. Gör.; Kayseri Üniversitesi Mustafa Çıkrıkçıoğlu Meslek Yüksekokulu Mülkiyeti Koruma ve Güvenlik Bölümü. haticeozdemir@kayseri.edu.tr ORCID No: 0000-0003-4449-2433

ÖZET

İşyerlerinde, iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması bakımından risk değerlendirmesi önemli bir yere sahiptir. Risk değerlendirmesi risklerin önem ve öncelik sırasını belirlemek üzere yürütülen iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerini yönlendirir. İşyerlerinde planlanan önlemlerin bir kısmı ergonominin çalışma alanına girmektedir. Yapılacak ergonomik iyileştirmeler çalışanların kas iskelet sistemi hastalıklarından korunması bağlamında oldukça kıymetlidir. Doğru ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinin seçilmesi ve kullanılması kaynak ve maliyet yönetimini destekleyen kritik bir adımdır. Çok sayıda ergonomik risk değerlendirme yöntemi mevcut olup literatürde farklı ergonomik risk değerlendirme yöntemlerini kullanan pek çok araştırma mevcuttur. Çalışma, sistematik bir derleme olup amacı araştırmacılar tarafından kullanılan farklı ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden elde edilen sonuçların kıyaslanarak birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlarının ortaya çıkarılmasını sağlamaktır. Sistematik derleme çalışması hazırlanırken PRISMA bildirimi aşamaları izlenmiştir. Dâhil etme kriterleri belirlenmiş ve anahtar kelimeler kullanılarak ULAKBİM, Google Akademik, Ulusal Tez Merkezi ve EBSCO dizinlerinin/veri tabanlarının üzerinden Ulakbim TR Dizin, DergiPark, Google Akademik arama motoru ve Ulusal Tez Merkezi veritabanı üzerinden tarama gerçekleştirilmiştir. Kabul kriterlerini karşılamayan çalışmalar kapsam dışı bırakılmış ve kriterleri karşılayan 10 çalışma değerlendirme kapsamına alınmıştır. İncelenen çalışmaların 6 tanesi araştırma makalesi, 4 tanesi yüksek lisans tezidir. Birbiri ile en fazla kıyaslanan yöntemler REBA ve OWAS olmuştur. En fazla uygulamanın yapıldığı sektör 4 makale ile inşaat sektörüdür. REBA tüm çalışmalarda yer alan yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. İş adımlarına uygun ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinin seçimi kritik öneme sahiptir.

Anahtar kelimeler: Ergonomi, Ergonomik risk değerlendirmesi, İş sağlığı ve güvenliği, Kas iskelet sistemi rahatsızlıkları

GİRİŞ

Ergonomi-"işbilimi" kelimesi, Yunanca ergon (iş) ve nomos (yasalar) kelimelerinden türetilmiştir. Birçok ülkede "insan faktörleri" terimi de kullanılmaktadır Uluslararası Ergonomi Kurumu (IEA) ergonomiyi şu şekilde tanımlamaktadır: Ergonomi (veya insan faktörleri), bir sistemin diğer elemanları ile insanlar arasındaki etkileşimini anlamaya çalışan, genel sistem performansını ve insanın refahını optimum kılacak teori, prensip, bilgi ve yöntemleri uygulayan bilimsel bir disiplindir. Bir başka tanıma göre ergonomi; insanların anatomik özelliklerini, antropometrik karakteristiklerini, fizyolojik kapasite ve toleranslarını göz önünde tutarak, endüstriyel iş ortamındaki tüm faktörlerin etkisi ile oluşabilecek, organik ve psikososyal stresler karşısında sistem verimliliği ve insan makine ve çevre uyumunun temel yasalarını ortaya koymaya çalışan çok disiplinli bir araştırma geliştirme alanıdır (Erkan, 2005). İşbilimin bir alt disiplini olarak ergonomi; insanların anatomik, fizyolojik, psikolojik, sosyolojik ve teknik bilgilerden yararlanarak, insan işinin yapılabilirlik ve dayanılabilirlik sınırlarının belirlenmesi için yöntemler geliştiren bir bilim dalı olarak da tarif etmek mümkündür (Kaya, 2010).

Çalışma ortamındaki zayıf ergonomik tasarımlar çalışanları zorlamakta olup işyerlerinde kas iskelet sistemi hastalıkları (KİSH) sanıldığından daha yaygındır. Brüksel'deki İstihdam ve Sosyal İşler Genel Müdürlüğü tarafından yaptırılan Avrupa İşgücü Anketi'ne göre; KİSH, Avrupa Birliği'ndeki (AB) işle ilgili tüm hastalıkların %53'üne karşılık gelirken kayıp gün ve kalıcı iş göremezlikler içerisinde, üç günden fazla işe devamsızlıkların %50'sini, iki hafta veya daha uzun süren tüm devamsızlıkların %49'unu ve bildirilen tüm kalıcı iş göremezlik vakalarının yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır (Bevan, 2015). Teknolojik gelişmeler, makineleşme, robotik sistemlere rağmen Avrupa Birliği'ndeki (AB) her beş işçiden yaklaşık üçü, günlük işlerini yaparken, sıklıkla işle ilgili kritik kronik KİSH neden olan yorucu ve hatta ağrılı koşullar bildirmektedir. En fazla bildirilen kas iskelet sistemi rahatsızlık türleri; sırt ağrısı, üst ve alt ekstremite kas ağrıları olmuştur (Lorenzini vd., 2022).

İşyerlerinde öncelik; yaralanmaya, hastalığı veya bir kayıp ve hasara neden olabilecek tehlikelerin tespit edilmesidir. Ergonomik çalışma kriterlerini karşılayan işyerleri, işle ilgili kas iskelet sistemi ile ilgili rahatsızlıkların azaldığı hatta önlendiği, işe olan devamsızlıkların azaldığı buna karşılık çalışan refahının, verimliliğin ve kalitenin arttığı iş yerleri olarak karşımıza çıkar. Kaza ve yaralanmalardaki azalma dolayısıyla çalışanlara ödenecek tazminat miktarlarının azalmasını, üretkenliğin ve güven seviyesinin artmasını (Ishwarya ve Rajkumar, 2021) sağlarken çalışana işin özelliğine uygun serbestlik vererek, yeteneğini geliştirme, yeni yetenekler edinme ve diğer çalışanlarla karşılıklı

geliştirilecek iş bölümü ve iletişim sayesinde kişiliğini geliştirme olanağı sunacaktır (Babalık, 2007).

Risk Değerlendirmesi

İşyerlerinde gerek ergonomik gerek diğer risklerin belirlenmesinde kullanılacak yöntemler belirleyici olmaktadır. Yapılan risk değerlendirmesi ile tehlike ve riskler belirlenirken mevcut önlemlerin yeterliliği de göz önüne bulundurularak alınacak önlemlerle risk seviyesi kayıp veya yaralanma oluşturmayacak seviyeye çekilmeye çalışılır. Ergonomik risk değerlendirmesi, işyerlerinde yürütülen bu çalışmaların önemli bir parçasıdır. 30 Haziran 2012 tarihli ve 28339 sayılı Resmî Gazete 'de yayınlanarak yürürlüğe giren 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun işverenin genel yükümlülüklerini belirleyen 4. Maddesinde işverenin, risk değerlendirmesi yapmak veya yaptırmakla yükümlü olduğu ifade edilmektedir. Kanunun tanımlar maddesinde "risk değerlendirmesi"; tehlikelerin (işyerinde var olabilir veya dışarıdan gelebilir) belirlenmesi bu tehlikelerin bir kayıp ve zarara dönüşmesine neden olan etmenler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve önlemlerin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmalar olarak tanımlanmıştır. Kanunun 5. maddesi işverenlerin sorumluluklarını yerine getirebilmesi için dikkate almaları gereken ilkeleri sıralamış ve (ç) fıkrasında "İşin kişilere uygun hale getirilmesi için işyerlerinin tasarımı ile iş ekipmanı, çalışma şekli ve üretim metotlarının seçiminde özen göstermek, özellikle tekdüze çalışma ve üretim temposunun sağlık ve güvenliğe olumsuz etkilerini önlemek, önlenemiyor ise en aza indirmek" olarak belirtilen yer alan ifadeyle ergonomik çalışma şartlarının sağlanmasına gönderme yapılmıştır.

Tehlikelerin belirlenmesinde sistematik bir yaklaşıma ihtiyaç vardır ve bir tehlike sınıflaması kullanmak önemlidir. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun yürürlüğe girmesinin ardından 29.12.2012 tarih ve 28512 sayı ile yayınlanan "İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Yönetmeliği" işveren tarafından yürütülecek çalışmalar için çerçeve oluşturmaktadır. Yönetmeliğin 7. maddesi 3. fıkrasında gerek işyerinden elde edilen bilgiler gerekse iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili mevzuatta yer alan hükümler gözetilerek, çalışma ortamında bulunan fiziksel, kimyasal, biyolojik, psikososyal, ergonomik ve benzeri tehlike kaynaklarından oluşan veya bunların etkileşimi sonucu oluşabilecek tehlikelerin belirlenmesi açık olarak yer almaktadır. Aynı yönetmeliğin 4. fıkrasında ise işyerinde yukarıda sıralanan tehlike kaynaklarının gerekli kontrol, ölçüm, inceleme ve araştırmalar yapılarak sonuçlarının yapılacak risk değerlendirmelerinde kullanılması gerekliliği ifade edilmektedir.

Buradan hareketle işyerlerinde ergonomik tehlikelerin belirlenmesi, risk faktörlerinin ortaya konması ve uygun ergonomik çözümlerin geliştirilmesi ve hayata geçirilmesi uygun risk değerlendirme yöntemlerinin kullanılması ile mümkün olacaktır. Ergonomik risk değerlendirmesi sürecinin yönetilmesi ise bir uzmanlık alanı olarak İSG profesyonellerinden işyeri hekimi ve iş güvenliği uzmanlarını işaret etmektedir.

Kas İskelet Sistemi Hastalıkları (KİSH)

KİSH, Uluslararası İş Sağlığı ve Güvenliği Komisyonu tanımına göre; kas iskelet sisteminde oluşan ve işten kaynaklanan rahatsızlıklar veya hastalıklardır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) verilerine göre, dünyada yaklaşık 1.71 milyar insanın kas-iskelet sistemi sorunlarının olduğu tahmin edilmekte olup bu rahatsızlıklar işten erken emekliliğe, daha düşük refah seviyelerine ve topluma katılma yeteneğinin azalmasına yol açmaktadır (WHO, 2022). Pek çok araştırma dünyada KİSH'larının oldukça yaygın ve dünya çapında önemli bir sağlık sorunu olduğu konusunda hemfikirdir. Ülkemizde, Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından yayınlanan yıllık "İş Kazası ve Meslek Hastalığı İstatistikleri" tabloları üzerinden ulaştığımız "kas iskelet sistemi ve bağ dokusu hastalıkları"na ilişkin rakamlar ise bu durumu doğrular nitelikte değildir. Türkiye'de meslek hastalıklarının sayısı beklentilerin çok altında olagelmiştir (Bilir, 2016). Tablo 1'de 2013-2021 yılları arasında 5510 sayılı kanunun 4-1/a ve b maddesi kapsamında çalışan ve kas iskelet sistemi ve bağ dokusu hastalıklarına tutulanların sigortalıların sayıları yer almaktadır.

Tablo 1: KİSH ve Bağ Dokusu Hastalıklarına Tutulan Sigortalı Sayısı

Yıl	KİSH ve Bağ Dokusu Hastalıklarına Tutulan Sigortalı Sayısı			Meslek Hastalığına Tutulan Toplam Sigortalı Sayısı	Meslek Hastalıkları İçerisindeki Oranı (%)
	Erkek	Kadın	Toplam		
2013	7	1	8	351	2,28
2014	17	6	23	494	4,66
2015	16	7	23	510	4,51
2016	20	1	21	597	3,52
2017	43	4	47	691	6,80
2018	39	10	49	1.044	4,69
2019	57	15	72	1.088	6,62
2020	36	18	54	908	5,95
2021	93	53	146	1.207	12,10

Kaynak: SGK tarafından yayınlanan yıllık iş kazası ve meslek hastalığı istatistikleri tablolarından yazar tarafından derlenmiştir.

Tablo 1'de yer alan verilere göre, 2021 yılında 1.207 meslek hastalığı vakası kayıtlara girmiş olup %12,10'u kas iskelet sistemi ve bağ dokusu hastalıklarına

aittir. Ülkemizde KİSH'nın payı, meslek hastalıkarının işle ilişkilendirilmesinde yaşanan güçlüklere ve eksik bildirimlere rağmen giderek artmaktadır.

Kökenleri belirli tehlikeli maddelere maruz kalmaktan kaynaklanan birçok meslek hastalığının aksine, çoğu KİSH çok faktörlü olarak nitelendirilir (David, 2005). Karmaşık bir etiyolojiye sahip olup yaş, cinsiyet, vücut kitle indeksi, sosyoekonomik ve eğitim düzeyi, sağlık alışkanlıkları veya işte geçirilen süre gibi bireysel faktörler önem taşımaktadır (Mateos-González vd., 2023). Çalışma hayatından kaynaklı faktörler arasında; tendon, kas, sinir ve diğer yumuşak dokularda hasara sebep olan bükme, gerginleştirme, kavrama, tutma, döndürme, sıkıştırma ve uzanma gibi tekrarlayıcı fiziksel hareketler sayılabilir.

İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü (İSGGM) tarafından hazırlanan Meslek Hastalıkları Rehberi'nde işle ilgili hastalıklar tanımı altında KİSH'nın çalışanlar arasında meslek hastalıklarından daha sık görülen hastalıklar arasında olduğu belirtilmekte olup farklı bir boyuttan bakılıp hastalıkların maliyeti incelendiğinde %40 ile KİSH en çok harcama yapılan hastalık grubu olarak karşımıza çıkmaktadır (İSGGM, 2011). KİSH genel olarak üst ekstremite hastalıkları (boyun, omuz, dirsek, el ve el bileği) ve bel hastalıkları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Üst ekstremite hastalıklarına; karpal tünel sendromu, lateral epikondilit (tenisçi dirseği), boyun gerilmesi sendromu, pronator teres sendromu, radiyal tunel sendromu, omuz tendiniti, tetikçi parmağı, guyon tüneli sendromu, beyaz parmak sendromu, omuz tendiniti, dirsek tendinitis, dequervain tenosinovit sendromu sayılabilir (ÇAGGEM, 2013).

Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri

Bir meslek hastalığının, bir iş kazasının ortaya çıkmasını beklemeden proaktif bir yaklaşımla doğru yöntemlerle yapılacak risk değerlendirmeleri, gerek işverenlere gerek iş sağlığı ve güvenliği profesyonellerine ve gerekse çalışanlara yol gösterici olacaktır. Ergonomik risk değerlendirmesi süreci içerisinde birçok faktörün eş zamanlı olarak değerlendirilmesi gerekir. Bunlardan bazıları; çalışma sahasındaki işçi sayısı, ilgili eklem sayısı, hareket miktarı ve kalitesi, vücut pozisyonlarını değiştirebilme yeteneği, psikolojik stres, zaman baskısı, çalışma saatleri, günün saati, çevresel faktörler (ışık, sıcaklık, gürültü, titreşimler) ve psikososyal çalışma ortamı (Andreas ve Johanssons, 2018) olarak sayılabilir. İSG profesyonelleri tarafından işyerlerinde uygulanan standart risk analizlerinde yer alan metodlar, ergonomik riskleri belirlemek için özel olarak tasarlanmamıştır. Ergonomik risklere etki eden bu kadar çok değişkenin olduğu işyerlerinde risk değerlendirmesi yaparken hangi yöntemin kullanılması gerektiği iş sağlığı ve güvenliği profesyonellerinin cevap aradığı soruların arasındadır.

Literatürde çalışanların maruz kaldıkları ergonomik riskleri değerlendirme teknikleri 3 başlık altında kategorize edilmiştir:

(i) öznel değerlendirmeler,
(ii)sistematik gözlemler ve
(iii) doğrudan ölçüm yöntemleri (Burdorf ve van der Beek, 1999; David, 2005; Enez ve Nalbantoğlu, 2019).

Öznel yöntemler; çalışanların iş yerlerinde maruz kaldıkları riskleri kendilerinin değerlendirdiği bu kategori, işçi günlükleri, anketler ve kontrol listelerinden oluşmaktadır. Standardize Edilmiş İskandinav Kas-İskelet Sistemi Anketi (Nordic Musculoskeletal Questionnaire), Alman Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlık Anketi (Dutch Musculoskeletal Discomfort Questionnaire), Cornell Kas İskelet Sistemi Rahatsızlığı Taraması (Cornell Musculoskeletal Discomfort Survey) örnek olarak verilebilir. Sistematik gözlemler; işyeri risk maruziyetlerini bir gözlemci tarafından sistematik olarak kaydetmek ve nicel değerlendirmeler yapmak amacıyla gözlemsel teknikler oluşturulmuştur. NIOSH- Amerika Ulusal İş Güvenliği ve Sağlığı Enstitüsü Yük Kaldırma Endeksi, Snook Tabloları, Hızlı Üst Uzuv Değerlendirmesi, Mesleki Tekrarlamalı Hareketler İndeksi, Hızlı Maruziyet Değerlendirme Yöntemi, Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi ve Ovako Çalışma Duruşların Analiz Sistemi gibi. Direkt ölçüm yöntemleri; giyilebilir teknoloji, akıllı sensörler, yazılım alanındaki hızlı gelişmeler, çalışma esnasında duruş, hareket ve maruz kalınan yüklerin farklı teknik yöntemlerin kullanılabilmesine olanak sağlamıştır. Bu kategoride çalışan postürü, kas aktiviteleri, vücut hareketleri ve harcadığı efor hakkında detaylı bilgiler veren ivmeölçer, akıllı giysiler, açıölçer ve elektromiyografi gibi çeşitli teknik araçlar kullanılarak ergonomik analizler yapılmaktadır (Mert, 2014).

Ergonomik risklerin yönetilmesi; yöntem ne olursa olsun tehlikelerin tespit edilmesi, bunun için gerekli verilerin toplanması adımlarını içerir. Ardından tehlikenin neden olacağı riskin analiz edilmesi, derecelendirilmesi ve değerlendirme sonrası alınacak önlemlerin hayata geçirilmesi aşamaları takip edilir. Ergonomik riskleri tespit etmek ve değerlendirmek üzere literatürde çok sayıda yöntem yer almaktadır. Her bir yöntem farklı parametreleri esas alarak kişinin o işi yaparken maruz kaldığı zorlanmaları tespit etmek için tasarlanmıştır. Ergonomik risk analizleri gerçekleştirilirken veri toplama aşamasında; çalışanların kendi yaptıkları değerlendirmeler, önceki risk değerlendirme raporlarının sonuçları, uzmanların görüşleri, çalışanların kas iskelet sistemi ile ilgili şikâyetleri ve yasal gereksinimler tespit edilmeli,

etkilenen vücut seviyelerini belirlemek üzere öznel yöntemlere öncelik verilmeli, ortaya çıkan sonuçlara ve mevcut önlemlere göre sistematik gözlemler veya direkt ölçüm yöntemlerinden faydalanılmalıdır (DHOS, 2017).

Ergonomik risk değerlendirme çalışmaları yürütülürken işle ilgili KİSH'na katkıda bulunan faktörler dikkate alınmalıdır. Bunlar birbirinden bağımsız olabileceği gibi birden fazla faktörün kombinasyonu şeklinde de olabilir. Çalışma duruşları, tekrarlayan hareketler, süre, aşırı efor gereksinimi gibi fiziksel faktörlerin yanında yetersiz yönetim desteği, iş arkadaşlarından destek görmeme, yaptığı iş üzerinde tanımlanmamış kontrol sorumluluğu gibi psikososyal faktörler, uzun çalışma saatleri, mola imkanları, çalışma temposu, işin hızı ve görevlerin çeşitliliği açısından işin organize edilme şekli gibi organizasyonel faktörler ile yaş, cinsiyet, boy, sağlık durumu, fiziksel kapasite, eğitim durumu gibi bireysel faktörler risk değerlendirmesi sırasında göz önünde bulundurulmalıdır (OSHA, 2020).

Ergonomik risk değerlendirmesi sırasında kullanılan yöntemler içerisinde, bu derleme içerisinde geçen yöntemlerin genel özelliklerine ilişkin bilgiler Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2: Çalışmalarda geçen yöntemlerin genel özellikleri

Yöntem	Yöntemin Tam İsmi	Duruş	Yük/ Güç	Frekans	Süre	Titreşim	Değerlendirilen Vücut Bölgesi
REBA	Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi (Rapid Entire Body Assessment)	X	X	X	-	-	Boyun/omuz El/bilek/kol Sırt/gövde/kalça Bacak/ diz/ayak bileği
RULA	Hızlı Üst Uzuv Değerlendirmesi (Rapid Upper Limb Assesment)	X	X	X	-	-	Boyun/omuz El/bilek/kol Sırt/gövde/kalça
OWAS	Ovako Çalışma Duruşları Analiz Sistemi (Ovako Working Posture Analyzing System)	X	X	-	-	-	Boyun/omuz Sırt/gövde/kalça Bacak/diz/ayak bileği
OCRA	Mesleki Tekrarlamalı Hareketler Kontrol Listesi (Occupational Repetitive Actions Checklist)	X	X	X	X	X	Boyun/omuz, El/bilek/kol
QEC	Hızlı Maruziyet Değerlendirme Yöntemi (Quick Exposure Check)	X	X	X	X	X	Boyun/omuz El/bilek/kol Sırt/gövde/kalça Bacak/ diz/ayak bileği
ManTRA	Elle Yapılan Görevler için Risk Değerlendirme Aracı (Manual Tasks Risk Assessment Tool)	X	X	X	X	X	Boyun/omuz El/bilek/kol Sırt/gövde/kalça Bacak/diz/ayak bileği
PLIBEL	Ergonomik Tehlikelerin Tanımlanmasına Yönelik Kontrol Listesi (Plan för Identifiering av belastningsfaktorer)	X	X	X	-	-	Boyun/omuz El/bilek/kol Sırt/gövde/kalça Bacak/ diz/ayak bileği
SNOOK Tabloları	Snook Tabloları (Snook Tables)	X	X	X	X	-	Boyun/omuz, Sırt/gövde/ kalça Bacak/diz/ayak bileği
İşletme İçi ERD (JT-SJT)*	İşletme İçi Ergonomik Risk Değerlendirme	X	X	X	X	X	Üst gövde/ üst gövde pozisyonu/ alt gövde/ alt gövde pozisyonu

Kaynak: (David 2005; Snook, 2005; Pereira, 2012; Alıcı vd., 2017; Joshi ve Deshpande, 2019)

Bu çalışma ile amaçlanan farklı sektörlerde ergonomik risk değerlendirme tekniklerini uygulayan makaleleri inceleyerek sonuçların kıyaslanması ve okuyuculara sistematik bir bakış açısı sunulmasıdır. Elde edilecek bulgularla yapılan işe en uygun risk değerlendirme yönteminin hangisi/hangileri olduğuna dair bir sonuç çıkarılması hedeflenmiştir. Farklı sektörlerde, farklı ergonomik risk değerlendirme yöntemleri kullanarak yapılmış pek çok saha çalışması mevcuttur. Ancak yöntemlerin karşılaştırılmasına ilişkin çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı ve araştırmacılara, işyeri hekimlerine, iş güvenliği uzmanlarına ve konuya ilgi duyan diğer kişilere fikir vereceği düşünülmektedir.

Yapılan sistematik derleme çalışması ile aşağıdaki araştırma sorularına cevap aranmıştır:

1. Ergonomik risk değerlendirme üzerine yapılan çalışmaların genel özellikleri nelerdir?
2. Ergonomik risk değerlendirme üzerine yapılan çalışmaların hangi sektörlerde gerçekleştirilmiştir?
3. Ergonomik risk değerlendirme üzerine yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemler hangileridir?
4. Yöntemler kıyaslandığı zaman öne çıkan bir yöntem var mıdır?

YÖNTEM

Veri Toplama

Sistematik derleme, çalışılmak istenen konuda cevap aranan araştırma soruları için, belirlenmiş ölçütlere uygun olarak aynı konuda yapılmış çalışmaların sistemli ve yan tutmadan taranması, bulunan araştırmaların geçerliğinin değerlendirilmesi ve sentezlenerek birleştirilmesidir (Çınar, 2021). Sistematik derleme çalışması hazırlanırken PRISMA bildirimi aşamaları izlenmiştir. PRISMA bildirisinin amacı, yazarların sistematik incelemelerin ve meta-analizlerin raporlanmasını iyileştirmelerine yardımcı olmaktır. Bu metot ayrıca yayınlanmış sistematik incelemelerin eleştirel değerlendirmesi için de kullanılmaktadır (Moher vd., 2009).

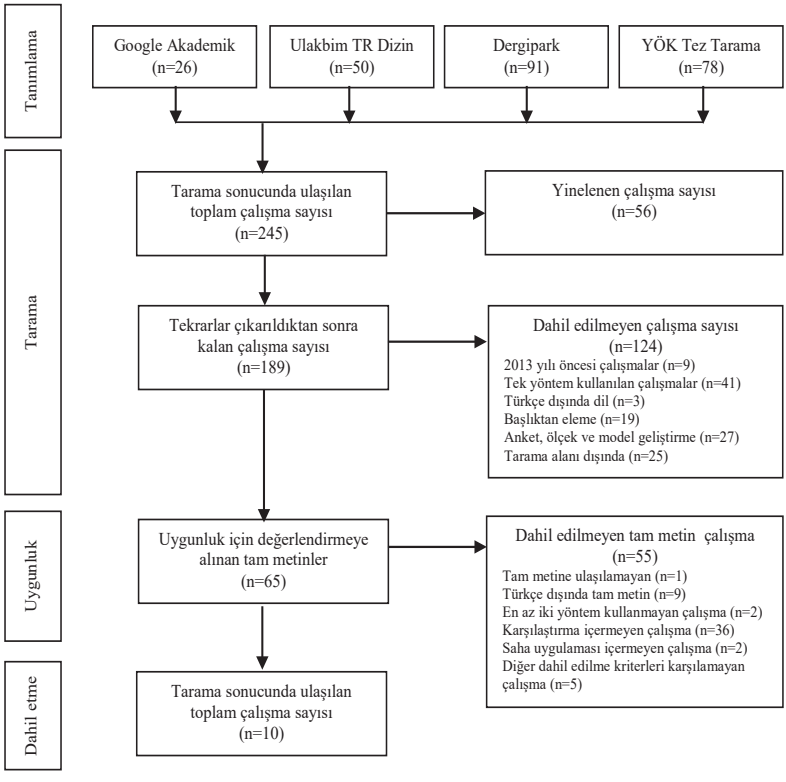
Çalışmanın kapsamında 27.04-08.05.2023 tarihleri arasında Kayseri Üniversitesi internet erişim ağı üzerinden, “ergonomi”, “risk”, “analiz”, “değerlendirme”, “değerlendirilmesi”, “araçlar” Türkçe kelimeleri ile “ergonomic”, “risk”, “analysis”, “assessment”, “tools” İngilizce kelimeleri kullanılarak ULAKBİM, Google Akademik, Ulusal Tez Merkezi ve EBSCO dizinlerinin/veri tabanlarının üzerinden Ulakbim TR Dizin, DergiPark, Google Akademik arama motoru ve Ulusal Tez Merkezi veritabanı kullanılarak tarama gerçekleştirilmiştir. “AND” ve “OR” boolean işleçleri kullanılarak anahtar kelimelerin çeşitli kombinasyonları kullanılarak arama sonuçları genişletilmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın güncel verileri sunmasını sağlamak amacıyla 2013 yılı ve sonrasında yayımlanan makaleler derlemeye alınmıştır. Dâhil etme kriterleri Tablo 3' de yer almaktadır.

Tablo 3: Dâhil etme kriterleri

Dâhil Etme Kriterleri	• Herhangi bir sektörde yapılmış saha çalışması içeren araştırma makalesi olması • Ergonomik risk değerlendirme tekniklerinden en az 2 yöntem kullanılmış olması • Yöntemlerin birbiri ile karşılaştırılıyor olması • Yayın dilinin Türkçe olması • Uygulamanın Türkiye sınırları içerisinde yapılmış olması • Tam metin olarak çalışmaya ulaşılabilmesi • 2013 yılı ve sonrası yapılmış bir çalışma olması

PRISMA yöntemi kullanılarak yapılan tarama işleminin 4 aşamasını gösteren akış şeması (tanımlama, tarama, uygunluk ve dâhil etme) Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: PRISMA Bildiriminden Uyarlanan Akış Şeması

Kullanılan veri tabanları ile toplam 245 çalışmaya ulaşılmıştır. İlk aşamada yinelenen 56 çalışma tespit edilmiş ve araştırma sayısı 189'a düşürülmüştür. Özet, başlık, anahtar kelimeler, Türkçe dışında dil kullanılması, çalışmada sadece tek risk değerlendirme yöntemi kullanılması ve ölçek geliştirme veya anket çalışması olması nedeniyle 124 çalışma daha taramadan çıkartılmıştır. Yapılan eleme sonucunda tam metin üzerinden değerlendirme yapmak üzere 65 çalışma kalmıştır. Araştırmanın bu aşamasında tam metinler üzerinden çalışmaya devam edilmiştir. Tam metne ulaşılamayan, en az iki ergonomik risk değerlendirme yöntemi kullanmayan, ikiden fazla ergonomik risk değerlendirme yöntemi kullandığı halde herhangi bir karşılaştırma içermeyen, saha araştırması içermeyen ve diğer dâhil edilme kriterlerini karşılamayan toplam 55 çalışma derlemeye dâhil edilmemiştir. Tarama sonucunda çalışmanın amacına uygun bulunan ve dâhil edilme kriterlerini tam olarak karşılayan toplam 10 çalışma üzerinden araştırma yürütülmüştür.

Elde edilen verilerin ayrıntılı olarak kayıt altına alınması ve araştırmacının sonuçlara nasıl ulaştığını açıklaması nitel bir araştırmada geçerliğin önemli ölçütleri (Yıldırım ve Şimşek, 2013) arasında sayıldığından çalışma içerisinde tüm ayrıntıların verilmesine özen gösterilmiştir. Teyit edilebilirlik (dış güvenirliği) sağlayabilmek için elde edilen tam metinler ve hazırlanan tablolar başka araştırmacıların incelemesine imkân verecek biçimde kayıt altına alınmış ve bilgisayar ortamında arşivlenmiştir. Çalışmanın güvenirliğini arttırmak için "uygunluk açısından değerlendirilen tam metinler" aynı araştırmacı tarafından farklı zamanda ikinci kez gözden geçirilmiş ve dâhil etme kriterlerine göre birbiriyle uyumsuz bulunan sonuçlar yeniden değerlendirmeye alınmıştır.

Araştırmanın Sınırlılıkları

Yürütülen bu araştırma bazı sınırlılıklara sahiptir. Araştırma sadece veri toplama bölümünde verilen anahtar kelimeler kullanılarak yapılmıştır. Türkiye'de yapılmış olması ve Türkçe dilinde yazılmış olması araştırmanın diğer sınırlılığıdır. Saha çalışması içermeyen ve çalışmanın sonucunda bir karşılaştırma verisi sunmayan çalışmalar da araştırma kapsamı dışında bırakılmıştır.

BULGULAR

Araştırmaya dâhil edilen toplam 10 çalışmanın 6 tanesi araştırma makalesi, 4 tanesi yüksek lisans tezidir. 4 çalışma inşaat sektöründe yürütülürken araştırmacılar tarafından 2 çalışma mobilya sektöründe, 1'er çalışma tersane, temizlik, tekstil ve otomotiv sektörlerinde kendisine uygulama alanı bulmuştur.

Sistematik derleme kapsamında tam metin olarak incelenen bu çalışmaların genel özellikleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4: Araştırmaların Genel Özellikleri

No	Yazar, yıl	Çalışma başlığı	Çalışma türü	Uygulamanın yapıldığı sektör	Yöntem sayısı
1	Alıcı, Ulusu ve Gündüz, 2017	Mobilya Sektöründe Pnömatik Zımbalama Ve Vidalama İşlerinin Ergonomik Risk Değerlendirmesi	Makale	Mobilya	5
2	Çiçek, Kazanç ve Kahya, 2018	Bir Mobilya İşletmesinin Montaj Hattında Ergonomik Risk Analizi	Makale	Mobilya	3
3	Tol, 2019	Ergonomik Risk Değerlendirme Analizlerinin Yapılması Ve Tersane Sektörüne Uygulanması	Yüksek Lisans Tezi	Tersane (Gemi İnşa)	5
4	Yürek ve Kaya, 2019	Yol İnşaatı Şantiyelerinde Ergonomik Risk Değerlendirmesi	Makale	Yol İnşaatı	3
5	Çanakçı, 2020	Havalimanı Yer Hizmetleri Binalarında Temizlik İşlerinin Ergonomik Risk Analiz Yöntemleri İle İncelenmesi	Yüksek Lisans Tezi	Havalimanı Yer Hizmetleri (Temizlik)	3
6	Zengin ve Asal, 2020	Bina İnşaatındaki Çalışan Duruşlarının Farklı Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri İle Değerlendirilmesi	Makale	Konut İnşaatı	3
7	Zorlutuna, 2021	İnşaat Sektöründeki Ergonomik Risklerin Değerlendirilmesi Ve Bir Uygulama	Yüksek Lisans Tezi	Site İnşaatı	3
8	Gök, 2021	REBA-RULA, OWAS Ve Niosh Risk Değerlendirme Yöntemlerinin İnşaat Sektörüne Uygulanması ve İncelenmesi	Yüksek Lisans Tezi	İnşaat	3
9	Demirkol ve Akyol, 2022	Bir tekstil İşletmesinde Ergonomik Risk Değerlendirme Uygulaması	Makale	Tekstil	2
10	Terzi ve Cengiz, 2023	Otomotiv Sektöründe Kullanılan İşletme İçi Ergonomik Risk Değerlendirme Metodunun REBA Yöntemi ile Karşılaştırılması	Makale	Otomotiv	2

İnşaat sektörü emek yoğun sektörlerin başında gelmesinin yanı sıra çok tehlikeli ve ölümlü iş kazalarının en fazla yaşandığı sektördür. Şantiyeler, uzun süreli bedensel çalışmaların, aşırı güç isteyen işlerin, dengesiz vücut pozisyonunda çalışmaların, değiştirilemeyen iş temposunun, elle taşıma

işlerinin ve olumsuz hava koşullarının çalışanları etkilediği işyerleridir. Sektörde bu nedenlerle ergonomik tehlikelerin çalışanlara zarar verme potansiyeli oldukça yüksektir. Bu açılardan araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Ayrıca 2 çalışmada 5 ayrı yöntem kullanarak karşılaştırma yapılırken 6 çalışma 3 ayrı yöntem ve 2 çalışmada da 2 ayrı ergonomik risk değerlendirme yöntemi kullanmıştır. İncelenen 10 çalışma içerisinde toplam 9 ayrı ergonomik risk değerlendirme yöntemi kullanılmıştır (Tablo 5).

Tablo 5: Çalışmalara Göre Kullanılan Risk Değerlendirme Yöntemleri

Çalışma No	REBA	RULA	OWAS	OCRA	QEC	ManTRA	PLIBEL	SNOOK Tabloları	İşletme İçi ERD[1]
1	X		X	X	X	X			
2	X		X		X				
3	X		X		X	X	X		
4	X		X			X			
5	X	X						X	
6	X		X		X				
7	X	X			X				
8	X	X	X						
9	X			X					
10	X								X
Toplam	10	3	6	2	5	3	1	1	1

REBA yöntemi tüm araştırmacılar tarafından tercih edilen yöntem olmuştur. Bunu OWAS 6 çalışma ve QEC yöntemi 5 çalışma ile izlemektedir. Çalışma duruşlarını değerlendirmek üzere Hignett ve McAtamney (2000) tarafından geliştirilen REBA yöntemi gövde, boyun, bacaklar, üst kollar, alt kollar, bilekler için duruş skorlaması yapılmakta, ayrıca kaldırılacak yükün ağırlığı, kolay/zor kavranıyor olması, hareketin frekansı, hareket sırasında vücudun sabit durması veya hareket ettiğinde aynı zamanda dönme, bükülme olup olmadığı dikkate alınarak bir çalışma duruşu esnasında çalışanın bütün vücudunun değerlendirilmesini sağlamaktadır (Atıcı vd., 2015). REBA araştırma makalelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kong vd., 2018; Joshi ve Deshpande, 2020; Tajvar vd., 2022; Saptar vd., 2023). REBA yönteminin tüm vücudun değerlendirilmesine olanak sağlaması, gözleme dayalı yöntemler arasında olması nedeniyle maliyetinin daha düşük olması ve her türlü sektörde kullanılabilir olması araştırmacılara bu yöntemin kullanılmasında avantaj sağlamakta olduğu düşünülmektedir.

[1] İşletme İçi ERD: İşletme İçi Ergonomik Risk Değerlendirme (JT-SJT)

En fazla kullanılan ikinci yöntem OWAS olup çalışanların kas-iskelet sistemindeki yüklenmeyi ve sistemin neden olduğu kötü duruşları belirlemeye yarayan, gözleme dayalı bir çalışma duruşu analiz yöntemidir (Akay vd., 2003). Çalışanın iş yaptığı sırada vücut duruşları video veya fotoğraf ile tespit edilir ve yöntemde yer alan duruş şekilleri ile değerlendirilerek skorlanır.

Kıyaslanan yöntemlerin içerisinde "İşletme İçi ERD" adıyla orijinal araştırma makalesinde geçen yöntem; Japonca Joshi Ten-Shisel Juryo Ten'den gelen ve Toyota tarafından işin fiziksel gereksinimlerinin ve KİSH oluşma riskinin objektif bir değerlendirmesini sağlamak üzere geliştirilen bir yöntemdir. İşletme içi ERD yöntemi, 4 ayrı skorlama içermekte olup üst gövde, üst gövdenin pozisyonu, alt gövde, alt gövdenin pozisyonu biçiminde puanlanır ve 25 puan ve üstü yüksek risk olarak kabul edilmektedir (Pereira, 2012; Terzi ve Cengiz, 2023).

Tablo 6'da karşılaştırma yapılma sıklığına göre yöntemler verilmiştir.

Tablo 6: Çalışmalarda Birbiri İle En Çok Karşılaştırılan Yöntemler

	REBA	RULA	OWAS	OCRA	QEC	ManTRA	PLIBEL	SNOOK Tabloları	İşletme İçi ERD
REBA	-	3	6	2	5	3	1	1	1
RULA	3	-	0	0	1	0	0	1	0
OWAS	6	0	-	1	4	3	1	0	0
OCRA	2	0	1	-	1	1	0	0	0
QEC	5	1	4	1	-	2	1	0	0
ManTRA	3	0	3	1	2	-	1	0	0
PLIBEL	1	0	1	0	1	1	-	0	0
SNOOK Tabloları	1	1	0	0	0	0	0	-	0
İşletme İçi ERD	1	0	0	0	0	0	0	0	-

Tablo 6'ya göre birbiri ile en fazla sonuçları karşılaştırılan yöntemler; REBA ile OWAS (f=6) olmuştur. Bunları sırası ile REBA ile QEC (f=5), OWAS ile QEC (f=4), REBA ile ManTRA (f=3), OWAS ile ManTRA (f=3) ve REBA ile RULA (f=3) izlemiştir.

Tablo 7'ye göre en fazla iş adımının incelendiği çalışma; Zengin ve Asal (2020) tarafından yürütülen ve 39 çalışma duruşunu karşılaştırıldığı çalışmadır. Kalıp malzemelerinin hazırlaması ve taşınması, kalıpların çakılması ve sökülmesi, betonun kalıplara dökülmesi, vibratör aracılığıyla betonun

sıkıştırılması vb. pek çok iş adımı 3 ayrı yöntemle (REBA-OWAS-QEC) karşılaştırılmıştır. İkinci sırada 21 iş adımı ile REBA-RULA-OWAS yöntemlerinin karşılaştırıldığı çalışma yer olmakta olup Gök (2021) tarafından yapılmıştır. Üçüncü sırada ise Çanakçı (2020) tarafından havaalanı yer hizmetlerinde temizlik çalışanlarının yapmış olduğu işleri kapsayan araştırma yer almakta olup 18 iş adımı REBA-RULA-SNOOK Tabloları kullanılarak analiz edilmiştir.

Tablo 7: Çalışmalarda İncelenen İş Adımı Sayısı Ve Örnek Görevler

No	Analiz edilen iş adımı sayısı	Sektör	Çalışmalarda geçen görevlere örnekler
1	2	Mobilya	Pnömatik vidalama işi, pnömatik zımbalama işi.
2	4	Mobilya	Sünger montajı, kumaş giydirme, yan kol montajı, gövde montajı.
3	11	Tersane (Gemi İnşa)	İskele parçalarının taşınması, iskele parçalarının eğilerek yerden alınması, ağırlık ile ters duruş, ağırlıkla yürüme vb.
4	13	Yol inşaatı	İkmal yapılacak boya tenekesinin istif yerinden indirilmesi, indirilen boya tenekesinin dolum yerine getirilmesi, dolum yapılacak tenekenin ağzının spatula ile açılması, vb.
5	18	Havalimanı Yer Hizmetleri (Temizlik)	Tuvalet zeminlerinin temizliği, tuvaletlerde lavabo temizliği, klozet temizliği işi, tuvaletlerde duvar ve tavan temizliği işi, vb.
6	39	İnşaat	Kalıp malzemelerinin hazırlaması ve taşınması, kalıpların çakılması ve sökülmesi, betonun kalıplara dökülmesi, vibratör aracılığıyla betonun sıkıştırılması vb.
7	12	Site inşaatı	Harç hazırlama işlemi, duvar örme işlemi, harç karma işlemi, demir bağlama işlemi, temel bohçalama işlemi, kalıp çakma işlemi vb.
8	21	İnşaat	Temel demirinin bağlama işlemi, demir bağlama işlemi, ölü döşeme yapım işlemi, demir kesim işlemi, kalıp işlemi, korkuluk işlemi, iskele kurulumu vb.
9	3	Tekstil	Tezgâh önünde çalışma duruşu, çalışanın rulo halindeki yükü taşıması, çalışanın yükü hedefe bırakması.
10	4	Otomotiv	Baş üstü aktiviteyi içeren bir montaj işi olup 20° dahil daha fazla eğilmesi, havalı sıkma makineleri kullanımı vb.

Analiz edilen ergonomik risk değerlendirme çalışmalarında toplam 49 anahtar kelime kullanılmıştır. Word Art programı aracılığıyla oluşturulan kelime bulutu Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 2: Araştırmalara Ait Anahtar Kelimelere Ait Kelime Bulutu

Şekil 2'de "REBA", "ergonomi", "ergonomik risk değerlendirme" ve "OWAS" anahtar kelimelerinin öne çıktığı görülmektedir. İncelediğimiz on araştırma tarafından kullanılmış olup diğer yöntemlerle en fazla kıyaslanan metot olmuştur. REBA; boyun, omuz, el, bilek, kol, sırt, gövde, kalça, bacak, diz, ayak bileği gibi tüm vücut bölümlerini değerlendirebiliyor olması araştırmacılar için avantaj oluşturduğu ve tercih edilme sıklığını arttırdığı düşünülmektedir.

Araştırmaya dâhil edilen çalışmaların elde ettikleri sonuçlara ilişkin bilgiler Tablo 8'de yer almaktadır.

Tablo 8: Çalışmalar Sonucunda Elde Edilen Sonuçlar

No	Karşılaştırılan Yöntemler	Öne Çıkan Bulgular
1	REBA-OWAS-OCRA-QEC-ManTRA	Çalışanların kas iskelet sistemine zararlı etkileri olabileceği düşünülen pnömatik zımbalama ve pnömatik vidalama işleri gibi üst vücut bölgelerinin yoğun kullanıldığı ve teknik hareket sıklığının fazla olduğu durumlar için en uygun risk değerlendirme yönteminin OCRA yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır.
2	REBA-OWAS-QEC	İşlemlerin zorluk düzeyleri açısından, REBA, QEC ve OWAS sonuçları büyük ölçüde örtüşmektedir.
3	REBA-RULA-OWAS-QEC-ManTRA-PLIBEL	Yapılan analizlerin ardından sahada uygulanan ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinin her birinden farklı sonuçlar elde edilmiştir. Kullanılan yöntemlerin bir kısmından birbiri ile uyumlu sonuçlar elde edilirken bir kısmıyla ise birbiriyle uyumsuz sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu duruma her bir yöntemin değerlendirme kriterlerinin ve esas aldığı değerlerin farklı olmasının yol açtığı düşünülmektedir. Birden fazla yöntemin bir arada uygulanması en etkili yöntem olarak düşünülmüştür.
4	REBA-RULA OWAS-ManTRA	OWAS veya REBA yöntemi ile elde edilen eylem seviyesi ile birlikte ManTRA yönteminden elde edilen işlem önceliği birlikte kullanılarak vücudun odaklanılması gereken bölümü belirlenmiştir.
5	REBA-RULA-SNOOK	Analize dahil edilen temizlik faaliyetlerinde büyük oranda RULA yönteminin REBA yöntemine göre daha uygun olduğu görülmüştür.

	Tabloları	Her ne kadar temizlik işleri tüm vücut kullanılarak yapılan işler olsa da üst gövde; özelikle de kollar vücudun diğer bölümlerine oranla daha fazla kullanıldığından üst gövde değerlendirme üzerine geliştirilen RULA yöntemi daha doğru risk değerlendirme yapılabilmesine olanak sağlayacaktır.
6	REBA-OWAS-QEC	Bina inşaatında yer alan çalışanların kas iskelet sistemi rahatsızlık risklerini ortaya koymak üzere 3 ayrı yöntemle analizler yürütülmüş Hangi yöntemin farklılık gösterdiğini belirlemek üzere One Way ANOVA analizinin Post Hoc Testi yapılmış ve kullanılan 3 yöntem arasından QEC metodunun diğerlerinden pozitif yönde ayrıştığı, daha sağlıklı sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır.
7	REBA-RULA-QEC	RULA daha fazla üst ekstremiteyi değerlendirirken, bunun yanı sıra REBA ayrıca bacak ve dizleri de değerlendirir, QEC ise, çalışanların görüşlerini dikkate alır.
8	REBA-RULA-OWAS	Eylem düzeyi ile ilgili olarak, REBA ve OWAS yöntemleri, benzer sonuçlar elde edilmiştir. Araştırma sonuçları, işyeri ERD'de tek bir usül kullanmak yerine birden fazla yöntemin birlikte kullanılmasının daha sağlıklı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Araştırmada kullanılan etkenler yorumlandığında, prosedürlerin sonuçlarının kombinasyonunun hem risk düzeyini hem de eylem düzeyini ve vücudun düzeltici eylemin yönlendirilmesi gereken bölümünü belirleyebileceği gösterilmiştir.
9	REBA-OCRA	Çalışanların tüm vücut bölümlerine ait ergonomik açıdan zorlanmalar ortaya çıkarılmak istendiği için farklı ergonomik risk değerlendirme yöntemleri seçilmiştir. Yapılan bu çalışmada kullanılan risk değerlendirme yöntemlerinden REBA ve OCRA ile birbirlerine benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. Çalışanın ergonomik açıdan zorlanması, kullanılan tüm yöntemlerde kabul edilebilir seviyenin üzerinde oluğuna işaret etmektedir.
10	REBA-İşletme İçi ERD (JT-SJT)	"İşletme içi ERD" yöntemi ile işin yapılma süresi ve tekrar sayısı tüm işlem adımlarında göz önünde bulundurulurken REBA yönteminde sadece aktivite faaliyet skoru olarak kısıtlı ve genel bir değerlendirme bulunmaktadır. REBA yöntemi 6 farklı açısal pozisyonun analiz edilmesine olanak tanırken "İşletme içi ERD" yönteminde alt ve üst kol için 90º'yi geçen açılar ile sınırlı bir değerlendirme söz konusudur. Boyun değerlendirmesinde REBA yöntemi öne, arkaya, yanlara esneme ve dönmeyi dikkate alırken "işletme içi ERD" yöntemi sadece boyun ekstansiyon hareketini almaktadır. Karşılaştırılan her iki yöntem alt ekstremite analizinde benzer parametreleri dikkate aldığı görülmüştür. REBA yöntemi otomotiv sektörü gibi bant üretiminin yoğun olarak yapıldığı işlerde özellikle üst ekstremite analizinde bir takım kısıtlılıklara sahiptir. Yöntemde öne çıkan kısıt yapılan hareketin sıklığı ve süresini değerlendirmemesi olmuştur. Kas iskelet sistemi rahatsızlıklarında işin tekrar sayısı ve süresi dikkate alınması gereken önemli risk faktörleri arasında olup yöntemin çözüm önerisi getirme noktasında kısıtlı seçenek sunmasına neden olmaktadır. Ergonomik risk değerlendirme yöntemleri arasından işyerine en uygun metodu seçmek ve kullanmak aynı zamanda işletme içi tecrübeler ile zenginleştirerek "işe özel, taska özel" değerlendirme sistematiği geliştirme İSG profesyonellerine gerçeğe en yakın bilgiyi sağlayacaktır.

SONUÇ

Unutulmamalıdır ki ergonomik risklerin yüksek olduğu işyerleri, KİSH'nın yüksek seyrettiği işyerleridir. Bu çalışma ile ergonomik risk değerlendirme yöntemlerini birbiri ile kıyaslayan çalışmalar esas alınarak sistematik derleme yöntemi ile analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlara uygun olarak öneriler sunulmuştur.

PRISMA yöntemi kullanılarak yapılan tarama işleminin sonunda toplam 10 çalışmaya ulaşılmıştır. İncelenen çalışmaların 6 tanesi araştırma makalesi, 4 tanesi yüksek lisans tezidir. Birbiri ile en fazla kıyaslanan yöntemler REBA ve OWAS olmuştur.

En fazla uygulamanın yapıldığı sektör 4 makale ile inşaat sektörü olmuştur. İnşaat sektörünün çalışmalarda öne çıkması şaşırtıcı değildir. Sektör çalışanları KİSH açısından riskli olan çok sayıda bükme, kavrama, döndürme, uzanma, yük taşıma gibi tekrarlayıcı hareketlere maruz kalmaktadır. Bu nedenle inşaat sektörü ağır dinamik çalışmaların fazla olduğu, çalışanların fiziksel etkenlere (gürültü, titreşim, güneş ışığı vb.) açık biçimde çalıştığı, uzun çalışma süreleri ve elle taşıma kaldırma işlerinin yoğun olduğu bir sektördür. Ölümlü iş kazalarının yoğun olarak yaşanmasının yanı sıra aynı zamanda da çalışanların ergonomik risklere maruz kaldığı sektörlerin başında gelmektedir.

Makalelerde kullanılan yöntemler ve hangilerinin öne çıktığı araştırmanın cevap aradığı diğer sorulardır. Bu sistematik derlemede yer alan 10 çalışma içerisinde toplam 9 ayrı ergonomik risk değerlendirme yöntemi kullanılmıştır (Tablo 4). Sistematik gözlemlere dayanan yöntemler (REBA, RULA, QEC, OWAS gibi) sınırlı zaman ve kaynaklara sahip olan ve öncelikleri belirlemek üzere bir temele ihtiyaç duyan iş sağlığı ve güvenliği uygulayıcılarının ihtiyaçlarına en iyi uyan yöntemler olarak görünmektedir (David, 2005). REBA tüm çalışmalarda yer alan ve araştırmacılar tarafından en fazla tercih edilen metot olmuştur. RULA yöntemine kıyasla REBA, daha kapsamlı bir alt vücut analizi içerir ve bu nedenle nötr bel ve bacak pozisyonunu belirlemek için daha uygun olabilir. REBA' nın kullanımı hızlı ve kolaydır, çok sayıda ve karmaşık görevi yerine getirmek için esnektir ve çok basit, ancak kapsamlı ve güvenilirdir (Raman vd., 2020). Tüm bu avantajların REBA yöntemini, araştırmacılar arasında popüler bir yöntem haline getirdiği söylenebilir.

Araştırmaların sonuçları bir araya getirilerek analiz edildiği zaman genellenebilir çıkarımlar yapılamayacağı kanaatine varılmıştır. Yöntemlerin uygulanması sonucunda her birinde farklı sonuçların çıktığı, her bir yöntemin odaklandığı vücut bölümüne göre farklılık gösterdiği, kullanılan yöntemin sağlıklı sonuçlar vermesi için iş adımlarına uygun yöntemin seçilmesi gerektiği

ifade edilmektedir. Ayrıca araştırma sonuçlarında birden fazla yöntemin bir arada uygulanması ile daha etkin sonuçlar alınacağı belirtilmektedir.

Ergonomik risk değerlendirme yöntemleri arasında farklılıkların olması ve doğru yöntemi belirlemenin zorluğu kullanıcıların yöntemler hakkında güçlü bir bilgiye sahip olmalarını gerektirmektedir (Chiasson vd., 2012). İş sağlığı ve güvenliği profesyonellerinin ergonomik risk değerlendirme yetkinliklerinin arttırılması doğru yöntemin seçilmesinde kilit önemde olduğu düşünülmektedir. Özellikle üniversiteler ve İSGGM tarafından çıkarılacak farklı risk değerlendirme tekniklerinin detaylandırılacağı rehberlere konu hakkında doğru ve ayrıntılı bilgi kullanıcılara sunulmuş olacaktır. Ayrıca işyerlerinde işyeri hekimlerinin periyodik sağlık gözetimlerinde KİSH'na ilişkin gelen şikâyetleri dikkate almaları, tedavi kadar sorunun kaynağına da odaklanmaları önem arz etmektedir. İşyerlerinde İSG profesyonellerinin katılımı ve güçlü desteği ile mekanik, fiziksel, kimyasal, ergonomik, biyolojik, psikososyal vb. tehlikeleri tespit etmek üzere yapılmış risk değerlendirmeleri mevcuttur. İSG profesyonellerinin öncülüğünde ergonomik risk değerlendirme ekibinin kurulması, iş adımlarına uygun ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinin seçilmesi ve saha uygulamaları ile çalışmaların derinleştirilmesi en başta çalışanlara fayda sağlayacaktır. Gelecekte araştırmacıların arama veri tabanı genişletilerek ve farklı dillerde yapılan çalışmaları da dâhil edilerek daha detaylı çalışmalar yapılması mümkündür.

REFERANSLAR

Alıcı, H., Ulusu, H. A., ve Gündüz, T. (2017). Mobilya sektöründe pnömatik zımbalama ve vidalama işlerinin ergonomik risk değerlendirmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32*(4), 211-226.

Andreas, G.-W. J., ve Johanssons, E. (2018). Observational methods for assessing ergonomic risks for work-related musculoskeletal disorders. *A Scoping Review. Revista Ciencias de la Salud, 16*((spe)), 8-38.

Atıcı, H., Gönen, D., ve Oral, A. (2015). Çalışanlarda zorlanmaya neden olan duruşların reba yöntemi ile ergonomik analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 3*((ÖS:Ergonomi2015)), 239-244.

Akay, D., Dağdeviren, M., ve Kurt, M. (2003). Çalışma duruşlarının ergonomik analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(3), 73-84.

Babalık F. C. (2007). *Mühendisler için ergonomi işbilim.* Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

Bevan, S. (2015). Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 29(3), 356-373.

Burdorf, A., ve van der Beek, A. (1999). Exposure assessment strategies for work-related risk factors for musculoskeletal disorders. *Scand J Work Environ Health, 25*(4), 25-30.

Chiasson, M.-È., Imbeau, D., Aubry, K., ve Delisle, A. (2012). Comparing the results of eight methods used to evaluate risk factors associated with musculoskeletal disorders. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(5), s. 478-488.

ÇAGGEM. (2013). *Meslek hastalıkları.* Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara.

Çanakçı, N. (2020). Havaalanı Yer Hizmetleri Binalarında Temizlik İşlerinin Ergonomik Risk Analizi Yöntemleri İle İncelenmesi. Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Çiçek, E., Kazanç, N., ve Kahya, E. (2018). Bir Mobilya İşletmesinin Montaj Hattında Ergonomik Risk Analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6*((ÖS: Ergonomi2017)), 67-82.

Çınar , N. (2021). İyi Bir Sistemetik Derleme Nasıl Yazılmalı? *Online Türk Sağlık Bilimleri Dergisi, 6*(2), 310-314.

David, G. C. (2005, May). Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occup Med (Lond), 55*(3), 190-9.

Demirkol Akyol, Ş. (2022). Bir tekstil işletmesinde ergonomik risk değerlendirme uygulaması. *Ergonomi* , 5 (2), 72-83.

DHOS. (2017). *The guidelines on ergonomics risk assessment at workplace.* The Department of Occupational Safety and Health . Malaysia: Ministry of Human Resources.

Enez, O., ve Nalbantoğlu, S. S. (2019). Comparison of ergonomic risk assessment outputs from OWAS and REBA in forestry timber harvesting. *International Journal of Industrial Ergonomics, 70*, 51-57.

Erkan, N. (2005). Verimlilik, sağlık ve güvenlik için insan faktörü mühendisliği ergonomi. Ankara: Milli Prodüktivite Merkezi.

Gök, Y. (2021). Reba–Rula, Owas ve Niosh ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinin inşaat sektörüne uygulanması ve incelenmesi. İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, İş Sağlığı Ve Güvenliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi,

Hignett, S., ve McAtamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (REBA). *Applied Ergonomics, 31*(2), 201-205.

Ishwarya, A. G., ve Rajkumar, D. (2021). Analysis of ergonomic risk factors in construction industry. *Materials Today: Proceedings*, 37(2), 2415-2418.

İSGGM. (2011). Meslek hastalıkları rehberi. (M. Berk, B. Önal, ve R. Güven, Derleyiciler) Ankara: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü (İSGGM).

Joshi, M., ve Deshpande , V. (2019). A systematic review of comparative studies on ergonomic assessment techniques. *International Journal of Industrial Ergonomics, 74*, 1-14.

Kaya, D. M. (2010). Ergonom, antropometrik verilerin güncellenmesi. Ankara: Detay Yayıncılık.

Kong, Y.-K., Lee, S.-y., Leeb , K.-S., ve Kim, D.-M. (2018). Comparisons of ergonomic evaluation tools (ALLA, RULA, REBA and OWAS) for farm work. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 24*(2), 218-223.

Lorenzini, M., Kim, W., ve Ajoudani , A. (2022). An online multi-index approach to human ergonomics assessment in the workplace. *IEEE Transactions On Human-Machine Systems, 52*(5), 812-823.

Mateos-González, L., Rodríguez-Suárez, J., Llosa, J. A., Agulló-Tomás, E., ve Herrero, J. (2023). Influence of Job Insecurity on Musculoskeletal Disorders: A Mediation Model with Nursing Aides. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 20*(2), 1586-1599.

Mert, E. A. (2014). *Ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması ve bir çanta imalat atölyesinde uygulanması*. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü.

https://www.csgb.gov.tr/medias/1952/elifatasoymert.pdf 04.07.2023 tarihinde alınmıştır.

Moher, D., Liberati , A., Tetzlaff, J., ve Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and. *BMJ, 339*, 1-8.

OSHA. (2020). *Risk Assessment for Musculoskeletal Disorders (MSDs).* https://osha.europa.eu/en/publications/risk-assessment-musculoskeletal-disorders-msds-0 adresinden 01.08.2023 tarihinde alındı.

Pereira, R. V. (2012). *Ergonomia e lmert: o caso prático da toyota caetano portugal*, S.A. Aveiro: Universidade de Aveiro. https://core.ac.uk/download/pdf/15570077.pdf adresinden 07.07.2023 tarihinde alındı.

Raman, V., Ramlogan, S., Sweet, J., ve Sweet, D. (2020). Application of the Rapid Entire Body Assessment (REBA) in assessing chairside ergonomic risk of dental students. *British Dental Journal*, *229*(3), 1-6.

Resmi Gazete. (2012). 6331 İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. *(28339)*. Ankara.

Saptar, A., Ng, P. K., Michelle , J., ve Taslim, A. (2023). A Feasibility Study on the Conversion from Manual to Semi-Automatic Material Handling in an Oil and Gas Service Company. *Safety, 9*(1), s. 1-24.

Snook, S. H. (2005). Psychophysical tables: lifting, lowering, pushing, pulling, and carrying. N. Stanton içinde, *The handbook of human factors and ergonomics methods.* Boca Raton, Florida: CRC Press. http://healthf.kaums.ac.ir/UploadedFiles/jozveh/motalebi/HandbookofHumanFactorsandErgonomicsMethods.pdf adresinden 15.06.2023 tarihinde alındı

Tajvar, A., Daneshmandi, H., Seif, M., Parsaei, H., ve Choobineh, A. (2022). A Mixed-Methods Investigation of Occupational Health Specialists' Knowledge and Application of Pen-and-Paper Observational Methods for Ergonomics Assessment. *IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors, 10*(4), s. 182-191.

Terzi, D. ve Cengiz, G. (2023). Otomotiv sektöründe kullanılan işletme içi ergonomik risk değerlendirme metodunun REBA yöntemi ile karşılaştırılması . International Journal of Engineering Research and Development , 15 (1) , 233-238.

Tol, G. (2019). Ergonomik risk değerlendirme analizlerinin yapılması ve tersane sektörüne uygulanması. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

Yıldırım, A., ve Şimşek, H. (2013). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Yürek, K., ve Kaya, İ. E. (2019). Yol inşaatı şantiyelerinde ergonomik risk değerlendirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(17), 1357-1366.

Zengin, M. A., ve Asal, Ö. (2020). Bina inşaatındaki çalışan duruşlarının farklı ergonomik risk değerlendirme yöntemleri ile. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 35*(3), 1615-1630.

Zorlutuna, A. (2021). İnşaat Sektöründe ergonomik risklerin değerlendirilmesi ve bir uygulama. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.Yüksek Lisans Tezi.

Bölüm 28

Aromatik Bileşiklerden Nirto Aromatik Bileşik Eldesi Mekanizması

Melek GÖKMEN KARAKAYA[1]

[1] Dr. Öğr. Üyesi :Uşak Üniversitesi Banaz Meslek Yüksekokulu Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü. melek.karakaya@usak.edu.tr ORCID No: 0000-0001-7178-6790

ÖZET

Nitro grubu içeren aromatik bileşikler bugünün teknolojisinde geniş bir alana yayılmıştır. İlaç, kozmetik, boya, patlayıcı madde, polimer endüstrileri bu alanlara örnek verilebilir. Elektrofilik aromatik nitrasyon mekanizması ne kadar iyi bilinirse bu alanlarda çalışmalar daha verimli hale gelir. Böylelikle daha temiz bir çevreye katkı sağlanmış olur. Zamana bağlı spektroskopi ile aromatik hidrokarbonların yük transfer nitrasyon mekanizması elektron verici-alıcı (EDA) komplekslerinin *N*-nitropiridinyum katyonu ile planlı fotoaktivasyonuyla incelenir. Elektrofilik aromatik nitrosyon reaksiyonunda aromatik hidrokarbon bileşik (ArH) ile nitro grubu (NO_2^+) arasında önce π–kompleksi oluşur. Aromatik bileşik nitro grubuna bir elektron vererek aromatik aren katyon radikalini ($ArH^{\bullet+}$) ve nitronyum radikalini ($NO_2^{\bullet}$) oluşturur. Bu iki radikal, radikal-radikal bağlanma yoluyla 10 piko saniyeden daha az bir sürede birleşerek Wheland ara ürünü olarak adlandırılan σ-kompleksi nitrobenzenyumu meydana getirir. Wheland ara ürünü izleme dalga boyunda reaksiyon muhteviyatının sürekli uyarılmasıyla elde edilen spektrumlarla izlenir. Nitrobenzenyum katyonundan bir proton ayrılması ile nitro aromatik bileşik elde edilir. Cıva lambası ve keskin bir kesme filtresi ile donatılmış cihazlar kullanılarak düşük sıcaklıkta kasıtlı ışınlama ile fotokimyasal dönüşümler etkili bir şekilde gerçekleştirilir. Bu nedenle yük transfer nitrasyonları olarakta adlandırılırlar. Fotokimyasal dönüşümlerde ürünlerin yüzde dönüşümleri ve orta para oranları üzerinde kullanılan ışığın dalda boyu dolayısıyla kesme filtresi, sıcaklık, reaktiflerin konsantrasyonu, reaktifin kendisi ve reaksiyonun süresi etkilidir.

Anahtar Kelimeler: Elektrofilik Aromatik Nitrolama, Wheland ara ürünü, EDA Kompleksi, Yük Transfer nitrasyonu, Fotoaktivasyon

GİRİŞ

Nitro grubu içeren aromatik bileşikler sentetik organik kimyada ve dolaylı olarak endüstride çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Aromatik halkada nitro grubu içeren bileşiklerin kolay elde edilebilmeleri ve aromatik halkadaki nitro gruplarının kolaylıkla diğer fonksiyonel gruplara dönüştürülebilmeleri bu moleküllerin sentetik organik kimyada önemini arttırmıştır. Endüstride boya, ilaç, patlayıcı madde, polimer, pestisit, zirai ilaç, farmakoloji ve birçok kimyasal ham madde üretim alanlarında nitro aromatik bileşikler kullanılmaktadır.

Doğada ilk defa keşfedilen nitroaromatik bileşik kloramfenikol molekülüdür. 1949 yılında toprak mantar kültüründen *Streptomyces venezuelae* ISP5230 gram pozitif bakterisinin metabolizma ürünü olarak elde edilmiştir. Farmasötik önemi keşfedilmiştir. Kloramfenikol molekülündeki nitro grubu araştırmacıların dikkatini çekmiş ve araştırmacılar nitro grubu içeren başka aromatik moleküllerin farfasötik aktivitelerini incelemişlerdir (Nepali vd., 2018:2851; Zocher vd., 2007;65). Kloramfenikol günümüzde de Dünya Sağlık Örgütünün temel ilaçlar listesinde yer almaktadır (WHO 22nd list, 2021).

Nitro Benzenin Keşfi ve Anilinin Ilk Defa Sentetik Olarak Eldesi

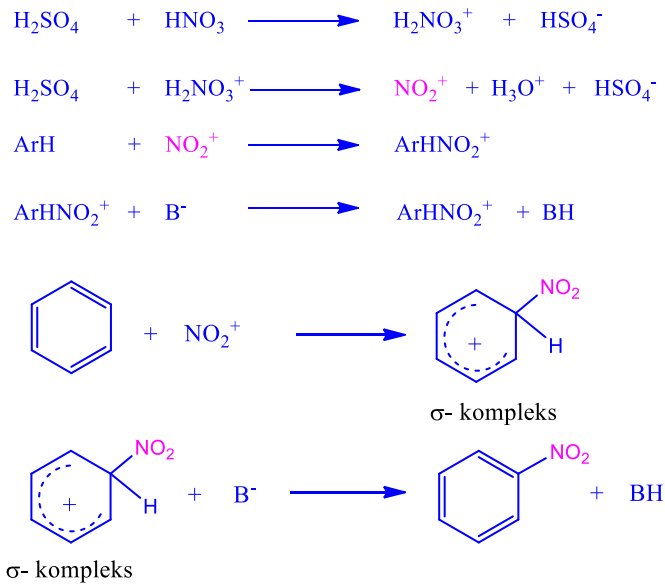
Nitrolama reaksiyonu ile oluşan nitrobenzeni tarihte ilk olarak 1834 yılında Mitscherlich kömür katranı ile nitrik asiti muamele ederek keşfetmiştir (Mitscherlich, 1834:305; Mitscherlich, 1834:225). 1842 yılında Zinin nitrobenzeni pratik bir şekilde aniline indirgemiştir. Bu keşfin sonucunda boya endüstrisinde anilin ve anilin üretimi için reaktif olarak kullanılan nitrobenzen ticari önem kazanmıştır. Bechamp 1854 yılında indirgeyici reaktif olarak asetik asit ve demir karışımı kullanarak bu prosesi geliştirmiştir. Birkaç yıl içinde asetik asit yerine hidroklorik asit kullanılmıştır. Benedikt, Perkinin 1856 yılında büyük ölçekte "mauveine" adı verilen Türkçe leylak rengi anlamına gelen ilk anilin boyayı hazırladığını kitabında yazmıştır (Benedikt, 1889:8). Nitrobenzenin keşfi ve indirgenmesi ile anilinin eldesi boya endüstrisinde büyük gelişmeler sağlamıştır.

1889 yılında Knecht'in Almancadan İngilizceye çeviri yaptığı Benedikt'in "*The chemistry of the coal-tar colours"* adlı kitabında şunlar yazmaktadır. Benzen ile klor muamele edildiğinde diklorobenzen oluşur. Diklorobenzen ile nitrik asit muamele edildiğinde dinitrobenzen oluşur. Benzen derişik nitrik asit ve derişik sülfürik asit karışımı ile muamele edildiğinde nitrobenzen elde edilir. Nitrobenzen veya benzen aşırı güçlü nitrik asit ile muamele edildiğinde ana ürün meta olmak üzere dinitrobenzen izomerleri tespit edilir. Dinitrobenzenin Bismarck kahverengisi için fenilendiamin üretiminde ana hammadde olarak

kullanıldığı hatta nitrobenzenin ilk sentezlendiği yıllarda hoş kokusu nedeniyle "Essence de Mirbane" adı ile parfüm olarak satıldığı daha sonraki birkaç yıl içinde toksik etkisi nedeniyle parfüm olarak kullanılmaktan vazgeçildiği yazmaktadır (Benedikt, 1889:12). Bu nedenle sentetik veya doğal bileşiklerin metabolizmaları ve toksisiteleri de incelenir (Okumuş ve Temiz, 2023:443).

Aromatik Bileşiklerin Nitolama Mekanizması

Ingold and Hughes nitrik asit ve sülfürik asit karışımı ile oluşan nitronyum iyonunun (NO_2^+) reaktif elektrofil olarak aromatik bileşiğe (ArH) atak yaptığını ve nitro arenyum (Wheland) ara ürününü ($ArHNO_2^+$) oluşturduğunu düşünmüşlerdir (Hughes vd, 1946:448; Hughes vd, 1950:2400; Ingold vd., 1950:2576: Ingold, 1969). Güçlü asit sülfürik asitin nitrik asiti protonlaması ile elde edilen $H_2NO_3^+$ iyonundan bir mol su çıkışı ile nitronyum iyonu (NO_2^+) oluşur. Oluşan nitronyum iyonu aromatik halkaya bağlanır. Bu molekül Wheland ara ürünü olarak isimlendirilir. Reaksiyon güçlü asit ortamında gerçekleştirilmiştir. Aromatik halkadaki hidrojen (H^+) iyonu uzaklaşır ve tekrar molekül aromatik yapı kazanır. Şema 1 de verilen reaksiyon denkleminde görünen B harfi protonu tutan baz anlamına gelmektedir. Ingold ve Hughes Elektrofilik Aromatik Nitrasyon Mekanizması Şema 1 de gösterilmiştir.

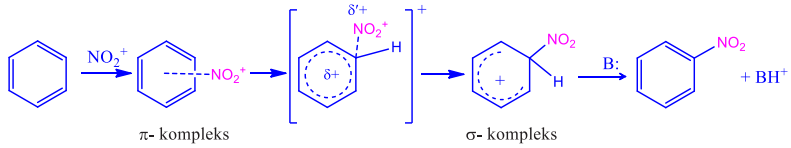


Şema 1 Ingold ve Hughes Elektrofilik Aromatik Nitrasyon Mekanizması

Ingold ve Hughes Elektrofilik Aromatik Nitrasyon reaksiyon mekanizmasında oluşan Wheland ara ürünü Stephan ve arkadaşları tarafından geçici (Transient) Absorbsiyon Spektroskopisi ile direkt olarak gözlenmiştir (Hubig ve Kochi, 2000:8279).

$ArXNO_2^+$ σ- kompleksi Wheland ara ürünü veya arenyum iyonu olarak anılır (Wheland, 1942:900; Wheland, 1944:900; Olah, 1971:240). $ArXNO_2^+$ iyonu σ-kompleksi aromatik yapıyı tekrar kazanıp kararlı hale geçebilmek için H^+ iyonunu elimine eder ve nötral nitrolanmış aromatik ürünü oluşturur (Melander, 1960). Bu reaksiyon Ingold-Hughes reaksiyonu veya polar iki elektronlu elektrofilik aromatik sübstitüsyon (yer değiştirme) reaksiyonu olarak bilinir. Yer değiştiren grup nitro grubu olduğu için elektrofilik aromatik nitrasyon olarak da isimlendirilebilir. Radikalik değil de iki elektronlu bir mekanizma ön görüldüğü için polar iki elektronlu elektrofilik aromatik nitrasyon reaksiyonu da denilebilir. Arenyum ara iyonunun kararlılığı, oluşacak üründe aromatik halkaya bağlanacak nitro grubunun yerini belirler.

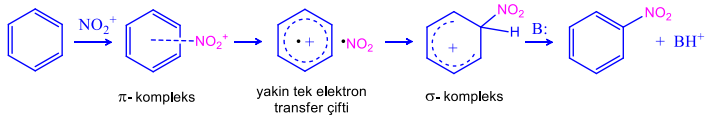
Olah ve arkadaşları Ingold-Hughes mekanizmasında arenyum iyonunun oluşumundan önce ayrı bir ara ürünün oluştuğunu öne süren modifiye bir elektrofilik aromatik sübstitüsyon reaksiyonu önermiştir (Wheland,1942:900; Wheland,1944:900; Olah, 1971:240, Olah vd., 1972:3667; Olah vd., 1989). Olah ve arkadaşlarının önerdiği modifiye reaksiyon denklemi Şema 2 de verilmiştir. Bu reaksiyon mekanizmasında farklı olan görüş, σ- kompleksi oluşmadan önce π– kompleksi oluştuğu şeklindedir.



Şema 2 Olah'ın Modifiye Elektrofilik Aromatik Nitrasyon Mekanizması

Kerner ve Weiss aromatik substrattan nitronyum iyonuna (NO_2^+) tek elektron transferini (Single-electron transfer: SET) varsayan alternatif bir mekanizma önermişlerdir (Kenner, 1945:369; Weiss, 1946:116). Aromatik bileşik nitronyum iyonuna bir elektron vererek azot dioksit radikalini ($NO_2^\bullet$) oluştururken kendisi de aromatik radikal katyonuna ($ArH^{\bullet+}$) dönüşür. Daha sonra bu iki radikal birleşerek Ingold-Hughes reaksiyonundaki aynı ara ürünü ($ArHNO_2^+$) oluşturur ve reaksiyon aynı mekanizma ile devam eder. Yani nitro arenyum iyonu ($ArHNO_2^+$) reaksiyon ortamında saniyeden daha kısa bir sürede hidrojen iyonunu vererek nitro aromatik bileşiği oluşturur. Reaksiyon denklemi Şema 3 de verilmiştir. Bu mekanizmada nitrobenzenyumun σ-kompleksi, aren

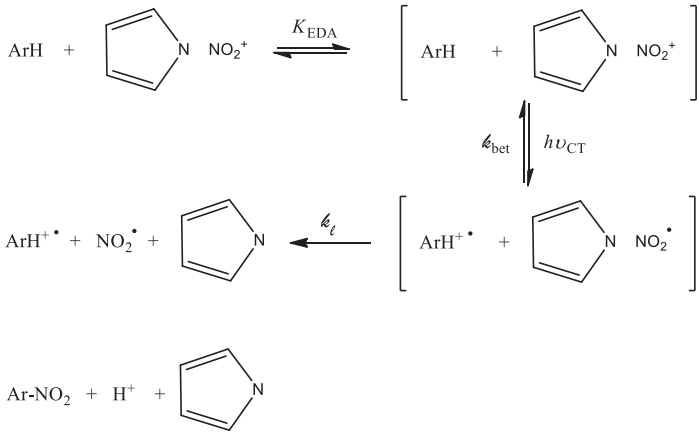
katyon radikali ($ArH^{\bullet+}$) ve nitronyum radikalinin ($NO_2^{\bullet}$) radikal-radikal bağlanma yoluyla 10 ps'den (10^{-12}s) daha az bir sürede meydana gelir (Kim vd., 1993:3091).



Şema 3

Çeşitli aromatik hidrokarbonların (ArH) yük transfer nitrasyonu, elektron verici-alıcı (EDA: Elektron Dönor Akseptör) komplekslerinin *N*-nitropiridinyum ($C_5H_5NNO_2^+$) katyonu ile planlı fotoaktivasyonuyla elde edilmiştir. Zamana bağlı spektroskopi ile, nitro aromatik bileşiği oluşturacak Wheland ara ürününün ($ArHNO_2^+$), aren radikal katyonu ($ArH^{\bullet+}$) ve nitronyum radikalinin ($NO_2^{\bullet}$) homolitik birleşmesi ile elde edildiği belirlenmiştir (Kim vd., 1993:3091). Günümüzde EDA kompleksleri yeni moleküllerin üretilmesinde kullanılabilmektedir ve çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Crisenza vd., 2020:5461; Albini ve Fagnoni, 2010; Schultz ve Yoon, 2014:6174; Buzzetti, 2019:3730; Moore ve Pearson, 1981:60; De Kreijger ve Troian-Gautier, 2022:653; Sun vd., 2022:5659; Dewanji vd.,2023:43).

Reaksiyon denkleminde aren radikal katyonu ($ArH^{\bullet+}$) ve azot dioksit ($NO_2^{\bullet}$) reaktif moleküller *N*-nitropiridinyum katyonu ($C_5H_5NNO_2^+$) ve aromatik hidrokarbon (ArH) moleküllerinden elde edilmiştir. *N*-nitropiridinyum katyonu ve aromatik hidrokarbon reaktif üçlü: aren radikal katyonu ($ArH^{\bullet+}$), azot dioksit ($NO_2^{\bullet}$) ve piridini (C_5H_5N) oluşturmuştur (21). Elektrofilik aromatik nitrasyon reaksiyon mekanizması ile ilgili açık formüller Şema 4 de verilmiştir (Queiroz vd., 2006:6192).



Şema 4

Aromatik EDA Komplekslerinin N-Nitropiridinyum ile Yük Transferi Absorpsiyonları

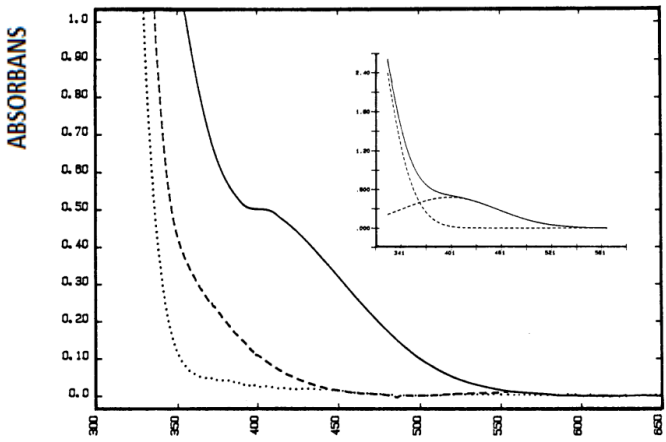
Asetonitril içinde renksiz *N*-nitro-4-karbometoksipiridinyum çözeltisi -40 °C'de anisol ile karıştırıldığında, hemen turuncuya döner. Bu tür renk değişikliklerinin kantitatif etkileri, Şekil 1'de gösterilen elektronik (UV-vis) spektrumlarda yeni absorpsiyonların ortaya çıkmasıyla belirlenir (Kim vd., 1993:3091).

ArH konsantrasyonlarındaki değişimlere eşlik eden absorbans değişikliklerinin spektrofotometrik analizi, 1:1 EDA kompleksleri için K_{EDA} ~ 0.6 M^{-1} oluşum sabitlerinin temsili değerlerini vermek üzere Benesi-Hildebrand Metodu ile gerçekleştirilmiştir (Benesi ve Hildebrand, 1949:2703).

Benesi-Hildebrand Metodu fizikokimyasal denge sabiti *k* ve bağlayıcı olmayan etkileşimlerin stokiyometrisinin belirlenmesi için kullanılan matematiksel bir metottur. Bu metot bire bir kompleksler oluşturan yük transfer kompleksleri reaksiyon dengelerine uygulanmıştır. Reaksiyon denklemi Şema 5 da verilmiştir. Reaktantlardan herhangi biri diğer reaktanta göre fazla miktarda mevcut olduğunda, diğer reaktantın (az olan reaktantın) karakteristik elektronik absorpsiyon spektrumlarının reaksiyon sisteminin toplu absorpsiyon/emisyon aralığında şeffaf olduğu varsayımıdır (Anslyn ve Dougherty, 2006). Bu nedenle, ürünün oluşumundan önce, dengede ve sonrasında reaksiyonun absorpsiyon spektrumları ölçülerek, reaksiyonun denge sabiti belirlenir (Anslyn ve Dougherty, 2006).

$$ArH + PyNO_2 \overset{K_{EDA}}{\rightleftharpoons} [ArH,\ PyN0_2^+]$$

Şema 5



DALGA BOYU, nm

Şekil 1: -40 °C'de asetonitril içinde 4- karboksi metil pridinyum nitrit ($Me0_2CPyN0_2^+$) ile sırasıyla aromatik donör anisolün (—) ve toluenin (- - -) tipik yük transfer spektrumları. Sadece akseptörün spektrumu (····).λ=410 nm de anisol elektron donör akseptör kompleksinin yük transfer bandının Gaus (dijital) ters evrişimi (Kim vd., 1993:3091).

Yük transfer (charge transfer : CT) absorbsiyon bantları geçicidir, ancak elektrofilik süreçleri/işlemleri geciktirmek için çözeltinin sıcaklığı basitçe düşürüldüğünde uzun süreler boyunca değişmeden kalır. Keskin bir kesme filtresi (Corning CS serisi) ile donatılmış 500 W'lık bir cıva lambasının odaklanmış çıkışıyla düşük sıcaklıkta (-40° C) kasıtlı ışınlama, fotokimyasal dönüşümleri etkili bir şekilde desteklemiştir ve bu çalışmalardan sonra yük transfer (CT) nitrasyonları olarak adlandırılmışlardır. Her aromatik donör için, yalnızca yük transfer absorpsiyon bandının seçici uyarımını sağlamak amacıyla, tüm dış ışığı çıkarmak için uygun kesme filtresi seçilir. Bu kontrollü koşullar altında, ne kompleks olmayan arenin ne de nitratlayıcı ajanın tesadüfen uyarılması söz konusu olamaz (Kim vd., 1993:3091).

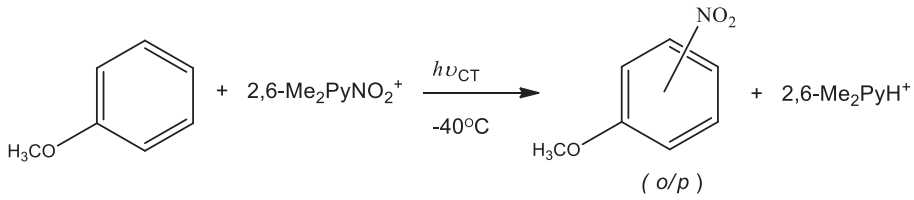
N-Nitropiridinyum ile EDA komplekslerinin doğrudan ışınlanmasıyla aromatik vericilerin yük aktarım nitrasyonunda, nitro aren ürünleri tarafından ışık absorpsiyonundan kaynaklanan komplikasyonları önlemek için genellikle

oldukça düşük aktinik dönüşümlerde (ışık absorbsiyonundan kaynaklanan dönüşümler) gerçekleştirilir. Nitroaren ürünleri tarafından ışık absorpsiyonundan kaynaklanan komplikasyonları önlemek ve termal işlemlerden kaynaklanan herhangi bir rekabeti aynı anda izlemek için çift setlerde (karanlık kontrol ile) çalışmalar sürdürülür.

-40 °C'de anisol ve $Me_2PyN0_2^+$ iyonunun asetonitril içindeki sarı çözeltisi, 400 nm nin üstündeki ($\lambda exc < 400$ nm) tüm uyarma ışığını etkili bir şekilde ortadan kaldıran kesme filtresi CS-3391 yardımıyla elde edilen ışık ile uyarılır.

Berrak soluk fotolizatın proton nükleer manyetik rezonans analizleri, lutidinyum (pridinyum) ve o /p nitroanisol karışımının varlığını gösterir.

Yük transfer nitrasyonlarında sorumlu reaktif ara ürünleri (aromatik radikal katyonları) belirlemek için zaman çözümlemeli (pikosaniye) spektroskopi cihazı ile 30 ps (fwhm) lazer darbesi uygulamasının ardından ara ürünlerin konsantrasyonundaki değişim zamana bağlı olarak incelenir. İncelemelerde yük transfer bandını uyarmak için mod kilitli Nd^{3+}:YAG lazerin 355 nm'deki üçüncü harmoniği kullanılır. Şekil 1 de anisolün karbometoksi pridinyum nitrit katyonu ($MeO_2CPyNO_2^+$) ile asetonitril içinde -40 °C de yük transfer (CT) absorbsiyon spektroskopisi verilmiştir. 8.39 eV iyonlaşma potansiyelinde (Howell vd., 1984:3968) 340 nm kesme filtresi (Cut Off filter) kullanılarak anisol (0.08 M) ve *N*-nitro-4-metoksi pridinyum katyonu (0.08 M) ile oluşturulan aromatik elektron donör akseptör (EDA) kompleksinin yük transfer absorbsiyonu 400nm de ölçülmüştür. Aynı şekilde anisol (0.09 M) ve *N*-nitro-4-karbometoksi pridinyum katyonu (0.08 M) ile oluşturulan aromatik elektron donör akseptör (EDA) kompleksinin yük transfer absorbsiyonu 475 nm de (410 nm CT bantı maksimumu) ölçülmüştür (Kim vd., 1993:3091). Tablo 1 de yer alan karbometoksi pridinyum nitrit katyonu ($MeO_2CPyNO_2^+$) ile metoksi pridinyum nitrit katyonunun ($MeOPyNO_2^+$) ayrı ayrı anisol ile fotokimyasal reaksiyonları yapıldıktan sonra elde edilen ürünlerin NMR spektrumlarının, elektrofilik (termal) nitrasyon reaksiyonları ile elde edilen ürünlerin spektrumları ile hemen hemen aynı olduğu görülmüştür (Kim vd., 1993:3091). Karbometoksi pridinyum nitrit katyonu (akseptör) ile anisolün (donör) fotokimyasal reaksiyon denklemi Şema 6 de verilmiştir.



Şema 6

Anisolün fotokimyasal nitrolanması reaksiyonunda nitrolama reaktiflerinin ve diğer parametrelerin etkisinin belirlenmesi amacıyla nitrolama reaktifleri olarak karbometoksi pridinyum nitrit katyonu ($MeO_2CPyNO_2^+$), pridinyum nitrit katyonu ($PyN0_2^+$), metoksi pridinyum nitrit katyonu ($MeOPyN0_2^+$) ve 2,6 dimetil pridinyum nitrit katyonu ($2,6\text{-}Me_2PyNO_2^+$) kullanılmıştır. Bu amaçla kullanılan ışığın kesme filtresi dalga boyu, sıcaklık, reaktiflerin konsantrasyonları ve reaksiyon süreleri değiştirilerek deneyler yapılmış ve ürünlere ait orto/para yüzde nitroanisol miktarları, yüzde dönüşüm oranları Tablo 1 de liste halinde gösterilmiştir (Kim vd., 1993:3091, Sankararaman, 1987:7824).

Tablo 1: Anisolün X- Sübstitüe *N*-nitropridinyum katyonu ile yük transfer (CT) nitrasyonu[a] (Sankararaman, 1987:7824).

X		anisole,	λ_{exc},[b]	nitroanisole[c] %		conv,[d]	temp/time
X	μmol	μmol	nm	*o*	*p*	%	°C/h
2,6-Me_2	60	184	400	65	35	47	–40/35
4-MeO	120	60	dark	69	31	30	60/21
4-MeO_2C	90	180	400	71	29	8	–40/24
H	100	280	350[e]	51	49	4	–30/6
4-Me	190	380	350[e]	51	49	18	10/9.5
4-MeO	80	180	350[e]	41	56[f]	9	–40/7.5
4-MeO	90	280	350[e]	37	63	10	23/6.5
4-MeO	145[g]	156	410	40	60	3	23/2.5
4-MeO	100[h]	180	380	38	62[i]	13	23/2

[a]: Nitrasyon reaksiyonunda çözücü olarak asetonitril kullanılmıştır. [b]: yüksek enerjili Pyrex ışığı kesme filtresi. [c]: İzomer dağılımı orto, para, meta ürün tespit edilebilecek değerden azdır (% 1 den az). [d]: Reaksiyon sonucunda, reaksiyona girmemiş geri kazanılan anisole bağlı dönüştürme oranı (dönüşüm). [e]: Geniş bant filtresi (350-580 nm). [f]: ~ % 3 meta izomer de elde edilmiştir. [g]: Nitrasyon reaksiyonunda çözücü olarak benzen kullanılmıştır. [h]: Hacimce %5 trifloroasetik asit eklenmiştir. [i]: ~%20 tanımlanamamış ürün içerir.

Tablo 1 de anisolün X-Sübstitüe nitropridinyum katyonunun çeşitli şartlarda yük transfer (CT) nitrasyonu listelenmiştir (Kim vd., 1993:3091).

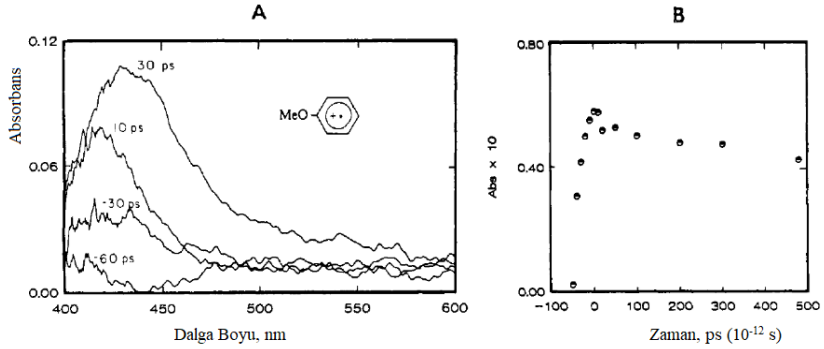
355nm de asetonitril içinde anisol ve *N*-nitro-4-metoksi pridinyum katyonundan oluşan aromatik elektron donör akseptör kompleksinin uyarılması üzerine geniş bir absorbans bantı hemen gözlenmiştir. Şekil 2 de lazer darbesinin (30ps, fwhm) bant genişliğinde yeni absorbsiyonun gelişimi görülür (Masuhara vd., 1983:426).

Şekil 2, lazer atımının bant genişliği (30-ps, full width at half maximum (fwhm)) içindeki yeni absorbsiyonun büyümesini gösterir (Masuhara vd., 1983:426). t = 30 ps'deki yeni geçişin konumu (λ_{max} = 435 nm) ve bantın yarı maksimumunda tam genişlik şekli (fwhm) ile, daha önce lazer ışını ile oluşturulan anisol katyon radikalinin ($AN^{\bullet+}$) soğurma spektrumunun çakıştığı tespit edilmiştir (Takamuku vd., 1989:553; Shida, 1988).

N-nitropiridinyum aromatik elektron dönor akseptör (EDA) kompleksinin yük transfer aktivasyonunda reaktif üçlü moleküllerde aromatik radikal katyon oluşur. Bu reaksiyonda önce *N*-nitropiridinyum aromatik dönor akseptör kompleks varlığında ara ürün oluşur. Lazer ışığı (puls) uygulanmasının hemen ardından zamana bağlı (pikosaniye) spektroskopi, aromatik EDA kompleksinin doğrudan foto uyarıldığını ($h\upsilon_{CT}$: yük transfer için gerekli ışığın dalga boyu) reaktif üçlünün kendiliğinden oluştuğunu gösterir (Masnovi vd., 1986:1126; Sankararaman, 1987:7824).

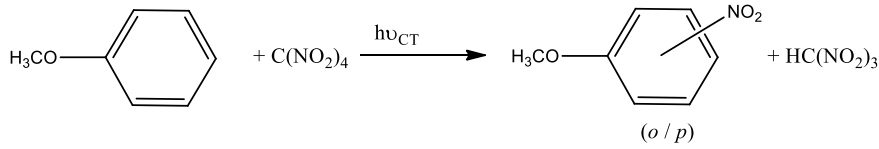
Lazer darbesinin karakteristik yükselme süresiyle çakışan aromatik radikal katyonunun ($ArH^{\bullet+}$, Şema 4 de reaksiyon denklemi verilmiştir.) absorpsiyon spektrumlarının görünümü, Mulliken'in yük aktarımı teorisinin beklentileriyle uyumludur (Mulliken, 1952;811, Mulliken vd., 1969).

Aromatik katyon radikalinin geri elektron transferi ile kolayca tersine çevrilmesi (k_{bet}), yük transferi ile üretilen iyon radikal çiftlerinin deaktivasyonu için yaygın bir yoldur (Mattay ve Vondenhof, 2005:219). Spektral olarak kendini gösterir ve anisol katyon radikali ($AN^{\bullet+}$) nin ışık absorbansının zamana göre spektrumu Şekil 2B de görülmektedir.



Şekil 2: A) Asetonitril içinde 0.4 M Anisol ve 0.04 M *N*-nitro-4-metoksi pridinyum ($MeOPyNO_2^+$) çözeltisinde oluşan elektron dönor akseptör (EDA) kompleksinin 355 nm dalga boyu ışık ile uyarılmasının ardından anisol radikal katyonunun zamana bağlı (pikosaniye) spektroskopisi. B) 435 nm dalga boyunda ışık absorbansının zamanla gelişimi (yumuşak eğri, verilerin ikinci dereceden kinetiklere bilgisayar tarafından oluşturulan uyumunu temsil eder).

Sankararaman ve arkadaşları 1987 de donör anisolün tetranitrometan (TNM) akseptörü ile reaksiyonunu yapmışlardır (Sankararaman, 1987:7824). Reaksiyon denklemi Şema 7 da verilmiştir.



Şema 7

Şema 7 de gösterilen Fotokimyasal nitrasyona uygun tetranitrometan (TNM) ile anisol kompleksinin yük transfer uyarımı için zaman çözümlemeli spektroskopik çalışmalar yapılmıştır. 355 nm deki TNM absorbansı nedeniyle (Masnovi vd., 1986:1126), bir başka dalga boyunda lazer ışığı üreten Nd:YAG lazerinin 532 nm dalga boylu ışığı, yük transfer uyarımı için kullanılmıştır.

Nd:YAG lazeri kullanılarak 532 nm de elde edilen geçici spektrumlar, Şekil 2A da gösterilen $MeOPyNO_2^+$ ile anisol EDA kompleksinin ışıkla uyarılmasından elde edilen spektrumlarla aynıdır. Benzofenonun söndürülmesi ve üçlü duyarlılık yoluyla, anisolden fotoindüklenmiş elektron transferi ile üretilen anisolün artı yüklü radikalinin ($AN^{\bullet+}$) spektrumu ile de aynıdır (Kim vd., 1993:3091).

[AN, $MeOPyN0_2^+$] kompleksinin yük transfer (CT) uyarımı üzerine eşlik eden anisol katyon radikalinin zamansal değişimi, λ = 435 nm'de absorbans değişiminin sürekli görüntülenmesi ile izlenmiştir (Şekil 2B).

Böylece Şekil 2B, lazer darbesinin süresi (30 ps) içinde sıfırdan (baseline) monoton bir şekilde yükselen absorbans, anisol radikal katyonunun ($AN^{\bullet+}$) absorbansını gösterir (Kim vd., 1993:3091).

435-nm bandının daha fazla zamansal evrimi, 50 ile 100 ps arasındaki zaman aralığında yoğunlukta hafif bir düşüşle (yaklaşık %10) sınırlıdır. Ardından 5 ns'ye kadar izleme süresi boyunca şekil ve yoğunluk değişmeden kalır (Kim vd., 1993:3091).

Elektron Dönor Akseptör (EDA) Kompleksinden Aromatik Katyon Radikalinin Yük Transfer (CT) Üretimi Için Kuantum Verimliliği

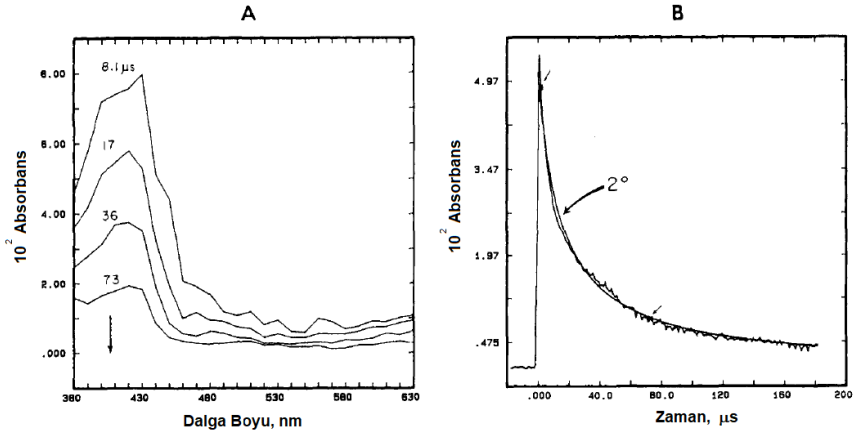
Anisol katyon radikallerinin üretimini ölçmek için (Şekil 2B'de gösterilen zamansal platoda), yük transfer uyarımları ikinci bir spektrometrik birim ile gerçekleştirilir. İkinci spektrometrik ünite mikrosaniye bölgesine kadar uzanan spektral gözlemler için 10 ns (fwhm) çözünürlüklü Q-anahtarlı Nd^{3+}:YAG lazerden oluşur.

Dolayısıyla, Şekil 3A'daki geçici (ns) spektrumlar, Şekil 2A'daki pikosaniye spektrumlarına karşılık gelen λ_{maks} = 435 nm ile anisol katyon radikalinin ana absorpsiyon bandını gösterir. Anisol radikal katyonunun ($AN^{\bullet+}$) ns zaman ölçeğinde kalıcılığı (stabilitesi) nedeniyle, $AN^{\bullet+}$ nin oluşumu için kuantum verimi (□), geçici aktinometre olarak benzofenon üçlüsüne (λ_{maks} = 530 nm) (Hurley vd., 1983:9) dayanan relatif aktinometri yöntemiyle (Bonneau vd., 1991:189) ölçülebilir. Birim zamanda reaksiyona giren molekül sayısının birim zamanda absorblanan ışık kuantum sayısına oranı olan Kantum verimi 23°C da anisol ve *N*-nitro-4-metoksi pridinyum katyonunun asetonitril içindeki kompleksinin yük transfer uyarımından sonra 10 < t < 100 ns zaman aralığında □= 0.82 ± 0.05 olarak belirlenir (Kim vd., 1993:3091).

Anisolün ilgili katyon radikallerinin zamansal evriminde, anisol katyon radikalinin müteakip ortadan kaybolması, Şekil 3 A'daki absorpsiyon bandının 200 □s içinde spektral taban çizgisine tekdüze bozunması olarak gözlenir.

Absorbans değişikliğinin (A_0 - A) λ_{max} = 435 nm'de ikinci dereceden kinetiklere bağlılığı, Şekil 3B'de gösterildiği gibi, bilgisayar tarafından üretilen (pürüzsüz) çizginin tam uyumuyla açıkça gösterilmiştir.

Ayrıca ikinci dereceden bozunma lazer gücüne bağlı ilk absorbansdaki (A_o) değişimle değerlendirilen hız sabiti katsayısı k= 1.1± 0.3 10^6 A^{-1} s^{-1} ve Tablo 2 de verilen A_o ile yarı ömür (□□ görünümünün ters varyasyanu ile de doğrulanır (Moore ve Pearson, 1981:60).



Şekil 3: A) Asetonitril içinde anisol ve *N*-nitro-4-metoksi pridinyum katyonundan oluşan kompleksinin 10 ns 355nm lazer atışı ile ışımasını takiben anisol katyon radikalinin zaman çözümlemeli absorbsiyon spektrumları. B) Anisol radikal katyonunun ($AN^{\bullet+}$) 440nm dalga boyunda ışık kullanılarak alınan spektral bozunması spektrumu.

Anisol/MeOPyN0$_2^+$ kompleksinin 10 ns (fwhm) lazer darbesiyle (belirtilen zamanlarda kaydedilir) asetonitril içinde 355 nm ışımasını takiben anizol katyon radikalinin zamana bağlı (nanosaniye) absorpsiyon spektrumları Şekil 3A ve 3B de verilmiştir.

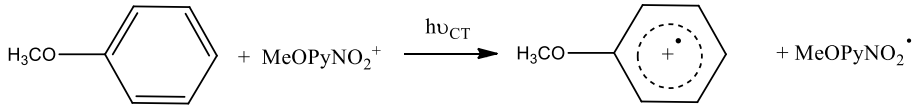
Tablo 2: Anisol radikal katyonunun (AN$^{\bullet+}$) [a] bozunması için ikinci dereceden kinetik (Moore ve Pearson, 1981:60)

A_o[b] (x100)	yarı-ömür[c] □s	k[d] 10^6 A^{-1} s^{-1}	A_o[b] (x100)	yarı-ömür[c] □s	k[d] 10^6 A^{-1} s^{-1}
3.8	32	0.83	6.9	10	1.2
4.5	22	1.2	7.2	12	1.0
4.9	14	1.3	8.1	11	1.3
5.3	13	1.1	8.3	10	1.1

[a]: asetonitril içinde anisol (0.1-0.2 M) ve *N*-nitro -4-metoksi pridinyum katyonundan (0.03-0.04 M) oluşan EDA kompleksinin 355 nm yük transfer fotolizi ile anisol radikal katyonu üretilir. [b]: ilk absorbans 440 nm de. [c]: Başlangıç absorbansının (A_o) yarıya düştüğü zaman. *d*: Absorbans birimlerinde ikinci dereceden hız sabiti.

Anisol radikal katyonunun (AN$^{\bullet+}$) asetonitril içinde ikinci dereceden kinetik ile bozunmasını gösteren ölçüm sonuçları Tablo 2 de (Moore ve Pearson, 1981:60) verilmiştir.

Toluen, anisol, 1,3,5-trimetilbenzen ve tersiyer butil benzen gibi aromatik dönorların, polimetil benzenler ve sübstitüe anisollerin yük transfer nitrasyonu ile elektrofilik aromatik nitrasyondan oluşan ürünler ayrıntılı olarak karşılaştırılır. Özellikle ürünlerin izomer oranları, yan zincir nitrasyonları ve geleneksel olmayan nitrasyonlar incelenir (Kim vd., 1993:3091). Anisolün yük transfer nitrasyonu reaksiyon denklemi Şema 8 de verilmiştir.

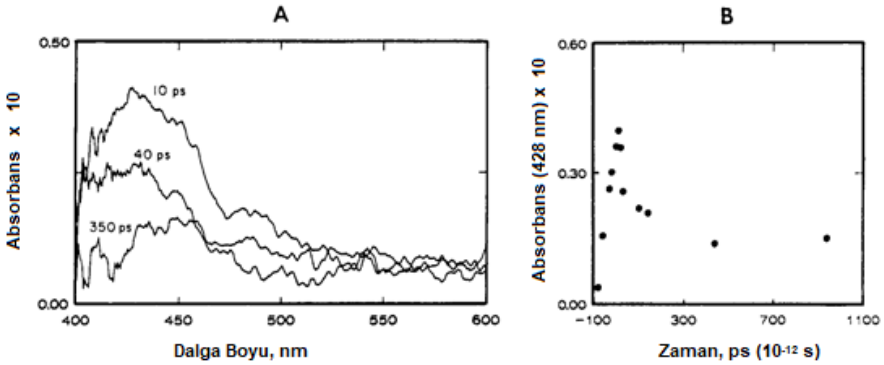


Şema 8

Uyarma dalga boyu (λexc) 355 nm'de 30 ps lazer darbesi ile asetonitrildeki toluen (TOL) ve *N*-nitro-4-metoksipiridinyumun EDA kompleksinin yük transfer uyarımı ile Şekil 4A'da gösterilen zamana bağlı spektrum serisi elde edilir. Maksimum dalga boyu (λmaks) 430 nm ışık ile karakteristik absorpsiyon

spektrumu, önceki raporlardaki toluen katyon radikalininkiyle ($TOL^{\bullet+}$) aynıdır (Dymerski, 1974:4109; Sehested, 1977:1363).

İzleme dalga boyu (λmon) 430 nm'de takip edilen toluen ve *N*-nitro-4-metoksipridinyum [TOL, $MeOPyN0_2^+$] kompleksinin yük transfer (CT) uyarımı üzerine eşlik eden toluen katyon radikalinin zamansal evrimi, Şekil 2B'deki anisol analoğununkinden belirgin şekilde farklı bir model gösterir. Böylece Şekil 4B, lazer darbesinin yükselme süresi içinde maksimum yoğunluğa ulaşmak için spektral geçici durumu gösterir, ancak $AN^{\bullet+}$ davranışının tersine, bunu 10 ps'den 300 ps zaman aralığında belirgin bir düşüş izler. Maksimum yoğunluğun yalnızca üçte biri olan ciddi şekilde azalmış (artık) absorbans görülür. 300 ps ve 5 ns arasındaki zayıf artık absorbansta daha fazla fark edilebilir bir değişiklik görülmez (Kim vd., 1993:3091).

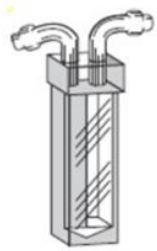


Şekil 4: A) 23 °C da hacimce 1:9 oranında toluen ve asetonitril çözeltisinde 355 nm dalga boyunda ışık ile 0.4 M $MeOPyN0_2^+$ nin uyarılması ile elde edilen geçişli absorbsiyon spektroskopisi. B) 428 nm dalga boyunda absorbandaki değişimin sürekli izlenmesi ile (λmon = 428 nm de) gözlenen absorbansın geçici yükü, önemli ölçüde azalmış kalıntıyı gösterir.

Deneylerin Yapılışı

N- nitropridinyum tuzu (4. 10^{-5} mol) yan kol ve Schlenk adaptörü ile donatılmış 10 mm'lik kare kuvars küvete (Şekil 5A) koyulur. Hücre vakum hattına bağlanır ve 1 mL asetonitril şırınga yardımı ile eklenir. Küvet, şeffaf Pyrex dewar içinde bulunan düşük sıcaklık banyosunda soğutmalı termoregülatör yardımıyla (Şekil 5C) - 60±2ºC de tutulur. Herhangi bir termal işlemi izlemek için ışık geçirmeyen bir küvette aynı işlemler eş zamanlı olarak sürdürülür. Yukarıdaki yük transferi nitrasyon reaksiyonları için ışık kaynağı olarak parabolik reflektörlü cıva lambası (Şekil 5B) kullanılmıştır. Işık IR radyasyonunu uzaklaştırmak için sirküle (sürekli su geçen) edilen su filtresinden

geçirilir ve silika bikonveks lens ile kuvars küvette bulunan numune üzerine odaklanır. İlgili EDA kompleksinin sadece yük transfer bandının ışınlanmasını sağlamak için kuvars küvetin önüne keskin bir kesme filtresi (Corning CS-3 serisi) veya geniş bant filtresi (350-580 nm) yerleştirilir. Anisol ile *N*-nitro pridinyum katyon çözeltilerinin karıştırılmasından sonra, sarıdan turuncuya solüsyon sürekli olarak ışınlanır ve fotonitrasyonun ilerleyişi, fotolizatın UV-vis ve NMR spektrumundaki değişikliklerle periyodik olarak izlenir. Dietil eter ve su ilave edilerek ekstraksiyon yapılır. Eter fazı dahili standart yöntemiyle gaz kromatografi veya yüksek basınçlı sıvı kromatografi cihazları ile kantitatif olarak analiz edilir (Kim vd., 1993:3091). Deneyin gerçekleştirilmesinde kullanılan yan kol ve Schlenk adaptörü ile donatılmış 10 mm'lik kare kuvars küvet resmi Şekil 5A da, cıva lambası resmi Şekil 5B de, soğutmalı termoregulatör resmi Şekil 5C de, Quantel Nd: YAG Lazer resmi Şekil 5D de verilmiştir.



Şekil 5: Deneyin yapılışında kullanılan küvet, lamba termoregulatör ve lazer
A) Yan Kollu (side arm) B) Cıva Lambası C) Soğutmalı Termoregulatör Küvet

D) Quantel darbeli Nd: YAG Lazer. 1 - 100 Hz tekrarlama oranına sahiptir. Darbe başına 50 mJ enerji verir. Hava soğutmalı ve diyot pompalıdır. 1064, 532, 355, 266 ve 1570 nm iletebilir.
Kaynak: Quantel Laser by Lumibird websitesi (Şekil 5D için)

Aromatik katyon radikalinin spektral bozunmaları, pikosaniye (ps) zaman ölçeğinde zaman çözümlemeli diferansiyel absorpsiyon spektrumları alınarak incelenir. Spektrumları elde etmek için uyarıcı ışık kaynağı olarak Nd:YAG lazerin 532 nm (ikinci harmonik) ve 355 nm (üçüncü harmonik) 20 ps (10^{-12} s) darbeli lazer flaş sistemi kullanılır (Kim vd., 1993:3091, 36).

Uyarma ışını silindirik bir lens (f2) ile numuneye odaklanır (Bockmanvd., 1992:1581). Nanosaniye/mikrosaniye zaman skalalarında zaman çözümlemeli spektral çalışmalar, darbe genişliği 10 ns olan Q-anahtarlı Nd-YAG lazer spektrometre ile gerçekleştirilmiştir (Kim vd., 1993:3091). UV ışık yoğunlaştırıcı mercekle donatılmış bir mahfazaya monte edilmiş 150 W'lık bir ksenon ark lambasından oluşan prob ışını, numuneye odaklanır ve numuneden çıkan ışın monokromatörün giriş aralığına odaklanır (Sankararaman, 1987:7824). Şekil 3B de gösterilen spektral bozunmalar 10 ile 40 izden toplanır ve kinetik veri elde etmek üzere ortalaması alınır.

Aren katyon radikallerinin izlendiği dalga boyunda gözlemlenen ns/□s absorbans değişiklikleri, ASYST 2.0 yazılımı kullanılarak birinci veya ikinci dereceden bozulmalara uydurulur. İkinci dereceden kinetik bozunmaların geçerliliği lazer ışıma enerjisi değiştirilerek ve ikinci dereceden hız sabitleri ve yarı ömürler, başlangıçtaki absorbans A_o'nun bir fonksiyonu olarak belirlenir (Kim vd., 1993:3091).

SONUÇ

Nitro aromatik bileşikler endüstri alanında geniş alana yayılmıştır. Aromatik bileşiklerin nitrolanması sentetik olarak çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Reaksiyon mekanizmalarının incelenmesi ile doğa dostu reaksiyonlar tasarlanabilir.

Aromatik bileşiklerin nitrolanması mekanizması olarak Kerner ve Weiss aromatik substrattan nitronyum iyonuna tek elektron transferini varsayan bir mekanizma önermişlerdir. Daha sonra tek elektron transferi ile oluşan radikaller birleşerek Ingold-Hughes reaksiyonundaki Wheland ara ürününü oluşturmaktadır. Wheland ara ürünü reaksiyon ortamında bir hidrojen iyonu vererek saniyeden daha kısa sürede nitro aromatik bileşiği oluşturmaktadır.

Planlı fotokimyasal elektrofilik aromatik nitrasyon reaksiyonlarında lazer ışığı uygulanmasının hemen ardından *N*-nitropiridinyum katyonu ($C_5H_5NNO_2^+$) ve aromatik hidrokarbon (ArH) moleküllerinden reaktif üçlü: aren radikal katyonu ($ArH^{\bullet+}$), azot dioksit ($NO_2^{\bullet}$) ve piridin (C_5H_5N) oluştuğu zamana bağlı spektroskopi ile belirlenmiştir. Oluşan radikallerin homolitik birleşmesi ile yine aynı Wheland ara ürünü oluşur ve Ingold-Hughes reaksiyonundaki gibi Wheland ara ürünü bir proton kaybederek nitro aromatik bileşiği oluşturur. Ürünlerin dönüşüm oranları ve orto, para ve meta yönlenmeleri üzerine sıcaklık, uyarma ışığının dalga boyu, molekülün kendi özelliği ve süre parametrelerin etkili olduğu belirlenmiştir.

Reaksiyon mekanizmalarına yönelik çalışmalar reaksiyon tasarlamada araştırmacılara zaman kazandırmaktadır. Dolaylı olarakta ekonomik kazanım ve çevreyi koruma anlamına gelmektedir.

REFERANSLAR

1. Albini, A., Fagnoni, M. (Eds.). (2010). *Handbook of synthetic photochemistry*. John Wiley & Sons.
2. Anslyn, E. V., Dougherty, D. A. (2006). *Modern physical organic chemistry*. University science books.
3. Benedikt, R. (1889). *The chemistry of the coal-tar colours* (E. Knecht, Trans.). George Bell and Sons.
4. Benesi, H. A., Hildebrand, J. H. J. (1949). A spectrophotometric investigation of the interaction of iodine with aromatic hydrocarbons. *Journal of the American Chemical Society*, *71*(8), 2703-2707.
5. Bockman, T. M., Lee, K. Y., Kochi, J. K. (1992). Time-resolved spectroscopy and charge-transfer photochemistry of aromatic EDA complexes with X-pyridinium cations. *Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 2*, (9), 1581-1594.
6. Bonneau, R., Carmichael, I., Hug, G. L. (1991). Molar absorption coefficients of transient species in solution. *Pure and applied chemistry*, *63*(2), 289-300.
7. Buzzetti, L., Crisenza, G. E., Melchiorre, P. (2019). Mechanistic studies in photocatalysis. *Angewandte Chemie International Edition*, *58*(12), 3730-3747.
8. Crisenza, G. E., Mazzarella, D., Melchiorre, P. (2020). Synthetic methods driven by the photoactivity of electron donor–acceptor complexes. *Journal of the American Chemical Society*, *142*(12), 5461-5476.
9. De Kreijger, S., Troian-Gautier, L. (2022). Sulfonylation enabled through the photoactivation of EDA complexes. *Chem Catalysis*, *2*(4), 653-656.
10. Dewanji, A., van Dalsen, L., Rossi-Ashton, J. A., Gasson, E., Crisenza, G. E., Procter, D. J. (2023). A general arene C–H functionalization strategy via electron donor–acceptor complex photoactivation. *Nature Chemistry*, *15*(1), 43-52.
11. Dymerski, P. P., Fu, E., Dunbar, R. C. (1974). Ion cyclotron resonance photodissociation spectroscopy spectra of substituted benzenes. *Journal of the American Chemical Society*, *96*(13), 4109-4114.
12. Howell, J. O., Goncalves, J. M., Amatore, C., Klasinc, L., Wightman, R. M., Kochi, J. K. (1984). Electron transfer from aromatic hydrocarbons and their. pi.-complexes with metals. Comparison of the standard oxidation potentials and vertical ionization potentials. *Journal of the American Chemical Society*, *106*(14), 3968-3976.

13. Hubig, S. M., Kochi, J. K. (2000). Direct observation of the wheland intermediate in electrophilic aromatic substitution. Reversible formation of nitrosoarenium cations. *Journal of the American Chemical Society*, *122*(34), 8279-8288.
14. Hughes, E. D., Ingold, C. K., Reed, R. I. (1950). 493. Kinetics and mechanism of aromatic nitration. Part II. Nitration by the nitronium ion, NO 2+, derived from nitric acid. *Journal of the Chemical Society (Resumed)*, 2400-2440.
15. Hughes, E.D., Ingold, C.K., Reed, R. I. (1946). Kinetics of aromatic nitration: the nitronium ion. *Nature*, *158*(4013), 448-449.
16. Hurley, J. K., Sinai, N., Linschitz, H. (1983). Actinometry in monochromatic flash photolysis: the extinction coefficient of triplet benzophenone and quantum yield of triplet zinc tetraphenyl porphyrin. *Photochemistry and Photobiology*, *38*(1), 9-14.
17. Ingold, C. K. Structure and Mechanism in Organic Chemistry; Cornell University Press: New York, 1969.
18. Ingold, C. K., Millen, D. J., Poole, H. G. (1950). 506. Vibrational spectra of ionic forms of oxides and oxy-acids of nitrogen. Part I. Raman-spectral evidence of the ionisation of nitric acid by perchloric, sulphuric, and selenic acids. Spectroscopic identification of the nitronium ion, NO 2+. *Journal of the Chemical Society (Resumed)*, 2576-2589.
19. Kenner, J. (1945). Oxidation and reduction in chemistry. *Nature*, *156*(3960), 369-370.
20. Kim, E. K., Bockman, T. M., Kochi, J. K. (1993). Electron-transfer mechanism for aromatic nitration via the photoactivation of EDA complexes. Direct relationship to electrophilic aromatic substitution. *Journal of the American Chemical Society*, *115*(8), 3091-3104.
21. Masnovi, J. M., Kochi, J. K., Hilinski, E. F., Rentzepis, P. M. (1986). Reactive ion pairs from the charge-transfer excitation of electron donor-acceptor complexes. *Journal of the American Chemical Society*, *108*(6), 1126-1135.
22. Masuhara, H., Miyasaka, H., Karen, A., Uemiya, T., Mataga, N., Koishi, M., Takeshima, A., Tsuchiya, Y. (1983). Temporal characteristics of picosecond continuum as revealed by a two-dimensional analysis of streak images. *Optics Communications*, *44*(6), 426-429.
23. Mattay, J., Vondenhof, M. (2005). Contact and solvent-separated radical ion pairs in organic photochemistry. In *Photoinduced Electron Transfer III* (pp. 219-255). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

24. Melander, L.; Isotope Effects on Reaction Rates; Ronald Press: New York, 1960.
25. Mitscherlich, *E. Ann. Pharm.* 1834, **12**, 305– 311. Wiley Online LibraryGoogle Scholar
26. Mitscherlich, *E. Ann. Phys. Chem.* 1834, **108**, 225– 227;Wiley Online LibraryGoogle Scholar
27. Moore, J. W., Pearson, R. G. (1981). *Kinetics and mechanism*. John Wiley & Sons. 3rd ed., New York, p 60.
28. Mulliken, R. S. (1952). Molecular compounds and their spectra. II. *Journal of the American Chemical Society*, *74*(3), 811-824.
29. Mulliken, R. S., Mulliken, R. S., Person, W. B. (1969). *Molecular complexes: a lecture and reprint volume*. Wiley-Interscience.
30. Nepali, K., Lee, H. Y., Liou, J. P. (2018). Nitro-group-containing drugs. *Journal of medicinal chemistry*, *62*(6), 2851-2893.
31. Okumuş, E., Temiz, M. A. (2023). Polifenollerin Metabolizması ve Toksisitesi. *Sağlık Bilimlerinde Öncü Ve Çağdaş Çalışmalar*, 443-469.
32. Olah, G. A. (1971). Aromatic substitution. XXVIII. Mechanism of electrophilic aromatic substitutions. *Accounts of Chemical Research*, *4*(7), 240-248.
33. Olah, G. A., Lin, H. C., Mo, Y. K. (1972). Stable carbocations. CXXXIX. Nitro-and chlorohexamethylbenzeneium ions and 1-nitro-and 1-chloro-2, 4, 6-trifluoromesitylenium ions. *Journal of the American Chemical Society*, *94*(10), 3667-3669.
34. Olah, G. A.; Malhotra, R.; Narang, S. C. *Nitration: Methods and Mechanisms*; VCH: New York, 1989.
35. Quantel Laser by Lumibird https://www.quantel-laser.com/en/products/item/centurion-50-mj-.html adresinden 14 Ağustos 2023 tarihinde alınmıştır.
36. Queiroz, J. F. D., Carneiro, J. W. D. M., Sabino, A. A., Sparrapan, R., Eberlin, M. N., Esteves, P. M. (2006). Electrophilic aromatic nitration: understanding its mechanism and substituent effects. *The Journal of organic chemistry*, *71*(16), 6192-6203.
37. Sankararaman, S., Haney, W. A., Kochi, J. K. (1987). Annihilation of aromatic cation radicals by ion-pair and radical pair collapse. Unusual solvent and salt effects in the competition for aromatic substitution. *Journal of the American Chemical Society*, *109*(25), 7824-7838.
38. Schultz, D. M., Yoon, T. P. (2014). Solar synthesis: prospects in visible light photocatalysis. *Science*, *343*(6174), 1239176.

39. Sehested, K., Holcman, J., Hart, E. J. (1977). Conversion of hydroxycyclohexadienyl radicals of methylated benzenes to cation radicals in acid media. *The Journal of Physical Chemistry*, *81*(14), 1363-1367.
40. Shida, T. (1988). *Electronic absorption spectra of radical ions* (No. 34). Elsevier Science Limited.
41. Sun, K., Shi, A., Liu, Y., Chen, X., Xiang, P., Wang, X., Lingbo, Q., Yu, B. (2022). A general electron donor–acceptor complex for photoactivation of arenes via thianthrenation. *Chemical Science*, *13*(19), 5659-5666.
42. Takamuku, S., Komitsu, S., Toki, S. (1989). Radical cations of anisole derivatives. Novel complex formation. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part C. Radiation Physics and Chemistry*, *34*(4), 553-559.
43. Weiss, J. (1946). Simple electron transfer processes in systems of conjugated double bonds. *Transactions of the Faraday Society*, *42*, 116-121.
44. Wheland, G. W. (1942). A quantum mechanical investigation of the orientation of substituents in aromatic molecules. *Journal of the American Chemical Society*, *64*(4), 900-908.
45. Wheland, G. W. The Theory of Resonance; Wiley: New York, 1944.
46. WHO model list of essential medicines - 22nd list, 2021 https://www.who.int/publications/i/item/WHO-MHP-HPS-EML-2021.02 adresinden 14 Ağustos 2023 tarihinde alınmıştır.
47. Zocher, G., Winkler, R., Hertweck, C., Schulz, G. E. (2007). Structure and action of the N-oxygenase AurF from Streptomyces thioluteus. *Journal of molecular biology*, *373*(1), 65-74.

Bölüm 29

Bulut Teknolojilerinde Veri Güvenliği

Çiğdem BAKIR[1]

[1] Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, cigdem.bakir@dpu.edu.tr

Özet

Bulut bilişim sistemleri günümüzde hızla yaygınlaşan ve kullanılan bir teknolojidir. Bu sistemler sayesinde verilerin saklanması, işlenmesi ve paylaşılması gibi işlemler daha kolay hale gelmiştir. Ancak, bu sistemlerin kullanımı beraberinde bazı güvenlik riskleri getirmektedir. Verilerin bulut sunucularında depolanması, güvenlik açıkları ve sızıntılarına karşı daha savunmasız hale getirir. Bu nedenle, bulut bilişim sistemleri üzerindeki veri güvenliği konusu oldukça önemlidir. Veri güvenliği konusunda yapılan araştırmalar, bulut bilişim sistemlerindeki güvenlik açıklarının ve sızıntılarının önemli bir sorun olduğunu ortaya koymuştur. Bu sebeple, bulut bilişim sistemleri üzerindeki veri güvenliği sorunlarına yönelik çözümler ve önlemler üzerine yapılan çalışmalar oldukça önemlidir. Bu çalışmada, bulut bilişim sistemleri ve veri güvenliği sorunları ve çözümleri konuları ele alınacaktır.

Anahtar Kelimeler: bulut teknolojileri, güvenlik, yapay zeka, blok zincir, veri bütünlüğü, veri ihlali

Abstract

Cloud computing systems are a technology that is rapidly becoming widespread and used today. Thanks to these systems, operations such as storing, processing and sharing data have become easier. However, the use of these systems brings with it some security risks. Storing data on cloud servers makes it more vulnerable to security vulnerabilities and leaks. Therefore, the issue of data security on cloud computing systems is very important. Research on data security has revealed that security vulnerabilities and leaks in cloud computing systems are a major problem. For this reason, studies on solutions and measures for data security problems on cloud computing systems are very important. In this study, cloud computing systems and data security issues and solutions will be discussed.

Keywords: cloud technologies, security, artificial intelligence, blockchain, data integrity, data breach

Giriş

Son yıllarda, Bulut Bilişim teknolojisi büyük ilgi çekmektedir. Kurum ve kuruluşlar bulut bilişimin sunduğu fırsatlara çok olumlu bakmaktadırlar [1]. Bulut Bilişim, maliyet avantajlarından dolayı ekonomik durgunlukta daha da çekici hale gelmiştir. Ancak geniş kapsamına rağmen, bulut bilişimin ne olduğu ve Grid Bilişimle nasıl ilişkili olduğu konusunda henüz ortak bir fikir birliği yoktur.

Bilgi teknolojilerindeki gelişmeler ise bireyler ve kurumlar için verilerin depolanması, erişilebilirliği ve yedeklenmesi süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır [2]. Bu gelişmeler sayesinde esnek ve maliyeti minimize edebilen teknolojiler doğmuştur. Günümüz teknolojisi, bireysel ve kurumsal verilerin bulut tabanlı sistemlerde depolanmasına ve erişilebilir hale gelmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede, bilgi tabanlı üretim sürecine geçiş yapılırken, verilerin korunması ve saklanması da daha etkili hale gelmektedir.

İnsanların ihtiyaçlarına paralel olarak çeşitli aşamalardan geçtiği ve üretimin hayatın vazgeçilmez bir unsuru olduğu düşünüldüğünde, Bilgi Teknolojileri'nin gelişimi de doğal bir evrim süreci olarak karşımıza çıkmaktadır. Gelişen teknoloji, sanayi toplumlarını bilgi toplumlarına dönüştürmüş ve bilgi teknolojilerinin saklama, kullanma ve üretim süreçlerindeki etkisi her geçen gün artmıştır. Bulut Bilişim ise bu gelişmelerin sonucunda ortaya çıkan yeni nesil bir teknolojidir ve günümüzün en önemli teknolojik gelişmelerinden biridir.

Teknolojinin gelişmesi, ekonomik, sosyal ve çevresel yeniliklerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Yeni gelişmelerle birlikte, bireylerin ve işletmelerin bu değişimlere uyum sağlamaları artık kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Bulut bilişim, bu yeniliklerden biridir ve bulut servislerini kullanarak her tür dosyanın buluta yüklenerek ihtiyaç duyulduğunda internet aracılığıyla her zaman erişilebilmesini sağlamaktadır. Bulut teknolojileri il enerji maliyet tasarrufu, güvenli yazılım güncellemeleri, ulaşım kolaylığı sağlanır.

Bulut Bilişim teknolojilerinde iki önemli özellik, sanallaştırma ve ölçeklenebilirliktir [3]. Bulut Bilişim, sanallaştırma yoluyla altındaki donanım ve sistem yazılımından soyutlanır. Sanallaştırılmış kaynaklar, tanımlanmış bir soyutlama arayüzü (Bir Uygulama Programlama Arayüzü (API) veya bir hizmet) aracılığıyla sağlanır. Böylece, ham donanım seviyesinde, kaynaklar arayüz vasıtasıyla talebe göre eklenebilir veya geri çekilebilir, ancak kullanıcı arayüzü değişmez. Bu mimari, bir Bulutun fiziksel katmanında ölçeklenebilirlik ve esneklik sağlar ve son kullanıcı arayüzüne etki etmez.

Bulut Bilişim Güvenliği, günümüzde hızla yaygınlaşan ve pek çok kuruluşun tercih ettiği bulut bilişim teknolojisinin güvenliğini sağlama amacıyla geliştirilen bir disiplindir. Bulut bilişim, işletmelere esneklik, ölçeklenebilirlik ve maliyet

avantajları sunarken, aynı zamanda güvenlik risklerini de beraberinde getirir. Bu nedenle, bulut bilişim ortamında veri güvenliği, veri gizliliği, hizmet sürekliliği ve erişim kontrolü gibi konular büyük önem taşır.

İlgili Çalışmalar

Bulut bilişim hızla genişleyen bir alandır. Kullanıcıların bilgisayar sistemi kaynaklarına, özellikle veri depolama ve bilgi işlem gücüne, doğrudan yönetmeden erişmelerine olanak tanır. Adee ve arkadaşları, veri kaybı, veri manipülasyonu ve veri hırsızlığı gibi mevcut güvenlik ve gizlilik endişelerini azaltmayı amaçlayan bulut bilişimdeki veriler için kriptografi ve steganografiye dayalı bir veri güvenliği modeli oluşturmuşlardır [4]. Rivest–Shamir–Adleman, Advanced Encryption Standard ve Least Significant Bit steganografisinin yanı sıra kimlik tabanlı şifreleme algoritmalarına dayanan dört adımlı bir veri güvenliği modeli önermişlerdir. Şifreleme algoritmaları ve steganografi ile veri gizliliğini, mahremiyetini ve bütünlüğünü saldırganlardan koruyarak daha fazla bulut veri yedekliliği, esneklik, verimlilik ve güvenlik sağlanmaktadır.

Naved ve arkadaşları, bulut teknolojilerinde veri güvenliği için yapay zeka yöntemlerini önermişlerdir [5]. Disk koruması, sanallaştırma, veri güvenliği, ağların güvenliği ve programların güvenli bir şekilde saklanması ve yönetilmesi bulut teknojilerinde çok önemlidir. Bulut ve yapay zeka stratejilerini kullanmak, sistemin yeteneklerini ve maliyetlerini en üst düzeye çıkarmanın bir yoludur. Güvenlik ve performans, bulut oluşturma boyutunun güvenlik ve koruma olduğunu test eden bulut bilgi işlemin güvenilirliğini göstermektedir. Denetimli, denetimsiz, yarı denetimli ve gelişmiş bulut güvenliği sorunlarında çözüm olarak yapay zeka yöntemleri firmalar için önerilmektedir.

Kirubakaran bulut teknolojilerinde kullanıcı gizliliği ihlalleri, verilerin ifşası, verilerin bozulması gibi güvenlik sorunlarının çözümü amacıyla Privacy-Preserved Data Security Approach (PP-DSA) yaklaşımını önermişlerdir [6]. Bu çalışmada, Third-Party Auditor (TPA) ile uygulanan Group Signature yöntemi kullanılarak Efficient Authentication Technique (EAT) ile gizliliğin korunması sağlanmaktadır. Çalışmanın amacı, bulut güvenliğini artırmak ve dolayısıyla Hizmet Kalitesini (QoS) artırmaktır.

Alemami ve arkadaşları, şifreleme de dahil olmak üzere bulut verilerinin güvenliğini sağlamak için çeşitli teknolojiler geliştirerek bulut bilgi işlemdeki veri güvenliği sorununun azaltılmasına katkıda bulunmuşlardır [7]. Şifreleme, yetkisiz erişimi engellemek için en güvenli çözümlerden biridir. Bulut verilerinin güvenliğini sağlamak için bulut ortamlarında farklı şifreleme teknikleri kullanılır ve bu da bilgisayar korsanlığının bir ölçüde azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu sebeple yaptıkları çalışmada bir dizi şifreleme algoritması (gelişmiş şifreleme

standardı (AES), veri şifreleme standardı (DES), Blowfish, Rivest-Shamir-Adleman (RSA) ve uluslararası veri şifreleme algoritması (IDEA)) veri şifreleme kapasitesi, bellek kullanımı ve şifreleme süresi, bilgisayar korsanlarından bulut bilgilerinin güvenliğini sağlamaya yönelik en uygun algoritmayı belirlemek için karşılaştırılmıştır.

Wang ve arkadaşları, bulut bilişimde veri güvenliği için çoklu arama mekanizmasını destekleyen, hızlı ve esnek öznitelik tabanlı aranabilir bir şifreleme şeması önermişlerdir [8]. Veri güvenliğini sağlarken veri paylaşımını gerçekleştirmek için verimli arama mekanizmalarının nasıl kullanılacağı günümüzde önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu çalışmada, hesaplama ve depolama verimliliğinde üstün olan, LSSS (Doğrusal Gizli Paylaşım Şeması) erişim politikasına dayalı yeni bir aranabilir algoritma uygulanmıştır. Önerilen şema tam arama, mantıksal arama ve aralık arama mekanizması gibi çeşitli arama mekanizmalarını desteklemektedir. Sayısal anahtar kelimelerin sayısını azaltmak için 0,1 kodlama teorisi kullanılmıştır. Ayrıca önerdikleri modelin anahtar kelime saldırılarına karşı korunduğunu göstermek amacıyla birçok analiz gerçekleştirmişlerdir.

Azzaoui ve arkadaşları, akıllı sağlık hizmetlerinin güvenliği, üstel zamanda büyük ve karmaşık işlemleri hesaplamak için yeterli olan hızlı, verimli ve ölçeklenebilir sistemler için blokzincir tabanlı yetkilendirilmiş Quantum bulut mimarisi önermişlerdir [9]. Önerilen mimarinin fizibilitesini ve güvenliğini artırmak için Kuantum Terminal Makineleri ve blok zincir teknolojisinin kullanılmıştır. Blokzincir, müşteri tarafında bir kuantum makinesine sahip olma ihtiyacını azaltacak ve müşterilere Kuantum Bulutuna güvenli erişim sağlayacaktır. Önerilen mimarinin güvenliğini ölçmek için Grover arama algoritmasını Quantum Cloud üzerindeki tamamen şifrelenmiş veriler üzerinden hesaplanarak analiz edilmiştir ve tıbbi büyük veri güvenliği bulut ortamında sağlanmıştır.

Bulut , bilgi teknolojisi endüstrisinin hızlı büyüyen sektörünün potansiyel bir iş modeli olarak kendini kanıtlamış bir tür internet tabanlı bilgi işlemdir. BT ile ilgili çoğu işletme, kuruluş ve eğitim kurumu, BT altyapısı maliyetlerinden ve bakımından tasarruf etmek için operasyonlarını buluta taşımaktadır. Ancak insanlar, hizmet sağlayıcıların sunucularında tutulan verilerinin güvenliği ve gizliliği konusunda sorunlar yaşamaktadır. Das ve arkadaşları, bulut teknolojilerinde veri güvenliği için hibrit modele dayalı yeni bir şifreleme modeli önermişlerdir [10]. Bu çalışmada, bulut tabanlı dinamik ortamda depolanan verilerin gizliliğini ve güvenliğini sağlayan farklı bir model geliştirilmiştir.

Bulut teknolojilerinde veri güvenliğinin sağlanması için şifreleme tekniklerinin yanı sıra derin öğrenme modelleri de kullanılmaktadır. Derin Sinir

Ağları (DNN), tıbbi tedavi ve finans gibi veri gizliliği koruma uygulamalarında sıklıkla kullanılmıştır. Ancak, DNN'ler hesaplama açısından yüksek hızlı ve yüksek bellekli bilgisayarlar gerektirir, aksi takdirde eğitim çok uzun olabilmektedir. Ayrıca, DNN'ler genellikle kısıtlı kaynaklara sahip mobil cihazlarda mevcut değildir. Bu nedenle, DNN'leri eğitmek için daha fazla bulut bilgi işlem kullanılmaktadır. Bu sebeple derin sinir ağlarının güç normalleştirilmiş cepstral sağlam özellikleri ile bulut bilgi işlem veri gizliliği koruma şeması oluşturulmuştur [11].

Bal ve arkadaşları, hibrit makine öğrenimi kullanarak bulut bilgi işlemde verimli görev planlama ile birleştirilmiş bir kaynak tahsisi güvenliği modeli önermişlerdir [12]. Önerilen model ile, görev çizelgeleme için geliştirilmiş bir kedi sürüsü optimizasyonu algoritmasına dayalı kısa programlayıcı, üretim süresini en aza indirir ve verimi en üst düzeye çıkarılmaktadır. Ayrıca, farklı tasarım kısıtlamaları kullanan verimli kaynak tahsisi için grup optimizasyonuna dayalı bir derin sinir ağı, bant genişliği ve kaynak yükünü içermektedir. Veri depolamada ise veri şifreleme için hafif bir kimlik doğrulama şeması kullanılmıştır.

Kaur ve arkadaşları, bulut bilişim teknolojilerinde güvenli iki faktörlü kimlik doğrulama çerçevesi önermişlerdir [13]. Bu model kaba kuvvet saldırısına, oturum ve hesap ele geçirme saldırısına, MITM saldırılarına ve tekrar saldırılarına direnen geleneksel kullanıcı kimlikleri, parola ve OTP doğrulama prosedürü ile yeni bir tek yönlü karma ve tabanlı olmayan iki faktörlü güvenli kimlik doğrulama şeması ile verilerin güvenliğini ve mahremiyetini korumaya yönelik yaklaşımı tanımlayarak hassas verileri olası tehditlerden korumaktadır.

Bulut Bilişim ve Özellikleri

"Cloud Computing" ifadesi genellikle Türkçe 'ye "Bulut Bilişim" şeklinde çevrilmektedir. Bulut Bilişim tüm verilerin, yazılımların, uygulamaların, bilgilerin ve belgelerin internet bulutu üzerinde yer alan sanal bir depoda depolanmasını ve internet üzerinden ulaşılabilmesine imkân tanıyan bir teknolojidir . Bulut Bilişim, hazırlanmış prosedür ve anlaşmalara bağlı kalmak şartı ile herhangi bir zaman ve mekân kısıtlaması olmaksızın kullanılabilmektedir [14].

2000'lerin başlarında, büyük teknoloji şirketleri bulut bilişim hizmetlerini sunmaya başladı. Amazon, 2006 yılında Amazon Web Services (AWS) ile bulut bilişimde önemli bir adım attı. Diğer şirketler de kendi bulut bilişim platformlarını geliştirdi [15]. 2010'larda, bulut bilişim büyük bir yaygınlık kazandı. Bugün, bulut bilişim hızla gelişmeye devam etmekte ve kenar bilişimi (edge computing), yapay zekâ, büyük veri analitiği gibi alanlarda bulut bilişim

kullanımı artmaktadır. Güvenlik ve veri gizliliği konuları da sürekli olarak üzerinde çalışılan önemli konular arasında yer almaktadır.

Bulut sistemleri, Bulut teknolojisi olarak da adlandırılan bir hizmet modelidir. İnternet üzerinden erişim protokollerini kullanarak çalışır ve kullanıcıların web üzerinden sunuculara güvenli bir şekilde erişim sağlamasına olanak tanır. Bu sistem, web tabanlı iletişim protokolleri üzerinden kullanıcı ve sunucu arasında etkileşimleri gerçekleştirir. Bulut teknolojisi, güçlü bir güvenlik mekanizmasına sahiptir ve bilgilerin transferi kadar korunması da önemlidir. Bu özelliği sayesinde verilerin güvenliğini sağlar. Günümüzde, pek çok alanda yaygın olarak kullanılan bir teknoloji olarak önemli bir rol oynamaktadır

Bulut Bilişim Servis Modelleri

Bulut bilişim servis modelleri, bulut bilişim hizmetlerinin sağlanma şekillerini ifade eder. Bu modeller, hizmet sağlayıcının müşteriye sunduğu hizmet türüne göre değişir. Sunuculu ve sunucusuz olmak üzere bulut bilişim servis modelleri iki ana başlık altında incelenebilir [16]:

Sunuculu (Serverful) Servis Modelleri:

Altyapı Olarak Hizmet (IaaS-Infrastructure as a Service): IaaS, müşterilerin sanal altyapı kaynaklarını, sunucuları, depolama birimlerini ve ağ bileşenlerini bulut sağlayıcısından kiralayabileceği bir bulut bilişim servisidir [17]. Müşteriler, altyapı kaynaklarını ölçeklendirebilir ve yönetebilirler. Örneğin, Amazon Web Services (AWS) ve Microsoft Azure gibi bulut sağlayıcıları IaaS hizmeti sunarlar.

Platform Olarak Hizmet (PaaS-Platform as a Service): PaaS, müşterilerin uygulama geliştirmek için gerekli olan yazılım ortamını bulut sağlayıcısından kiralayabileceği bir bulut bilişim servisidir [17]. Bu servis, müşterilerin uygulama geliştirme sürecinde kullanacakları tüm araçları sağlar. Örneğin, Google Cloud Platform (GCP) ve Salesforce gibi bulut sağlayıcıları PaaS hizmeti sunarlar.

Yazılım Olarak Hizmet (SaaS-Software as a Service): SaaS, müşterilerin bulut sağlayıcının sunduğu yazılımları kullanarak iş süreçlerini yönetebilecekleri bir bulut bilişim servisidir [17]. Müşteriler, yazılımı kullanmak için herhangi bir kurulum yapmak zorunda değiller ve yazılımı herhangi bir cihazdan erişebilirler. Örneğin, Microsoft Office 365, Google Workspace ve Salesforce CRM gibi bulut sağlayıcıları SaaS hizmeti sunarlar.

Bu üç temel bulut bilişim servis modeli, müşterilere farklı seviyelerde kontrol ve özelleştirme seçenekleri sunar. Bu sebeple, bulut bilişim hizmetlerine ihtiyaç duyan işletmeler, ihtiyaçlarına en uygun servis modelini seçebilirler.

Sunucusuz (Serverless) Servis Modelleri:

Fonksiyon Olarak Hizmet: (FaaS-Function as a Service): Kullanıcılara işlev (fonksiyon) tabanlı uygulama geliştirme ve yürütme imkanı sağlar. Kullanıcılar, işlevlerini bir FaaS platformuna yükler ve bu platform, işlevlerin belirli olaylar gerçekleştiğinde tetiklenmesini ve yürütülmesini otomatik olarak sağlar.

Konteyner Olarak Hizmet (CaaS-Container as a Service): Kullanıcılara konteyner tabanlı uygulamaları çalıştırma, yönetme ve dağıtma imkânı sağlar. Kullanıcılar, konteynerlerini bir CaaS platformuna yükler ve platform, konteynerlerin dağıtımını ve ölçeklendirilmesini otomatik olarak yönetir.

Backend Olarak Hizmet (BaaS-Backend as a Service): Kullanıcılara uygulama geliştirmek için backend hizmetlerini sunar. Kullanıcılar, veritabanı, kullanıcı yönetimi, dosya depolama gibi backend bileşenlerini kullanarak uygulama geliştirebilirler. Bu servis modeli sunucusuz özelliklere sahip olabilir.

Bulut Bilişim ve Grid Bilişim

Cloud Computing ve Grid Computing, hem bilgi teknolojileri hem de hesaplama alanında oldukça önemli kavramlardır [18]. Her ikisi de bilgi işlem faaliyetlerini optimize etmek ve kaynakları en iyi şekilde kullanmak için tasarlanmıştır, ancak farklı yaklaşımları vardır.

Cloud Computing, sanal sunucular, depolama alanları ve uygulama hizmetleri gibi bir dizi kaynağı bir araya getirerek, internet üzerinden erişilebilen bir hizmet olarak sunar. Cloud Computing hizmeti sağlayan şirketler, kaynakları merkezi bir konumda birleştirir ve istemcilere (kullanıcılara) istedikleri zaman erişebilmeleri için sunarlar. Bu sayede kullanıcılar, bir bilgisayarda veya sunucuda olması gereken işlemleri, verileri ve uygulamaları, internet bağlantısı olan herhangi bir cihazdan kullanabilirler. Cloud Computing'in bu özellikleri, esnekliği ve erişilebilirliği artırır, kaynakların paylaşımını kolaylaştırır ve maliyetleri düşürür.

Grid Computing ise, birbiriyle bağlantılı çok sayıda bilgisayar ve sunucunun kaynaklarını bir araya getirerek, büyük ölçekli hesaplama işlemlerinin yapılmasını sağlar. Grid Computing, ağdaki birden çok bilgisayarın işlem gücünü ve belleğini bir araya getirir, bir işlemci gibi davranır ve bu kaynakları, büyük ölçekli bilimsel, mühendislik ve finansal hesaplamalarda kullanılır. Grid Computing'in temel amacı, bilgi işlem kaynaklarını optimize etmek, daha verimli ve etkili bir şekilde kullanmaktır.

Bir başka fark da Cloud Computing'in daha çok işletmelerin ve bireylerin kullanımı için tasarlanmış olması, Grid Computing'in ise daha çok bilimsel araştırmalar ve mühendislik hesaplamaları için kullanılmasıdır. Bu iki teknoloji arasındaki temel farklılıklar aşağıdaki gibidir [19]:

Kaynakların Yönetimi: Grid Computing'de, kaynaklar genellikle farklı kuruluşlar tarafından paylaşılır ve merkezi bir yönetim olmaz. Kaynakların paylaşımı, kullanıcıların uygulamalarını çalıştırmak için ihtiyaç duydukları kaynakları bulmaları ve kullanmalarıyla gerçekleşir. Cloud Computing'de ise kaynaklar, genellikle tek bir merkezi noktadan yönetilir.

Esneklik: Grid Computing, özellikle bilimsel araştırmalar için tasarlanmıştır ve genellikle statik bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, Grid Computing'de, kaynakların esnek bir şekilde eklenebilmesi veya çıkarılabilmesi zordur. Cloud Computing'de ise, kullanıcılar ihtiyaçlarına göre kaynakları dinamik olarak ayarlayabilirler.

Hizmet Modelleri: Grid Computing'de, kullanıcılar genellikle işlem gücü ve depolama kaynaklarına erişirler. Cloud Computing'de ise, kullanıcılar genellikle Platform as a Service (PaaS), Infrastructure as a Service (IaaS) ve Software as a Service (SaaS) gibi farklı hizmet modellerine erişebilirler.

Veri Yönetimi: Grid Computing'de, veriler genellikle farklı kaynaklarda saklanır ve paylaşılır. Bu nedenle, veri yönetimi karmaşık olabilir. Cloud Computing'de ise, veriler genellikle bulutta merkezi olarak saklanır ve yönetilir.

Güvenlik: Grid Computing'de, kaynakların farklı kuruluşlar tarafından paylaşılması nedeniyle güvenlik riskleri olabilir. Cloud Computing'de ise, veriler ve kaynaklar genellikle güvenli bir şekilde saklanır ve yönetilir.

Bulut Bilişimin Avantajları ve Dezavantajları

Bulut bilişimin her teknolojinin olduğu gibi kullanıcılara avantajlarla birlikte dezavantajlarını da getirir. Aşağıda bulut bilişim sistemlerinin avantajları ve dezavantajları listelenmiştir [20].

Avantajları:

Maliyet: Bulut bilişimin en önemli avantajlarından biridir. Öngörülemeyen kurulum ve işletme maaliyetlerini ortadan kaldırmak için kullanıcıların tercih nedenleri arasında bulunmaktadır. Kullanıcılar veri merkezleri ve sunuculara büyük yatırımlar yapmak yerine servis sağlayıcılarının sunduğu ver merkezi ve sunucuları kullanarak yüksek maliyetlerden kurtulabilmektedir. Bu sayede kullanıcılar altyapı kurulumu ve işletmesine ayrılacak kaynakları farklı alanlara yönlendirebilirler.

Ölçeklenebilirlik: Geleneksek veri merkezi ve sunucuları bulunan kullanıcıların ihtiyaçları halinde yeni bir bileşen eklemek hem maliyet hem de zaman gerektirmektedir. Kullanıcıların donanım satın alıp kurlum yapmalarını yerine hizmet sağlayıcılar üzerinden çok daha hızlı şekilde bu işlemler

gerçekleştirilmektedir. Ayrıca ihtiyacın ortadan kalkması durumunda hızlı şekilde kaynak azaltma işlemi gerçekleştirilebilir.

Hızlı Erişim İmkânı: Bulut bilişimde kaynaklar tüm kullanıcılara bir tık uzaklıktadır. Bu sayede birbirinden uzaktaki kullanıcılar çok hızlı şekilde paylaşım yaparak ortak çalışma yürütebilmektedir.

Altyapı ve Veri Merkezi İşletmekten Kurtulma: Kullanıcılar altyapı ve veri merkezi işletmek için fazladan kaynak ve iş gününe ihtiyaç duymaktadır. Bulut bilişim hizmet sağlayıcıları sayesinde, bu ihtiyaçların tamamı hizmet sağlayıcıların sorumluluğuna bırakılarak kullanıcıların altyapı işleri yerine farklı alanlara odaklanması sağlanmaktadır.

Dayanıklılık: Bulut bilişimin başka bir avantajı da dayanıklı olmasıdır. Hizmet sağlayıcıların kullanıcı verilerini korumak adına yürüttüğü yedekleme ve dağıtık mimari sayesinde kullanıcıların kaynakları korunmaktadır. Geleneksel veri merkezlerinde olası güç kesintisi, ağ arızaları ve donanım arızalarında sistemler kısmen ya da tamamen hizmet dışı kalabilmektedir. Ancak bulut bilişim sistemlerine bu gibi durumlarda farklı kaynaklar üzerinden tolere edilebilmektedir.

Dezavantajları:

Güvenlik: Hizmet sağlayıcılardan çok sayıda şirket ve kullanıcının hizmet alması, sisteme saldırı potansiyelini artırmaktadır. Bu durumda bulutta depolanan verilerin kaybı yada çalınması kullanıcılar için milyonlarca dolar kayna sebep olabilir.

Gizlilik: Güvenlik endişeleri ile birlikte gizlilik endişeleri de bulut bilişim sistemlerinin dezavantajları arasında gösterilebilir. Birçok kullanıcının verileri aynı hizmet sağlayıcıda olacağı için yetkisiz erişimler olabilir.

Süreklilik: Hizmet sağlayıcı tarafından verilen hizmetin kesintisiz olması önemlidir. Erişim sorunları ya da verilen hizmetlerin servis dışı kalma endişeleri bulut bilişim sistemlerinin dezavantajları arasındadır.

Yüksek Maliyet: Bulut bilişim hizmetleri abonelik olarak satıldığı için, doğru planlama yapılmadığı takdirde, kullanıcının yüksek trafik ve depolama kullanması durumunda fazladan maliyet çıkabilmektedir.

Bulut Bilişim Sistemlerinde Veri Güvenliği

Bilgi güvenliği, herhangi bir bilgi sistemini oluşturan donanım, yazılım, veri ve kullanıcılar gibi bileşenleri koruma sürecidir [21]. Bilgi güvenliği, bir organizasyonun gizli, değerli veya hassas bilgilerinin yetkisiz erişim, kullanım, değiştirme, ifşa veya yok edilmesini önlemek için tasarlanmıştır.

Bulut bilişim sistemleri, özellikle son yıllarda hızla popülerlik kazanmıştır. Bu nedenle, bulut bilişim sistemlerindeki veri güvenliği önemli bir konudur.

Veri Güvenliğinin Hedefleri

Gizlilik (Confidentiality)

Gizlilik, verilerin yetkisiz erişime karşı korunması anlamına gelir. Bu kavram, verilerin sadece yetkilendirilmiş kullanıcılar veya roller tarafından erişilebilir olmasını sağlamayı hedefler. Gizlilik, verilerin korunması için şifreleme, erişim kontrolleri ve veri izolasyonu gibi güvenlik önlemlerini içermektedir [22]. Bu sayede, verilerin yetkisiz kişilerin eline geçmesi veya kötü niyetli kullanımlara maruz kalması riski azalmaktadır.

Bütünlük (Integrity)

Bütünlük, verilerin doğruluğu, tutarlılığı ve değişmezliği anlamına gelir. Bütünlük, verilerin değiştirilmediğinden veya bozulmadığından emin olmayı amaçlamaktadır. Veri bütünlüğü, verilerin istenmeyen veya izinsiz değişikliklere karşı korunmasını sağlamak için belli başlı önlemler gerektirir. Bu önlemler için, özetleme (hashing), dijital imzalar ve doğrulama mekanizmaları kullanılabilir [23]. Bu sayede, verilerin istenmeyen değişikliklere karşı korunmakta ve veri bütünlüğünün sağlanmaktadır.

Erişebilirlik (Availability)

Erişebilirlik, verilere yetkili kullanıcılar tarafından gerektiğinde erişilebilir olma durumunu ifade etmektedir. Uygunluk, verilerin ihtiyaç duyulduğunda, istenen hizmet seviyesinde kullanılabilir ve erişilebilir olmasını sağlamayı hedefler [24]. Bu, verilerin doğru ağ altyapısı, sunucular, depolama sistemleri ve yedekleme/replikasyon mekanizmaları ile desteklenmesini gerektirir. DDoS saldırıları, doğal afetler veya altyapı sorunları gibi olaylara karşı dirençli bir yapı kurmak, uygunluk sağlanması için önemli bir adımdır.

Veri Güvenliği Tehditleri

Veri güvenliği, günümüzde organizasyonlar ve bireyler için kritik bir konu haline gelmiştir. Bilgi teknolojilerinin yaygın kullanımı ve veri tabanlı iş süreçlerinin artmasıyla birlikte, veri güvenliği tehditleri de çeşitlenmiş ve karmaşık hale gelmiştir. Bu tehditler, verilerin gizliliğini, bütünlüğünü ve erişilebilirliğini etkileyebilir. Veri güvenliğinin temel tehditlerini anlamak, uygun önlemler alarak veri kaybı, sızıntı, ihlal, istismar ve manipülasyonu gibi olumsuz durumların önüne geçmek için önemlidir [25].

Veri Sızıntıları

Veri sızıntıları, hassas veya gizli bilgilerin yetkisiz kişilere veya sistemlere sızdırılması durumudur. Bu tehdit, hem içeriden (insider tehditleri) hem de

dışarıdan (hacker saldırıları) kaynaklanabilir. İçeriden sızıntılar, kötü niyetli çalışanlar veya yanlışlıkla yapılan hatalar sonucunda ortaya çıkabilir. Dışarıdan sızıntılar ise ağ saldırıları, zararlı yazılımlar veya yetkisiz erişim girişimleriyle gerçekleşebilir. Veri sızıntıları, müşteri bilgileri, ticari sırlar, finansal bilgiler gibi hassas verilerin ifşa olmasına ve ciddi itibar kayıplarına neden olabilir [26].

Veri İhlalleri ve Veri Hırsızlığı

Veri ihlalleri ve veri hırsızlığı, yetkisiz kişilerin bir sistem veya ağa erişerek hassas verileri çalması veya kötüye kullanması durumudur [27]. Bu tehditler genellikle finansal kazanç, itibar zararı veya rekabet avantajı elde etmek amacıyla gerçekleştirilir. Veri ihlalleri, güvenlik açıklıklarının sömürülmesi, zayıf şifreleme yöntemleri veya kullanıcı hataları gibi faktörlerden kaynaklanabilir. Veri hırsızlığı, müşteri bilgileri, kredi kartı bilgileri, ticari veriler gibi değerli bilgilerin ele geçirilmesine ve ciddi mali kayıplara yol açabilir.

Veri Kaybı

Veri kaybı, verilerin tamamen yok olması veya geri getirilemez bir şekilde bozulması durumudur. Veri kaybı, donanım arızaları, yazılım hataları, doğal afetler veya insan hatası gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir. Bu tehdit, organizasyonlar için büyük bir risk oluşturur çünkü kaybolan verilerin yeniden oluşturulması veya geri getirilmesi zor olabilir. Veri kaybı, iş sürekliliği, hukuki sorunlar ve müşteri memnuniyetsizliği gibi ciddi sonuçlara neden olabilir.

Veri İstismarı ve Veri Manipülasyonu

Veri istismarı ve veri manipülasyonu, yetkisiz kişilerin veya kötü niyetli çalışanların verileri yanlış amaçlarla değiştirme veya bozma eylemidir [28]. Veri istismarı genellikle içeriden kaynaklanırken, veri manipülasyonu hem içeriden hem de dışarıdan gerçekleştirilebilir. Bu tehditler, finansal verilerin manipülasyonu, sahtekarlık, yanıltıcı bilgi yayma veya yanlış yönlendirme gibi sonuçlara yol açabilir. Veri istismarı ve manipülasyonu, doğru kararlar almak için güvenilir verilere dayanma prensibini zedeler ve kurumların güvenilirliğini sarsabilir.

Bulut Bilişim Sistemlerindeki Veri Güvenliği Zayıflıkları ve Önlemleri

Bulut bilişim sistemi, veri depolama ve işleme gibi hizmetlerin internet üzerinde paylaşılan kaynaklar üzerinde gerçekleştirildiği bir yapı sağlar. Ancak, bu yapı beraberinde çeşitli veri güvenliği zayıflıklarını da getirir. Bu zayıflıklar, kuruluşların verilerinin yetkisiz kişiler tarafından ele geçirilme veya kötüye

kullanılma riskini artırır. Bu bölümde, bulut bilişim sistemlerinde yaygın olarak görülen veri güvenliği zayıflıklarını ele alacağız.

Kimlik Doğrulama ve Yetkilendirme Sorunları

Bulut bilişim sistemlerindeki en önemli veri güvenliği zayıflıklarından biri, kimlik doğrulama ve yetkilendirme sorunlarıdır [29]. Bu sorunlar, kullanıcıların ve hizmet sağlayıcıların kimliklerini doğrulamada ve doğru yetkilendirmeleri yapmada yaşanan zorlukları içerir. Kötü niyetli kişiler, zayıf kimlik doğrulama yöntemleri veya kötü yapılandırılmış yetkilendirme politikalarını kullanarak sistemlere yetkisiz erişim sağlayabilir. Bu da verilere ve sistemlere yetkisiz erişim sağlama riskini artırır.

Kimlik doğrulama ve yetkilendirme sorunlarının çözümü için iki temel yaklaşım bulunmaktadır.

İlk olarak, güçlü kimlik doğrulama yöntemleri kullanılmalı ve kullanıcılar bilinçlendirilmelidir. Bu, karmaşık ve güçlü parola politikalarının benimsenmesini, çok faktörlü kimlik doğrulama tekniklerinin kullanılmasını ve kullanıcı eğitimlerinin düzenlenmesini içerir. İkinci olarak, yetkilendirme politikaları ve izin atamaları düzgün bir şekilde yapılandırılmalı ve yönetilmelidir. Bu, en az ayrıcalığı ilkesiyle yetkilendirme politikalarının tasarlanmasını, düzenli olarak izin atamalarının gözden geçirilmesini ve gereksiz yetkilerin kaldırılmasını içerir.

Veri Şifreleme ve Anahtar Yönetimi

Bulut bilişim sistemlerindeki veri şifreleme ve anahtar yönetimi, veri güvenliği için kritik öneme sahiptir. Ancak, bazı durumlarda bu alanlarda zayıflıklar bulunabilir [30]. Örneğin, zayıf şifreleme algoritmaları veya hatalı anahtar yönetimi uygulamaları, verilerin kolayca çözülebilir veya anahtarların yetkisiz kişilerin eline geçmesine neden olabilir. Bu durumda, hassas verilerin ifşa olma riski artar. Sık kullanılan şifreleme yöntemleri aşağıdaki başlıklar altında listelenmiştir.

AES (Advanced Encryption Standard): AES, simetrik şifreleme için en yaygın olarak kullanılan algoritmalardan biridir. Bu algoritma, 128-bit, 192-bit veya 256-bit anahtar boyutlarıyla çalışabilir. AES, güvenlik, hız ve verimlilik açısından yüksek bir seviyede kabul görmüştür. Bu nedenle, bulut bilişim sistemlerinde veri şifrelemede sıklıkla tercih edilen bir algoritmadır.

RSA (Rivest-Shamir-Adleman): RSA, açık anahtarlı şifreleme için kullanılan popüler bir algoritmadır. Bu algoritma, her kullanıcının bir çift anahtara sahip olduğu bir sistemde çalışır: açık anahtar ve özel anahtar. Veri, alıcının açık

anahtarıyla şifrelenir ve yalnızca alıcının özel anahtarıyla çözülebilir. RSA, güvenli anahtar dağıtımı ve güvenli veri paylaşımı için kullanışlı bir seçenektir.

DES (Data Encryption Standard): DES, simetrik şifreleme için kullanılan bir algoritmadır. Bu algoritma, verileri 56-bit anahtar boyutuyla şifreler ve daha güçlü bir güvenlik seviyesi sağlar. Ancak, AES'in kullanımı arttıkça DES'in popülaritesi azalmıştır.

Blowfish: Blowfish, simetrik şifreleme için kullanılan bir diğer popüler algoritmadır. Bu algoritma, değişken anahtar boyutları (32 ila 448 bit) ile çalışır ve hızlı bir şifreleme süreci sunar. Blowfish, genellikle veri güvenliği gerektiren uygulamalarda tercih edilen bir algoritmadır.

Veri İzolasyonu ve Paylaşımı

Bulut bilişim sistemi, birden çok kullanıcının aynı fiziksel kaynakları paylaştığı bir ortam sağlar. Bu durumda, veri izolasyonu ve paylaşımı sorunları ortaya çıkabilir. Bir kullanıcının verilerine yetkisiz erişim sağlamak veya bir kullanıcının verilerinin başka bir kullanıcıyla karışması riski vardır. İyi yapılandırılmış izolasyon ve paylaşım mekanizmaları olmadığında, bu tür veri güvenliği zayıflıkları meydana gelebilir [31].

Veri Yedekleme ve Kurtarma

Veri yedekleme ve kurtarma stratejileri, veri güvenliğinin önemli bir unsuru olarak kabul edilir. Ancak, bulut bilişim sistemlerindeki veri yedekleme ve kurtarma süreçleri hatalı veya yetersiz olabilir. Verilerin doğru şekilde yedeklenmediği veya kurtarma süreçlerinin etkili bir şekilde uygulanmadığı durumlarda, veri kaybı veya kesintiler meydana gelebilir. Bu da iş sürekliliğini etkileyebilir ve veri güvenliği açısından önemli risklere yol açabilir. Bulut hizmet sağlayıcılarının bu gibi durumlar için gerekli önlemleri almaları önemlidir [32].

Yaygın olarak kullanılan yedekleme stratejileri aşağıdaki başlıklar altında açıklanmıştır.

Tam Yedekleme (Full Bakcup): Bu stratejide, tüm veriler belirlenen aralıklarla yedeklenir. Her yedekleme işlemi, tüm veri setinin kopyalanmasını içerir. Tam yedekleme stratejisi, verilerin hızlı bir şekilde geri yüklenmesini sağlar, ancak yedekleme işlemi daha fazla kaynak ve depolama alanı gerektirir.

Artımlı Yedekleme (Incremental Backup): Bu stratejide, sadece belirli bir zaman diliminde yapılan değişiklikler yedeklenir. İlk yedekleme işlemi tam bir kopyayı içerirken, sonraki yedeklemeler sadece değişen veya yeni eklenen verileri içerir. Artımlı yedekleme stratejisi, kaynak ve depolama alanından tasarruf sağlar, ancak veri geri yükleme süreci biraz daha karmaşık olabilir.

Fark Yedekleme (Differential Backup): Bu stratejide, tüm veriler kaydedilerek yedekleme noktası oluşturulur. Artırımlı yedeklemeden farklı olarak yedekleme noktasında itibaren yapılan değişiklikler yedeklenir. Fark yedekleme yöntemi, tam yedekleme işleminin sıklıkla gerçekleştirilmediği senaryolarda tercih edilebilir. Bu yöntem, veri geri yükleme sürecinde hız ve kolaylık sağlarken, aynı zamanda tam yedekleme noktasına olan bağımlılığı azaltır.

Bulut Bilişim Sistemlerinde Kullanılan Veri Güvenlik Önerileri

Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi Tabanlı Veri Güvenliği

Yapay Zekâ (YZ) ve Makine Öğrenmesi (MO) gibi gelişen teknolojiler, bulut bilişim sistemlerinde veri güvenliğinin geleceğinde önemli bir rol oynayacaktır. YZ ve MO, büyük veri analizi, saldırı tespiti, davranış analizi ve otomatik güvenlik önlemleri gibi alanlarda kullanılarak veri güvenliğini artırmaya yardımcı olabilir [33].

YZ ve MO, bulut bilişim sistemlerindeki verilerin sürekli olarak izlenmesini sağlayarak potansiyel tehditleri tespit etme yeteneğine sahiptir. Örneğin, anormal aktiviteleri belirlemek için veri trafiğini analiz edebilir ve saldırı girişimlerini tespit edebilir. Ayrıca, algoritma tabanlı analizler kullanarak, kullanıcıların davranışlarını ve eylemlerini öğrenerek yetkilendirme süreçlerindeki hataları veya izinsiz erişimleri tespit edebilir.

YZ ve MO ayrıca veri şifreleme süreçlerinde ve anahtar yönetiminde de kullanılabilir. Gelişmiş şifreleme algoritmalarını kullanarak, verilerin güvenli bir şekilde şifrelenmesini ve depolanmasını sağlayabilirler. Ayrıca, anahtar yönetimi süreçlerini otomatikleştirerek, güvenli anahtar oluşturma, dağıtımı ve yönetimi konusunda yardımcı olabilirler.

Blok Zincir Teknolojisi ve Veri Güvenliği

Blok Zincir teknolojisi, dağıtık ve şeffaf yapısı sayesinde veri güvenliği alanında büyük bir potansiyele sahiptir. Bulut bilişim sistemlerinde Blok Zincir teknolojisi, verilerin güvenli ve şeffaf bir şekilde saklanması, paylaşılması ve izlenmesi için kullanılabilir [34].

Blok Zincir, verilerin değiştirilemez bir şekilde kaydedildiği ve herhangi bir merkezi otoriteye ihtiyaç duymadan doğrulandığı bir dağıtık defterdir. Bu özellikleri sayesinde, veri manipülasyonu veya veri hırsızlığı gibi tehditlere karşı güçlü bir koruma sağlar.

Blok Zincir teknolojisi, veri güvenliğinde izlenebilirlik ve şeffaflık sağlar. Her işlem Blok Zincir kaydedildiği için, veri kaynaklarının ve işlemlerin doğrulanması kolaylaşır. Ayrıca, dağıtık doğası sayesinde, tek bir merkezi hedefe karşı saldırıların etkisini azaltır.

Örneğin, bir bulut bilişim sistemindeki veri paylaşımı için Blok Zincir kullanılabilir. Blok Zincir tabanlı bir sistemde, veri sahipleri verilerini güvenli bir şekilde paylaşabilir ve izin verilen tarafların erişimini kontrol edebilir. Bu şekilde, veri güvenliği ve gizliliği sağlanırken, izlenebilirlik ve güvenilirlik de artırılabilir.

Veri Güvenliği Bilincinin Artırılması ve Eğitim Programları

Veri güvenliği alanında farkındalık ve eğitim programları, bulut bilişim sistemlerindeki veri güvenliğinin geleceğinde önemli bir rol oynayacaktır. Her ne kadar veri güvenlik teknolojileri mükemmel de olsa, son kullanıcının sistemin en zayıf halkası olması riski bilinen bir gerçektir ve bilinçli kullanıcı eğitimi ve farkındalığı bu noktada kritik bir öneme sahiptir. Kullanıcıların ve çalışanların veri güvenliği konusunda bilinçli olmaları ve doğru güvenlik uygulamalarını benimsemeleri önemlidir [35].

Eğitim programları, kullanıcıları güvenlik tehditleri konusunda bilgilendirir ve doğru güvenlik önlemlerini almalarına yardımcı olur. Bu programlar, güçlü şifre kullanımı, kimlik doğrulama protokollerinin bilinmesi, güvenlik yazılımlarının kullanımı ve sosyal mühendislik saldırılarına karşı dikkatli olma gibi konuları kapsayabilir.

Ayrıca, veri güvenliği bilincinin artırılması için organizasyonlar arası iş birlikleri ve endüstri standartlarının oluşturulması önemlidir. Sektörün önde gelen şirketleri, güvenlik konusunda bilgi ve deneyimlerini paylaşarak birlikte çalışabilir ve en iyi uygulamaları belirleyebilirler. Bu şekilde, veri güvenliği konusunda daha sağlam bir temel oluşturulabilir.

Yeni Nesil Veri Güvenliği Çözümleri ve Araçları

Bulut bilişim sistemlerinde veri güvenliği için sürekli olarak gelişen yeni nesil çözümler ve araçlar önemli bir rol oynayacaktır. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, daha güçlü şifreleme algoritmaları, daha etkili saldırı tespit sistemleri ve daha akıllı güvenlik analiz araçları geliştirilecektir.

Örneğin, davranış tabanlı saldırı tespit sistemleri, normal kullanıcı davranışlarını analiz ederek anormal aktiviteleri tespit edebilir ve potansiyel saldırıları engelleyebilir. Güvenlik analiz araçları, büyük veri analizi ve makine öğrenmesi tekniklerini kullanarak, saldırı eğilimlerini ve zayıf noktaları belirleyebilir ve proaktif önlemler alınmasına yardımcı olabilir.

Ayrıca, bulut bilişim sağlayıcıları ve güvenlik şirketleri arasındaki iş birliği ve Ar-Ge çalışmaları, veri güvenliği alanında yeni çözümlerin geliştirilmesini destekler. Bu şekilde, daha güvenli ve dayanıklı bulut bilişim sistemleri oluşturulabilir.

Sonuç

Bulut bilişim, yeniçağı simgeleyen paralel hesaplama, dağıtık hesaplama ve sanallaştırma teknolojilerinin gelişimidir. Bu teknoloji, talep üzerine internet altyapısına inşa edilip bulut üzerinden yazılım, uygulama, iş ve tüketici bilgi teknolojileri (BT) hizmetleri sunan esnek, uygun maliyetli ve yapılandırılabilir hesaplama kaynaklarına sahip popüler bir teknolojidir. Bulut bilişimin esnek altyapısı, ağ merkezli yaklaşımı ve erişim kolaylığı sebebiyle küçük, orta ve büyük ölçekli birçok organizasyon tarafından kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Fakat çoklu kiracılık, kaynak paylaşımı ve dış kaynak kullanımı, veri ve hizmet alımını üçüncü bir taraftan sağlama gibi bulut bilişimin getirdiği yeni kavramlar, bazı güvenlik risklerini de beraberinde getirmektedir. Bu zorlukların üstesinden gelmek, geleneksel bilgisayar sistemleri için geliştirilen güvenlik önlemlerini geliştirme ve ayarlama yeteneği ile birlikte bulut güvenliği zorluklarını ele almak için yeni güvenlik politikaları, modelleri ve protokolleri önermeyi gerektirmektedir.[14]Bulut bilişimde veri güvenliği için birçok farklı kriptolama tekniği ve farklı güvenlik modelleri mevcuttur. Birden fazla birleştirilmiş veri merkezinde kullanılan farklı zamanlama stratejileri vardır. Toplu anahtar, gönderen ve alıcı arasında dosya göndermede daha güvenli sağlar. Özel veriler için yüksek güvenlik sağlamak için ileri güvenlik şifrelemesi ve yeniden şifreleme teknikleri kullanılır. Yapılan bazı çalışmalar sonucunda Şifreleme Standardı (AES) ve steganografinin bulut bilişimde maksimum güvenlik sağladığı görülmüştür. Yapılan çalışmalarda bulut teknolojisinin mevcut modeller ve şifreleme tekniklerinin belli bir seviyede güvenlik sağladığı sonucuna varılmıştır. Veri güvenliği için birkaç model ve teknik bir araya getirilerek yeni sistemler geliştirilmiştir.

Bulut bilişim yeni çalışmalarla desteklenebilir ve geliştirilebilir bir teknolojidir. Bu çalışmada, bulut bilişim sistemlerinde veri güvenliği konusu ele alınmıştır. Veri güvenliği, bulut bilişim ortamında korunması gereken en önemli unsurlardan biridir. Veri güvenliğinin tehlikeleri ve tehditleri incelenmiş, ayrıca bulut bilişim sistemlerinde veri güvenliğini sağlamak için kullanılan yöntemler üzerinde durulmuştur.

Veri güvenliği tehlikeleri arasında veri sızıntıları, veri ihlalleri ve hırsızlığı, veri kaybı, veri istismarı ve manipülasyonu gibi unsurlar yer almaktadır. Bu tehlikelerin farkındalığı, veri güvenliği politikalarının oluşturulmasında ve uygulanmasında büyük önem taşır. Ayrıca, veri güvenliği için doğru şifreleme algoritmalarının kullanımı ve etkin anahtar yönetimi gereklidir.

Bununla birlikte, bulut bilişim sistemlerindeki veri güvenliğini sağlamak için gelecekte kullanılacak teknolojiler ve yaklaşımlar da ele alınmıştır. Yapay zekâ ve makine öğrenmesi gibi teknolojiler, veri güvenliği alanında büyük bir

potansiyele sahiptir. Blok Zincir teknolojisi ise veri güvenliğinde izlenebilirlik, doğruluk ve şeffaflık sağlamada önemli bir rol oynayabilir.

Son olarak, veri güvenliği bilincinin artırılması ve eğitim programlarının düzenlenmesi önemlidir. Kullanıcıların ve çalışanların veri güvenliği konusunda bilinçli olmaları ve doğru güvenlik önlemlerini almaları, veri güvenliğinin sağlanmasında kritik bir faktördür. Ayrıca, yeni nesil veri güvenliği çözümleri ve araçları sürekli olarak geliştirilmeli ve güncellenmelidir.

Çalışma, bulut bilişim sistemlerinde veri güvenliği konusunda genel bir bakış sunmayı amaçlamaktadır. Veri güvenliği, hızla değişen ve gelişen bir alan olduğundan, sürekli olarak güncellemeler ve yenilikler gerektiren bir konudur.

Kaynaklar

1) Liu, W. (2012, April). Research on cloud computing security problem and strategy. In *2012 2nd international conference on consumer electronics, communications and networks (CECNet)* (pp. 1216-1219). IEEE.

2) Sun, Y., Zhang, J., Xiong, Y., & Zhu, G. (2014). Data security and privacy in cloud computing. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, *10*(7), 190903.

3) Sharma, P. K., Kaushik, P. S., Agarwal, P., Jain, P., Agarwal, S., & Dixit, K. (2017, October). Issues and challenges of data security in a cloud computing environment. In *2017 IEEE 8th Annual Ubiquitous Computing, Electronics and Mobile Communication Conference (UEMCON)* (pp. 560-566). IEEE.

4) Adee, R., & Mouratidis, H. (2022). A dynamic four-step data security model for data in cloud computing based on cryptography and steganography. *Sensors*, *22*(3), 1109.

5) Naved, M., Fakih, A. H., Venkatesh, A. N., Vijayakumar, P., & Kshirsagar, P. R. (2022, May). Supervise the data security and performance in cloud using artificial intelligence. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2393, No. 1). AIP Publishing.

6) Kirubakaran, S. S., Arunachalam, V. P., Karthik, S., & Kannan, S. (2023). Towards Developing Privacy-Preserved Data Security Approach (PP-DSA) in Cloud Computing Environment. *Computer Systems Science & Engineering*, *44*(3).

7) Alemami, Y., Al-Ghonmein, A. M., Al-Moghrabi, K. G., & Mohamed, M. A. (2023). Cloud data security and various cryptographic algorithms. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, *13*(2), 1867.

8) Wang, H., Li, Y., Susilo, W., Duong, D. H., & Luo, F. (2022). A fast and flexible attribute-based searchable encryption scheme supporting multi-search mechanism in cloud computing. *Computer Standards & Interfaces*, *82*, 103635.

9) Azzaoui, A. E., Sharma, P. K., & Park, J. H. (2022). Blockchain-based delegated Quantum Cloud architecture for medical big data security. *Journal of Network and Computer Applications*, *198*, 103304.

10) Das, P., & Kumar, S. (2023, May). A Novel Hybrid Encryption Technique for Cloud Data Security. In *2023 3rd International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE)* (pp. 1883-1886). IEEE.

11) Li, M., Tian, Z., Du, X., Yuan, X., Shan, C., & Guizani, M. (2023). Power normalized cepstral robust features of deep neural networks in a cloud computing data privacy protection scheme. *Neurocomputing*, *518*, 165-173.

12) Bal, P. K., Mohapatra, S. K., Das, T. K., Srinivasan, K., & Hu, Y. C. (2022). A joint resource allocation, security with efficient task scheduling in cloud computing using hybrid machine learning techniques. *Sensors*, *22*(3), 1242.

13) Kaur, S., Kaur, G., & Shabaz, M. (2022). A secure two-factor Authentication framework in cloud computing. *Security and Communication Networks*, *2022*, 1-9.

14) Mathew, S., & Varia, J. (2014). Overview of amazon web services. Amazon Whitepapers, 105, 1-22.

15) Ege, B. (2012). Bulut Bilişim. Bilim ve Teknik Dergisi (TÜBİTAK), 46(541), 12-15.

16) Bokhari, M. U., Shallal, Q. M., & Tamandani, Y. K. (2016, March). Cloud computing service models: A comparative study. In *2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)* (pp. 890-895). IEEE.

17) Mohammed, C. M., & Zeebaree, S. R. (2021). Sufficient comparison among cloud computing services: IaaS, PaaS, and SaaS: A review. *International Journal of Science and Business*, *5*(2), 17-30.

18) Hashemi, S. M., & Bardsiri, A. K. (2012). Cloud computing vs. grid computing. *ARPN journal of systems and software*, *2*(5), 188-194.

19) Zhang, S., Chen, X., Zhang, S., & Huo, X. (2010, October). The comparison between cloud computing and grid computing. In *2010 International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010)* (Vol. 11, pp. V11-72). IEEE.

20) Apostu, A., Puican, F., Ularu, G., Suciu, G., & Todoran, G. (2013). Study on advantages and disadvantages of Cloud Computing–the advantages of Telemetry Applications in the Cloud. *Recent advances in applied computer science and digital services*, *2103*.

21) Shen, Z., & Tong, Q. (2010, July). The security of cloud computing system enabled by trusted computing technology. In *2010 2nd International Conference on Signal Processing Systems* (Vol. 2, pp. V2-11). IEEE.

22) Tchernykh, A., Schwiegelsohn, U., Talbi, E. G., & Babenko, M. (2019). Towards understanding uncertainty in cloud computing with risks of confidentiality, integrity, and availability. *Journal of Computational Science*, *36*, 100581.

23) Kumar, R., & Bhatia, M. P. S. (2020, October). A systematic review of the security in cloud computing: data integrity, confidentiality and availability. In *2020 IEEE International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)* (pp. 334-337). IEEE.

24) Mishra, A. A., Surve, K., Patidar, U., & Rambola, R. K. (2018, December). Effectiveness of confidentiality, integrity and availability in the security of cloud computing: A review. In *2018 4th International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA)* (pp. 1-5). IEEE.

25) Shaikh, F. B., & Haider, S. (2011, December). Security threats in cloud computing. In *2011 International conference for Internet technology and secured transactions* (pp. 214-219). IEEE.

26) Priebe, C., Muthukumaran, D., O'Keeffe, D., Eyers, D., Shand, B., Kapitza, R., & Pietzuch, P. (2014, November). Cloudsafetynet: Detecting data leakage between cloud tenants. In *Proceedings of the 6th edition of the ACM Workshop on Cloud Computing Security* (pp. 117-128).

27) Mozumder, D. P., Mahi, J. N., Whaiduzzaman, M., & Mahi, M. J. N. (2017). Cloud computing security breaches and threats analysis. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, *8*(1), 1287-1297.

28) Talia, D., Trunfio, P., & Marozzo, F. (2015). *Data analysis in the cloud: models, techniques and applications*. Elsevier.

29) Mohammad, A. (2022). Distributed Authentication and Authorization Models in Cloud Computing Systems: A Literature Review. *Journal of Cybersecurity and Privacy*, *2*(1), 107-123.

30) Tysowski, P. K., & Hasan, M. A. (2013). Hybrid attribute-and re-encryption-based key management for secure and scalable mobile applications in clouds. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, *1*(2), 172-186.

31) Pasquier, T. F. M., Singh, J., Eyers, D., & Bacon, J. (2015). CamFlow: Managed data-sharing for cloud services. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, *5*(3), 472-484.

32) Logeshwaran, J., Ramesh, G., & Aravindarajan, V. (2023). A Secured Database Monitoring Method to Improve Data Backup and Recovery Operations in Cloud Computing. *BOHR International Journal of Computer Science*, *2*(1), 1-7.

33) Naved, M., Fakih, A. H., Venkatesh, A. N., Vijayakumar, P., & Kshirsagar, P. R. (2022, May). Supervise the data security and

performance in cloud using artificial intelligence. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2393, No. 1). AIP Publishing.

34) Siddiqui, S. T., Shuaib, M., Gupta, A. K., & Alam, S. (2020, September). Implementing blockchain technology: way to avoid evasive threats to information security on cloud. In *2020 international conference on computing and information technology (ICCIT-1441)* (pp. 1-5). IEEE.

35) Ahamed, F., Shahrestani, S., & Javadi, B. (2016, August). Security aware and energy-efficient virtual machine consolidation in cloud computing systems. In *2016 IEEE Trustcom/BigDataSE/ISPA* (pp. 1516-1523). IEEE.

Bölüm 30

Otomotiv Sektöründe Kalite Yönetimi Sistem Uygulamalarında Sürdürülebilirlik

İkram DAŞTAN[1]

Çiğdem BEKTAŞ[2]

[1] Doçent Dr. Yalova Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü. İkram.dastan@yalova.edu.tr ORCID No: 0000-0002-4366-8698

[2] Uzman. AKA Otomotiv Sanayi Kalite Departmanı ORCID No:

ÖZET

Sürdürülebilirlik kelimesi son yıllarda sıkça duyulan kelimeler arasında yer almaktadır. Bireylerin sosyal yaşamlarında veya iş hayatlarında karşılarına sürekli çıkan bu kelimenin amacı gelecek nesillerin yaşam koşullarını tüketmeden, kendi ihtiyaçlarını karşılayabilecek durumda olmalarını ve bu bilinçle yaşamayı öğrenmeleri gerektiğini vurgulamaktadır.

Toplumda, bireyler sürdürülebilir bir yaşam için yaşam koşullarında, tüketim miktarlarında sürekli iyileştirme yapmaya başlamışlardır. Bireysel adımlar dışında devletler, şirketler, sivil örgütler de sürdürülebilir döngü için çalışmalara başlamıştır. Her sektörde sürdürülebilirlik ile ilgili çalışmalar başlamış, sürekli iyileştirme yapılarak kıt kaynaklar ile verimlilik artışı beklenmektedir.

Bu proje çalışmasında otomotiv sektöründe kalite yönetimi sistemi incelenmiş, kalite yönetimi sistemine dair uygulamalardan bahsedilmiş ve bu kalite yönetimi sistem uygulamalarının sürdürülebilir olmalarının otomotiv sektörüne katkıları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv, Kalite, Sürdürülebilirlik

SUSTAINABILITY IN QUALIYT MANAGEMENT SYSTEM APPLICATIONS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

ABSTRACT

The word sustainability is among the words that have been heard frequently in recent years. The purpose of this word, which is constantly encountered by individuals in their social or business lives, emphasizes that future generations should be able to meet their own needs without depleting their living conditions, and that they should learn to live with this awareness.

In society, individuals have started to make continuous improvements in their living conditions and consumption amounts for a sustainable life. Apart from individual steps, states, companies and non-governmental organizations have also started to work for a sustainable cycle. Studies on sustainability have started in every sector, and productivity gains are expected with scarce resources through continuous improvement.

In this project study, the quality management system in the automotive sector was examined, the practices related to the quality management system were mentioned, and the contributions of these quality management system applications to the automotive sector were examined.

Keywords: Automotive, Quality, Sustainability

1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinin ortaya çıkışından günümüze kadar olan süreçte bu sektör durmadan gelişen ve yenilikler peşinde hızlı adımlar atan bir sektör konumundadır. Değişen dünya düzeninde, gelişen teknolojiler ile sürekli değişen tüketici istekleri karşısında otomotiv sektöründeki gelişmeler ve değişimlerde hızlı bir şekilde ilerlemiştir. Zamanla değişen ve gelişen sektörün, yapı taşlarından biri kalitedir. Otomotiv sektörü için kalite kavramı, müşteri özel istekleri ve sürekli gelişen teknolojiler karşısında dinamik bir kavram olarak yer almaktadır.

Otomotiv sektöründe kalite kavramının yeri önemli bir hale gelmiştir. Kalite kavramı ile gelişen yönetim sistemleri ve otomotiv sektöründe iyi bir kalite yönetimi sistem uygulamalarının nasıl sürdürülebilir olacağı ile ilgili sürekli iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Otomotiv sektörüne özel kalite yönetim standardı oluşturulmuştur. IATF 16949 standardı ile otomotiv sektöründeki kalite yönetimi sistemi ile tüm süreçlerin iyileştirilmesi ve kalitenin artırılması amaçlanmıştır. Standart gereklilikleri arasında yer alan süreçlerin etkinliğini sürdürülebilir duruma getirmek için sürekli iyileştirme maddesi ortaya çıkmıştır. Üreticiler bu gereklilik kapsamında performans hedefleri belirlemişlerdir. Bu hedeflerde başarı yakalanması kalite yönetim sistemi uygulamalarının etkinliği ile paralel ilerlemektedir.

Bu çalışmada, otomotiv kalite yönetimi sisteminin oluşumu, kalite yönetimi sistemi içinde yer alan uygulama araçlarının tanımlamaları ile kalite yönetimi sistem uygulamalarında sürdürülebilirliğin otomotiv sektörüne katkıları incelenmiştir.

2. KALİTE YÖNETİM SİSTEMİ

2.1. Kalite Kavramı

Kalite kelimesi Türkçe kökenli bir kelime değildir. Kelime kökeni Latince "qualis" kelimesinden gelmektedir. Kalite, kelime anlamı olarak kişiden kişiye farklılık göstermektedir.

Kalite kavramı tarihsel açıdan M.Ö. 2150 yıllarında ortaya çıktığı bilinmektedir. Hammurabi kanunlarında yer alan madde 229'da "eğer bir inşaat ustası bir adama ev yapar ve yapılan ev yeterince sağlam olmayıp ev sahibinin üstüne çökerek ölümüne sebep olursa o inşaat ustasının başı uçurulur." şeklinde ifade edilen maddede yapılan işin yeterince kaliteli olmadığında, bu kalitesizlikten kaynaklı sonuçlara katlanılması ifade edilmek istenmiştir (Bozkurt ve Odaman, 1995).

Kalite kelimesi hem kurumlar hem de işletmeler için önemli bir kavramdır. Kalite kelimesinin net bir tanımını yapmak zordur çünkü bireylere ifade ettiği anlamlar değişmektedir.

Bireylerin kalite deyince akıllarında uyanan çağrışımlar farklılık göstermiştir. Örneğin bazı bireyler bin liralık bir saatin kaliteli olduğunu düşünürken, bazıları için yüz liralık saat ihtiyaçlarını karşıladığı için kaliteli ürün olarak ifade edilmiştir. Bu nedenlerden dolayı bazı kaynaklarda kalite kelimesi subjektif bir kavramdır şeklinde tanımlanmıştır. Kalite yönetim sistemi içerisinde kalite kelimesinin anlamı incelendiğinde "bir ürünün veya hizmetin belirtilen şartlar, standartlar ve müşteri özel isteklerini karşılayabilecek durumda" olması şeklinde ifade edilmektedir. Kalite, bir ürün veya hizmetin müşteri ihtiyaçlarına, teknik gerekliliklere ve standartlara uygunluğu ile tanımlanır (Juran, J. M., & Godfrey, A. B. 1998).

Amerikan kalite kontrol derneğine göre kalite; "bir mal veya hizmetin belirli bir gereksinimini karşılayabilme yeteneklerini ortaya koyan karakteristiklerin tümüdür (American Society for Quality, 2021). "Harvard Business School Profesörü David Garvin'e göre "kalite, müşterinin şikayetlerini önleme değil, müşterileri memnun edebilmenin bir aracıdır" (David,1987). Garvin, sekiz kalite boyutunun birleşimine dayanan stratejik bir yaklaşım belirlemiştir (Garvin, D. A. 1983, Garvin, D. A. 1984, Garvin, D. A. 1987, Bozkurt,2013). Bu yaklaşımlar:

1. Performans: Ürün veya hizmetin temel özelliklerini ifade ederek bu özelliklerin genellikle ölçülebilen göstergeler olduğu ifade edilmiştir.
2. İlave Özellikler: Ürünün temel özelliklerinin yanı sıra kullanıcılar için daha cazip hale gelmesini artıracak yan özellikler olarak belirtilmiştir.
3. Ürünün Güvenilirliği: Ürünlerin zaman içerisinde temel özelliklerini koruyarak fonksiyonlarını yerine getirmesi olarak ifade edilmiştir.

4. Uygunluk: Ürün veya hizmetin önceden belirlenen standart yapıya uygunluğundan bahsedilmiştir.
5. Dayanıklılık: Ürünün kullanım ömrünün uzunluğu ifade edilmek istenmiştir.
6. Ürünün Bakım Hizmetleri: Ürünün veya hizmetin bakım zamanı geldiğinde bakım hizmetinin kolayca ve hızlı bir şekilde alınmasını gerekliliği belirtilmek istenmiştir.
7. Estetik: Müşterilerin seçimlerini yansıtan, görünümü, sesi, tadı ve kokusu ile ilgili öznel kalite boyutu olarak açıklanmıştır.

"Kalitenin, liderliği ele geçirebilmek için işletmedeki herkesin anlayabileceği ve hem fikir olacağı tek ve objektif bir tanımı olmalıdır. Çünkü kalite, ticarette her zaman ürünün görünen ve müşteri tarafından aranan unsuru olmuştur." (Taşçı,2013)

Günümüzde kalite, "müşteri isteklerini önceden tahmin ederek, müşteri beklentilerinin ötesine geçmek, ürünün doğal yaşamı boyunca müşteriyi memnun etmek" olarak tanımlanmıştır. (Yamak,1998)

Tüm sektörlerde önemli bir yere sahip olan kalite kavramı çok geniş kapsamlı anlamlar içermektedir. Kaliteye ait unsurlar otomotiv sektörü için aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Tasarım Kalitesi; Üretilmek istenilen ürünün müşterilerin arzu ve özel isteklerini karşılayabilecek şekilde dizayn edilmesi tasarım kalitesi olarak belirtilmiştir.
- Uygunluk Kalitesi; Tasarım kalitesinde belirlenen özelliklere uygun şekilde üretim yapılması olarak ifade edilmiştir.
- Kullanım Kalitesi; Ürün için son nihai kalitedir. Sevkiyat ve kullanım alanlarında uygun kalite gerekliliklerinin karşılanması kullanım kalitesini ifade etmektedir.
- Dağıtım Kalitesi; Üretilen ürünün belirtilen zamanda teslim edilmesi anlamını belirtmiştir.
- Müşteri İlişkileri Kalitesi; İç ve dış müşteri ile etkileşim içinde bulunan herkesin etkilendiği bir hizmet kalitesi olarak tanımlanmıştır.

Kalite kelimesi için birden çok tanımlama yapılmıştır. Yıllara göre bile değişen kalite tanımı için otomotiv sektörünü örnek gösterilebilir. 70'lerde müşteriler için otomobilin tipi önemli iken, 75'lerde yakıt tasarrufu, 80'lerde güvenilirlik ve 90'larda güvenliği önemli olmuştur. Kalitenin yıllar içindeki bu farklılığı ile zaman içerisinde müşteri gözünden değişimi anlatılmak istenmiştir. Genel olarak otomotiv sektörü için yapılan kalite tanımı ise Otomotiv sektöründe

kalite, araçların tasarım, üretim ve hizmet aşamalarında belirlenmiş teknik standartları, performans özelliklerini ve güvenlik gerekliliklerini karşılayabilme yeteneği şeklinde ifade edilmiştir (İsmailoğlu, A. 2016).

2.2. Kaliteyi Etkileyen Faktörler

Üretilen ürün veya hizmeti kalitesel açıdan etkileyen faktörler mevcuttur. Bu faktörler firma içi ve firma dışı olarak ayrılmışlardır. Kalite etkileyen firma içi ve dışı faktörler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır (Montgomery, D. C. 2017, Pyzdek, T., & Keller, P. A. 2014, Deming, W. E. 1986, uran, J. M. 1988, Oakland, J. S. 2003, Garvin, D. A. 1987).

Firma içi faktörler:

- Makine
- Malzeme
- İnsan Gücü
- Yönetim
- Ölçüm Araçları
- Üretim Metotları
-

Firma dışı faktörler:

- Müşteri Özellikleri
- Pazar Yapısı
- Teknoloji
- Sermaye ve Finansal Kaynaklar

2.3. Kalite Yönetim Sistemi

Üretilen ürünün veya hizmetin başlangıç noktasından en son nihai müşteriye kadar olan tüm adımlarında ve müşterinin geri bildirimlerinde dahi kalite yönetim sistemi görev almaktadır. Sistemleri bir bütün olarak değerlendiren kalite yönetim sistemi, süreçlere yol gösterirken kaliteyi tüm süreçlerle bir bütün olarak tutar ve müşteri odaklılık prensibine dayanarak hareket eder.

Kalite yönetim sistemi birçok ISO standartlarından yararlanarak kurulmuştur. Bu standartlar sektörlerin özelliklerine ve gerekliliklerine göre değişmektedir. Başlıca bu standartları ISO 9000, ISO 22000, ISO 9001, ISO 14001'dir.

Otomotiv sektörü için yaygın olan standartlar; ISO 9001(Kalite Yönetim Sistemi), ISO 14001(Çevre Yönetim Sistemi), ISO 45001(İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi), ISO 50001(Enerji Yönetim Sistemi)'dir. Son zamanlarda sosyal sorumluluk kapsamında ISO 26000 standardı da ön plana çıkmıştır. Otomotiv sektörüne parça üreten birçok firma entegre yönetim sistemi kullanarak

ISO 14001, ISO 45001, ISO 9001 standartlarına ait belgelendirme sürecini entegre ederek üç yönetim sisteminden denetimlere hazırlanmaktadırlar. Geçmişte otomotiv parçası üretirken sadece ISO 9001 belgeniz yeterli iken şu an günümüzde gelişen ve sürekli değişen teknolojik gelişmelerinde ışığında değişen müşteri istekleri ile otomotiv sektöründe yer alan bir firma olabilmek için yukarıda bahsedilen standartlara ait belgelerin çoğuna sahip olunması gerekmektedir. Otomotiv sektörüne ait olan IATF 16949 standardının belgesi, sektörde faaliyet gösteren firmaların ana sanayi olarak geçen otomotiv üreticileri ile çalışabilmeleri adına firma bünyelerinde bulunması gerekmektedir.

Kalite yönetim sisteminde başarı sağlanabilmesi yazılı ve kontrollü prosedürler ile gerçekleşmektedir. Etkili bir kalite yönetim sistemi kurmak, süreçlerin adımlarını belirleyecek ve hataları oluşmadan önleyecektir. Kalite yönetim sisteminin bir kuruluş için faydalarını aşağıda belirtilmiştir.

1. Kalitesizlik maliyetlerini düşürmeye yardımcıdır.
2. Sürekli iyileştirme yapılmasına yardımcı olur.
3. Bir ürünün, üretim prosesinde başlangıç aşamasından bitişine kadar olan süreçte etkili olmasından kaynaklı üretim hataları azaltmayı hedeflemiştir.
4. Otomotiv sektöründeki firmaları diğer rakip firmalara karşı daha güçlü bir organizasyona sahip olmalarını sağlar.
5. Müşteri özel isteklerinin karşılanmasında etkili bir role sahiptir.
6. Süreç performanslarını arttırır.
7.

2.3.1. Kalite Yönetim Sisteminin Prensipleri

Etkili bir kalite yönetim süreci oluşturulmak istenirken dikkat edilmesi gereken kalite yönetim sisteminin en önemli dört unsuru mevcuttur. Aşağıdaki tabloda gösterilen bu dört başlık kalite yönetim sisteminin süreçleri iyileştirmesinde önemli rol oynamaktadırlar (ISO, International Organization for Standardization, 2015)

Tablo 2.1 Kalite Yönetim Sisteminin Prensipleri

- Müşteri Odaklılık: Müşteriler, kuruluşlar için önemlidir. Kuruluşlar müşterilerin ihtiyaçlarını anlamalı ve onların beklentilerinin üstünde performans göstermek için efor harcamalıdır.
- Liderlik: Kuruluşun hedeflerine ulaşmasında yol göstericilerdir.

- Çalışanlarının Katılımı: Her kademedeki çalışan, kuruluşlar için önemlidir ve süreçlerde aktif rol almaları, yeteneklerini kuruluşlar için kullanmaları kalite yönetim sisteminin önemli prensiplerinden biri olmuştur.
- Süreç Yaklaşımı: Üretim faaliyetleri ve kaynakları bir proses olarak birlikte yönetildiklerinde ortaya mükemmel sonuçlar çıkmaktadır. Hedefleri belirleyerek sürekli iyileştirme ile proseslerin etkinliğin arttırılması süreç yaklaşımının amacıdır.

2.3.2. ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi

Firmalar, değişen ve gelişen şartlara ayak uydurabilmeleri ve pazar içinde ayakta durabilmeleri için iyi bir yönetim sistemine sahip olmalıdırlar. Bu durum göz önüne alındığında uluslararasında yaygın bir biçimde kullanılan kalite sistemi arayışında olmuşlardır. Günümüzde en çok kullanılan yönetim sistemi ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemidir. ISO 9001 her sektörde faaliyet gösteren firmalara uygulanabilen yönetim sistemidir. Bu sistem, içerisinde birçok yönetim sistemi oluşturmasından kaynaklı firmalar arasında rekabet sağlamak ve yönetim sistemlerini geliştirebilmeleri anlamında fırsatlar sağlamıştır. Günümüzde mevcut rekabet ortamında sürekli değişen müşteri isteklerini yerine getirebilmek ve müşteri memnuniyeti sağlayabilmek adına firmaların başarmak zorunda oldukları hedefler mevcuttur. Bu hedefleri gerçekleştirirken maliyetleri azaltmayı ve verimliliklerini de arttırarak yeni ürün ve hizmetleri pazara sunmak için kalite yönetim sistemi gerekliliklerini yerine getirmek zorundadırlar.

Kalite yönetiminin ihtiyaçlarını tutarlı bir şekilde oluşturmak için, Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) tarafından, ISO 9001 serisi oluşturulmuştur. (Laux,2007)

ISO 9001 standardı ilk 1987 yılında kalite güvence sistem adı ile yayınlanmıştır. Bu standartlar sırasıyla ISO 9001, ISO 9002, ISO 9003'tür. 1994 yılında ilk revizyonuna uğramış olup alt standartlardan oluşmuştur. Yayınlanan bu revizyon tam anlaşılır olmaması ve uygulamalarda yaşanan bazı sıkıntılar nedeni ile 2000 yılında tekrar revizyon olmuştur. Yeni revizyonda kalitenin güvence altında olmasının dışında performansının yükselmesi için çalışmalar yapılmıştır. 1994 yılındaki üç alt standart kaldırılmış ve dört temel standart ortaya çıkmıştır. (Özkan,2005)

Bu standartlar aşağıda sıralanmıştır.

1. ISO 9000:2000 Temel Esaslar Terimler ve Sözlük
2. ISO 9001:2000 Şartlar
3. ISO 9004:2000 Performans İyileştirmeleri için Kılavuz
4. ISO 19011 Çevre ve Kalite Yönetim Sistemleri Tetkik Kılavuzu

Standart 2008 yılında tekrar revizyona uğramış olup 2000 yılındaki revizyonda anlaşılmayan maddeler kaldırılmıştır. Yeni revizyon ile oluşan dört ana standart aşağıdaki açıklanmıştır. (Efil,2010)

- ISO 9000:2005 Temel Kavramlar
- ISO 9001:2008 Kalite Yönetim Sistemi Gereklilikleri
- ISO 9004:2009 Sürdürülebilir Başarı İçin Yönetme
- ISO 19011:2002 Yönetim Sisteminin Denetimi

ISO 9001 standardı ile ilgili son revizyon ise 2015 yılında gerçekleşmiştir. Proses ve risk tabanlı bir yaklaşım ele alınmıştır. ISO 9001 standardı genel bir standarttır ve diğer standartlar onun çerçevesinde kendi alanları ile ilgili standart geliştirmişlerdir. ISO 9001 standardındaki tüm maddeler, her sektörde ve çeşitli büyüklükteki firmalara uyarlanabilmektedir. 9001 standardını temel alan diğer standartlar aşağıdaki gibidir.

- IATF 16949 Otomotiv Kalite Yönetim Sistemi
- ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi
- ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Sistemi
- ISO 27001 Bilgi Güvenliği Sistemi

2.3.2. ISO 9001 Standardının 2008 ve 2015 Revizyonu Arasındaki Farklılıklar

Yaygın olarak bilinen ISO 9001 standardı, teknolojik gelişmelere, endüstrideki değişimlere ve diğer standartlarla olan bağı koruyabilmek adına 2015 yılında revizyona uğramıştır. 2015 yılında yapılan revizyona geçiş için firmalara 2018 yılına kadar süre verilmiş ve bu süre zarfında yeni revizyonlu ISO 9001 standardını firmalarına entegre etmeleri gerekliliği belirtilmiştir.

2008 versiyonunda kalite yönetimi sistemi içinde kullanılan dokümanlar ile ilgili özel kavramlar ile tanımlanırken, 2015 yılında yapılan güncelleme ile bu özel tanımlama içeren kavramlar kaldırılmıştır. Dokümanların nasıl muhafaza edileceği ile ilgili şartlar yeni revizyon ile standartta tanımlanmıştır.

2008 versiyonu ile 2015 yılında yapılan son güncelleme ile eski ve yeni revizyon arasındaki farklılıklar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 2.2 ISO 9001 Standardının
2008 ve 2015 Versiyonları Arasındaki Farklılıklar

ISO 9001:2008	ISO 9001:2015
0. Giriş	0. Giriş
1. Kapsam	1. Kapsam
2. Atıf Yapılan Standart veya Dokümanlar	2. Atıf Yapılan Standart veya Dokümanlar
3. Terimler ve Tarifler	3. Terimler ve Tarifler
4. Kalite Yönetim Sistemi	4. Kuruluşun Kapsamı
5. Yönetim Sorumluluğu	5. Liderlik
6. Kaynak Yönetimi	6. Planlama
7. Ürün Gerçekleştirme	7. Destek
8. Ölçme, analiz ve iyileştirme	8. Operasyon
-	9. Performans Değerlendirme
-	10. İyileştirme

Yukarıdaki tabloda gösterilen ilk farklılık ISO 9001:2008 versiyonun da standart maddeleri 8 maddeden oluşurken 2015 versiyonunda 10 madde olarak güncellenmiştir. Standardın yeni versiyonunda ISO Annex SL gereksinimleri doğrultusunda yüksek seviyeli standart yapısı oluşmuştur. Yapılan değişikliklerin arasındaki en önemli değişiklerden risk tabanlı düşünceye dayanan önleyici proses yaklaşımıdır. Önemli bir duruma gelen risk temelli proses yaklaşımı sürdürülebilir kalite sistem uygulamalarının da en önemli kaynağı olmuştur. Bu yaklaşım firmaların karşılarına çıkacak fırsatları ve iyileştirmeye açık alanları tespit etmelerinde önemli bir kaynaktır. Bu değişiklik ile, oluşabilecek riskler meydana gelmeden önce önlem alınması gerekliliği vurgulanmak istenmiştir.

ISO 9001:2008 versiyonunda "ürün" kavramı kullanılırken, yeni revizyon ile "ürün ve hizmetler" şeklinde değişiklik olmuştur. 2008 versiyonunda belgelenmiş prosedür, kalite el kitabı kelimeleri mevcut iken yeni revizyon ile dokümante edilmiş bilgi kavramı kullanılmaya başlanmıştır. Bu değişiklik sonucu kalite el kitabı hazırlama zorunluluğu ortadan kalkmıştır.

Yeni güncellemedeki diğer bir en önemli değişiklik ise iyileştirme maddesidir. Devamlı iyileştirme 2008 versiyonunda dönem sonunda gerçekleştirilen bir faaliyet iken yeni güncelleme ile prosesin tüm aşamalarında dikkate alınması gereken bir gereklilik olarak belirtilmiştir. Her faaliyet içinde sürekli iyileştirme değerlendirilir ve performans ölçümleri yapılır ise sürdürülebilir kalite gereklilikleri yerine getirilmiş olur.

2.4. Toplam Kalite Yönetimi (TKY)

Teknolojik gelişmelerin hızlı bir şekilde ilerlediği günümüz koşullarında kalite kavramı gelişmelere paralel olarak ilerlemektedir. Toplam kalite yönetimi bu sistemlerin sonuncusu olarak gelişmiştir.

Toplam kalite yönetimini kısa ve anlaşılabilir şekilde tanımlamak gerekirse tüm çalışanların katılımlarını sağlayarak fikirlerini ifade edebilecekleri bir kalite yönetim süreci kurmak olarak ifade edilir.

2.4.1. Toplam Kalite Yönetimi Kavramı ve Faydaları

Toplam kalite yönetimini ifade etmek için birçok tanımlamalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları şunlardır;

Toplam kalite yönetimi, müşterilerin belirlediği standartlara önem verilmesini ve firmaların mal veya hizmetlerinin dışında üst yönetiminde verimliliğini artırmayı hedefleyen yönetim uygulanması olarak ifade edilmiştir. (Akal,1995)

Toplam kalite yönetimi; Bir firmada üretilen ürün ve hizmetlerin, işletme süreçlerinin sürekli iyileştirilmesi ve geliştirilmesi ile en düşük toplam maliyet düzeyinde, önceden belirlenmiş olan müşteri isteklerinin, tüm çalışanların kendilerinden beklenen yükümlülükleri yerine getirmeleri ile işletme performansının iyileştirilmesi stratejisi olarak tanımlanmıştır. (Peşkircioğlu,1995)

Toplam Kalite Yönetimi (TKY), bir organizasyonun tüm seviyelerinde sürekli olarak kalite iyileştirmesini ve müşteri memnuniyetini sağlamayı amaçlayan bir yönetim yaklaşımıdır. TKY, iş süreçlerinin tasarımı, üretimi ve hizmet sunumu sırasında kaliteyi artırmak için liderlik, işgücü katılımı, veri analizi ve sürekli iyileştirme prensiplerini içerir (Oakland, J. S. 2003).

İlk seferde doğru üretim yapabilmek ve bunu tekrarlama amacı olan toplam kalite yönetimi; organizasyonların bütün olarak etkin olmasını sağlamak, rekabet gücünü artırmayı hedefleyen bir anlayıştır.

Toplam kalite yönetimi anlayışını benimserken, sorunları önlemeye yönelik çalışmalarda bulunmak ve sıfır hatayı hedefleme önemli unsurlardır. Toplam kalite yönetim modelini uygulamak değişen rekabet şartlarına da ayak uydurmada kuruluşlara yardım etmektedir. Toplam kalite yönetiminin kuruluşlara olan faydaları aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

1. Kaynak tüketimini azaltarak makina ve araçlara olan yatırım ihtiyacını azaltır.
2. İnsan ve sermaye tasarrufu sağlar.
3. Firmalara, piyasa taleplerine esnek davranabilme yeteneği kazandırır.
4. İyileştirici çalışmaların sonuçlarına yönelik verimliliğin ölçülmesini sağlar.

5. Kuruluşların pazar paylarının artmasına ve yeni pazarlara girmesine yardımcı olur.
6. Müşteri memnuniyetini arttırır.
7. Süreçlerdeki işlemlerin azalmasını sağlar.
8. İşçi-işveren ilişkisinin daha da iyileşmesini sağlar.
9. Sevkiyat sürelerinin kısalmasını sağlar.

2.4.2. Toplam Kalite Yönetiminin İşletmeler Üzerindeki Etkileri

İşletmelerin başarısı müşteri isteklerini anlayabilme ve bu isteklerin karşılanabilmesi ile mümkündür. Rekabetin yüksek olduğu pazarlarda işletmelerin sürdürülebilir bir başarıya sahip olabilmesi ancak müşteri isteklerini anlayabilme ve kalite anlayışının işletme içinde sürekli uygulanabilir ve benimsenmesiyle ilerler.

Müşteri isteklerinin ön planda tutulmasının altını çizen toplam kalite yönetimi anlayışı, müşteri isteklerinin ve müşteri tarafından belirtilen kaliteyi işletme içindeki faaliyetlere gösterilmesini benimseyen bir yönetim anlayışıdır. İşletmelerde toplam kalite yönetimi anlayışının gelişmesi için önemli olan unsurlar aşağıda açıklanmıştır.

- İşletme içinde kalite yönetimi anlayışının benimsenmesi için personellere eğitim düzenlenmesi.
- Üst yönetimin sorumluluklarının belirlenmesi.
- Kalitenin sürekli geliştirilebilir olması.
- Çalışanların kaliteyi iyileştirme ve sürekliliğini sağlama faaliyetlerine katılması.

TKY anlayışı ile faaliyet gösteren işletmelerde çalışan motivasyonu, üretim performansı, müşteri memnuniyeti ve ürünler üzerindeki kalite etkileri firmaların performansını maksimum düzeye çıkartmıştır. (Samson ve Terziovski,1999)

2.4.3. Toplam Kalite Yönetiminin Unsurları

Toplam kalite yönetimi anlayışının başarılı olabilmesi için gerekli olan unsurlar aşağıda ifade edilmiştir (Goetsch, D. L., & Davis, S. B. 2014).

- Müşteri Odaklılık
- Üst Yönetim ve Yöneticileri Liderliği
- Eğitim
- Sürekli İyileştirme
- Takım Çalışması
- Sıfır Hata

Bu unsurların her birinin önem derecesi ayrıdır. Yukarıda belirtilen maddelerin toplam kalite yönetimi için ifade ettiği anlamlar aşağıda açıklanmıştır.

1. Müşteri Odaklılık: Sürekli gelişen teknolojik şartlar içinde işletmeler pazar içinde başarılı olabilmek için müşteri gereksinimleri ve isteklerini ön planda tutmalıdırlar. Müşteri kaliteyi belirler ve müşterinin isteklerinin karşılanması işletmeler tarafından işletme içi kültür haline gelmesi gerekmektedir.

Klasik yönetim anlayışında işletme içindeki hiyerarşik yapı yukarıdan aşağıya inen bir yapı ile yönetilmekteyken, yeni anlayışta; müşteri istek gereksinimleri doğrultusunda işletmelerin tüm birimlerinin yönlendirilmesi, desteklenmesi ve müşteri beklentilerinin karşılanarak müşteri tatminine ulaşılması, hatta beklentilerinde ötesine geçip tam olarak müşteri memnuniyetinin sağlanması ifade edilmiştir (Kağnıcıoğlu,2002).

2. Üst Yönetim ve Yöneticilerin Liderliği: Kalite yönetim sisteminin sürdürülebilir olması için üst yönetimin sürekli iyileştirme anlayışı ile kaliteye olan bağlılığı gösterilmelidir. Organizasyon içinde de bu anlayışı benimseyerek çalışanlara izlenecek yolu aktaracak liderler belirlenmelidir. Sürdürülebilir kalite, bu anlayışı benimseyen yöneticiler ve liderler ile sağlanabilir.

Çalışanların motivasyonunu koruyacak liderler eşliğinde organizasyon içinde kalitenin de artması sağlanır. Üst yönetimin görevi kalite sistemini oluşturmak ve sürdürülebilir kalite anlayışını organizasyon içinde kültür haline getirmektir. Üst yönetim başarılı bir kalite yönetim sistemi kurabilmek için kalite politikasını belirlemeli, firma içinde kalite sistemini kurmalı ve geliştirmeli, sürdürülebilir bir kalite yönetim sistemi için sürekli iyileştirme bakış açısına sahip olarak kalite sistemini güçlendirmelidir.

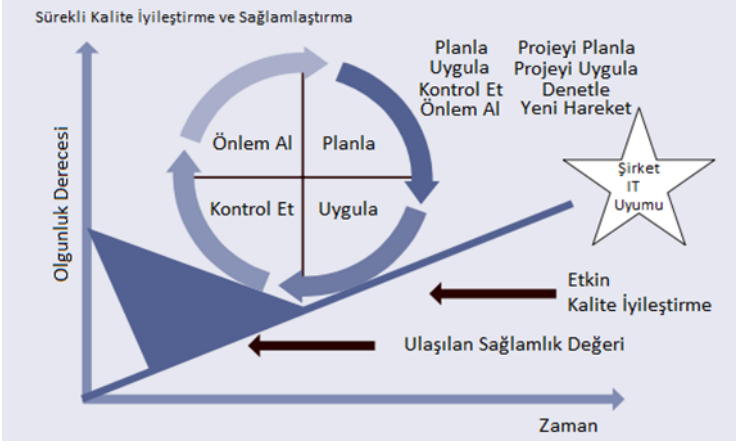
3. Eğitim: TKY'nin önemli unsurlarından biri de personelin eğitimidir. TKY'nin iyileştirilmesi ve sürekli gelişmesi için en üst kademeden itibaren tüm kademelere eğitimler verilmelidir. Eğitim ihtiyaçları firmanın bulunduğu sektöre, çalışanların görev ve sorumluluklarından kaynaklı, birçok farklı ihtiyaç ortaya çıkabilir buna istinaden oluşan ihtiyaçlara göre eğitim içerikleri oluşturulmalıdır.

Firma içindeki çalışanlara istatistiki araçları nasıl kullanacaklarına, çalışanlar arasında uzlaşmayı nasıl sağlayacaklarına ve ortaya çıkması muhtemel problemleri nasıl yönetecekleri ve çözeme kavuşturacaklarına dair eğitimler organize edilmelidir.

4. Sürekli İyileştirme: TKY'nin üstünde durulması gereken önemli unsurlarından biri olan sürekli iyileştirme, Japoncada "Kaizen" olarak bilinmektedir. Kaizen kelimesi sürekli iyiye gitmeyi, her geçen gün daha da iyi olmayı hedefleyen bir yaşam tarzını belirtmektedir. Japonlar, yaşadığımız günün

bir önceki günden daha iyi olması adına insanların işinde, evinde çaba sarf etmeleri gerekliliğini belirtmişlerdir. Japonlara toplam kalite yönetimini öğreten kişi W.Edward Deming'dir.

Deming döngüsü olarak bilinen planla, uygula, kontrol et, önlem al başlıkları (PUKÖ Döngüsü) sürekli iyileştirmeyi sağlamak amacıyla başvurulan yöntemlerden biridir (Deming, W. E. 1986).



Şekil 2.1 Deming Döngüsü (PUKÖ Döngüsü)
Kaynak: https://csideming.wordpress.com/deming-dongusu/

Deming döngüsünün en önemli başlığı planlama kısmıdır. Planlamanın doğru ve başarılı bir şekilde ilerlemesi hata çıkma ihtimalini düşürür ve döngünün diğer evrelerinin de sağlıklı bir çevrim içinde ilerlemesini sağlar. Sonraki adım da uygulama aşaması vardır. Uygulama aşaması planlama evresinde belirlenen konuların uygulandığı kısımdır. Bu aşamanın başarılı olabilmesi planlamanın düzgün yapılması ve ilerlemesine bağlıdır. Kontrol et aşaması ise planlanan işlerin uygulanmasından sonraki süreçte başarılı olunup olunmadığının ya da bu süreçte ne kadar başarı sağlandığının tespit edildiği aşamadır. Bu aşamada performans kriterlerinin sonuçları ortaya çıkar. Son aşama olan önlem al kısmında ise eksik alanlar belirlenir ve bu eksikliklerin giderilmesi için çalışmalar yapılmaktadır.

Sürekli iyileştirme felsefesini benimseyen firmalarda;

- Çalışanların motivasyonu artar.
- Tüm bölümler aynı hedef etrafında toplanarak takım ruhu ile çalışmalarını gerçekleştirerek firmanın sürekli gelişmesine katkı sağlarlar.
- Süreçler içindeki faaliyetlerde iyileşmeler net bir şekilde ortaya çıkar.

5. Takım Çalışması: Çalışanların firma içinde düşünme, uygulama, planlama ve karar alma süreçlerine katılımının sağlanması gerekmektedir. TKY'nin firma içinde takım çalışmalarına önem vermesi çalışanların karar alma süreçlerine katkıları ile firmanın hedeflerine ulaşmasını sağlamaktır. Kuruluşlar ellerine geçen fırsatları daha iyi kullanabilme derecesi, firmadaki yetenekli bireyleri bir araya getirip takım kurabilme ve bunları yönetme derecesiyle doğru orantılıdır.
6. Sıfır Hata: Toplam kalite yönetimi anlayışında hata yapmamak mantığı mevcuttur. Firma içinde üretilen ürünün veya hizmetin sonucunda hataları ayıklamak yerine bu hataların oluşmasına sebep olacak etkenleri ortadan kaldırmak TKY'nin hedefleri arasındadır. Sürekli iyileştirme felsefesi ile de hataların önüne geçilmesi sağlanır.

3. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KALİTE YÖNETİMİ SİSTEM UYGULAMALARINDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

3.1. Otomotiv Kalite Yönetim Sistemi (IATF 16949)

Otomotiv sektörü için kalite kavramı yıllar içinde sürekli değişiklik göstermiştir. Müşteri özel isteklerini karşılayabilmek, sürekli gelişen dinamiklere karşı otomotiv sektöründeki gerekliliklerin karşılanabilmesi adına oluşturulan yönetim sistemi "Kalite Yönetim Sistemi (KYS)'dir". Bu yönetim sisteminin temelini ISO 9001 kalite yönetim sistemi oluşturmaktadır. Tamamen otomotiv sektörünün isteklerini ve ihtiyaçlarını karşılayabilmek için ana otomotiv üreticilerinden BMW, Ford, General Motors öncülüğünde bir ekip, ISO 9001 standardı üzerine otomotiv sektörüne ait istekleri, beklentileri ve prosedürleri hazırlayarak ortak bir sistem için Otomotiv kalite yönetim sistemini geliştirmişlerdir.

IATF 16949 standardı, Uluslararası Otomotiv Gücü (IATF- Interntional Automotive Task Force) tarafından yayınlanmıştır. Bu standardın içerisinde, yönetim sorumluluğu, proseslerin verimliliği, müşteri temsilcisinin sorumlulukları, çalışanların oryantasyon süreçleri, çalışma alanındaki tesis, ekipmanların planlamalarının yapılması, olağandışı durum planları oluşturulması, müşteri özel isteklerinin belirttiği özel karakteristiklerinin belirtilmesi, fmea ve kontrol planlarının oluşturulması ve yönetilmesi gibi maddeler içermektedir. ISO 9001 standardının 2015 revizyonu ile IATF 16949 standardının 2016 revizyonu 10 madde olarak yeniden düzenlenmiştir. ISO 9001'in tüm maddelerini karşılaması dışında ayrıca aşağıda belirtilen gelişmiş kalite uygulama araçları mevcuttur. Bu araçlar;

- Gelişmiş Ürün Kalite Planlaması (APQP)
- Üretim Onay Proses Parçası (PPAP)

- Ölçüm Sistemleri Analizi (MSA)
- Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA)
- İstatistiksel Proses Kontrolü (SPC)

Bu standart otomotiv sektörü için kalite yönetim sistemi adını alarak üreticilerin özel isteklerini belirlemek ve bunlara cevap vermek için oluşturulmuştur. IATF Standardı süreç bazlı yönetim anlayışı ile ilerlemektedir. IATF 16949:2016 risk temelli düşünceyi benimsemiştir. Riskleri azaltmayı ve fırsatları değerlendirmeyi hedefler.

IATF 16949 standardının oluşması sürecini incelemek istersek, otomotiv endüstrisi için hazırlanan standardın temeli 1999 yılına dayanmaktadır. ISO 176 teknik komitenin birleşerek oluşturduğu, içerisinde Avrupa ülkeleri otomotiv standartları ve Amerika'daki otomotiv standartlarını içeren yeni bir standart olarak IATF 16949 oluşmuştur.

Otomotiv endüstrisindeki üretim aşamalarında ABD'de QS 9000, Almanya'da VDA6, Fransa'da EAQF, İtalya'da AVSQ ulusal ölçekte ve IATF 16949:2016 kalite yönetim sistemi ile uluslararası ölçekte otomotiv sektörü için kalite yönetim standartları yayınlayarak sistemin gelişmesine yardımcı olmuşlardır. IATF üyelerinin arasında BMW Gruop, Daimler, Ford, General Motors, PSA Peugeot-Citroen, Renault, Volkswagen, Fiat gibi firmalar vardır (Erdoğan,2008).

Standardın ilk başlarında Avrupa ve Amerika üreticileri destek olurken, 2009 yılında Japon otomobil üreticileri JAMA'nın da standardı desteklemesiyle ISO/TS 16949:2009 teknik spesifikasyon versiyonu oluşmuştur. 2009 versiyonunda büyük değişiklik olmaz iken en önemli büyük değişiklikler 2016 yılındaki güncelleme ile ortaya çıkmıştır. IATF 16949:2016 versiyonu Ekim 2016 yılında yayınlanmıştır. Yeni güncellemede vurgulanmak istenen ana düşünce tedarik boyunca sürekli iyileştirmeyi hedeflemek, hataları düzeltmek yerine hata yapılmasını engelleyici sistemler geliştirmek ve ürün ile ilgili müşteri geri bildirimlerinin dikkatle ele alınması olarak belirtilmiştir.

IATF 16949:2016 versiyonu 1 Ekim 2016 yılında yayımlanmış ve otomotiv sektörü içinde bulunan firmalar için 1 Ocak 2017 tarihi en erken IATF 16949:2016 versiyonuna geçebilecekleri tarih olarak belirlenmiştir. En son geçiş tarihi ise 17 Mayıs 2018 olarak kabul edilmiştir.

3.1.1. ISO/TS 16949:2009 Teknik Spesifikasyonu ile IATF 16949:2016 Revizyonu Arasındaki Farklılıklar

İki versiyon arasındaki ilk farklılık isimleridir. ISO/TS 16949:2009 teknik spesifikasyon iken 2016 yılındaki güncelleme ile IATF 16949:2016 standardı halini almıştır. ISO 9001 standardı ile iş birliği devam etmiş olup ISO

9001:2015'te standart madde sayısının 10'a çıkması ile IATF 16949:2016 standardının da yapısı değiştirilmiştir. Genel madde başlıkları her iki standartta da aynıdır fakat teknik konularda farklılık göstermişlerdir. IATF 16949 standardının adı değişmiş olsa da ISO 9001:2015 ile eş zamanla ilerleme olmuştur. IATF 16949:2016 standardında risk temelli proses yaklaşımı ve PUKÖ döngüsü benimsenmiştir. 2009 versiyonu ile 2016 versiyonundaki farklılıklar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 3.1 ISO/TS 16949:2009 Teknik Spesifikasyon Versiyonu ile IATF 16949:2016 Revizyonu Arasındaki Farklılıklar

ISO/TS 16949:2009 TEKNİK SPESİFİKASYON	**IATF 16949:2016 STANDARDI**
0. Giriş 0.1 Genel 0.2 Süreç Yaklaşımı 0.3 ISO 9004 ile ilişki 0.4 Diğer yönetim sistemleriyle uyumluluk 0.5 Bu teknik şartnamenin amacı	0. Giriş 0.1 Genel 0.2 Kalite Yönetim Prensipleri 0.3 Proses yaklaşımı 0.4 Diğer yönetim sistemleri standartlarıyla ilişki
1. Kapsam 1.1 Genel 1.2 Uygulama 1.3 Alıştırmalar	1. Kapsam 1.1 Kapsam- ISO 9001:2015'e otomotiv ekleri
2. Atıf Yapılan Standart veya Dokümanlar 2.1 Alıştırmalar	2. Atıf Yapılan Standart veya Dokümanlar 2.1 2-Atıf yapılan ya da bilgilendirici standart ve/veya dokümanlar
3. Terimler ve Tarifler 3.1 Alıştırmalar	3. Terimler ve Tarifler 3.1Otomotiv endüstrisi için terimler ve tarifler
4. Kalite Yönetim Sistemi 4.1 Genel Şartlar 4.2 Dokümantasyon Şartları 4.3 Alıştırmalar	4. Kuruluşun Bağlamı 4.1 Kuruluşu ve kapsamını anlamak 4.2 İlgili tarafların beklentilerini ve ihtiyaçlarını anlamak 4.3 Kalite yönetim sisteminin kapsamını belirlemek 4.4 Kalite yönetim sistemi ve prosesleri
5. Yönetim Sorumluluğu 5.1 Yönetimin Taahhüdü 5.2 Müşteri odaklılık 5.3 Kalite politikası 5.4 Planlama 5.5 Sorumluluk, yetki ve iletişim 5.6 Yönetimin gözden geçirmesi 5.7 Alıştırmalar	5. Liderlik 5.1 Liderlik ve taahhüt 5.2 Politika 5.3 Kurumsal roller, sorumluluklar ve yetkiler

6. Kaynak Yönetimi 6.1 Kaynakların sağlanması 6.2 İnsan kaynakları 6.3 Altyapı 6.4 Çalışma Ortamı 6.5 Alıştırmalar	6. Planlama 6.1 Riskleri ve fırsatları belirleyen faaliyetler 6.2 Kalite hedefleri ve hedeflere ulaşmak için planlama 6.3 Değişikliklerin planlanması
7. Ürün Gerçekleştirme 7.1 Ürün gerçekleştirmenin planlanması 7.2 Müşteri ile ilişkili süreçler 7.3 Tasarım ve geliştirme 7.4 Satın alma 7.5 Üretim ve hizmetin sağlanması 7.6 İzleme ve ölçme ekipmanlarının kontrolü 7.7 Alıştırmalar	7.Destek 7.1 Kaynaklar 7.2 Yetkinlik 7.3 Farkındalık 7.4 İletişim 7.5 Dokümante edilmiş bilgi
8. Ölçme, Analiz ve İyileştirme 8.1 Genel 8.2 İzleme ve ölçme 8.3 Uygun olmayan ürünün kontrolü 8.4 Veri analizi 8.5 İyileştirme 8.6 Alıştırmalar	8. Operasyon 8.1 Operasyonel planlama ve kontrol 8.2 Ürün ve hizmetler için şartlar 8.3 Ürün ve hizmetlerin tasarımı ve geliştirilmesi 8.4 Dışardan sağlanan proseslerin, ürünlerin ve hizmetlerin kontrolü 8.5 Üretim ve hizmetin sağlanması 8.6 Ürün ve hizmetlerin serbest bırakılması 8.7 Uygun olmayan çıktıların kontrolü
-	9. Performans Değerlendirme 9.1 İzleme, ölçme, analiz ve değerlendirme 9.2 İç tetkik 9.3 Yönetimin gözden geçirmesi
-	10. İyileştirme 10.1 Genel 10.2 Uygunsuzluk ve düzeltici faaliyetler 10.3 Sürekli iyileştirme

IATF 16949:2016 revizyonunda sürekli iyileştirmenin önemi artmış ve süreçlerin düzenli takip edilmesi sonucu sürekli iyileştirme bir sistem haline gelmesi hedeflenmiştir. Süreçlerin çıktısı olarak performans hedefleri belirlenmiştir. Her sürecin çıktıları arasında performanslarına uyum ve hedefleri tutturabilmek önemli hale gelmiştir.

3.1.2. IATF 16949:2016 Standardının Sektöre Faydaları

Otomotiv sektöründe yer alan üretici firmalar için kalite yönetiminde IATF 16949 standardının önemi büyüktür. Bu standart için, bağımsız bir kuruluş tarafından denetleme yaparak elde edilen belge olmadan otomotiv sektörünün ana üreticilerine parça imalat edilmesi mümkün değildir. OEM'lerin (Original

Equipment Manufaturer) tedarikçi seçme değerlendirme sürecinde ilk dikkate aldıkları madde, tedarikçinin minimum 9001:2015 kalite yönetim sistemleri belgesine sahip olup olmadığıdır. Daha sonrasında alt tedarikçilerden beklenti firmanın IATF belgesi olup olmadığıdır. Yani otomotiv sektöründe yer alan bir firma bu belge ile müşteri şartlarını karşılamaya başlamıştır. Ayrıca otomotiv sektörü için IATF 16949:2016 kalite yönetim sistemi standardının faydaları aşağıda sıralanmıştır IATF (International Automotive Task Force, 2016).

- Kalite performansının iyileştirilmesi konusunda yardımcıdır.
- Firmaların üretim verimliliği artar.
- Kalite ile ilgili harcanan maliyetler düşer. (%100 kontroller, müşteri iadeleri, müşteri kayıp zaman bedelleri vb.)
- Müşteri özel isteklerinin karşılanmasında yol göstericidir.
- Zamandan tasarruf edilmesini sağlar.
- Sürekli iyileştirme hedeflenerek, firmadaki riskleri azaltmaya yardımcıdır.
- Rakip firmalar ile rekabeti sağlar.
- Üst yönetimin kalite anlayışının gelişmesine yardımcıdır.
- Uluslararası pazarda firmaların payını arttırmalarına destek olur.
- Kalite yönetim sisteminin firma içinde sürekli gelişmesine yardımcı olur.
- Müşteri memnuniyetlerinin artmasını sağlar.
- Çalışanların sorumluluklarının belirlenmesi sağlar ve takım çalışmasındaki etkilerin pozitif yönde artmasını sağlar.
- Yasal ve düzenleyici gerekliliklerin karşılanmasını sağlar.
- Sürdürülebilir kalite yönetim sisteminin temelini oluşturarak süreçlerde iyileşmelere yardımcı olur.

3.1.3. Otomotiv Sektörüne Özel Yönetim Sistemleri

Uluslararası standartların dışında müşteriler (OEM) tarafından belirlenmiş ve özelleştirilmiş yönetim sistemleri de mevcuttur. Bu özelleştirilmiş sistemlere örnek olarak Ford Otosan Q1 kalite yönetim sistemi, Tofaş WCM uygulamaları, Renault Ases kalite yönetim sistemi, Hyundai 5 Star kalite yönetim sistemi ve Volkswagen VDA 6 yönetim sistemi örnek olarak gösterilebilir. Örnek olarak verilen ana sanayilerle çalışan otomotiv sektörü alt tedarikçileri IATF 16949:2016 standardının da belirttiği gibi müşteri özel isteklerini anlayabilmeli ve bu istekleri karşılayabilmelidir.

Müşteriler kendilerine ait bu özel sistemlerin gerekliliklerini alt tedarikçilerinden talep edebilirler. Belli aralıklarla da bu gerekliliklerin yerine getirilip getirilmediklerini görmek için tedarikçilerine denetmeler gerçekleştirirler.

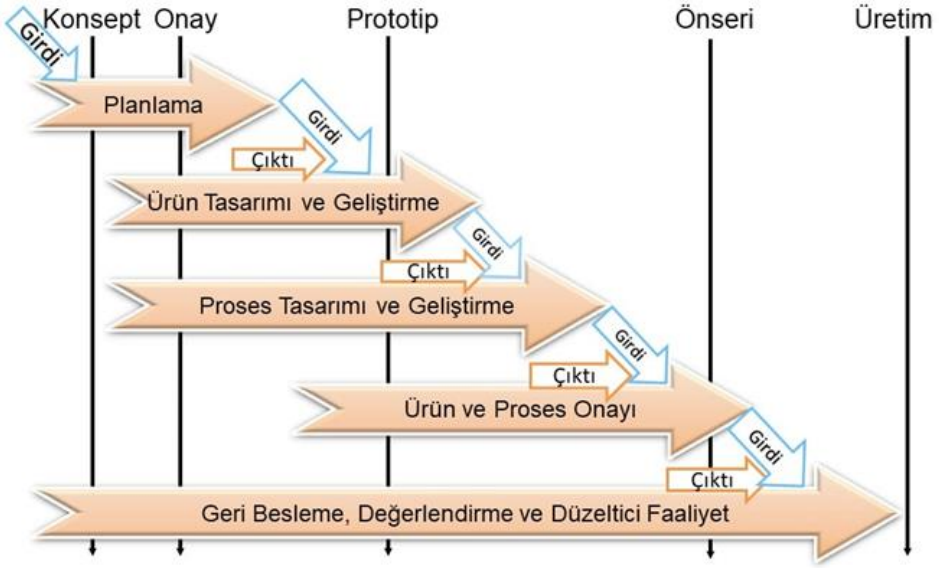
3.2. Otomotiv Sektörü İçin Kalite Yönetim Sistemi Araçları ve Faydaları

IATF 16949:2016 standardının temelinde ISO 9001:2015 standardı olduğunu ve iki standardın son güncellemeler ile eş zamanlı ilerlediği ifade edilmişti fakat IATF 16949 standardını ISO 9001 standardın ayrıştıran bazı gelişmiş kalite sistem uygulama araçları mevcuttur. Bu araçlar aşağıdaki açıklanmıştır.

3.2.1. Gelişmiş Ürün Kalite Planlaması (APQP)

Gelişmiş ürün kalite planlaması otomotiv sektöründe kalite yönetim sistemi uygulamalarında kullanılan araçlardan bir tanesidir. APQP, bir ürünün tasarım aşamasında, üretimi esnasında ve sevkiyat işlemleri de dahil olmak üzere ürünün kalite güvencesini sağlamayı amaçlamaktadır. APQP ürünün kalitesini planlamak ve güvence altına almak için otomotiv sektöründe kullanılan yöntemlerden biridir.

APQP yöntemi kullanılarak hazırlanan plan ile müşterilerle ortak bir dil geliştirilmiş olur ve kısa zamanda müşteriye kaliteli ürün sunabilmek için sistem geliştirilmesini sağlar. Bu süreçte kaynakların sağlanması ve zamanında tedarik edilmesi üst yönetim sorumluluğundadır. Gelişmiş ürün kalite planlaması için bir ekip lideri belirlenir ve sürecin yönetilmesi ile ilgili sorumluluklar belirlenerek, kimin neyi ne zaman yapacağı hangi zaman diliminde gerçekleştireceği belirlenir. APQP süreci genellik beş adımdan oluşur. APQP sürecine ait şematik gösterim aşağıdaki şekilde belirtilmiştir. Sürecin ilk adımı planlama ile başlar, süreç geri besleme, değerlendirme ve düzeltici faaliyetlerin gerçekleştiği son adım ile biter.



Şekil 3.1 APQP Süreç Adımları Şematik Gösterimi
Kaynak: https://sigmacenter.com.tr/apqp-ppap/

APQP sürecini oluşturan adımlar aşağıda açıklanmıştır.

- Planlama: Üretilecek ürünle ilgili müşterinin istekleri ve ürüne ait kalite hedeflerinin belirlendiği aşamadır. Bu adımda müşteriden gelen geri bildirimler, benzer ürünler var ise daha önceden yaşanan problemler göz önünde bulundurulmalıdır. Maliyet, zaman ve kaynaklara göre iş planı hazırlanır. Ürünün ortaya çıkmasına engel eksiklikler var ise ilgili planlama yapılarak bu eksikliklerin giderilmesi sağlanır.
- Ürün Tasarımı ve Geliştirme: Bu aşamada üretilecek ürünün tasarım özellikleri belirlenir. Müşterilerin belirttiği gereksinimler ve istediği özel istekler dikkate alınır. Ayrıca bu aşamada maliyet, tasarım seçenekleri, güvenlik ve zaman gibi faktörler dikkate alınmalıdır.
- Proses Tasarımı ve Geliştirme: Üretilecek olan ürünün üretim süreci bu aşamada tasarlanır. Prosesle ilgili adımlar belirlenir. Ürüne dair spesifikasyonlar, teknik resimler, kontrol planları, formlar ve şartnameler hazırlanır. Ürünün üretileceği prosese dair akış şemaları hazırlanır. Bu aşamada proses fmea yapılarak ürün ile ilgili risk analizi oluşturulur.

- Ürün ve Proses Onayı: Üretim süreci başlar ve bu aşamada üretim sürecinde gerekli kalite kontroller başlatılır. Sorunlar tespit edilerek düzeltici faaliyetler başlatılır. Ürünün kontrol planında değişiklik olması gerekiyorsa ilgili değişiklik gerçekleştirilir. Paketleme ve sevkiyat sürecine ait değerlendirmeler bu aşamada gerçekleştirilir. Ürün ile ilgili testler gerçekleştirilir. Son olarak da kalite planları onaylanır ve üst yönetime sunulur.
- Geri Besleme, Değerlendirme ve Düzeltici Faaliyet: Son aşamada, proses ile ilgili giderilmesi gereken eksiklikler için düzeltici faaliyetler hazırlanır. Müşteriden gelen geri bildirimler bu aşamada dikkate alınır ve müşteri memnuniyeti arttırılmaya çalışılır. Sorunsuz ürün gönderimi adına sevkiyat ve hizmetler hızlandırılır.

APQP süreci sürdürülebilir kalite için ürün ve prosesin geliştirilmesinde etkili bir rol oynar. Hataların erken tespit edilmesini sağlayarak sürdürülebilir kaliteye odaklanılmasını sağlar. Otomotiv sektöründe, tedarik zinciri kaynağında yer alan tüm ortakların arasında iş birliği kurulmasına yardımcı olur.

APQP sürecinin kalite yönetimi sistem uygulamalarının sürdürülebilir olmaları için faydaları mevcuttur. Bu faydalar:

1. Hataların önlenmesine yardımcı olur.
2. Kaynakların verimli kullanılmasına yardımcı olur.
3. Atıkların azaltılmasını sağlar.
4. Müşterilerin memnuniyetini arttırarak sürdürülebilir müşteri tabanı oluşturur.
5. Risklerin yönetilmesi sağlar ve süreçlerin güvenli ve sürdürülebilir olmasına destek olur.
6. Sürekli iyileştirme fırsatlarının ortaya çıkmasına yardımcı olur.
7. Tedarik zinciri içinde bulunan paydaşlar arasında koordinasyonu sağlar.
8. Firmanın sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında destekçi araçtır.

3.2.2. Üretim Onay Proses Parçası (PPAP)

Otomotiv sektörü kalite yönetim sistemi içerisinde bulunan bir diğer araç PPAP'tır. PPAP ile ürün kalitesi doğrulanmış olur. Nihai ürünün uygunluğunu kontrol eden bir araçtır. PPAP ile ürünün tasarımsal sorunları erkenden tespit edilerek oluşacak kalite maliyetleri önlenmiş olur. PPAP süreci, ürünün tedarikçisi değiştiğinde, kullanılan malzemede bir değişiklik olduğunda, üretim esnasında kullanılan ekipmanlarda yer değişikliği olduğunda veya ürene ait proses akışındaki bir değişiklikte gereklilik olarak ortaya çıkmıştır.

PPAP sürecinin amacı müşterinin, üründen beklentilerinin üretici firma tarafından karşılandığını ispat etmektir. PPAP sürecinin sürdürülebilir kaliteye katkıları aşağıdaki gibidir.

1. Ürünün, kalite güvencesine olan uygunluğunu denetlemeyi sağlar.
2. Üretim sürecinin kontrol edilmesini ve kaliteli bir ürün için gerekliliklerin uygunluğunu sağlar.
3. Müşteri tarafından belirlenen kalite hedeflerinin gerçekleştirilmesini sağlar.
4. Sorunların erken tespit edilmesini sağlayarak düzeltici faaliyetler alınmasını sağlayarak oluşacak maliyetlerin en aza indirilmesini sağlar.
5. Tedarik zinciri kapsamında hedeflerin daha anlaşılabilir olmasını sağlayarak sürdürülebilir kalite hedeflerinin paylaşılmasına yardımcı olur.

3.2.3. Ölçüm Sistemleri Analizi (MSA)

Otomotiv sektörü kalite yönetim sisteminde süreç kontrollerinde ölçüm sistemleri analizlerinin (MSA-Measurement System Analsis) önemli bir yeri vardır. Firmalar için MSA, yapılan ölçümlerin doğruluğunu teyit etmek için kullanılan bir yöntemdir. MSA, firmalardaki ölçüm sisteminin doğruluğunu, hassasiyetini ve tekrarlanabilirliği için kullanılmaktadır. Üretim sürecinde ortaya çıkan sonuçlardaki değişkenliğin etkenlerini belirlemek için kullanılmaktadır. Ölçüm sistemleri analizini oluşturan faktörler mevcuttur. Bu faktörler:

- Ölçümden sorumlu çalışanlar
- Ölçüm cihazları
- Ölçüm yapılan ortam

Belirtilen faktörlerin yeterlilikleri ve güvenirliklerinin incelenmesi için MSA yöntemi kullanılır. MSA ölçüm kaynaklı veya diğer faktörlere bağlı nedenlerden olan farklılıkları tespit ederek proseslerin daha güvenilir hale gelmesini sağlamıştır.

Kalite yönetimi sistem uygulamalarında gerekli olan MSA yöntemi üreticilerin ölçüm analizlerinin kontrol altına alınmasını sağlar. MSA yönteminin kalite yönetim sistemine faydaları aşağıda belirtilmiştir.

- Ölçüm sisteminin doğruluğunu teyit ederek, ölçüm kaynaklı oluşabilecek risklerin ortadan kalkmasına yardımcı olur.
- Ölçüm kaynaklı hataların ve değişkenliklerin tespit edilmesini sağlayarak ortaya çıkabilecek kalite maliyetleri azaltılmasına yardımcı olur.
- Ürünlerdeki hataların azalmasına yardımcı olur.
- Kalite yönetim sisteminin sürdürülebilir olmasına yardımcı olur ve müşteri memnuniyetini artırır.
- Üretim sürecindeki verimliliğin artmasını sağlar.

Kalite yönetim sistemlerinde sürdürülebilirlik ilkesinin sürekli iyileştirme ile devamlılığı sağlanmalıdır. Bu süreçte firmalar sürdürülebilir bir kalite yönetimi sistemindeki hedeflerine ulaşmak için MSA aracını kullanarak, ölçüm sistemlerindeki belirsizlikleri ortadan kaldırmayı amaçlamışlardır. Bununla kalite yönetim sistemindeki sürdürülebilirliği sağlamak istemektedirler.

3.2.4. Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA)

Otomotiv sektöründe faaliyet gösteren firmaların hedefleri arasında sürdürülebilirlik hedefi olmalıdır. İyi bir kalite yönetimi sisteminin sürdürülebilirliğini sağlamak için sürdürülebilirlik hedefleri ve politikaları hazırlanmalıdır. Firmaların bu hedefleri gerçekleştirme aşamalarında kullanılacakları diğer bir yöntem ise hata türleri ve etkileri analizidir (FMEA). Otomotiv sanayine parça üreten firmalar FMEA kullanarak tasarım aşamasında veya süreç (proses) esnasında oluşabilecek risklerden kaynaklı hataları seri üretime başlamadan fmea yaparak engelleyici sistemler kurmayı amaçlamışlardır. FMEA yöntemi, olası hataları nedenlerini inceleyerek, en riskli hata türlerine öncelik verilmesi ile bu hatalara alınacak önlemler eşliğinde sürdürülebilir kalite hedeflerini gerçekleştirme sürecinde etkili bir araç olmuştur. Fmea'da tüm riskler için proaktif yaklaşımlar geliştirilmiştir. Otomotiv sektörü dışında birçok sektörde de fmea kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe üretilen ürünler için fmea yapılması hem kaliteli ürün üretmek hem de müşteri özel istekleri arasında yer almaktadır. IATF 16949:2016 Standart gerekliliklerini yerine getirmek otomotiv sektörü içinde bulunan üreticinin sorumlulukları arasındadır. Örneğin OEM Ford, 2021 yılının aralık ayında yayınlamış oldukları müşteri özel istekleri kapsamında alt tedarikçilerinden software fmea istemektedir. Dijitalleşmenin de getirdiği faydalardan yararlanmak için fmea'nın yazılım üzerinden yapılması gerekliliği getirilmiştir. Aslında bu müşteri özel isteği sürdürülebilir kalite yönetim sistemi için iyi bir örnektir. Dokümanların kontrolü ve gelişen teknolojiler ile firma içindeki dokümanların kağıt, excel vb. gibi araçlardan kurtulup bir program ile gerçekleştirilmesi sürdürülebilir kalite için iyi bir gelişme olmuştur. Bu sayede insana bağlı faktörler (eksik veri girişi, unutulan veriler) ortadan kalkmış olacaktır. Sektörde yeni bir projeye devreye almada ve seri şartlarda devam eden prosesler için kullanılan fmea yönteminin bazı türleri mevcuttur (Smith, D. K., & Smith, F. E. 1993). Bunlar:

1. Tasarım Fmea: Üretilmek istenilen ürünün tasarım aşamasındaki olası hata modları incelenerek riskleri azaltmak için kullanılan analiz şeklidir. Tasarım esnasındaki zayıf noktaların ortaya çıkmasına yardımcı olur. Tasarım esnasında yapılan fmea ile tasarım kaynaklı oluşabilecek kusurlar azaltılmış olur ve risklerin iyi bir şekilde yönetilmesi sağlanır.

2. Proses Fmea: Üretilecek ürünün proses veya montajı esnasında oluşabilecek riskler analiz edilerek ortaya çıkabilecek hata türlerine önlem alınmasını sağlar. Proses fmea analiz yöntemi üretim aşamasında kullanılacak araçların, makinelerin ve insan gücünün prosese etkilerini ortaya çıkartarak üretim sürecinin zayıf yönlerini ortaya koyar.

Fmea ilk olarak havacılık sektöründe uygulanmaya başlanmıştır fakat daha sonrasında kimya endüstrisi ve otomotiv sektöründe popüler hale gelmiştir. Otomotiv sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu analiz yönteminin sürdürülebilir kalite yönetim sistemi için faydalarını aşağıda belirtilmiştir.

1. Ürünün kalitesini etkileyebilecek risklerin ortaya çıkmasına yardımcı olur.
2. Sürdürülebilir kalite yönetim sistemi için sürekli iyileştirme alanları ortaya çıkartır.
3. Potansiyel hata türlerinin belirlenmesine destek olur.
4. Fmea üretilecek ürünün maliyetlerini düşürme açısından da önem taşımaktadır.
5. Verimliliğin artmasını sağlar.
6. Kaynakların verimli kullanılmasını sağlayarak sürdürülebilir kalite yönetim sistemine fayda sağlamış olur.
7. Oluşabilecek kalitesel problemleri önceden belirlemeye yardımcı olduğu için müşteri memnuniyetini olumlu bir şekilde etkiler.
8. Firmaların kurumsal itibarlarını arttırır.

3.2.5. İstatiksel Proses Kontrol (SPC)

Örnekleme yapılarak verilerin toplanmasını ve toplanan verilerin analiz ederek yorumlanmasını sağlayan bir analiz yöntemidir. Otomotiv sektöründe Statistical Process Control kelimelerinin baş harflerinden oluşan SPC kısaltmış şekli kullanılır. Prosesteki değişkenliği takip etmek ve gözlemlemek için en iyi kontrol araçlarından biridir. SPC çalışmalarının başarılı olabilmesi için üst yönetim aracılığıyla desteklenmeleri önemlidir. İstatiksel proses kontrolün amacı prosesi kontrol altında tutmak olduğu için kontrol dışı durumların neden oluştuğu ile ilgili analizler için yardımcı bir yöntemdir. SPC'nin kalite yönetim sistemlerinde sürdürülebilir yaklaşım için birden fazla yararı mevcuttur. Bunlar:

- Oluşacak hataların önceden belirlenmesini sağlar.
- Kalite maliyetlerinin azalmasını sağlar.
- Proseste meydana gelen değişkenliklerin fark edilmesini sağlar.
- Kalitede ve üretim aşamalarında sürekliliğin sağlanmasına yardımcı olur.
- Potansiyel hataların erken yakalanmasını sağlar.
- Üretim esnasında oluşan atıkların azaltılmasını sağlar.

- Kaynakların etkin şekilde kullanılmasını sağlar.
- Kalitesel problemlerin erken tespiti ile müşteriye olumsuz durumların yansımanı azaltır.
- Personellerin karar verme aşamasında sürece katılmalarını sağlar.

3.3. Otomotiv Sektöründe Sürdürülebilir Kalite Yönetim Sistemi İçin Uygulamalar

Kalite yönetim sistemlerinin sürdürülebilirliğini sağlamak otomotiv sektörü için vazgeçilmez unsurlardan biridir. Kalite sisteminin sürdürülebilir olması müşteri memnuniyetini arttırıcı bir özelliğe sahiptir. Otomotiv sektörü içerisinde yer alan üreticiler kalite yönetim sistemlerini sürekli dinamik ve sürdürülebilir bir yapıda tutmak için çeşitli uygulamalardan yararlanırlar. Organizasyon içerisinde en üst kademeden en alt kademeye kadar çalışanların bu uygulamaları benimseyerek firmaya katkıda bulunmaları amaçlanır. Bu uygulamalar aşağıdaki başlıklarda ifade edilmiştir.

3.3.1. Altı Sigma

Kalite yönetimi sistem uygulamalarında önemli bir yere sahip olan altı sigma modeli hem kalite maliyetlerini düşürmeyi hedefler hem de müşteri memnuniyetini arttırmayı sağlar. Robert Galvin'in önderliğinde 1987 yılında Motorola şirketinde uygulanmaya başlayan altı sigma kalite uygulaması ile Motorola firması Malcolm Baldridge Ulusal Kalite Ödülünü kazanmışlardır. Bu uygulama ile dört aşamadan oluşan bir problem çözme tekniği oluşmuştur. Bu teknik ölçme, analiz etme, geliştirme, kontrol etme şeklindedir. Altı sigma yöntemi tüm sektörlerde kullanılabilir. Bu yöntem süreçleri iyileştirmek ve kalite performansını arttırmak için 1 milyonda 3,4 hata oranını yakalamayı hedefler.

Altı sigma yaklaşımı kalite yönetim sistemini destekleyici ve sürdürülebilir kalite anlayışı için firmaların hedeflerine ulaşması konusunda etkin bir metottur (Pyzdek, T., & Keller, P. A. 2014). Altı sigma anlayışı ile müşteri memnuniyeti artar ve kalite problemleri azalır. Altı sigma yaklaşımının kullanıldığı firmalarda projeler için görevlendirme dağıtılırken pozisyonlarına veya görevlerine göre isimlendirilirler. Altı sigma yöntemi bir nevi takım çalışmasıyla ilerler. Bu yaklaşımda olan organizasyondaki görev dağılımı ve tanımlamaları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Altı Sigma Görev Dağılımı Tablosu

Liderlik Konseyi	Üst yönetim tarafından liderlik edilir ve projeler için yeterli kaynak sağlanması görevi üst yönetim tarafından yürütülür.
Yeşil Kuşak	Projelerde kara kuşaklara asistanlık görevi yaparlar. Yarı zamanlı çalışırlar.
Uzman Kara Kuşak	Altı sigma yönteminin firma içinde eğitimlerinden sorumludurlar. Tüm konularda en bilgili kişilerdir.
Kara Kuşak	Kara kuşaklar proje ile ilgili sonuçları şampiyona raporlayan takımın lideri konumundaki kişilerdir.
Şampiyon	Kıdemli yöneticilerden seçilen şampiyon projeleri belirleyen ve takip eden kişidir.

Otomotiv sektörü içinde yaygın olarak kullanılan altı sigma yaklaşımının başarılı olabilmesi için görev dağılımının doğru şekilde yapılarak, kişiler tarafından görevleri sağlıklı bir biçimde yerine getirilmelidir. Kalite yönetim sistemi ile altı sigma anlayışı ayrı düşünülemez. Altı sigma iyi bir kalite yönetim sistemini destekleyen yapılardandır. Altı sigmanın faydaları aşağıda sıralanmıştır.

- Maliyetlerin azalmasına yardımcı olur.
- Müşteri memnuniyetinin artmasını sağlar.
- Toplam kalite yönetimi ile iş birliği yaparak kalite yönetim sisteminin sürdürülebilir olmasına fayda sağlar.
- Hata miktarında göz ile görünün azalmalar yaşanır.
- Yenilik ve sürekli iyileştirme alt yapısı oluşturur.
- Personel performansını iyileştirir ve hedefler oluşturur.
- Müşteri ilgisinin artmasını sağlar.
- Süreçlerdeki iyileştirme oranını yükseltir.
- Bilgi alışverişi ve yeni fikirlerin ortaya çıkması güçlenir.

3.3.2. Yalın Üretim

Değişen teknolojiler ile sürekli artan müşteri isteklerinin karşılanabilmesi adına, güçlü bir sektör olan otomotiv endüstrisi kalite yönetim anlayışında sürekli iyileştirme mantığına sahip olarak yalın üretim tekniklerinden de faydalanmaktadır. Yalın üretim otomotiv endüstrisinde süreçlerdeki fazlalık olan adımları sadeleştirmek için kullanılan yöntemdir (Womack, J. P., & Jones, D. T. 2003). Maliyetleri azaltmak, süreçlerde sürekli iyileştirmeyi benimsemekte bu anlayışın önemli noktaları arasındadır. Bu anlayış Toyota tarafından geliştirilmiş olup, israfı azaltarak kaliteyi yükseltmeyi hedefler. Otomotiv sektöründe yalın

üretim felsefesini benimseyen firmalar üretim süreçlerinde bazı yalın üretim araçlarından bir veya birkaçından yararlanmışlardır. Otomotiv sektöründe yaygın biçimde kullanılan yalın üretim arçaları aşağıda belirtilmiştir.

1. Kaizen: Sürdürülebilir kalite yönetim sistemleri için kaizenler sektörde en çok kullanılan araçlardan biridir. En üst kademeden en alt kademeye kadar firma içinde kaizen hedefleri koyularak hem personelin süreçlerdeki etkinliğini artırmak hem de sürekli iyileştirme kapsamında süreçleri daha da iyi bir seviye getirmek için kullanılır. Kavramsal çerçevede kaizen; süreç verimliliğini arttırıcı, küçük ve basit iyileşmeler ile maliyetleri azaltmaya yarayan bir japon felsefesidir. Firmalar performans göstergelerinde kaizen hedefleri koyarak çalışan personellerini sürekli iyileştirme odaklı düşünmeye teşvik ederler.

2. 5S: Firmalar içinde temizlik ve düzenin sağlanması ve kalite yönetim sistemindeki sürdürülebilirliğin etkin bir şekilde ilerlemesine adına kullanılan araçlardan biri de 5S'tir. 5S, çalışanların disiplinini ve verimliliği arttırıcı özelliğe sahiptir. Bu araç otomotiv sektöründe yaygın bir biçimde kullanılır. Firmalar, kendi iç bünyelerinde 5S denetimleri gerçekleştirerek eksik veya iyileştirilmesi gereken alanları tespit etmeye odaklanırlar. Bu denetimleri en üst kademe olan bir yöneticide gerçekleştirebilir, hat içinde çalışan mavi yakalı bir personelde çalıştığı alana 5S denetimi yapabilir. 5S yöntemi beş adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar:

- Seiri (Ayıklama): Çalışan ortamdan işlevi olmayan gereksiz eşyaların kaldırılması anlamına gelir.
- Seiton (Düzenleme): Kullanılacak araç ve gereçlerin yerlerinin tanımlanmasını sağlamak ve bu araçların kullanıldıktan sonra düzenli bir şekilde yerlerine koyulmasını anlamındadır. Araç ve gereçler için çalışma ortamında adresleme yapılabilir.
- Seiso (Temizleme): Belirli periyotlarda çalışma ortamının ve kullanılan aletlerin temizlenmesi anlamına gelmektedir.
- Seikutsu (Standartlaştırma): Yukarıda saydığımız diğer maddelerin kontrolü için standartlaştırma maddesi uygulanmalıdır. Bu maddede gerekli kontroller için standartlar belirlenir. Diğer üç adımın etkin bir biçimde yürümesini sağlar.
- Shitsuke (Disiplin): 5S modelini firma içinde süreklilik haline gelmesi için standartlaştırma adımı ile son adım olan disiplin adımı büyük bir öneme sahiptir. Yapılan kontrollerin etkinliği takip edilerek süreklilik kazandırılır. Firma içinde 5S yönteminin firma kültürü haline gelmesini sağlar.

3. Poka-Yoke: Otomotiv endüstrisinde oluşabilecek hataları engelleyici sistemler kullanılır. Bu sistemlerden biri de poka-yoke'dir. Üretim hatlarında

kalite problemlerini tam anlamıyla %100 engellemek şu an için mümkün değildir. Poka-Yoke cihazları kullanılarak hatalar minimalize edilmektedir. Hatanın oluşmasını engelleyici sistemler veya uyarıcılar olarak da görebiliriz. Bir sonraki operasyona hatalı ürünün gitmemesi adına düşük maliyetle gerçekleştirilebilecek etkin yöntemler arasındadır.

4. Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi (SMED): Yalın üretim araçlarından olan SMED tekli dakikalarda ekipmanların hızlı bir şekilde değişimi için setup zamanını azaltmaya yarayan bir yaklaşımdır. Tekli dakikalarda kalıp(model) değişimi mevcut üretim esnasından diğer çalışılacak üretim sürecine geçişin etkili bir şekilde yapılmasını hedefler. Bu uygulama zaman açısından verimliliği artırmak, daha ergonomik koşulların oluşmasını sağlamak, iş yükünün azalması ve takım çalışmasını arttırıcı özelliklere sahiptir.

3.3.3. Dijitalleşme

Otomotiv sektörünün sürekli gelişen bir yapıya sahip olması kaynaklı dijitalleşme kavramı da gün geçtikçe önemini arttırmaktadır. Süreçlerdeki dijitalleşmeye geçiş ile zaman tasarrufu, çalışan verimliliği gibi birçok yararı mevcuttur. Önemli odak noktalarından biri de kalite yönetim sisteminin sürdürülebilir olmasına dijitalleşmenin katkıları yadsınamaz bir gerçeklik taşımaktadır. Otomotiv sektörü, yapısı gereği müşteri özel isteklerini karşılamak ve müşteri memnuniyeti arttırıcı iyileştirmeler ile kendini sürekli geliştirmeye odaklı bir sektördür. Sektör içinde kullanılan dokümantasyon yapısı çok fazladır. Günümüzde çoğu firma dokümantasyon işlerini firma içinde dijitalleştirme aşamasındadır. Dokümantasyon işleri için kullanılan birçok program mevcuttur. Kalite yönetimi sistemleri için olmazsa olmaz dokümante etme kavramı bu programlar sayesinde firmalar için daha kolay ulaşılabilir ve sürekliliği sağlayıcı özellikler taşımaktadır. Sektörde QDMS adında doküman yönetimi programı mevcuttur. Bu programa benzer başka programlarda sektör içinde kullanılmaktadır. QDMS programı doküman yönetimini bağımsızlaştırmaktadır. Kişilere olan bağımlılığı azaltmaya yardımcı bir uygulamadır. Sürdürülebilir bir kalite yönetim sistemi gerekliliklerinden biri de ulaşılabilirliğin kolay olmasıdır. Bu tarz doküman yönetimi programları ile ulaşım zorluğu ortadan kaldırılmak istenmiştir.

Hızlı gelişen teknolojiler gelişmeler otomotiv sektörü içinde dijitalleşmenin önemini artırmaktadır. Yeni araçların veya üretim süreçlerinde yeniliklerden yararlanmalarını sağlayan kapılar açmaktadır. Dijitalleşme daha sürdürülebilir bir kalite yönetimi sistemi için dönüşüm sağlar. Süreç içerisindeki verimliliği arttırır, kaynakların daha az tüketilmesini sağlar. Zaman tasarrufu sağlayarak işlerin daha pratik şekillerde ilerlemesine yardımcı olur. Bunların yanında

müşteri isteklerinin karşılanabilmesi için farklı alternatif seçenekler sunarak müşteri gözünde firmaların değerinin artmasını sağlar. Dijitalleşme sürecinin otomotiv sektörüne faydalarını aşağıda belirtilmiştir.

- Üretim sürecindeki sorunların kolay tespit edilmesini sağlar.
- Risklerin azalmasına yardımcı olur.
- Kaynak kullanımının azalmasını sağlar.
- Entegrasyonun kolay olmasını sağlar.
- Verimliliği artırır.
- Yapay zekaya sahip uygulamaların kullanımı ile rakiplere üstünlük kurulmasını sağlar.
- Müşteri memnuniyetinin artmasını sağlar.

3.3.4. Sürdürülebilir Tedarik Zinciri

Kalite yönetim sistemindeki sürdürülebilirliği sağlamanın diğer bir adımı da tedarik zinciri yönetimidir. Tedarik zinciri yönetimi sürdürülebilir bir yapıya sahip olduğunda müşteri beklentilerinin karşılanması ve pazar içindeki rekabeti karşılayabilecek konuma gelinmesini sağlar. İyi bir tedarik zinciri yönetimine sahip olmak kalite yönetim sisteminin sürdürülebilirliği açısından önem arz etmektedir. Otomotiv sektörü içinde alt tedarikçi seçme ve değerlendirme sürecini kapsayan tedarik zinciri yönetimi dinamik ve gelişen bir yapıya sahip olmalıdır. Tedarik zinciri yönetiminin sürdürülebilir olmasındaki amaç, global pazar içinde bulunan paydaşlara sosyal, ekonomik ve çevresel açıdan büyüme ve değerlerini arttırmaya çalışmaktır.

Değişen müşteri özel isteklerini karşılayabilmek üzerine kurulmuş sürdürülebilir tedarik zinciri anlayışı değer yaratma konusunda önem taşımaktadır. Geniş kapsamıyla tedarik zinciri; sektörde yer alan paydaşların güvenliklerini, çeşitli konularda haklarını

ve çevresel sorunlarda toplum tarafından öncelik verilen etik sorumlulukları kapsayan bir yönetimdir.

Otomotiv sektörü içinde tedarik zincirinin sürdürülebilir olması firmalara rekabet açısından fayda sağlar. Firmaların sosyal sorumluluklarını yerine getirilmeleri için destek olur. Firmaların çevresel etkilerini azaltmaya yardımcı olur. Sürdürülebilir tedarik zinciri anlayışı ile firmaların maliyetleri de azalır. Otomotiv sektöründe kalite yönetim sisteminin sürdürülebilir olması açısından tedarik zincirinin faydaların aşağıda belirtilmiştir.

- Sürdürülebilir tedarik zinciri otomotiv sektörünün çevreye olan etkilerini azaltmaktadır.

- Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi alt tedarik sürecindeki çeşitliliğin artmasına yardımcı olur.
- Tedarik sürecindeki riskleri azaltmaya yardımcı olur.
- Otomotiv endüstrisindeki rekabet avantajını arttırır.
- Raporlamaya ve izlenebilirlik açısından önemlidir.
- Kaynakların verimli kullanımı için yol göstericidir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Her gün milyonlarca parça üretiminin gerçekleştiği ve bu parçaların global pazarda sevkiyat süreçlerine sahip olduğu dev bir sektör olan otomotiv endüstrisi için kalite yönetim sistemi uygulamalarını ve bu uygulamaların sürdürülebilir olmasının otomotiv sektöründe bulunan firmalara etkilerini bu çalışmada incelenmiştir. Gelişen ve sürekli değişen teknolojik gelişmelerin eşliğinde müşteri isteklerinin karşılanabilirliğinin sağlanması adına bu dev endüstrinin takip etmesi gereken yollar gösterilmiştir. Kalite yönetim sistemleri otomotiv sektörü için önemli yönetim sistemleri içinde ilk sırada yer almıştır. Üretici firmalar kaliteli ürünler üreterek müşterilerin memnuniyetini arttırıp, global pazarda sermayelerini artırmayı hedeflemişlerdir. Bu sonuçlara ulaşmak için güçlü bir kalite yönetim sisteminin kurulması, IATF 16949:2016 Standardının gerekliliklerini yerine getirerek, kalite yönetim sisteminin sürdürülebilir olmasını sağlamak gerekmektedir. Kalite yönetim sistemini güçlendirmek için çağın gerekliliklerine ve gelişen teknolojik uygulamalar eşliğinde sistemi beslemek firmaların rekabet ortamındaki yerini sağlamlaştırmak adına önemli bir uygulamadır. Kalite yönetim sisteminin oluşturulması ve otomotiv sektöründe sürdürülebilir olması çağın gereklilikleri arasındadır. Kalite yönetim sistemi ile tanımlanan bilgiler, prosedürler, talimatlar sadece oluşturan kişiler bünyesinde kalmamalı en alt kademeye kadar yaygınlaştırılmalıdır. Bu yaygınlaştırılma üretici firmalarda mevcut değil ise kalite yönetim sisteminin etkinliği sorgulanmalıdır.

Kalite yönetim sisteminde sürdürülebilirlik daha çok üç kavramsal metot etrafında toplanarak bu kavramların etkileri ile güçlenmektedir. Bu kavramları; Ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik olarak ifade edilmektedir. Kalite yönetim sistemi sürdürülebilir olabilmek için belirtilen kavramları ait ilkeleri benimseyerek sektör içinde bulunan firmaların performans hedeflerini yerine getirme ve süreçlerini iyileştirmede yardımcı faktör olarak kullanmaktadır. Bu faktörleri dikkate alan sektör içindeki firmalar kalite yönetimi sistemlerindeki uygulamalarında başarıya ulaşarak topluma değer katan firmalar arasında yer almaktadırlar.

Otomotiv sektörü için kalite yönetimi sistem uygulamalarının sürdürülebilirliği açısından birçok etken mevcuttur. Süreçleri oluştururken sürekli iyileştirme felsefesini benimsemek, çalışan personelin etkinliğini arttırmak ve sürekli gelişime açık hale getirmek kalite yönetim sisteminin sürdürülebilirliği ve yönetim sistemine ait uygulamaların sürdürülebilir olması açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada incelenen sektör için ön plana çıkan madde sürekli iyileştirmeyi hedefleyen felsefi yaklaşımı benimsemek olarak ortaya çıkmaktadır. Otomotiv sektörünün dev bir endüstri olmasından kaynaklı çevreye etkileri fazladır. Sürdürülebilir kalite yönetim sisteminin baz aldığı değerler arasından firmaların çevreye olan etkilerini azaltmakta yer almaktadır. Bu güçlü sektörün içinde yer alabilmek ve güçlü sürdürülebilir bir kalite yönetim sistemine sahip olabilmek için teknolojik gelişmeleri takip etmek önemli bir koşuldur. Entegrasyonu kolay olan dijital örnekler ile firmaların diğer rakip firmalardan öne geçmesi sağlanmaktadır. Tüm bunlar gerçekleşirken personel kaynağına gereken önem verilmeye devam edilmelidir. Personel devir hızının düşük olması firmalar içindeki sürdürülebilir kalite yönetim sisteminin devamlılığı açısından önemli bir etkendir. Her ne kadar teknolojik ve dijital gelişmelere kaynak ayrılması önemli olsa da personel kaynağı da otomotiv sektörü için önemli bir maddedir.

Kalite yönetim sistemi uygulamalarında sürdürülebilir olmanın diğer bir maddelerinden biri de tedarik zincirinde sürdürülebilir olmaktır. Güçlü bir kalite yönetim sistemine sahip olsanız da tedarik zincirinden kaynaklı aksaklıklar, sorunlar sürdürülebilir kalite yönetim sistemini olumsuz etkileyen faktörler arasındadır. Yetersiz kalan tedarik zinciri yönetimi üretim hatlarında oluşabilecek problemler ortaya çıkartabilir hatta büyük müşteri duruşlarına sebep olabilir. Bu olumsuz etkiler üretici firmalara yüksek kalite maliyetleri şeklinde dönüş sağlar.

Küresel pazarda büyük bir hacme sahip olan otomotiv sektörünün sürdürülebilir olması, müşteri memnuniyetini arttırıcı özelliğe sahiptir. Kalite yönetim sistemi içerisinde yer alan uygulamaların sürdürülebilirliği sektörün gelişimi açısından önemli bir konudur. Bu uygulamaların sürdürülebilir olmasını sağlamak adına adım atan firmalar rekabet açısından güçleneceklerini unutmamalıdırlar.

KAYNAKLAR

Akal, Z. (1995). TKY ve Performans Ölçme ve Değerlendirme Sistemleri. *Verimlilik Dergisi.*

American Society for Quality. (2021). Quality Control. In ASQ Glossary of Quality Terms. https://asq.org/quality-resources/asq-glossary

Bozkurt, R. (2003). *Kalite İyileştirme Araç ve Yöntemleri: İstatistiksel Teknikler*. Ankara:MPM Yayınları.

Bozkurt, R. ve A. Odaman. (1995). *ISO 9001 Kalite Güvence Sistemleri*, MPM Yayınları. Ankara.

Deming, W. E. (1986). Out of the Crisis. MIT Press.

Efil, İ. (2010). *Toplam Kalite Yönetimi*, Dora Yayınları, Yenilenmiş 7.B., Bursa

Erdoğan, Ö. (2008). *ISO/TS 16949:2002 Otomotiv Kalite Yönetim Sistemi Ve Bir Otomotiv Yan Sanayi Firmasında Uygulamaları*, [Yüksek Lisans Tezi]. Marmara Üniversitesi.

Garvin, D. A. (1983). Quality on the Line: The Fallout from Toyota's Recall. Harvard Business Review, 61(5), 65-73.

Garvin, D. A. (1984). What Does "Product Quality" Really Mean? Sloan Management Review, 26(1), 25-43.

Garvin, D. A. (1987). Competing on the Eight Dimensions of Quality, *Harvard Business Review*, November-December.

Garvin, D. A. (1987). Competing on the Eight Dimensions of Quality. Harvard Business Review, 65(6), 101-109.

Goetsch, D. L., & Davis, S. B. (2014). Quality management for organizational excellence. Pearson.

IATF (International Automotive Task Force). (2016). IATF 16949:2016 Automotive Quality Management System Standard. https://www.iatfglobaloversight.org/wp-content/uploads/2017/01/i-16949-2016.pdf

ISO (International Organization for Standardization). (2015). ISO 9000:2015 Quality management systems - Fundamentals and vocabulary. https://www.iso.org/standard/62085.html

İsmailoğlu, A. (2016). Otomotiv Endüstrisinde Kalite Yönetimi Uygulamalarının Değerlendirilmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 18(1), 329-349.

Juran, J. M. (1988). Juran on Leadership for Quality. Free Press.

Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1998). Juran's Quality Handbook. McGraw-Hill.

Kağnıcıoğlu, C. (2002). Kalite Yönetiminin Temel Prensipleri, *Ekonomik ve Teknik Dergi: Standart, 40.*

Laux, C. M. (2007). *The Impacts of a Formal Quality Management System: A Case Study of Implementing ISO 9000 at Farmers Cooperative*, Co Iowa State University.(Doctor of Philosophy)

Montgomery, D. C. (2017). Introduction to Statistical Quality Control. John Wiley & Sons.

Oakland, J. S. (2003). Total Quality Management: Text with Cases. Butterworth-Heinemann.

Özkan,Y. (2005). *Toplam Kalite*. Adapazarı: Sakarya Kitapevi.

Peşkircioğlu, N. (1995). Toplam Kalite Yönetimi ve Katılımcılık.*Verimlilik Dergisi*

Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2014). The Six Sigma Handbook, Fourth Edition. McGraw-Hill Education.

Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2014). The Six Sigma Handbook. McGraw-Hill Education.

Samson, D. and Terziovski, M. (1999).The Relationship Between Total Quality Management practices and Operational Performance. *Journal of Operations Management.*

Smith, D. K., & Smith, F. E. (1993). Failure Modes and Effects Analysis. Quality Progress, 26(12), 93-97.

Taşçı, D. (2013). *Kalite Yönetim Sistemleri*. Eskişehir: Açık Öğretim Yayını.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Free Press.

Yamak, O. (1998). *Kalite Odaklı Yönetim*. İstanbul: Panel Matbaacılık.

Bölüm 31

Gemi Manevra Matematiksel Modelleri ve Kontrol Sistemleri

Gökhan BUDAK[1]

[1] İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi
e-mail: gokhan.budak@ikc.edu.tr

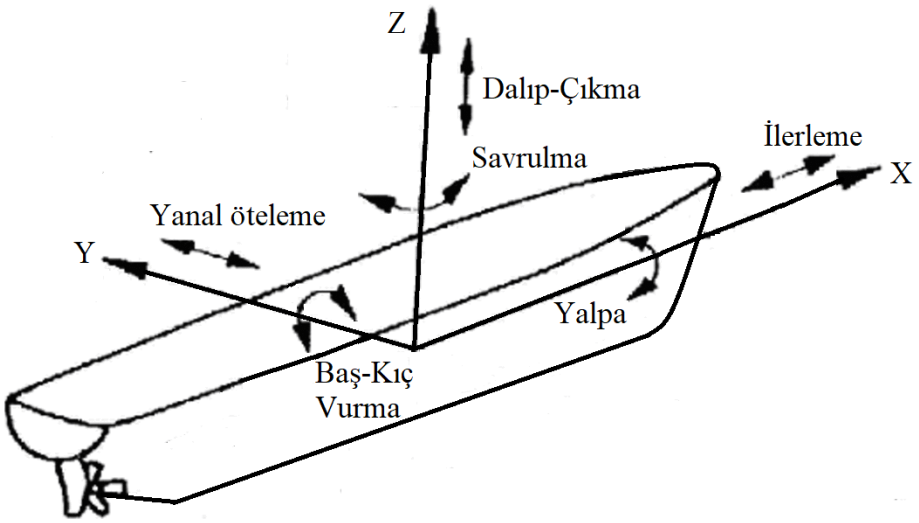
Özet

Gemilerin manevra performansının güvenli seyir ve deniz taşımacılığı açısından önemli olması sebebiyle belirli kriterleri sağlaması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında ilk olarak gemi hareketleri tanımlanarak gemi manevrasının sayısal hesaplanmasında kullanılan manevra modelleri anlatılmıştır. Ayrıca, manevra modellerinde yer alan hidrodinamik katsayıların elde edilmesinde kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. Bunun yanı sıra bir geminin manevra performansını ortaya koyan testler ve simülasyonlar hakkında bilgi verilmiştir. Matematiksel olarak modellenen gemi hareketlerine uygulanabilecek kontrol sistemleri tartışılmıştır. Kontrol sistemlerinin tasarlanması aşamasında değişen parametrelere bağlı olarak birden fazla da kontrolcünün birbirine entegre edilebileceği vurgulanmıştır. Kısaca, bu çalışmada gemilerin manevra performansının belirlenmesi için kullanılan manevra modelleri ve olası kontrol sistemleri anlatılmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gemi manevrası, Gemi hareketi, Kontrol sistemleri, Matematiksel modelleme.

Giriş

Bir su üstü deniz aracı düşünüldüğünde altı serbestlik dereceli hareket yaptığı bilinmektedir. Bu hareketler en yalın haliyle kartezyen koordinat sistemi üzerinde anlaşılabilir. Bu koordinat sistemi bilindiği üzere x, y ve z eksenlerinden oluşmaktadır. Bir deniz aracı x, y ve z eksenleri doğrultusundaki hareketleri üç ve bu eksenler etrafındaki dönme hareketleri de üç olmak üzere toplamda altı farklı hareket gerçekleştirmektedir. X ekseni etrafındaki hareketi yalpa (roll), y ekseni etrafındaki hareketi baş-kıç vurma (pitch) ve z ekseni etrafındaki hareketi de savrulma (yaw) olarak isimlendirilmektedir. X ekseni doğrultusundaki hareketi ilerleme (surge), y ekseni doğrultusundaki yanal öteleme (sway) ve z ekseni doğrultusundaki ise dalıp-çıkma (heave) olarak bilinmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Gemi hareketleri.

Her bir hareketin birbirleriyle olan bağlantısı ve etkileşimi oldukça karmaşık bir problemi de beraberinde getirmektedir. Dahası bu hareketlerin önem sırası deniz aracının türüne göre değişkenlik gösterebilmektedir. Yani eğer deniz üstü aracı bir yolcu gemisi ise yolcuların güvenli ve konforlu bir yolculuk gerçekleştirebilmesi için yalpa ve baş-kıç vurma gibi hareketlerin mümkün olduğunca kısıtlanması öncelikli kıstaslar arasındadır. Şayet bir savaş gemisi ise bu durumda öncelik yüksek hızlara ulaşmak olduğundan amaç daha konforlu bir gemiden ziyade daha hızlı hareket edebilen bir gemi tasarlamak olacaktır.

Altı serbestlik dereceli hareketler birlikte düşünüldüğünde bir veya birden fazla hareket için hedeflenen iyileştirmeler diğer hareketleri etkileyecek ve tasarım aşamasında tekrar tekrar hesaplamaların yapılmasına sebebiyet

verecektir. Her bir hareketin geminin çeşidine göre belirli sınırlar içerisinde kalma zorunluluğu geminin, mürettebatın varsa yolcu ve/veya yükün güvenli olarak bir bölgeden bir bölgeye ulaşabilmesi için önemlidir. Gemiler için belirli şartlar altında her bir hareket kurum/kuruluşlar (IMO, Klas kuruluşu, vs.) tarafından ortaya konan şartları sağlamak zorundadır. Bu da direkt olarak amaç doğrultusunda gerçekleştirilmek istenen iyileştirmeleri etkilemektedir. Çünkü yapılacak iyileştirmeler bir noktadan sonra diğer hareketlerin yasal/zorunlu sınırlar dışına çıkmasına sebebiyet verecektir. Bu nedenle de gemi hareketlerinde yapılması planlanan iyileştirmeler geminin inşasından önce tekrar tekrar düşünülmektedir. Yine de kesin sonuçlar geminin inşasından sonra seyir testi yapılarak elde edilebilmektedir. Fakat tasarım aşamasında yapılacak olan hesaplamalar ve manevra modelleri, geminin hareket ve manevra performansı yani denizciliği hakkında bilgi sahibi olmak adına önemlidir.

Bir geminin model deney sonuçları ile tam ölçekli seyir testi sonuçları manevra performansı açısından kıyaslandığında ikisi arasındaki farkın fazla olduğu durumlarla karşılaşılmaktadır. Fakat yine de gerçekleştirilen model deneylerinin genellikle geminin manevrası açısından tutarlı sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Model deney sonuçları ile seyir testi sonuçlarının arasında neden bazı ciddi sayılabilecek farkların oluştuğuna dair henüz net bir gerekçe beyan edilememektedir. Buradan hareketle mevcut matematiksel manevra modellerinde yer almayan ve henüz bilinmeyen parametrelerin olabileceği ya da değişen bazı büyüklüklere bağlı olarak ortaya çıkan etkileşimlerin tahmin edilenden daha yüksek olabileceği düşünülebilir.

Bu çalışma kapsamında gemi hareketleri içinden üç tanesi (ilerleme, yanal öteleme ve savrulma) ele alınacaktır. Bu üç hareket geminin manevra hesaplamalarında kullanılan hareketlerdir. Elbette ki diğer hareketler de güvenli bir gemi manevrası için dikkate alınmalıdır. Çalışmada ayrıca gemi manevra modelinin belirlenmesi ve beraberinde kontrol sistemlerinin tasarlanma aşamasındaki amaçlar hakkında bilgi verilmiştir. Bunların yanı sıra, kontrol sistemi için karar verilirken dikkat edilen konulardan bahsedilmiştir.

Gemi Manevrası

Deniz taşımacılığı hava, kara ve demir yolu taşımacılığına kıyasla en ucuz taşımacılık olduğundan günümüzde yük gemileri dünya ticareti açısından oldukça önemli bir yere sahiptir (Homauyoni ve Fontes, 2018). Bu sebeple deniz taşımacılığının güvenli olarak gerçekleştirilmesi sürdürülebilir ticaret için gereklidir. Öyleyse belirli deniz ve hava koşullarında dahi geminin güvenli olarak seyrine devam edebilmesi gerekir. Kısaca, gemi yaşam döngüsü içerisinde aktif olarak kullanıldığı sürece manevra performansı önem taşımaktadır. Çünkü bir

geminin yükleme limanından ayrılması, boşaltma limanına yanaşması ve bu iki liman arasında herhangi bir çatma/çatışma durumunda kalmaması için manevra yapması kaçınılmazdır. Bu nedenle de belirli periyotlarla kaptanlardan bazı manevraları gerçekleştirmesi beklenildiği de bilinmektedir.

Konu güvenli bir seyir olduğunda taşımacılığın sekteye uğramaması için hem ulusal hem de uluslararası düzenlemeler mevcuttur. Özellikle uluslararası kurumlar tarafından ortaya konulan kurallara uyulması geminin seyir yapabilmesi için şarttır. Sonuç olarak güvenli bir taşımanın yapılabilmesi için geminin sahip olması gereken şartlar arasında gemi manevra karakteristiklerinin belirli sınırlar içerisinde kalması gerekliliği söz konusudur. Bu kurallar IMO tarafından kayıt altına alınmıştır (IMO, 2002). Her ne kadar bütün gemiler için tek bir manevra kriteri sunulmuş olsa da ilerleyen zamanlarda özellikle geminin kullanım amacı ve türüne göre kriterlerin ayrı ayrı belirlenme durumu da gündeme gelebilir.

Matematiksel manevra modelleri

Bir geminin tasarımı sırasında manevra hesaplamalarının da yapılması, inşa edilecek geminin manevra kabiliyeti hakkında bilgi sahibi olunması ve ihtiyaç halinde gerekli düzenlemelerin yapılması için gerekmektedir. Aksi halde gemi inşa edildikten sonraki düzeltmeler, istenilen kriterler için ya yetersiz kalacak ya da fazladan maliyetleri beraberinde getirecektir. Bu sebeple tıpkı diğer hesaplamalarda olduğu gibi gemi manevra karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla model deneylerinin yapılması en doğru sonuçları almak açısından önemlidir. Fakat her bir alternatif tasarım için model deneyi yapmak yerine alternatif formların sayısal hesaplamalarının yapılarak manevra açısından en uygun olan form belirlendikten sonra bunun için deney yapılması daha verimli bir yöntem olacaktır. Her ne kadar deney yapılmış olsa da model deney sonuçları ile birebir ölçekteki geminin manevra performansının hesaplanması oldukça zordur. Bu hesaplamalar için literatürde sıklıkla kullanılan iki temel matematiksel manevra modelinden bahsedebiliriz. Bunlardan biri Abkowitz model (Abkowitz, 1964) diğeri ise MMG (Mathematical Maneuvering Group) modeldir (Ogawa ve Kasai, 1978). Bu denklemlerde ilerleme ve yanal öteleme hareketi için kuvvet ya da kuvvetler, savrulma hareketinde ise moment ya da momentler hesaplanarak ivmeler elde edilmektedir. İvmelerin elde edilmesi sayesinde hız ve eksenler doğrultusunda alınan yol hesaplanmaktadır. MMG modelde kuvvetler ve moment hesaplanırken geminin tekne formundan, dümeninden ve pervanesinden kaynaklı kuvvetler ayrı ayrı düşünülerek toplam kuvvetler ve moment sayısal olarak elde edilmektedir. Fakat, Abkowitz modelde gemi bir bütün olarak ele alınarak hesaplamalar yapılmaktadır. Ayrıca, her iki matematiksel modelde de rüzgâr,

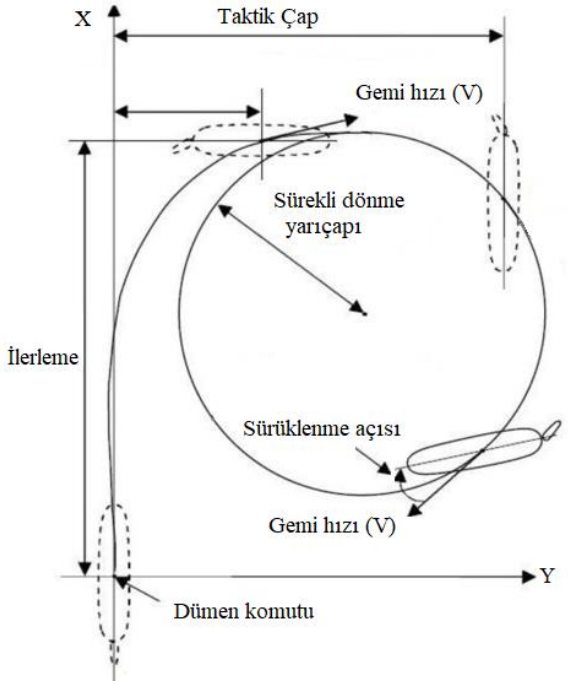
dalga vb. dış kuvvetlerden dolayı oluşacak kuvvetler ve moment ayrıca hesaplanarak toplam kuvvet ve momentlere eklenmektedir. Yukarıda bahsedildiği üzere MMG manevra modelinde her bir bileşen (form, dümen ve pervane) kaynaklı kuvvet ve momentler ayrı hesaplanmaktadır. O sebeple MMG modelde hesaplamaların takip edilerek varsa hataların giderilmesi ya da gerekli düzenlemelerin yapılabilmesi Abkowitz modele kıyasla daha hızlı olabilmektedir. Her iki matematiksel modelde de yer alan ve hidrodinamik katsayılar olarak bilinen terimler elde edilecek sonuçların güvenilir olması açısından önemlidir. Fakat bazı durumlarda denklemlerde yer alan parametrelerin belirlenmesi için daha önce deneyleri yapılmış gemilerden elde edilen veriler ışığında önerilen ampirik denklemler de (Clarke ve diğ., 1983; Khattab, 1984; Lee ve diğ., 2003;) kullanılabilmektedir. Kısacası, hesaplamalar yapılırken önerilen ampirik formüller kullanılabilir ya da bu hidrodinamik katsayılar hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile veya model testleri yapılarak elde edilebilir. Manevra modellerinde yer alan ve yukarıda bahsedilen hidrodinamik katsayılar arasında doğrusal ve doğrusal olmayan terimler yer almaktadır. Denklemlerde yer alan hidrodinamik katsayıların hangilerinin gemi manevra performansına olan etkisinin daha yüksek olduğunu vurgulayan çalışmalar da mevcuttur (Yoon ve Rhee, 2003; Sukas ve diğ, 2017; Sukas ve diğ., 2019).

Gemi manevra performans simülasyonları

Gemilerde manevra karakteristiklerinin ortaya konulması, geminin sürekli dönme testi, zigzag testleri ve geminin durma mesafesi testi gibi sonuçlarının ortaya konulması anlamına gelmektedir. Bu testler gemi denize indirildikten sonra seyir testleri yapılarak elde edilmektedir. Fakat yukarıda bahsedildiği gibi manevra modelleri kullanılarak da önceden gemilerin manevra performansı hakkında bilgi sahibi olunabilir.

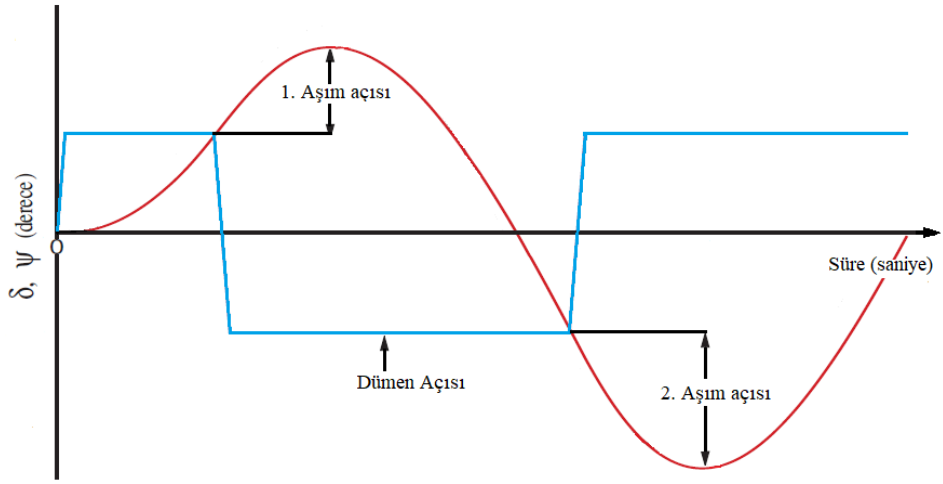
Sürekli dönme simülasyonu geminin verimli olarak dümen açısının kullanılabileceği alt ve üst sınır değerleri düşünülerek gerçekleştirilmektedir. Örneğin geminin dümeni -35° ile +35° arasında bir dümen açısıyla sınırlıysa dönme testinde bu değerler alınarak dümen açısı sabit tutulur ve geminin sürekli dönmesi sağlanır. Bu simülasyon sırasında gemi sabit seyir hızındayken dümene -35° veya +35° komutu verilir ve bu şekilde geminin mevcut durumuna göre iskele ya da sancak tarafına doğru manevra yapması sağlanır. Bir süre sonra artık geminin sanki merkezi aynı olan bir çemberin etrafında döndüğü görülene kadar devam ettirilir. Bu çemberin yarıçapına geminin sürekli dönme yarıçapı denilmektedir. Gemi dümenine dönme komutu verildiği andaki konumu başlangıç noktası kabul edilirse, gemi baş açısının 90° olduğu anda x ekseninde almış olduğu yol ilerleme (advance), gemi baş açısının 180° olduğu anda y ekseni

yönünde almış olduğu yol taktik çap (tactical diameter) olarak isimlendirilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Geminin dönme testi.

Sürekli dönme simülasyonunun yanı sıra geminin genellikle istenilen 10/10 ve 20/20 zigzag simülasyonları da gerçekleştirilebilmektedir. Tıpkı sürekli dönme testinde olduğu gibi bu test gerçekleştirilirken başlangıçta geminin sabit hızla ilerlemesi gerekmektedir. Örneğin 10/10 zigzag simülasyonu için gemi dümenine ilk olarak 10° komutu verilir ve geminin manevra hareketini yapması beklenir, gemi baş açısı 10° olduğunda dümene -10° komutu verilir. Tekrardan gemi baş açısı -10° olduğunda dümene yeniden 10° komutu verilir. Burada gerçekleştirilen komutlar birkaç salınım sonrasına kadar tekrarlanır. Böylece geminin 1.aşım ve 2. aşım dereceleri ve süreleri elde edilir (Şekil 3).

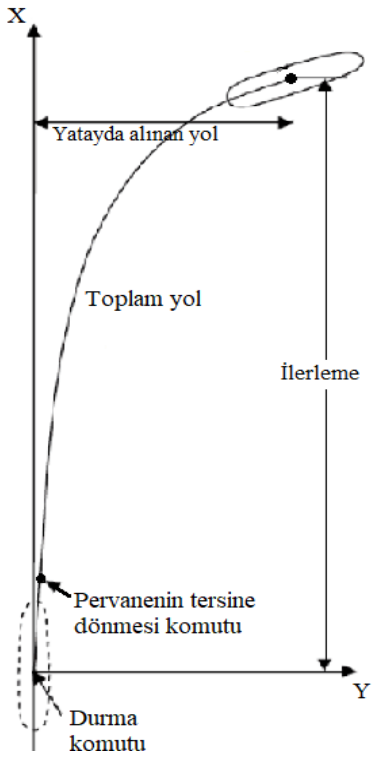


Şekil 3. Geminin 10/10 zigzag testi.

Geminin hem dönme hem de zigzag simülasyonları, matematiksel modelde birebir ölçekte yapılıyorsa yani geminin gerçek değerleri ele alınarak gerçekleştiriliyorsa gemi dümeninin açısal hızı dikkate alınmalıdır. Çünkü gemi dümeninin komut edilen dümen açısına gelebilmesi için belirli bir zamana ihtiyaç duyulacaktır. Örneğin gemi dümeninin açısal hızı 2.5 radyan/s ise ve gerçekleştirilen simülasyon için dümene 35° komutu verilmişse dümen açısı 14 saniye sonra 35° olacaktır. Dolayısıyla gemi dümeninin istenilen açıya gelebilmesi için gereken bu süre zarfında gemi ilerleme, yanal öteleme gibi hareketlerine devam edecektir. Fakat gemi modeli için gerçekleştirilen simülasyonlarda bu mertebede bir süreye genellikle gerek duyulmamaktadır.

Manevra modeli matematiksel olarak ifade edilip, simülasyonlardan elde edilen veriler yorumlanırken sistemin dinamiğindeki aykırı bir durum olup olmadığı yorumlanmalıdır. Örneğin, zamana bağlı hız grafikleri düşünüldüğünde geminin ilerleme hızında, manevra sebebiyle oluşacak hız azalmaları beklenir, fakat hız azalmalarının ne kadar olabileceği gemiden gemiye göre değişeceği için net olarak ifade edilemez. Geminin manevra performansına bağlı olarak geminin manevraya başlamadan önceki hızına kıyasla oldukça yüksek sayılabilecek oranlarda hız azalmaları olabilmektedir (Obreja ve diğ., 2010).

Bir diğer test ise geminin durma mesafesinin belirlenmesi için gerçekleştirilen testtir. Bu testte ise gemi sabit seyir hızında ilerlerken pervanenin dönüş yönünün tersine yönde çevrilmesi (tornistan) komutu verilir ve geminin durma süresi ile durana kadar katettiği mesafe belirlenir.



Şekil 4. Durma testi.

Gemi hareketlerinin yorumlanması

Geminin açık denizde seyir esnasında yapacağı hareketlerin doğrusal olmayacağı bilinmektedir. Dolayısıyla bir geminin manevra hareketlerinin tahmin edilebilmesi ya da belirli bir rota üzerinde hareket ederek varış limanına ya da bölgeye ulaşması için bir matematiksel modelleme yapılacaksa bu durum dikkate alınmalıdır. Özellikle rota tutma ya da geminin belirli bir rotayı takip etme simülasyonlarında çeşitli modellemeler önerilmektedir (Perez ve diğ., 2006; Moreira ve diğ., 2007). Manevra modeli bir sistem olarak ele alındığında sistemin transfer fonksiyonu belirlenebilir ve transfer fonksiyonu ile gösterilebilir. Örneğin zigzag testi, sürekli dönme testi için deney sonuçları bilinen bir gemi için, bu sonuçlar kullanılarak gemi dümenine komut edilen dümen açısı ile gemi baş açısının dinamik ilişkisini gösteren bir fonksiyon belirlenebilir. Bu fonksiyon transfer fonksiyonu olarak isimlendirilmektedir ve doğrusal kabul edilen veya doğrusallaştırılmış sistemler için kullanılır. Elde edilen bu transfer fonksiyonu direkt olarak kullanılarak simülasyon gerçekleştirilmiş ise bu durumda sistem doğrusal kabul edilmiş ya da doğrusallaştırılmış demektir. Unutulmamalıdır ki transfer fonksiyonunun belirlenmesi sadece deney sonuçları ile elde

edilmemektedir. Geminin seyir esnasında dümen açısı ile baş açısı kaydedilerek de dinamik ilişkiyi veren fonksiyon belirlenebilir. Bunun yanında bahsi edilen sistemde sadece kontrol sisteminin katsayılarını belirlemek için kontrol edilmek istenen sistemin transfer fonksiyonu elde edilmiş ve bu katsayılar direkt olarak manevra modeline entegre edilmiş olabilir. Bu durumda ise aslında doğrusal olmayan manevra modeli korunmuştur. Fakat kontrol sisteminde kullanılan katsayıların optimum olup olmadığı irdelenebilir. Bu şekilde oluşturulan matematiksel modellemeler geminin rota tutması, rota izlemesi gibi çalışmalarda sıklıkla uygulanmaktadır (Budak ve Beji, 2020).

Bir diğer tercih edilen gösterim ise durum uzay modelinin oluşturulmasıdır (Fossen, 2005). Çünkü durum uzay modeli hem doğrusal hem de doğrusal olmayan modellerde kullanılabilmektedir. Bu durum daha modern bir kontrol sisteminin oluşturulması anlamına gelmektedir.

Kontrol sistemleri

Deniz aracının seyir esnasında hareketlerinin sayısal olarak modellenmesi elbette geminin olası hareketleri hakkında mertebe olarak bir bilgi sağlamaktadır. Matematiksel modelleme, aynı zamanda geminin değişen çevresel faktörler altında gerçekleştireceği hareketlerin belirlenebilmesi için senaryolar türetmeniz açısından da önemlidir. Böylece elde edilen veriler ışığında beklenen tehlikeli hareketlerin sönümlenebilmesi ya da engellenebilmesi için çeşitli yapıların kullanılması tasarlanabilir. Bu yapılar arasında yalpa omurgası, yalpa kanadı gösterilebilir. Böylece yapısal değişikliklerle gemi daha denizci hale getirilebilmektedir. Fakat her ne olursa olsun yapısal olarak gemi, denizcilik açısından optimum hale getirilse de deniz şartları düşünüldüğünde ilave ek sistemlerin de uygulanabilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, geminin dalga, rüzgâr gibi dış kuvvetler altında güvenli olarak rotasına devam edebilmesi amacıyla çeşitli kontrol sistemleri de gemiye entegre edilebilmektedir (Budak, 2023). Örneğin, dalganın gemiye etkime açısına göre yalpa hareketinin belirli seviyelere ulaşması mevcut gemi için tehlikeli boyutlara ulaştığında oluşturulan kontrol sistemi dümene farklı bir açı komut edebilmektedir. Böylece, dalganın geminin dalgayla karşılaşma açısı komut edilen dümen açısıyla dinamik ilişkisi olan gemi baş açısının değişmesi sebebiyle farklı olacaktır. Nihayetinde gemi yalpa hareketi açısından güvenli bir sınır içerisinde kalabilecektir. Unutulmamalıdır ki burada bahsedilen kontrol sisteminin kurulabilmesi için gemi hareketlerinin birbirleriyle olan bağlantılarını da içeren matematiksel ifadelerin anlaşılması gerekmektedir. Ek olarak bir deniz aracının belirli bir bölgede dinamik olarak pozisyonunu muhafaza edebilmesi için de kontrol sistemleri kullanılabilmektedir ve bu çalışmalar dinamik konumlandırma sistemleri olarak

adlandırılmaktadır (van't Veer ve Gachet, 2011; Aydın ve diğ., 2021). Bu çalışmalarda gemi sevk ve manevra sistemleri birlikte kontrol edilerek geminin konumunu koruması sağlanmaktadır. Buna ek olarak geminin manevra yapması gereken diğer durumlarda (limana yanaşma, limandan ayrılma, çatışmadan kaçınma vb.) otomatik olarak manevranın yapılabilmesi insan kaynaklı hataların azalmasını sağlayacaktır. Bunun yanı sıra yakıt tasarrufu gibi başkaca avantajlarda sağlayacaktır.

Belirlenen bir manevra modeline tek bir kontrol sistemi eklenerek belirli rota izleme ya da rota tutma simülasyonları yapılabilmektedir. Fakat çalışmalar arasında araştırmacılar tarafından birden fazla kontrol sisteminin yer aldığı kontrol algoritmaları da tercih edilebilmektedir (Le ve diğ., 2004; Chen ve diğ., 2021). Birden fazla kontrol sisteminin bir arada kullanılması kontrol edilecek sistem için çok sayıda parametrenin kontrol edilmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanı sıra tek bir parametrenin kontrol edilebilmesi için birden fazla kontrolcü birbirine farklı biçimlerde entegre edilebilmektedir. Kontrol grupları oluşturulurken klasik kontrol sistemleri sıklıkla tercih edilmektedir. Burada bahsedilen kontrolcüler içerisinde PID kontrolör, Fuzzy (Bulanık mantık) kontrolör, MPC (Model Predictive Controller), NMPC (Nonlinear Model Predictive Controller) sayılabilir. Ayrıca farklı kontrol algoritmaları da araştırmacılar tarafından geliştirilebilmektedir (Cimen ve Banks, 2004;).

Sonuç

Bu çalışma kapsamında bir su üstü deniz aracının hareket manevrasında yaygın olarak kullanılan bazı matematiksel modeller ve kontrol sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Elbette ki bir su üstü deniz aracının hareketlerinin matematiksel modeller kullanılarak sayısal hesaplanması tam ve doğru sonuçların elde edildiği anlamına gelmemektedir. Fakat yine de mertebe olarak bazı fikirler edinilmesi açısından bu matematiksel modeller oldukça kıymetlidir. Özellikle gemi hareket ve manevra gibi oldukça karmaşık bir konu hakkında bilgilendirici bir çalışma hazırlanmıştır. Manevra modellerinin matematiksel olarak ifade edilebilmesi sayesinde farklı senaryoların türetilebilmesi ve bu senaryolarda oluşabilecek tehlikelerin belirlenebilmesinin mümkün olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca bir geminin güvenli olarak pozisyonunu koruması ya da seyredebilmesine olanak sağlayacak önlemlerin de bu tehlikeler düşünülerek engellenebileceği vurgusu yapılmıştır. Sonuç olarak deniz taşımacılığında değişen çevresel şartlarda geminin hareket ve manevrasında nasıl değişimlerin olabileceği sayısal olarak hesaplanabilmektedir. Geminin hareketlerinin kontrol edilebilmesinin yanında geminin bir rota üzerinde ilerleyebilmesi, çatışmadan kaçınması ayrılma-yanaşma manevralarının otomatik olarak kontrol edilebilmesi

mümkündür. Bunun için çeşitli kontrol sistemlerinin tek tek tercih edilmesinin yanında birbirleriyle entegre edilen kontrol sistemleri de tercih edilebilir. Geminin görevini yapacağı bölgenin durumuna ve hedeflenen amaca yönelik kontrolörlerin tasarlanıp uygulanması daha sağlıklı bilgiler edinmek açısından önemlidir.

Kaynaklar

Abkowitz, M.A., (1964). Lectures on ship hydrodynamics-steering and manoeuvrability, Mechanical, Maritime and Materials Engineering, Lyngby, Denmark.

Ogawa, A., Kasai, H., 1978. On the mathematical model of maneuvering motion of ships. Int. Shipbuild. Prog. 25 (292), 306–319.

IMO, (2002). Resolution"Standards for Ship Maneuverability", mSC 137(76).

Fossen, T. I. (2005). A nonlinear unified state-space model for ship maneuvering and control in a seaway, International Journal of Bifurcation and Chaos in Applied Sciences and Engineering, 15 (9), 2717–2746.

Budak, G. ve Beji, S. (2020). Controlled course-keeping simulations of a ship under external disturbances, OceanEng., 218, 108126.

Clarke, D. Gedling, P. ve Hine, G. (1983). The Application of Manoeuvring Criteria in Hull Design Using Linear Theory, Transactions,Royal Institution of Naval Architects, 125, 45–68.

Khattab, O., (1984), Multiple Regression Analyses of the Hydrodynamic Derivatives for Maneuvering Equations, (BSRA Report), W1090.

Lee, T., Ahn, K., Lee, H. ve Deuk, J. (2003). On an empirical prediction of hydrodynamic coefficients for modern ship hulls, Proceedings of international conference on marine simulation and ship maneuverability (MARSIM'03), Kanazawa, Japan.

Yoon, H-K. ve Rhee K-P., (2003). Identification of hydrodynamic coefficients in ship maneuvering equations of motion by Estimation-Before-Modeling technique. Ocean Engineering 30 (2003) 2379–2404.

Sukas, O. F., Kinaci, O.K, Bal, S. (2017). Gemilerin Manevra Performans Tahminleri için Genel Bir Değerlendirme-I. Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi. 23. 37-75.

Sukas, O. F., Kinaci, O. K., Bal, S. (2019). Theoretical background and application of MANSIM for ship maneuvering simulations. Ocean Engineering 192(2019)106239.

Obreja, D., Nabergoj, R., Crudu, L., Pacuraru-Popoiu, S., (2010). Identification of hydrodynamic coefficients for manoeuvring simulation model of a fishing vessel. Ocean Eng. 37, 678–687.

Moreira, L., Fossen, T.I., Soares, C.G., (2007). Path following control system for a tanker ship model. Ocean Eng. 34, 2074–2085.

Perez, T., Smogeli, O.N., Fossen, T.I., Sorensen, A.J., (2006). An overview of marine systems simulator: Simulink toolbox for marine control systems. Model. Ident. Contr. 27, 259–275.

Cimen, T., ve Banks, P.B., (2004). Nonlinear Optimal Tracking Control with Application to Super-tankers for Autopilot Design. Automatica, pp. 1845–1863.

van't Veer, R. ve Gachet, M., (2011). Dynamic Positioning: Early Design, Capability and Offsets—A Novel Approach. 10.1115/OMAE2011-49354.

Aydin, C., Ünal, U. ve Sarıöz, K., (2021). Computation of environmental loads towards an accurate dynamic positioning capability analysis. Ocean Engineering. 243. 110201. 10.1016/j.oceaneng.2021.110201.

Le, M., N, S.H., N, L.A., (2004). Study on a new and effective fuzzy pid ship autopilot. Artif. Life Robot. 8, 197–201.

Chen, C., Verwilligen, J., Mansuy, M., Eloot, K., Lataire, E., Delefortrie, G., (2021). Tracking controller for ship manoeuvring in a shallow or confined fairway: Design, comparison and application. Applied Ocean Research. 115. 102823. 10.1016/j.apor.2021.102823.

Homayouni, M. ve Fontes, D., (2018). Metaheuristics for Maritime Operations. Publisher Wiley- ISTE, ISBN: 9781786302809, DOI:10.1002/9781119483151.

Budak, G. (2023). The effect of controller selection in collision avoidance system on fuel consumption for unmanned surface vessel: a case study. Ships and Offshore Structures, 18:2, 315-323, DOI: 10.1080/17445302.2022.2157131

Bölüm 32

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri Sonrası Yığma Yapılarda Yapısal Hasar Değerlendirmesi

Zeynep ÜNSAL ASLAN[1]

[1] Dr. Araştırma Görevlisi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Bilimleri Fakültesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, TÜRKİYE,
e-posta: zeynepunsalaslan@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3312-7011

ÖZET

Türkiye, aktif deprem kuşaklarından biri olan ve tarih boyunca büyük depremlerin meydana geldiği Akdeniz deprem kuşağında bulunmaktadır. Yığma yapılar düşük maliyetli ve kolay inşa edilebilir olmaları sebebiyle Türkiye'de yaygın olarak inşa edilmekte, bu yapılar Türkiye'de tarih öncesi devirlerden beri oluşturulmaktadır. Bu yapı türü maliyet ve inşaat bağlamındaki avantajları nedeniyle gelişmekte olan ülkelerde de halen en çok inşa edilen yapı türleri arasında ilk sıralarda yer almaktadırlar. Çalışma kapsamında 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen, merkez üssü Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan ilçeleri olan (Mw = 7.7) ve (Mw = 7.6) büyüklüklerinde iki yıkıcı depreme maruz kalmış yığma yapılarda ortaya çıkan yapısal hasarlar incelenmiştir. Yığma yapıları oluşturan malzemeler doğası gereği zayıf çekme dayanımına sahip ve gevrek davranış sergilemektedirler. Bu nedenlerden dolayı deprem gibi güçlü dış yüklemelere karşı gerekli performansı gösteremedikleri 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrası yapılan saha çalışmaları ile tespit edilmiştir. Belirlenen yapısal hasarlar gerekli incelemeler sonrası değerlendirilmiş ve uygun güçlendirme teknikleri irdelenmiştir. Çalışma yönteminde öncelikle depremden etkilenen illerde yapılan saha çalışmalarından elde edilen gözlemler paylaşılmış ve incelenen yapılarda meydana gelen yapısal hasarlara değinilmiştir. Tespit edilen hasarlar düzlem dışı hasarlar, düzlem içi hasarlar ve çatı çökmesi olmak üzere üç başlık altında değerlendirilmiştir. Daha sonra hasarlı yapılar üzerinde uygulanabilecek güçlendirme teknikleri tartışılmıştır. Saha incelemelerinin sonucunda, yapım kalitesinin ve denetim mekanizmasındaki eksikliklerin yığma yapıların deprem performansını etkileyen en önemli etkenler olduğu sonucuna varılmıştır.

1. GİRİŞ BÖLÜMÜ

Deprem, bulunduğu tektonik konum dolayısı ile Türkiye'de doğa kaynaklı afet olaylarından en fazla can ve mal kaybına neden olan doğal afet türü olmuştur. İstatistiksel olarak her sene ortalama, büyüklüğü Mw6.0'ın üzerinde olan 1 deprem, Mw=5.0 ile Mw=6.0 arasında 25 deprem, Mw=4.0 ile Mw=5.0 arasında 200 adet deprem meydana gelmektedir (AFAD, 2023). Türkiye'de 1866 yılında Doğu Anadolu'da, Kuzey ve Doğu Anadolu Faylarının kesiştiği alanda meydana gelen deprem bu bölge için büyüklüğü 7.0'ın üzerinde olan son deprem olmuştur. O zamandan bugüne Doğu Anadolu Fayı zaman zaman büyüklükleri 6.0 ile 7.0 arasında değişen depremler üretse de 6 Şubat 2023 depremlerine kadar büyük deprem üretme potansiyeli açısından suskunluğunu korumuştur (AFAD, 2023).

6 Şubat 2023 Pazarcık – Elbistan (Kahramanmaraş) Mw=7.7 ve Mw=7.6 depremleri sonucu Kahramanmaraş, Hatay, Gaziantep, Malatya, Diyarbakır, Kilis, Şanlıurfa, Adıyaman, Osmaniye, Adana illeri depremden etkilenmişlerdir. Deprem sonrası AFAD yayınladığı değerlendirme raporuna göre deprem nedeniyle 37.984 binanın yıkıldığı raporlanmıştır (AFAD, 2023). Söz konusu depremlerden sonra farklı türdeki yapılarda oluşan hasarlar yapılan saha çalışmaları sonucu pek çok üniversite ve kurum tarafından detaylı incelenmiş, değerlendirilmiş ve rapor haline getirilmiştir (AFAD, 2023; DEÜ, 2023; İTÜ, 2023; ODTÜ, 2023; TCCSBB, 2023; TMMOB, 2023). Bölgedeki yapı stoğu incelendiğinde, şehir merkezlerinden ilçe ve kırsal kesimlere doğru 1-3 katlı betonarme ve yığma binaların daha yaygın olduğu görülmüştür (AFAD, 2023). Bu raporlar sonucu yapılan değerlendirmelere göre yığma yapılarda, yığma duvarların düzlem dışı davranışı, duvarlarda kesme hasarı ve ayrılmalar en belirgin hasarlar olarak gözlenmiştir.

Yığma; taş, tuğla ve kerpiç gibi çekme dayanımı düşük olan malzemelerin kil, kireç, çimento esaslı bağlayıcı malzeme ile birlikte kullanılması sonucu tarih öncesi devirlerden günümüze kadar başarıyla uygulanan bir yapım tekniğidir (Lourenco, 2014). Günümüzde, ilk örneklerine göre yapımında önemli ölçüde değişimler olsa da, Türkiye'de özellikle kırsal alanlarda sıklıkla kullanılan en eski yapı malzemelerinden biridir. Yığma yapıların taşıyıcı sistem elemanlarını duvarlar, döşemeler ve düşey/yatay hatıllar oluşturmaktadırlar. Basit ve sürekli taşıyıcı sisteme sahip olmaları, kolon-kiriş birleşimi gibi düğüm noktaları olmadığından iç kuvvetlerin belirli bölgelerde yoğunlaşmaması, yapımının kolay olması gibi avantajlarıyla betonarme ve çelik çerçeveli sistemlere göre kendini kanıtlamış bir sistemdir. Ancak bu olumlu özelliklerine rağmen, mühendislik eli değmeden geleneksel bir şekilde tasarlanıp inşa edildiklerinden dolayı, meydana gelen büyük depremlerde yetersiz performans sergilemişlerdir. Büyük depremler

sonrası meydana gelen hasarlar ve diğer göçme durumları uygun onarım/güçlendirme teknikleriyle güçlendirilmelerini zorunlu hale getirmiştir.

Bu çalışmada, 2023 Kahramanmaraş depremleri ardından 16 Mart-21 Mart tarihleri arasında ETH (İsviçre Federal Teknolojileri Enstitüsü), SUZI/SAEE (Sırbistan Deprem Mühendisliği Derneği) ve Belgrad Üniversitesi, RWTH Aachen Üniversitesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi üyelerinden oluşan ekip depremden etkilenen bölgede bir saha çalışması düzenlenmiş ve yazarda bu çalışmada aktif olarak rol almıştır. Söz konusu saha çalışmasında yazar tarafından yığma yapılarda meydana gelen yapısal hasarlar incelenmiştir ve değerlendirilmiştir. Bu kapsamda gelişme bölümünde öncelikle depremden sonra yürütülen saha çalışmalarının yığma yapılar açısından değerlendirilmelerine ve genel olarak baskın olan hasar türlerine yer verilecektir. Yapılan incelemeler ve değerlendirmeler sonucunda uygulanabilecek güçlendirme teknikleri ile ilgili kısaca bilgi verilecektir. Son olarak sonuçlar sunulacaktır. Bu çalışmanın, gelecekte olası bir depremde yığma yapıların davranışlarının iyileştirilmesi açısından katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

2. GELİŞME BÖLÜMÜ

Bu bölümde meydana gelen depremlerden sonra deprem bölgesinde yapılan saha çalışmasında yığma yapılar ile ilgili yapılan gözlemler ve incelemelere yer verilmiştir. Daha sonra tespit edilen hasarlara yönelik uygulanabilecek güçlendirme tekniklerden kısaca bahsedilmiştir.

2.1. Yapısal Hasarların İncelemesi ve Değerlendirilmesi

6 Şubat 2023 yılında Kahramanmaraş'ta yaşanan büyük depremlerin ardından çok sayıda yığma yapı hasar gördü. Depreme karşı sergilenen kötü performansın ardındaki sebepleri, yığma yapının ağır yapı kütlesinden dolayı büyük deprem kuvvetinin oluşması, basınç dayanımının yüksek olması ancak çekme gerilmelerini karşılayamamaları, dayanım eksikliği, süneklik ve yapının uygun olmayan konfigürasyonudur.

2.1.1. Yapısal bütünlüğün eksikliği

2023 Kahramanmaraş depreminde bölgedeki yığma yapıların çoğu yapısal bütünlüğün olmayışı nedeniyle hasar görmüştür. Yapısal bütünlük, aşamalı göçme durumunda hasarı azaltmak için anahtar parametrelerden biridir. Yapının yapısal bütünlüğünün olmaması, göçmeye yol açan ciddi hasarlara sebep olan temel etkenlerden biridir. Eğer geçiş duvarları arasında uygun bağlantı yapılmadan duvarın net uzunluğu artarsa, düzlem dışı göçme olasılığı ortaya

çıkar. Yapının inşası sırasında duvarların iç ve dış kısımları arasında kenetleme birimlerinin veya uygun bağlantının bulunmaması, duvarın katmanlara ayrılmasına sebep olur. Çatı veya zemin elemanlarında bağlantıların eksik olması, yığma duvardaki deprem yüklerini dağıtma kabiliyeti açısından dikkate alınması gereken ana faktördür. Kahramanmaraş depreminde çatı bandı veya yatay hatıl olmadan çatının doğrudan duvar üzerine yerleştirilmesiyle inşa edilen evlerin çoğu, düzlem dışı göçme mekanizması nedeniyle çok büyük oranda hasar görmüştür. Çünkü diyafram sağlanmadığından ve duvarların üst kısmındaki serbest uçtan dolayı çoğu yığma ev, düzlem dışı göçme mekanizmasıyla yıkılmaktadır.

Şekil 1. Yatay hatıl olmadan çatının doğrudan duvar üzerine yerleştirilmesi (Antakya/Hatay)

2.1.2. Düzlem dışı hasarlar

Düzlem dışı duvar göçmesi, özellikle esnek zeminli ve çatılı yığma binaların yıkılmasının ana nedenlerinden biridir. Düzlem dışı duvar göçmesine sebep olan temel faktörler şunlardır:

- Duvardan duvara ve duvardan çatı diyaframına yetersiz ankraj
- Uzun ve ince duvarlar
- Yığma birimin sınırlı çekme dayanımı
- Harcın sınırlı çekme dayanımı

Yapılan saha çalışması sonucunda deprem bölgesinde görülen düzlem dışı hasarlar ile ilgili değerlendirmeler şu şekilde özetlenmiştir:

- Lento ve birleşim yerlerinde düşey çatlaklar
- Zemin seviyesinde yatay çatlaklar
- Duvar dış cephesinden dökülmelerin olması
- Dış duvarların kısmen veya tamamen çökmesi
- Düzlem dışı hasarlar düzlem dışı hasarlardan daha etkin ve daha kötü sonuçlara sebep olmuştur.
- Üst katlarda düzlem dışı hasarlara oldukça sık rastlanmıştır.

Şekil 2. Yığma yapıda dış duvarların göçme hasarı (Nurdağı/Gaziantep)

Şekil 3. Yığma yapıda dış duvarların göçme hasarı (Antakya/Hatay)

Şekil 4. Yığma yapıda dış duvarların göçme hasarı (Islahiye/Gaziantep)

Şekil 5. Lento veya birleşim yerlerinde oluşan düşey çatlaklar (Islahiye/Gaziantep)

Şekil 6. Lento veya birleşim yerlerinde oluşan düşey çatlaklar (Arsuz/Hatay)

Şekil 7. Duvardan duvara yetersiz bağlantı (Gencobası/Nurdağı/Gaziantep)

Şekil 8. Duvardan duvara yetersiz bağlantı (Islahiye/Gaziantep)

2.1.3. Düzlem içi hasarlar

Düzlem içi yatay yükler yığma duvarda kayma şekil değiştirmelerine sebep olurlar. Bu tür şekil değiştirmeler duvarın bir köşesini çekmeyle uzatır, diğerlerini ise çekme kuvvetine dik sıkıştırmayla kısaltır. Yığma yapının çekme dayanımı düşük olduğundan, düzlem içi yatay kuvvetler tipik olarak çekme eksenine dik diyagonal çatlamaya sebep olurlar. Duvar yapısında çok yaygın olan bir çatlak biçimidir. Ayrıca güçlü sarsıntı esnasında yapı, lento veya eşik bandı hizasında kayma yapabilir. Kayma davranışı en çok orta ve düşük eksenel yüklerde görülür.

Yapılan saha çalışması sonucunda deprem bölgesinde görülen düzlem içi hasarlar ile ilgili değerlendirmeler şu şekilde özetlenmiştir:

- X-şeklinde (diyagonal-çapraz) oluşan kesme çatlaklarına, devrilme ve kayma göçme durumlarına kıyasla daha çok rastlanmıştır.
- Düzlem içi çatlaklar düzlem dışı çatlaklar kıyasla daha düşük seviyede hasara sebep olmuşlardır.
- Düzlem içi çatlaklara genellikle alt katlarda rastlanmıştır.
- Yığma duvarların topuk bölgelerinde kapasitenin yetersiz olması düzlem içi göçme durumlarına sebep olmuştur.
- Mevcut boşlukların çok büyük olmasından dolayı, boşluk köşelerinden duvar alt ve üst yüzeyine oluşan diyagonal çatlaklar duvar dayanımında azalmaya sebebiyet vermişlerdir.

Şekil 9. Duvarlarda oluşan diyagonal çatlaklar (Gencobası/Nurdağı/Gaziantep)

Şekil 10. Duvarlarda oluşan diyagonal çatlaklar (Islahiye/Gaziantep)

2.1.4. Çatı çökmesi

Duvarlar ve çatı arasındaki bağlantının zayıf olduğu durumlarda, çoğu zaman çatı çökmesi meydana gelir. Çatı çökmesinin bir diğer nedeni ise yatay ve düşey yüklere maruz kalan yığma duvarların göçmesidir. Ağır çatılar yığma yapıların göçmesinde sebep veren önemli etkenlerden arasında yer almaktadır.

Yapılan saha çalışması sonucunda bazı yığma yapı duvarlarında, üst kısımda yeterli rijitlikte döşeme bağlantısı yapılmadığı, çatıların ağır olmasından dolayı çatı çökmelerinin meydana geldiği gözlenmiştir

Şekil 11. Çatı çökmesi (Antakya/Hatay)

Şekil 12. Çatı çökmesi (Arsuz/Hatay)

2.2. Uygulanabilecek Güçlendirme Teknikleri

Deprem sırasında yığma yapılarda oluşan hasarı engellemek veya azaltmak için, mevcut yığma yapıların depreme karşı dayanıklılığının arttırılmasının yanı sıra güncel deprem yönetmeliklerinin dikkate alınarak tasarım yapılması ve kuralların uygulanması çok büyük önem arz etmektedir. Duvarlar, düşey ve yatay yüklere karşı birincil direnç gösteren yığma yapı elemanıdır. Bu nedenle pek çok güçlendirme tekniğinin odağı duvarların yapısal bütünlüğünü ve kapasitesini arttırmaktır. Güçlendirme, onarım ve restorasyondan farklı olarak hasar görmüş elemanların dayanımının arttırılmasıyla sınırlı kalmamaktadır, yapının bütün davranışını dikkate almaktadır. Güçlendirme, yapının olası depremlere karşı dayanımını, süneklik kapasitesini ve enerji yutma kapasitesini artırmaktadır. Hasar görmüş yığma yapıların güçlendirilmesi için, yapısal performans üzerindeki etkilerine göre iki kategoriye ayrılabilecek çeşitli teknikler kullanılır. Bunlardan birincisi geleneksel yöntemlerle güçlendirme (püskürtme beton ile güçlendirme, çelik elemanlar ile güçlendirme, normal dökme beton ile güçlendirme ve kendiliğinden yerleşen beton ile güçlendirme, vb.), ikincisi ise lif takviyeli polimerler ile güçlendirmedir. Geleneksel yöntemlerle güçlendirmede

yığma duvarların dayanımını ve sünekliğini artırmada etkili olmalarına rağmen uygulamanın uzun zaman alması, kullanılabilir mevcut alanı azaltması ve yapının estetiğini olumsuz yönde etkilemesi gibi eksiklikleri mevcuttur. Lif takviyeli polimer ile güçlendirme, bu tür problemleri ortadan kaldırılabilmektedir. Lif takviyeli polimer ürünlerinin uygulama kolaylığı, montaj kolaylığı, uygulama hızı, yatay yüklere karşı etkinliği, kesit kalınlığının az olmasından dolayı mevcut duvara daha fazla yük getirmemesi, tuğla ile aderansının iyi olması, hafif olması, korozyona karşı direnci, yüksek mukavemeti ve duvarın ilk şeklini koruma kabiliyeti gibi pek çok avantaja sahiptir (Prota vd., 2008; Stratford vd., 2004; Valluzzi vd., 2002). Lif takviyeli polimerler çubuk, şerit ve kumaş şeklinde uygulanabilmektedir.

Şekil 13. Çubuk, şerit ve kumaş lif takviyeli polimer

Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda, lif takviyeli polimer ile güçlendirme sonucunda donatısız yığma yapıların yük taşıma kapasitesinin ve sünekliğinin arttığı, meydana gelen yapısal hasarların ilerlemesinin önlendiği hatta bazı bölgelerde tamamen engellendiği görülmüştür (Doran vd., 2022; Lignola vd., 2012; Luccioni ve Rougier, 2011; Mahmood ve Ingham, 2011; Rahman ve Ueda, 2016). Mahmood ve Ingham farklı lif takviyeli polimer uygulamalarının yığma duvarların dayanımı üzerinde etkilerini araştırmışlardır. Lif takviyeli polimer şeritlerin yatay, düşey ve çapraz yönlerde uygulamasıyla duvar dayanımının artırılabildiği sonucuna varmışlardır (Mahmood ve Ingham, 2011). Konthesingha vd. yığma duvarların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde tek taraflı ve çift taraflı güçlendirmenin etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda, tek taraflı güçlendirme ile

karşılaştırıldığında, yığma duvarların her iki tarafına uygulanan lif takviyeli polimerin duvar dayanımını önemli şekilde artırabildiği görülmüştür (Konthesingha vd., 2013). Martinelli vd. düşey, yatay ve çapraz lif takviyeli polimer şeritler ile güçlendirilmiş yığma duvarların davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak çapraz şeritler ile güçlendirmenin hem yük taşıma kapasitesini hem de yer değiştirme kapasitesini artırmada düşey ve yatay şerit uygulamalarına göre daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır (Martinelli vd., 2016). Doran vd. farklı kalınlık ve yüzey alanına sahip tek yönlü çift taraflı çapraz lif takviyeli polimer şeritlerle güçlendirilmiş boşluklu yığma duvarların davranışlarını deneysel olarak incelmişlerdir. Sonuçlar, lif takviyeli polimer uygulamasıyla yığma duvarların yük taşıma kapasitesinde artış olduğunu göstermiştir. Ayrıca, lif takviyeli polimer yüzey alanın artırılmasının kalınlığının artırılmasına kıyasla yük taşıma kapasitesini daha fazla artırdığı sonucuna varılmıştır (Doran vd., 2022). Morbin ve Scholar farklı lif takviyeli polimerler ile güçlendirilmiş yığma duvarların düzlem içi ve düzlem dışı davranışlarını incelemek için deneysel çalışmalar yapmıştır. Güçlendirme için şerit, çubuk ve kumaş lif takviyeli polimer kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, lif takviyeli polimer ile güçlendirmenin hem düzlem dışı eğilme hem de düzlem içi duvar dayanımını artırdığı görülmüştür (Morbin ve Scholar, y.y.).

3. SONUÇLAR

Yığma, deprem sırasında yatay yüklere maruz kaldığında gevrek davranış gösteren gevrek bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Yığma yapıların ağır kütleye sahip olmaları, doğası gereği gevrek olmaları ve deprem anında büyük atalet kuvvetlerinin oluşmasına sebebiyet vermeleri gibi özellikleri yapının göçmesine neden olabilmektedir.

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremi sonrası yerinde yapılan incelemeler sonucunda da, yatay ve düşey yüklere maruz kalan yığma yapıların sismik davranışlarının birçok parametreye bağlı olduğu açıkça görülmüştür. Bunların başında yetersiz işçilik ve mühendislik eli değmeden yapılmaları gelmektedir. Ayrıca bu yapıların düzlem dışı ve düzlem içi davranış ilkeleri esas alınarak tasarlanmış olmaları gerekse de, bu durumun göz ardı edilerek tasarlandıkları muhtemeldir. Deprem bölgesinde incelenen yığma yapıların büyük çoğunluğunun mühendislik hizmeti almadan inşa edildikleri görülmüştür. Söz konusu yığma yapılar çoğunlukla briket ve kerpiç gibi geleneksel yığma birim malzemeler kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca bu yapılarda deprem etkisi altında artan gerilme değerlerinin oluşturduğu çatlaklar nedeniyle yapısal hasarların meydana geldiği gözlenmiştir. Bu hasarlardan en yaygın olanı yığma duvarların düzlem dışı davranışından dolayı meydana gelen hasarların olduğu görülmüştür.

Bu hasarların engellenmesi için duvarların güçlendirilmesinde pek çok geleneksel yöntem uygulanabilir. Bu yöntemlere ek olarak, son zamanlarda ortaya çıkan lif takviyeli polimerlerin kullanımı pek çok avantaj sağlamaktadır. Lif takviyeli polimerler korozyona uğramazlar. Boyutları, ağırlıkları ve formları sayesinde yapının dinamik tepkisinin neredeyse değişmeden kalmasını sağlar. Son zamanlarda yığma yapılardaki uygulamalar için şeffaf lif takviyeli polimer kumaşlar geliştirildi ve bunun sonucunda yığma yapıya yapılan müdahale makroskobik olarak görünmez hale gelmiştir. Lif takviyeli polimer ile güçlendirmenin yığma duvar davranışını iyileştirme üzerindeki etkilerini incelemek için pek çok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda meydana gelen çatlakların genişlemesinin önlendiği ve hatta engellendiği, yük taşıma kapasitesi ve yer değiştirme kapasitesinin arttığı, sünekliğinin arttığı sonuçlarına varılmıştır. Ancak, lif takviyeli polimerin çeşitli nem ve sıcaklık koşullarında duvar temas yüzeyiyle uzun süreli dayanıklılığı ve uyumu hakkında sınırlı bilgi olduğunun ve ciddi tedbirler alınması gerektiği unutulmamalıdır.

KAYNAKÇA

AFAD. (2023). *T.C. İçişleri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 06 Şubat 2023 Pazarcık-Elbistan (Kahramanmaraş) Mw: 7.7 – Mw: 7.6 Depremleri Raporu*. https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Kahramanmaraş Depremi Raporu_02.06.2023.pdf adresinden erişildi.

DEÜ. (2023). *Dokuz Eylül Üniversitesi, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri, 20 Şubat 2023 Hatay Depremi Raporu*.

Doran, B., Ulukaya, S., Unsal Aslan, Z., Karslioglu, M. ve Yuzer, N. (2022). Experimental Investigation of CFRP Strengthened Unreinforced Masonry Walls with Openings. *International Journal of Architectural Heritage*, *16*(12), 1907–1920. doi:10.1080/15583058.2021.1918286

İTÜ. (2023). *İstanbul Teknik Üniversitesi, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri Nihai Rapor*.

Konthesingha, K. M. C., Masia, M. J., Petersen, R. B., Mojsilovic, N., Simundic, G. ve Page, A. W. (2013). Static cyclic in-plane shear response of damaged masonry walls retrofitted with NSM FRP strips - An experimental evaluation. *Engineering Structures*, *50*, 126–136. doi:10.1016/j.engstruct.2012.10.026

Lignola, G. P., Prota, A. ve Manfredi, G. (2012). Numerical Investigation on the Influence of FRP Retrofit Layout and Geometry on the In-Plane Behavior of Masonry Walls. *Journal of Composites for Construction*, *16*(6), 712–723. doi:10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000297

Lourenco, P. B. (2014). Masonry structures, overview. *Encyclopedia of Earthquake Engineering*, 1–10. doi:10.1007/978-3-642-36197-5

Luccioni, B. ve Rougier, V. C. (2011). In-plane retrofitting of masonry panels with fibre reinforced composite materials. *Construction and Building Materials*, *25*(4), 1772–1788. doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.11.088

Mahmood, H. ve Ingham, J. M. (2011). Diagonal compression testing of FRP-retrofitted unreinforced clay brick masonry wallettes. *Journal of Composites for Construction*, *15*(5), 810–820. doi:10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000209

Martinelli, E., Perri, F., Sguazzo, C. ve Faella, C. (2016). Cyclic shear-compression tests on masonry walls strengthened with alternative configurations of CFRP strips. *Bulletin of Earthquake Engineering*, *14*(6), 1695–1720. doi:10.1007/s10518-016-9895-6

Morbin, A. ve Scholar, V. (y.y.). *Strengthening of masonry elements with FRP composites*. www.cies.umr.edu adresinden erişildi.

ODTÜ. (2023). *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık M w =7.7 ve Elbistan M w =7.6 Depremleri Ön Değerlendirme*

Raporu.

Prota, A., Manfredi, G. ve Nardone, F. (2008). Assessment of design formulas for in-plane FRP strengthening of masonry walls. *Journal of Composites for Construction*, *12*(6), 643–649. doi:10.1061/(asce)1090-0268(2008)12:6(643)

Rahman, A. ve Ueda, T. (2016). In-Plane shear performance of masonry walls after strengthening by two different FRPs. *Journal of Composites for Construction*, *20*(5), 04016019. doi:10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000661

Stratford, T., Pascale, G., Manfroni, O. ve Bonfiglioli, B. (2004). Shear strengthening masonry panels with sheet Glass-Fiber Reinforced Polymer. *Journal of Composites for Construction*, *8*(5), 434–443. doi:10.1061/(asce)1090-0268(2004)8:5(434)

TCCSBB. (2023). *T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji Ve Bütçe Başkanlığı, 2023 Kahramanmaraş Ve Hatay Depremleri Raporu*.

TMMOB. (2023). *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 6 ŞUBAT 2023 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri Ön Değerlendirme Raporu*.

Valluzzi, M. R., Tinazzi, D. ve Modena, C. (2002). Shear behavior of masonry panels strengthened by FRP laminates. *Construction and Building Materials*, *16*(7), 409–416. doi:10.1016/S0950-0618(02)00043-0