

MÜHENDİSLİKTE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Editörler

Doç. Dr. Bayram AKDEMİR

Dr. Öğr. Üyesi Umut ÖZKAYA



MÜHENDİSLİKTE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Editörler

Doç. Dr. Bayram AKDEMİR
Dr. Öğr. Üyesi Umut ÖZKAYA



Mühendislikte Güncel Yaklaşımlar

Editörler: Doç. Dr. Bayram AKDEMİR, Dr. Öğr. Üyesi Umut ÖZKAYA

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek

Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design

Baskı: EKİM 2023

Yayıncı Sertifika No: 49837

ISBN:978-625-6585-15-7

© Duvar Yayınları

853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir

Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com

duvarkitabevi@gmail.com

İÇİNDEKİLER

- Bölüm 1.....7**
Farklı Çözücülerle Ekstrakte Edilen *Zamioculcas zamiifolia* (ZZ)
Bitkisinin Yaprak, Gövde, Yumru ve Kök Kısımlarının Toplam
Biyoaktif Madde Miktarlarının Belirlenmesi
Abayhan BURAN
- Bölüm 2.....25**
Çatı Üstü Şebeke Bağlantılı (On-Grid) Güneş Enerjisi Santralinin
Tasarımı ve Ekonomik Analizi: Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi Örneği
Abtullah TUĞÇU, Ahmet USLU
- Bölüm 3.....61**
Savunma Sanayiinde Yapay Zekâ
Arif Furkan MENDİ
- Bölüm 4.....83**
Doğanın Mucizesi: Piezoelektrik Mineraller
Ayşe Didem KILIÇ
- Bölüm 5.....95**
Nesnelerin İnterneti'nde Yapay Zeka'nın Rolü
BASHAR ALHAJAHMAD, MUSA ATAŞ
- Bölüm 6.....123**
Güneş Enerji Sistemlerinde Tasarım Yöntemleri
Burak Ege ÖZCAN, Gül Fatma TÜRKER
- Bölüm 7.....141**
Makine Mühendisliğinde Malzemeler, Kullanım Yerleri ve
Çeliklerin Isıl İşlemleri
Cebeli ÖZEK, Faruk KARACA

Bölüm 8.....185

Hidrolik Mühendisliğinde Hesaplama Akışkanlar Dinamiği
(CFD) Kullanımı

Esin ACAR

Bölüm 9.....205

Makinelere Risk Değerlendirmesi

Ramazan KAYABAŞI, Hatice ÖZDEMİR

Bölüm 10.....231

Betonarme Binalarda Zemin Sınıfının Yapısal Davranışa Etkisi

İbrahim Baran KARAŞİN

Bölüm 11.....247

Metal Yüzeyini Pirinç Kabuğu Külü Kullanılarak Üretilen

Sodyum Borosilikatlar ile Kaplama Çalışmaları

İlker ÖZKAN¹, Esra DOKUMACI ALKAN

Bölüm 12.....263

Üretken Çekişmeli Ağ (ÜÇA) Modelleri ile

Metin Tabanlı Görüntü Sentezleme

İsa ATAŞ

Bölüm 13.....281

Kötü Amaçlı Yazılım Tespit Çalışmalarının Bibliyometrik Analizi

Mahmut TOKMAK

Bölüm 14.....299

Isı Yalıtım Sıvası Tasarımı, Fiziko-Mekanik ve

Termal Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma

Metin DAVRAZ

Bölüm 15.....325

Yabancı Ot Tespitinde Görüntü İşleme Tabanlı Yaklaşımlar

Musa ATAŞ, Bashar ALHAJAHMAD

Bölüm 16.....345

Bor Tuzları ve Kullanım Alanları

Nevin KONAKCI

Bölüm 17.....359

Nikel Esaslı Süper Alaşımların Kaynak Edilebilirliği

Ömer KARABEY, Ahmet AKKUŞ

Bölüm 18.....383

Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynak

Yöntemi ve Uygulamaları

Ömer KARABEY, Ahmet AKKUŞ

Bölüm 19.....403

Güç Sistemlerinde Artan Yük Talebine Göre

Sezgisel Algoritmalar Kullanılarak Optimal Yakıt Maliyeti Analizi

Salih ERMİŞ

Bölüm 20.....419

Yaşlı ve Engelli Bireylere Yönelik Akıllı Tekerlekli Sandalye

Tasarımları Yaşlı ve Engelli Bireylere Yönelik

Akıllı Tekerlekli Sandalye Tasarımları

Serhat KÜÇÜKDERMENCİ

Bölüm 21.....441

Su Kalitesi Akıllı Ölçüm Sistemleri

Serhat KÜÇÜKDERMENCİ

Bölüm 22.....459

Elektroegirme Yöntemiyle Üretilen Nanoliflerin Yara İyileşmesi ve

Doku Mühendisliğinde Kullanımı

Sevim Feyza ERDOĞMUŞ

Bölüm 23.....481

Gıdalarda Oksidasyonun Önemi: Et ve Et Ürünleri Örneği

Nuran ERDEM, Süleyman GÖKMEN

Bölüm 24.....503

Proton Değişim Membranlı (PEM)

Yakıt Hücrelerinde Bipolar Plakaların Malzeme Seçimi

Yasin AKIN, Hüseyin KAHRAMAN, İbrahim ÖZSERT

Bölüm 25.....521

Betonarme Taşıyıcı Yapı Elemanlarının Yönetmeliklere Göre İncelenmesi

Özlem ÇALIŞKAN, Ayça AKBAŞ

Bölüm 1

**Farklı Çözücülerle Ekstrakte Edilen
Zamioculcas zamiifolia (ZZ) Bitkisinin
Yaprak, Gövde, Yumru ve Kök
Kısımlarının Toplam Biyoaktif Madde
Miktarlarının Belirlenmesi**

Abayhan BURAN¹

¹Arş. Gör.; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomühendislik Bölümü, Elazığ/Türkiye
a.buran@firat.edu.tr; ORCID No: 0000-0003-4204-8638

ZZ BİTKİSİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Zamioculcas zamiifolia (ZZ), tropik nemli orman zemininde veya taşlı zeminde yetişen (Mayo vd., 1997), büyük yaprakları, eşit olmayan şekilde pinnat ve kalın yatay köksapı olan çok yıllık otsu bir bitkidir. *Z. zamiifolia* veya halk arasında "ZZ bitkisi" olarak bilinen bitki, kökeni Afrika'nın doğusuna, özellikle Tanzania ve Zanzibar'a dayanan bir sukulent türüdür. Bu bitki, özellikle kuru ormanlarda ve sıcak iklim bölgelerinde yetişir. *Z. zamiifolia*, popüler bir iç mekan bitkisi olarak yetiştirilir çünkü dayanıklı, bakımı kolay ve göz alıcı yapraklarıyla tanınır. Zarif görünümü, düşük ışık koşullarında büyüyebilme yeteneği, kuraklık stresine karşı son derece yüksek toleransı ve hastalık veya zararlı sorunlarının olmaması nedeniyle "benzersiz" bir iç mekân yeşillik bitkisi olarak belgelenmiştir (Chen ve Henny, 2003). ZZ bitkisi, iç mekân koşullarında genellikle düşük ışıkta bile iyi büyüyebilir ve su gereksinimleri düşüktür, bu nedenle bakımı kolaydır. Bu özellikleri, onu ev bitkisi olarak popüler hale getirmiştir. Ayrıca, köklerinde su depolama yeteneği sayesinde kurak dönemlerde suya ihtiyaç duymadan yaşayabilirler. İç mekan dekorasyonlarında yaygın olarak kullanılan bu bitki (Chen vd., 2002) ve üretimde ve tüketimde rağbet görmektedir (Chen ve Henry, 2003). Ayrıca hava kalitesini iyileştirme özelliklerinin belirtilmiş (Zhou vd., 2011) sitotoksik ve antioksidan etkilerine dair çalışmalar da yapılmıştır (Muharini vd., 2018).

Bu bitkinin üretimi maliyetlidir ve ZZ bitkisi, uygun üretim koşulları altında bile yavaş büyüyen bir bitki olduğundan çoğaltım materyali verimliliği düşük olduğu bilinmektedir (Chen ve Henny, 2003). Bu nedenle çoğaltılması konusunda uzmanlaşmış yetiştiriciler vardır. Bu bitkinin tarihte farklı şartlar altında iyileştirici özellikte kullanıldığı biliniyor. Dünya geneline bakıldığında bazı yerel halklar tarafından geleneksel tıp olarak harici olarak kullanılmıştır. Malavililer ZZ bitkisinin yapraklarını çocuklarda kulak ağrısına ilaç olarak kullanırken, kökleri ise Tanzania'daki Sukuma halkı tarafından mide sorunlarının tedavisinde kullanılmaktadır (Muharini vd., 2018).

ZZ Bitkisinin Fiziksel Özellikleri

Bitkinin yeşil yaprakları kalın ve parlak bir görünüme sahiptir ve yapraklar zincir benzeri bir şekilde sıralanır. Bu özellikleri, bitkinin bazı bölgelerde "zincir bitkisi" olarak anılmasına neden olur. Genel olarak ZZ bitkisi ve zincir bitkisi olarak bilinmektedir. Fiziksel özellikler bakımından kalın, derin yeşil yapraklara sahiptir. Yapraklar parlak ve parlak bir görünüme sahiptir. ZZ bitkisinin yaprakları genellikle ortalama 15-60 cm uzunluğunda olabilir. Literatür çalışmaları, bu bitkinin yapraklarının benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen gibi uçucu organik bileşikleri havadan emebildiğini göstermiştir (Sriprapat vd., 2014;

Khaskar vd., 2017). Bu gerçekler bu bitkiyi süs bitkisi olarak kullanan insanları ilgilendirmektedir. Bitkinin boyutu yetiştirme koşullarına ve yaşına bağlı olarak değişebilmektedir. ZZ bitkisinin gövdesi kalın ve etlidir. Gövde (yumru şeklinde toprak altı bir gövde kısmı şeklinde), su depolamak için adaptasyon yapmıştır, bu nedenle kurak dönemlerde bitkinin hayatta kalmasına yardımcı olur. Bu bitki nadiren çiçek açar ve iç mekanlarda yetiştirilen bitkilerde çiçeklenme olayı nadiren görülür. Yaygın olarak süs bitkileri olarak bilinmesiyle birlikte *Z. zamiifolia* bitkisi, toksisitesi ile bilinen Araceae familyasındandır. ZZ bitkisinin yaprakları ve kökleri, insanlar ve evcil hayvanlar için hafif derecede zehirli olabilir, bu nedenle yenmemelidir (Arditti ve Rodriguez, 1982; Frausin vd., 2015).

ZZ Bitkisinin Biyoaktif Madde İçeriği

Biyoaktif maddeler kimyasal fonksiyon ve yapı çeşitliliğine sahip bileşikler olarak adlandırılmaktadır. Bunlar yapılarına göre karotenoidler, fenolik bileşikler, lignanlar, bitki steroller gibi alt gruplar oluşturmaktadır. Bu bileşikler genel anlamda sağlık üzerinde olumlu etkilere sahip olan hücresel aktiviteleri destekleyen ikincil metabolitlerdir. ZZ bitkisinin biyoaktif madde içeriğinin yanı sıra toksisitesi hakkında çelişkili araştırma sonuçları ortaya konmaktadır. Bitkinin yaprak ve köklerinin insanlar ve evcil hayvanlar için hafif zehirli olabileceği yaygın olarak bilinmektedir. Bazı kesim bilim insanları ZZ bitkisi için toksisitenin olmadığını ileri süren çalışmalar ortaya koymuştur. Daha önce Le Moullec (2015) araştırma grubu, salamura karides öldürücülüğü (BSL) yöntemini kullanarak ZZ bitkisinin yaprak ekstraktının *Artemia salina*'ya karşı sitotoksikite göstermediğini bildirmiştir (Le Moullec vd., 2015). Bu son sonucun, *Z. zamiifolia* yapraklarının toksisitesi varsayımını çürüttüğü iddia edilmektedir. Üstelik Le Moullec ve arkadaşları (2015), *Z. zamiifolia*'nın yaprak ekstraktından fenolik asitler, fenilpropanoidler ve flavonoidler dahil olmak üzere ikincil metabolitler elde etmiştir. Bununla birlikte, *Z. zamiifolia*'nın köklerinden elde edilen ikincil metabolit içeriğini ve bunların toksisitesini ortaya koyacak fitokimyasal çalışmalara rastlamak oldukça zordur. Bitkinin tıbbi ve farmasötik olarak kullanılabilirliği için detaylı çalışmalar devam etmektedir. Muharini ve arkadaşları, (2018) yaptıkları çalışmada ZZ bitkisinden elde ettikleri ekstraktlar, DPPH yöntemi kullanılarak antioksidan aktiviteleri açısından ve iki tip insan kanser hücre dizisi HepG2 ve T47D ile normal Afrika yeşil maymun böbreği epitelyal hücre dizisi Vero'ya karşı sitotoksik aktiviteleri açısından test edilmiştir. Metanol ve kloroform ekstraktı sırasıyla 180,0 ve 431,5 µg/mL AA50 değerleriyle antioksidan aktivite sergilemiştir. Kloroform ve metanol ekstraktları, sırasıyla IC50 433.1 ve 461.1 µg/mL ile T47D hücre hattına karşı potansiyel ve

orta derecede sitotoksosite göstermiştir. Ekstraktların hiçbiri HepG2 ve Vero hücre hatlarına karşı toksik değildir (Muharini vd., 2018). Şu ana dek yapılan çalışmalarda bitkinin biyoaktif bileşenlere sahip olduğunun bildirildiği görülmüştür.

ANTIOKSİDANLAR

Antioksidanlar en basit tabirle vücutta oksidasyon reaksiyonlarının sonucu olarak oluşan serbest radikalleri nötralize eden veya etkilerini azaltan bileşiklerdir. Serbest radikaller, vücutta normal metabolik süreçler sırasında veya dış kaynaklardan (örneğin, sigara içme, hava kirliliği veya radyasyon maruziyeti) kaynaklanan reaktif moleküllerdir. Bu serbest radikaller, hücrelere zarar verebilir, DNA'ya hasar verebilir ve hücrenel yaşlanma ile bağlantılı olabilirler. Ayrıca antioksidanlar, amino asitlerin azaltılmasında, protein oksidasyonunun yanı sıra lipid türevli karbonillerin protein fonksiyonunda bir değişikliğe yol açan proteinlerle etkileşiminde de yardımcıdır (Sindhi vd., 2013). Antioksidanlar ayrıca insan vücudunu serbest radikallerden ve ROS (Reaktif Oksijen Türleri) etkilerinden de koruyabilir. Lipid peroksidasyonunun yanı sıra birçok kronik hastalığın ilerlemesini geciktirirler. Son yıllarda gıda antioksidanlarının alternatif doğal ve güvenli kaynaklarının belirlenmesi ve özellikle bitki kökenli doğal antioksidanların araştırılmasına büyük ilgi duyulmaktadır (Gulcin, 2020).

Popüler antioksidanlar arasında C vitamini, E vitamini, beta-karoten (A vitamini öncüsü), selenyum ve çeşitli fitokimyasallar bulunur. Bu maddeler, genellikle meyve, sebze, tam tahıllar ve bazı bitkisel yağlarda bulunur. Meyve ve sebze tüketimi, en tehlikeli koroner ateroskleroz da dahil olmak üzere bazı kronik hastalıkların riskinin azalmasıyla ilişkilendirilmiştir (Rimm vd., 1996). Shahidi ve Ambigaipalan, (2015)'a göre gıda sisteminde kullanılacak antioksidanların ucuz, etkili olması ve düşük konsantrasyonlarda toksik olmaması gerekir; son derece kararlı ve işlemden sağ çıkabilen; kendine ait kokusu, tadı ve rengi yoktur; dahil edilmesi kolaydır ve üründe iyi bir çözünürlüğe sahiptir (Shahidi ve Ambigaipalan, 2015). Ancak, antioksidan takviyelerinin fazla alımı sağlık sorunlarına yol açabilir ve dengeli bir diyetle alınan antioksidanların takviyelerden daha etkili olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, her antioksidanın farklı bir rolü ve etki mekanizması olduğunu unutmamak önemlidir. Bu nedenle çeşitli antioksidanları içeren bir beslenme tarzı benimsemek genellikle daha iyidir.

Gıdalardaki fenolik bileşiklerin düşük konsantrasyonlarda gıdayı oksidatif acılaşmadan korudukları bilinmektedir (Karakaya, 2004). Bitkilerdeki temel sekonder metabolitlerin arasında yer alır. Antioksidan görevi görürler ve radikallere karşı etkilidirler. Bir ya da birden fazla aromatik halka içeren biyolojik olarak aktif fenolik bileşikler bitkisel gıdalarda doğal olarak bulunmaktadır.

Fenolik bileşiklerin antioksidan potansiyeli ilgili moleküldeki hidroksil gruplarının sayısına ve düzenine bağlıdır. Doğal antioksidanlar olarak fenolik bileşikler hemen hemen tüm bitkilerde, mikroorganizmalarda, mantarlarda ve hatta hayvan dokularında da bulunmaktadır (Pokorny, 1999). Fenoliklerin çoğu diyetimizin önemli bir parçasıdır ve aynı zamanda tıbbi ürünler olarak da kullanılır. Fenolik bileşiklerin antioksidan, antikarsinojenik, antimutagenik, antimikrobiyal, antiinflamatuvar gibi özellikleri sayesinde koruyucu etki göstermektedir. Flavonoidler ise özellikle bitkisel gıdalarda bulunan halkalı difenilpropanlardır. Bu polifenolik bileşikler kronik hastalıklara karşı oldukça etkili antioksidanlardır (Gulcin, 2020). Şu ana dek bitki türlerinde 4000'den fazla flavonoid dahil üzere 8000'den fazla polifenolik bileşik tanımlanmıştır (Harborne vd., 1999). Bu bileşikler bitkinin tohum, meyve, yaprak, gövde ve kök olmak üzere neredeyse tüm kısımlarından izole edilmiştir.

Antioksidan Kaynağı Olarak Bitkiler

Son zamanlarda sentetik antioksidanların kanserojen etkisi ve toksisitesi üzerinde oldukça durulmaktadır. Bunun bir çözümü olarak bitkisel ürünlerin reaktiflere karşı bir savunma mekanizmaları olarak antioksidan içeriklerinin araştırılması ve reaktiflere karşı antioksidan görevi görmeleri konusunda pek çok çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Hou vd., 2003). Bu araştırmalarda birçok bitkinin yaprak ekstraktlarının kayda değer antioksidan aktivite ve biyoaktif bileşenler ihtiva ettiği ortaya konmuştur (Stankovic vd., 2014; Buran vd., 2022a). Bitkisel ürünlerin antioksidan içeriklerinin ortaya çıkması ve sentetik antioksidanlara oranla daha “güvenilir” oldukları için, bitkisel atıkların ve tohumlarının da antioksidan aktivite içeriklerinin araştırıldığı çalışmalar yapılmıştır. Literatüre giren bu çalışmalarda bitki meyveleri, yaprakları ve hatta köklerine ek olarak meyve kabukları ve tohumlarında da antioksidan aktivite ihtiva ettikleri ortaya konmuştur (Chandrasekara ve Shahidi, 2010; Buran, 2022). Gelişen biyoteknolojik bakış açısıyla bitkilerin sahip olduğu antioksidan aktiviteyi arttırmak amacıyla bazı deneysel çalışmalar da ortaya konmaktadır. Bitkilerin mikroçoğaltımı aşamasında elde edilen kallus kültürlerinin biyoaktif madde içerikleri son zamanların popüler konularından olmuştur. Çeşitli bitki büyüme düzenleyicileri ve hormon kombinasyonları ile hazırlanan kültür ortamından elde edilen kallusların da antioksidan aktivite, fenolik ve flavonoid bileşikler içerdiği bildirilmektedir (Kousalya ve Bai, 2016; Topdemir vd., 2019a,b; El Sherif vd., 2020; Buran ve Topdemir, 2022; Topdemir ve Buran, 2023) Çeşitli çevresel stres faktörlerinin de kullanılması ile bitkisel savunma mekanizmalarının harekete geçirilerek antioksidan aktivitesinde artış sağlandığı görülmektedir. Bitkilere tuz stresi, ağır metal stresi, kuraklık stresi vb. çevresel etkilerin uygulandığı

çalışmalarda antioksidan aktivitenin arttığı gözlemlenmiştir (Barceló vd., 1986; Urano vd., 2010; Buran vd., 2022b).

MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada ZZ bitkisinin tüm kısımlarının farklı çözücülerle ekstrakte edilerek hem çözücü hem de bitki kısmı bakımından sonuçların elde edilmesi amaçlanmaktadır. Buna göre kullanılan materyaller, çözeltiler yöntemler ve analiz aşamaları belirtilmiştir.

Materyal

Bu çalışmada kullanılan *Z. zamiifolia* (ZZ) bitkileri ticari yolla elde edilmiş olup 50-55 cm boylarında sağlıklı ve genç bitkiler tercih edilmiştir. Analizlerde bitkinin yaprak, gövde, yumru gövde ve kök kısmı kullanılmıştır. Bu kısımlar saf su, metanol (%99- Merck) ve aseton (%80 aseton-saf su) olmak üzere 3 çözücüyle ekstrakte edilmiştir.

Metot

Ekstraksiyon işlemleri için metanol, saf su ve aseton olmak üzere 3 çözücü kullanılmıştır. Tüm bitki kısımları bitkiden ayrıldıktan sonra musluk suyu ile yıkanmış ve saf sudan geçirilmiştir. Materyaller bir etüv yardımıyla 55 °C'de 48 saat kurutulduktan sonra bir havan yardımıyla toz haline getirilmiştir. Toz haldeki materyallere çözücüler eklenmiş ve 25 °C'de orbital çalkalayıcıda 48 saat 150 rpm devir hızında ekstrakte olmaları beklenmiştir. Her 0,1 gram toz materyal için 4 mL çözücü eklenmesi yapılmıştır. Ekstraksiyon işlemi sonunda ekstraktlar filtre kağıdı (Whatman No:1) ile süzülerek analizlerde kullanıma hazır hale getirilmiştir. Analizler 3 tekrarlı yapılmış ve sonuçlar standart sapmalarıyla birlikte verilmiştir.

Toplam Fenolik Madde Miktarı Analizi

Toplam fenolik madde miktarının analizinde Folin-Ciocalteu metodu kullanılmıştır (Singleton ve Rossi, 1995). Yönteme göre 1.5 mL 10 kat seyreltilmiş 2 N Folin-Ciocalteu reaktifi 300 µl bitki ekstraktlarıyla karıştırılmıştır. 1-2 dakikalık beklemeden ardından 1.2 mL %7.5'lük Na₂NO₃ çözeltisi eklenmiş ve 90 dakika boyunca 25 °C'de karanlık ortamda bekletilmiştir. Beklemenin ardından spektrofotometre yardımıyla 765 nm dalga boyunda saf suya karşı absorbans okuması yapılmıştır. Toplam fenolik madde miktarının analizinde gallik asidin beş farklı konsantrasyonuyla (0.1-0.2-0.3-0.4-0.5 mg/mL) ölçülen absorbanslarla oluşturulan kalibrasyon eğrisinden yararlanılmış ve sonuçlar Gallik Asit Eşdeğeri (GAE) olarak verilmiştir.

Toplam Flavonoid Madde Miktarı Analizi

Toplam flavonoid madde miktarının analizinde $AlCl_3$ metodu kullanılmıştır (Lamaison vd., 1990). Yönteme göre bitki ekstraktlarından 1 mL ve %2'lik $AlCl_3$ çözeltisinden 1 mL alınıp cam tüplerde karıştırılmıştır. $AlCl_3$ çözeltisi için çözücü olarak hacmen 50/50 (v/v) glasiyel asetik asit ve metanol kullanılmıştır. Elde edilen karışım 25 °C'de 10 dakika boyunca bekletilmiş ve ardından spektrofotometre yardımıyla 394 nm dalga boyunda köre (%2 $AlCl_3$) karşı okunmuştur. Toplam flavonoid madde miktarının analizinde kuersetinin beş farklı konsantrasyonuyla (0.1-0.2-0.3-0.4-0.5 mg/mL) ölçülen absorbanslarla oluşturulan kalibrasyon eğrisinden yararlanılmış ve sonuçlar Kuersetin Eşdeğeri (QE) olarak verilmiştir.

Toplam Antioksidan Aktivite Analizi

Toplam antioksidan aktivite analizinde ABTS'nin radikal katyon yakalama yeteneğinden yararlanılmıştır. 7 mM ABTS stok çözeltisi hazırlanmış ve en az 16 saat karanlık ortamda bekletilmiştir. Fosfat tamponu yardımıyla analizlerde kullanılmak üzere 734 nm dalga boyunda absorbansı 0.8 oluncaya kadar seyreltilmiştir. 1900 µL mavi renkli ABTS çözeltisininin 100 µL bitki ekstraktıyla karıştırılarak 25 °C'de 6 dakika boyunca bekletilmiş ardından spektrofotometrede 734 nm dalga boyunda fosfat tamponuna karşı absorbansları okunmuştur. Mavi renkteki açılma antioksidan aktivite varlığının bir kanıtı olarak görülmektedir (Miller vd., 1995). Toplam antioksidan aktivite analizinde troloksun beş farklı konsantrasyonuyla (0.05-0.1-0.2-0.3-0.4 mmol/L) ölçülen absorbanslarla oluşturulan kalibrasyon eğrisinden yararlanılmış ve sonuçlar Troloks Eşdeğer Antioksidan Aktivite (TEAC) olarak verilmiştir.

Toplam Klorofil ve Karotenoid Miktarı Analizi

Toplam klorofil ve karotenoid miktarının analizi için ZZ bitkisinin yaprakları %80'lik aseton çözücüsü ile ekstrakte edilmiştir. 0,2 gram kuru yaprak materyali üzerine 20 mL aseton eklenerek 25 °C'de 48 saat süreyle ekstrakte edilmiştir. Filtre kağıdı ile süzülen ekstraktın spektrofotometre yardımıyla belirli dalga boylarındaki absorbansları ölçülmüştür. %80 aseton çözücüsüyle ekstrakte edilen yapraklar bir spektrofotometre yardımıyla 652 nm dalga boyunda, 663 nm dalga boyunda, 645 nm dalga boyunda ve 470 nm dalga boyunda absorbansları okunarak hesaplamalarda kullanılmak üzere not edilmiştir. Bu absorbanslar toplam klorofil miktarı, klorofil-a, klorofil-b ve toplam karotenoid madde miktarlarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Farklı dalga boylarında ölçülen absorbanslar Lichtenthaler ve Wellburn (1983) tarafından verilen formüllerde

yerine yazılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Formüller (1-4) aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{Toplam Klorofil Miktarı (mg/g)} = (A652 \times 27.8) / g \quad (1)$$

$$\text{Klorofil - a Miktarı (mg/g)} = ((11.75 \times A663) - (2.35 \times A645)) \times V/g \quad (2)$$

$$\text{Klorofil - b Miktarı (mg/g)} = ((18.61 \times A645) - (3.96 \times A663)) \times V/g \quad (3)$$

$$\text{Toplam Karotenoid Miktarı (mg/g)} = [((1000 \times A470) - (2.27 \times K1a) - (81.4 \times K1b)) / 227] \times V/g \quad (4)$$

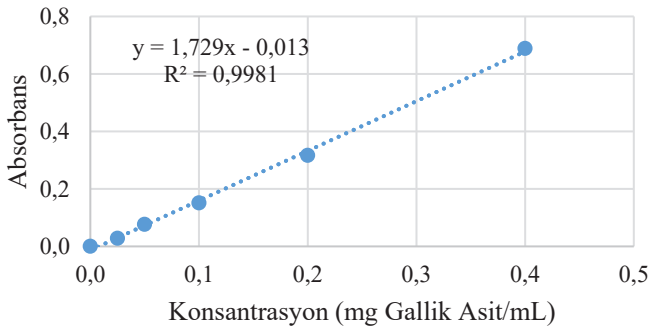
V: ekstrakt hacmi, g: örnek hacmi (mg), K1a: Klorofil-a, K1b: Klorofil-b ve Axxx: belirli dalga boylarındaki absorbansları ifade etmektedir.

SONUÇ

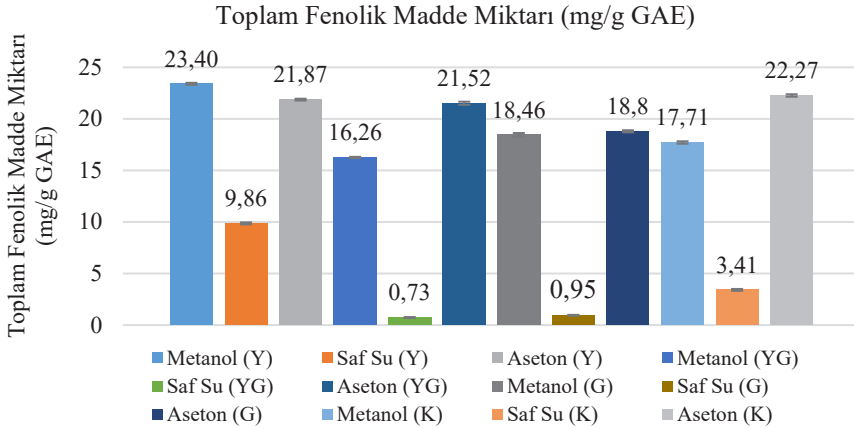
Her bir analiz için bitki kısımlarına ve çözücü türlerine ait olan sonuçlar birlikte bir grafikte gösterilerek rahat bir karşılaştırma yapabilmeye amaçlanmıştır. Analizlerin sonuçları kendi kalibrasyon eğrilerine göre belirli eşdeğer miktarlarda gösterilmektedir.

Toplam Fenolik Madde Miktarı

Toplam fenolik madde miktarının analizinde kullanılan gallik asit kalibrasyon eğrisinden (Şekil 1) elde edilen $y = 1,729x - 0,013$ denklemi kullanılmıştır. Yönteme göre ekstraktların absorbansları belirtilen dalga boylarında okunmuş ve elde edilen denklemde yerine yazılarak Gallik Asit Eşdeğeri olarak sonuçlar grafikte gösterilmiştir.



Şekil 1: Gallik Asit Kalibrasyon Eğrisi

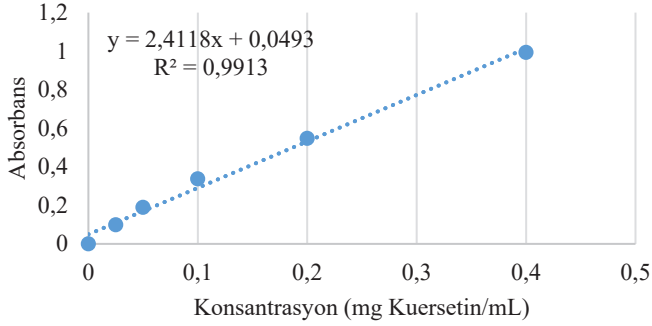


Şekil 2: Toplam Fenolik Madde Miktarı mg/g GAE olarak verilmiştir. Hata çubukları standart sapmayı göstermektedir (\pm SS).

Bu durumda 3 farklı çözücünün ve de bitki kısımlarının kıyaslanabilmesi olanaklı hale gelmiştir. Grafikte (Şekil 2) çözücülerin ve bitki kısımlarının birlikte verilmesi sonuçların okunması açısından avantajlıdır. En yüksek toplam fenolik madde miktarı $23,40 \pm 0,10$ mg/g GAE olarak yaprak materyalinin etanol ekstraktından elde edilmiştir. En düşük fenolik madde miktarı ise $0,73 \pm 0,03$ mg/g GAE olarak yumru gövde materyalinin saf su ekstraktından elde edilmiştir. Genel ortalama olarak en çok yaprak ve kök materyallerinin farklı çözücülerden elde edilen ekstraktlarından daha yüksek miktarda toplam fenolik madde miktarı elde edilmiştir.

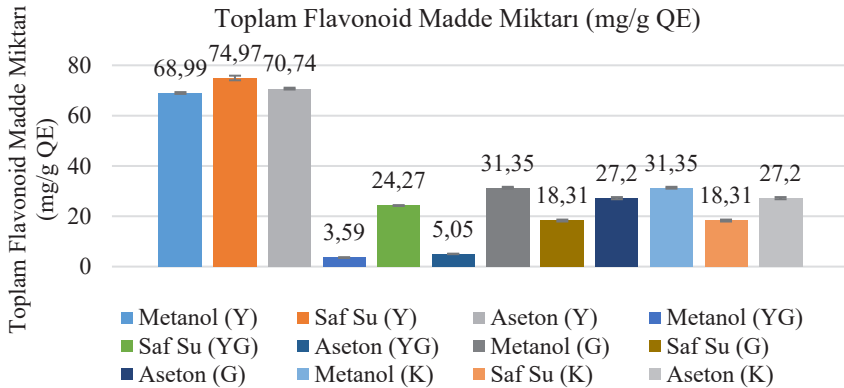
Toplam Flanovoid Madde Miktarı

Toplam flavonoid madde miktarının analizinde kullanılan kuersetin kalibrasyon eğrisinden (Şekil 3.) elde edilen $y = 2,4118x + 0,0493$ denklemi kullanılmıştır. Analizde kullanılan yöntemle göre ekstraktların absorbansları belirtilen dalga boylarında okunarak kalibrasyon eğrisinden elde edilen denklemde yerine yazılmıştır. Elde edilen sonuçlar Kuersetin Eşdeğeri olarak grafikte gösterilmiştir.



Şekil 3: Kuersetin Kalibrasyon Eğrisi

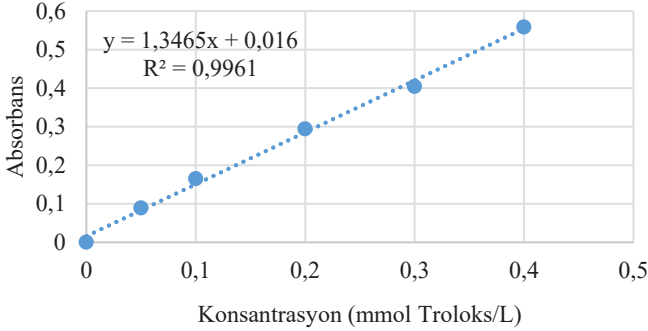
Elde edilen toplam madde miktarlarına göre analizde kullanılan çözücülerin ve bitki kısımlarının kıyaslanabilmesi amacıyla sonuçlar grafikte (Şekil 4) gösterilmiştir. Buna göre en yüksek toplam flavonoid madde miktarı $74,97 \pm 0,92$ mg/g QE olarak yaprak materyalinin saf su ekstraktından elde edilmiştir. En düşük toplam flavonoid madde miktarı ise $3,33 \pm 0,09$ mg/g QE olarak yumru gövde materyalinin metanol ekstraktından elde edilmiştir. Genel olarak bakıldığında saf su ekstraktlarından yüksek verimde toplam flavonoid madde miktarı elde edildiği görülmektedir. En düşük ortalama ise yumru gövde materyalinden elde edilen ekstraktlarda görülmektedir.



Şekil 4: Toplam Flavonoid Madde Miktarı mg/g QE olarak verilmiştir. Hata çubukları standart sapmayı göstermektedir ($\pm SS$).

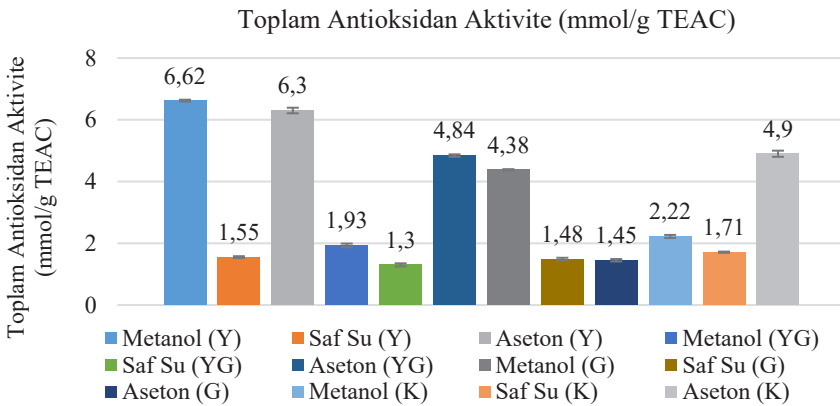
Toplam Antioksidan Aktivite

Toplam antioksidan aktivite analizinde kullanılan troloks kalibrasyon eğrisinden (Şekil 5) elde edilen $y = 1.3465x + 0.016$ denklemi kullanılmıştır. Analizde uygulanan yöntemle göre ekstraktların absorbansları belirtilen dalga boylarında spektrofotometre yardımıyla okunarak denklemde yerine yazılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar Troloks Eşdeğer Antioksidan Kapasite olarak verilmiştir.



Şekil 5: Troloks Kalibrasyon Eğrisi

Çözücülerin ve bitki kısımlarının karşılaştırılabilmesi amacıyla toplam antioksidan aktivite sonuçları tek grafikte (Şekil 6) verilmiştir. Buna göre en yüksek toplam antioksidan aktivite değeri $6,62 \pm 0,03$ mmol/g TEAC olarak yaprak materyalinin metanol ekstraktından elde edilmiştir. En düşük toplam antioksidan aktivite değeri ise $1,3 \pm 0,05$ mmol/g TEAC olarak yumru gövde materyalinin saf su eksplantından elde edilmiştir.



Şekil 6: Toplam Antioksidan Aktivite mmol/g TEAC olarak verilmiştir. Hata çubukları standart sapmayı göstermektedir ($\pm SS$).

Genel sonuçlara bakıldığında en yüksek toplam antioksidan aktivite değerinin yaprak materyaline ait ekstraktlardan elde edildiği görülmektedir. Çözücülere bakıldığında ise metanol ve aseton çözücülerinden elde edilen ekstraktların saf su ekstraktlarına oranla daha verimli sonuçlar verdiği görülmüştür.

Toplam Klorofil ve Karotenoid Madde Miktarı

Arnon (1949) yönteminde belirtilen dalga boylarında absorbansları okunan ekstraktların klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil ve toplam karotenoid miktarı belirlenmiştir. UV-VIS spektrofotometre yardımıyla okunan absorbanslar Lichenthales ve Wellburn (1983) tarafından verilen formüllerde yerine yazılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre sağlıklı ve genç yaprak materyalinden elde edilen ekstraktlara göre toplam klorofil miktarı 5,24 mg/g olarak; klorofil-a miktarı 1,44 mg/g olarak; klorofil-b miktarı 1,71 mg/g olarak ve toplam karotenoid miktarı ise 0,45 mg/g olarak hesaplanmıştır.

Z. Zamiiifolia bitkisi toksik özellikler ihtiva ettiği ileri sürülen aynı zamanda iç hava ortamını kirleten uçucu organik bileşikleri giderme özelliğinden dolayı kapalı mekân bitkisi olarak popüler olan bir bitki konumundadır (Zhou vd., 2011). Tüm bu özelliklerinin yanında radikallere ve reaktiflere karşı oldukça etkili değerlerde antioksidan aktivite gösterdiği de bilinmektedir. Yaprakları tüm diğer kısımlarına oranla yüksek miktarda flavonoid madde içermektedir. Bununla birlikte en yüksek antioksidan aktivite de yapraklarının metanol ekstraktlarından elde edilmiştir. *Z. zamiiifolia*'nın köklerinden elde edilen ikincil metabolit içeriğini ve bunların toksisitesini ortaya koyacak fitokimyasal çalışmalara rastlamak oldukça zordur. Literatürde antioksidan aktiviteleri açısından ve iki tip insan kanser hücre dizisinden birine karşı potansiyel sitotoksiste gösterdiği de bilinmektedir (Muharini vd., 2018). Bitkinin tıbbi ve farmasötik olarak kullanılabilirliği için çalışmalar sürmektedir

REFERANSLAR

- Arditti, J. ve Rodriguez, E. (1982). Dieffenbachia: uses, abuses and toxic constituents: a review. *Journal of Ethnopharmacology*, 5 (3), 293 – 302.
- Arnon, D.I. (1949). “Copper enzymes in isolated chloroplasts Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*”. *Journal of Plant Physiology*, 24, 1-15.
- Barceló, J., Cobot, C. ve Poschenrieder, C. (1986). Cadmium-induced decrease of water stress resistance in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. Cv. Contender). II. Effects of Cd on endogenous abscisic acid level. *J.Plant Physiol.* 125, 27-34.
- Buran, A. ve Topdemir, A. (2022). Phenolic and flavonoid amounts and antioxidant capacity of *Lavandula officinalis* (lavender) callus grown in different growth regulator combinations. *Anatolian Journal of Botany* , 6 (2) , 115-121 . DOI: 10.30616/ajb.1181724
- Buran, A. (2022). TÜRKİYE'DE YETİŞTİRİLEN CITRUS MAXIMA (ŞADOK) MEYVESİNİN ATIK KISIMLARINDAKİ ANTİOKSİDAN, FENOLİK VE FLAVONOİD MADDE MİKTARLARININ BELİRLENMESİ. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* , 21 (42) , 396-408 . DOI: 10.55071/ticaretfbid.1087234
- Buran, A., Durğun, M. E., ve Karaman, E. (2022b). “Ağır metal (Cu²⁺, Cd²⁺) Stresi Uygulanan *Lavandula angustifolia* (Lavanta) ve *Salvia rosmarinus* (Biberiye) Bitkilerinin Toplam Fenolik, Antioksidan, Klorofil ve Karotenoid Miktarının Belirlenmesi”. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 5(1): 65-77.
- Buran, A., Topdemir, A. ve Öztürk, R. (2022a). “Bioactive Compounds and Total Antioxidant Activity of *Cornus alba* Leaf Extracts”. In: Özkaya, U. (eds). 4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, Konya, Türkiye, Proceeding Book, Pp. 942-948.
- Chandrasekara, A. ve Shahidi, F. (2010). Inhibitory activities of soluble and bound millet seed phenolics on free radicals and reactive oxygen species. *J. Agric. Food Chem.*, 59(1): 428–436. DOI:10.1021/jf103896z
- Chen, J., Henny, R. J., ve McConnell, D. B. (2002). Development of New Foliage Plant Cultivars. En J. Janick and A. Whipkey (eds.), *Trends in new crops and new uses.* (pp. 466-472). Alexandria, United States of America: ASHS Press.
- El Sherif, F., Albotnoor, N., Yap, Y.K., Meligy, A. ve Khattab, S. (2020). Enhanced bioactive compounds composition in *Lavandula officinalis* in-vitro plantlets using NaCl and *Moringa oleifera*, *Aloe vera* and *Spirulina platensis* extracts. *Industrial Crops and Products* 157: 112890.

- Frausin, G., Lima, R.B.S., Hidalgo, A.F., Ming, L.C. ve Pohlit, A.M. (2015). Plants of the Araceae family for malaria and related diseases: a review. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 17 (4), 657 – 666.
- Gulcin, İ. (2020). Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. *Arch Toxicol* 94, 651–715. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>
- Harborne, J.B., Baxter, H. ve Moss, G.P. (1999). *Phytochemical dictionary: handbook of bioactive compounds from plants*, 2nd edn. Taylor and Francis, London.
- Hou, W.C., Lin, R.D., Cheng, K.T., Hung, Y.T., Cho, C.H., Chen, C.H., Hwang, S.Y. ve Lee, M.H. (2003) Free radical-scavenging activity of Taiwanese native plants. *Phytomedicine* 10:170–175
- Khaksar, G., Treesubstorn, C. ve Thiravetyan, P. (2017). Effect of exogenous methyl jasmonate on airborne benzene removal by *Zamioculcas zamiifolia*: The role of cytochrome P450 expression, salicylic acid, IAA, ROS and antioxidant activity. *Environmental and Experimental Botany*, 138, 130 – 138.
- Khaksar, G., Treesubstorn, C., Thiravetyan, P., Chen, J.J. ve Henny, R.J. (2003). ZZ: a unique tropical ornamental foliage plant. *Hort-Technology* 13 (3), 458–462.
- Kousalya, L. ve Bai, V.N. (2016). Effect of growth regulators on rapid micropropagation and antioxidant activity of *Canscora decussata*(Roxb.) Roem. & Schult.–A threatened medicinal plant. *Asian Pacific Journal of Reproduction* 5:(2), 161-170
- Lamaison, J.L., Carnat, A. ve Petitjean-Freytet, C. (1990). Tannin content and inhibiting activity of elastase in Rosaceae. *Ann. Pharm. Fr.*, 48(6), 335–340.
- Lichtenthaler, H. ve Wellburn, A.R., (1983). “Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents” *Biochemical Society Transactions* 603, 591-593
- Mayo, S.J., Bogner, J., Boyce, P.C. (1997). *The genera of Araceae*. The Trustees, Royal Botanic Gardens, Kew.
- Miller N.J., Diplock A.T. ve Rice-Evans C.A. (1995). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 43 (7), 1794-1801.
- Muharini, R., Masriani, M. ve Rudiyanisya, R. (2018). Phytochemical screening, antioxidant, and cytotoxicity of *Zamioculcas zamiifolia* root extract. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*, 1 (2), 62-67, doi: <http://dx.doi.org/10.26418/indonesian.v1i2.30530>

- Pokorny, J. (1999). Antioxidants in food preservation?. In: Shafiur Rahman M (ed) Handbook of food preservation. Marcel Dekker, New York, pp. 309–337.
- Rimm, E.B., Katan, M.B., Ascherio, A., Stampfer, M.J. ve Willett, W. (1996). Relation between intake of flavonoids and risk for coronary heart disease in male health professionals. *Ann Intern Med* 125:384–389
- Shahidi, F. ve Ambigaipalan, P. (2015) Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: antioxidant activity and health effects—a review. *J Funct Foods* 18:820–897
- Sindhi, V., Gupta, V., Sharma, K., Bhatnagar, S., Kumari, R. ve Dhaka, N. (2013). Potential applications of antioxidants—a review. *J Pharm Res* 7:828–835
- Singleton, V.L. ve Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Viticul.* 16(3), 144–158
- Sriprapat, W., Boraphech, P. ve Thiravetyan, P. (2014). Factor affecting xylene-contaminated air removal by the ornamental plant *Zamioculcas zamiifolia*. *Environmental Science and Pollution Research International*, 21 (4), 2603 – 2610.
- Stankovic, M.S., Zia-Ul-Haq, M., Bojovic, B.M., Topuzovic, M.D. (2014). Total phenolics, flavonoid content and antioxidant power of leaf, flower and fruits from Cornelian cherry (*Cornus mas* L.). *Bulg J Agric Sci.* 20:358–363.
- Topdemir, A., Buran, A. ve Gür, N. (2019a). *Ocimum basilicum* L. (Fesleğen) kallus kültürlerinin antioksidan kapasitesinin belirlenmesi. In: Doğan M & Atay E (eds.). 2nd International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences, Ankara, Türkiye, Proceeding Book Pp. 920-928
- Topdemir, A., Buran, A. ve Gür, N. (2019b). Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) bitkisi kallus kültürlerinin toplam fenolik ve flavonoid miktarının tespiti. In: Doğan M, Atay E (eds.). 2nd International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences, Ankara, Türkiye, Proceeding Book. Pp. 929-936
- Topdemir, A. ve Buran, A. (2023). Determination of antioxidant activity and phenolic and flavonoid content of *Ocimum basilicum* L. callus cultures obtained by different plant growth regulators. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 22(2), 133–149. <https://doi.org/10.24326/asphc.2023.1661>
- Urano, K., Kurihara, Y., Seki, M. ve Shinozaki, K. (2010). ‘Omics’ analyses of regulatory networks in plant abiotic stress responses. *Current Opinion in Plant Biology*, 13, 132-138.

Zhou, J., Qin, F., Su, J., Liao, J. ve Xu, H. (2011). Purification of formaldehyde-polluted air by indoor plants of Araceae, Agavaceae and Liliaceae. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 9 (3 & 4), 1012-1018.

Bölüm 2

**Çatı Üstü Şebeke Bağlantılı (On-Grid)
Güneş Enerjisi Santralının Tasarımı ve
Ekonomik Analizi: Kütahya Dumlupınar
Üniversitesi Tavşanlı Uygulamalı Bilimler
Fakültesi Örneği**

Abtullah TUĞCU¹, Ahmet USLU²

¹ Dr. Öğr. Üyesi; Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Meslek Yüksekokulu
Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü.

abtullah.tugcu@dpu.edu.tr ORCID No: 0000-0001-7911-4198

²Dr. Öğr. Üyesi; Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Meslek Yüksekokulu
Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü.

ahmet.uslu1@dpu.edu.tr ORCID No: 0000-0001-8745-423X

ÖZET

Bu çalışmada, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi çatısına kurulumu önerilen 63,6 kWp kurulu güce sahip, şebeke bağlantılı (On-Girid) güneş enerjisi santralının, PVsyst 7.4.0 simülasyon programı ile tasarımı, performansı ve ekonomik analizi yapılmıştır. PVsyst'den elde edilmiş sisteme ait yıllık kayıp diyagramında, güneş enerjisinin kurulacağı alanda yatay düzlemde gelen küresel ışınım miktarı yıllık 1652 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Standart test koşullarında (STK) verimi %20,70 olan fotovoltaik paneller 38°'lik eğim açısıyla yerleştirildiklerinden panel yüzeyine gelen ışınım miktarı %14,6 oranında artmaktadır. Panel verimi, sıcaklık ve inverter kayıpları göz önünde bulundurulduğunda tasarımı yapılan santralden yılda 97.631 kWh (97,631 MWh) enerjinin şebekeye verileceği öngörülmektedir. PVsyst simülasyon programı ile yapılan ekonomik analizde, santralin kurulum maliyeti 64.366 \$, YEKDEM'in 10 yıllık (alım garantili) alış fiyatı olan 0,133 \$/kWh tarifesinden alım garantisi sonunda %40 lık düşüş öngörüsüyle satılan enerjiden elde edilen gelir 229.710 \$ olarak hesaplanmıştır. Analizin kümülatif bilanço hesabında, 2029 yılındaki 3.014 \$ kazancıyla, 64.366 \$ olan santralin kurulum maliyeti 5,7 yılda amortisman süresine ulaşmıştır. Santralden üretilen enerjinin maliyeti 0,046 \$/kWh, santralin kullanım ömrü boyunca net karı 126.936 \$, yatırımın iç karlılık oranı ise %14,87 olarak hesaplanmıştır. Yıllık 97.631 kWh (97,631 MWh) elektrik üretiminin gerçekleşmesi durumunda santral ömrü boyunca 115.520 kg CO₂ sera gazının salınımı azaltılabilir. Çalışma, güneş enerjisi santralının tasarımı ile ilgilenen araştırmacılara ulaşmayı hedeflemekte, boyutlandırma, tasarım, coğrafi konum, bileşen seçimi, yönlendirme, yerleştirme, gölgeleme değerlendirilmesi, performans ve ekonomik analiz için bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışmada elde edilen bulguların, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi çatısına yakın bir gelecekte yapılması planlanan güneş enerjisi santralının kurulumunda fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Şebeke bağlı PV sistem, PVsyst, 3B tasarım, Simülasyon, Performans oranı, Ekonomik analiz

GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artışına, sanayileşme ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak enerji kaynaklarına olan talep hızla artırmaktadır (Zou vd., 2016). Ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınma hamlelerinde karşılaştıkları sorunların başında ucuz, temiz ve güvenilir enerji kaynaklarının temin edilebilmesi gelmektedir (Bhattacharyya, 2012). Bu bağlamda, tüm dünyada enerji kaynakları ile etkin ve ucuz enerji üretim teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Dünyadaki enerji gereksiniminin büyük bir bölümü kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlarla ve hidrolik, nükleer gibi diğer kaynaklardan karşılanmaktadır (Kannan ve Vakeesan, 2016). Fosil yakıtların hızla tükenmesi ve fiyatlarının sürekli artmasının yanı sıra, meydana getirdikleri çevresel sorunlar ve insan sağlığı üzerine etkileri de oldukça önemlidir (Zou vd., 2016).

Akdeniz güneş kuşağında bulunan ülkemiz için en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de güneş enerjisidir. Ülkemiz güneş enerjisi bakımından zengin bir bölgede yer almasına rağmen, bu enerji kaynağından etkin bir şekilde yararlanamamaktadır. Son yıllarda güneş enerjisi sistemleri teknoloji, maliyet ve çevresel etkiler bakımından yaygın bir şekilde kullanım olanağı bulmaktadır (Öztürk, 2008). Güneş enerjisinden çok farklı şekillerde ve alanlarda yararlanma imkânı bulunmakla birlikte, elektrik enerjisi üretiminde genellikle iki farklı teknoloji göze çarpmaktadır. Bunların ilki güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik (PV) güneş elektriği sistemleri, ikincisi ise ısıl güneş teknolojileri ve odaklanmış güneş enerjisi (CSP) teknolojisidir (ETKB, 2023).

Bu çalışmada, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi çatı üstüne kurulumu önerilen 63,6 kWp kurulu güce sahip, şebeke bağlantılı (On-Grid) güneş enerjisi santralinin PVsyst yazılım programıyla tasarımı, simülasyonu ve ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma, fotovoltaik sistemlere ilişkin boyutlandırma, tasarım, coğrafi konum, bileşen seçimi, optimum yönlendirme, PV modül yerleştirme, gölgeleme değerlendirmesi, performans ve ekonomik analiz uygulamalarını içermektedir. Çalışma, fotovoltaik sistem tasarımı ile ilgilenen araştırmacılara ulaşmayı hedeflemekte, sistem tasarımı, gölgeleme değerlendirmesi, enerji üretimi ve ekonomik analizi için bir iş akışı sunmaktadır.

LİTERATÜR ÖZETİ

Literatürde, PV güneş santralleri üzerine birçok çalışma mevcuttur (Al Safarini vd., 2017; Baghdadadi vd., 2018; Dondariya vd., 2018; Aldudak, 2018; Kahraman, 2018; Ramanan ve Karthick, 2019; Ali ve Khan, 2020; Dey ve

Subudhi, 2020; Akcan vd., 2020; Güner ve Muharremoğlu, 2020; Türkdogan vd., 2020; Yağlı ve Koç, 2020; Sarı ve Özyiğit, 2020; Satpathy vd., 2021; Arslan ve Türkdogan, 2022; Bórawski vd., 2023; Brester vd., 2023; Yu vd., 2023; Al-Masri vd., 2023).

Al Safarini vd. (2017) çalışmalarında, tek eksenli güneş takibine sahip bir güneş adası konseptini ele alarak yapı üzerine kurulacak güneş sisteminden elde edilecek gücü tahmin etmek için simülasyon gerçekleştirmişlerdir. PV modüllerinden güç çıkışını simüle etmek için SketchUp Skelion ve PVsyst kullanmışlardır. Analiz, sabit PV güneş sistemi ile karşılaştırılmış ve %14,8 güç verimi artışı göstermiştir.

Baghdadi vd. (2018) araştırmalarında, Fas'ın Tetouan şehrinde 5.94 kWp gücünde şebeke bağlı bir fotovoltaik sistem için PVsyst programı ile amorf, mono-kristal ve poli-kristal PV teknolojilerinin performans analizlerini araştırmışlardır. 2016 yılı üretim verilerini kullanarak üç farklı teknolojiye elde edilen enerji ve nihai verimleri incelemişler, elde ettikleri sonuçlarda mono-kristal teknolojiye sahip sistemi diğer PV teknolojiler ile kıyaslandıklarında daha fazla enerji ürettiği sonucuna ulaşmışlardır.

Dondariya vd. (2018) araştırmalarında, Hindistan'ın Ujjain kentinde 6.4 kWp gücünde şebeke bağlı çatı üstü bir fotovoltaik sistemin fizibilite çalışmasını PV*SOL programını kullanarak yapmışlardır. Araştırmada 320 Wp nominal güce sahip 20 adet mono-kristal PV teknolojisinin enerji üretimi ve performans oranı tespit edilmiştir. Performans analizleri, mono-kristal PV teknolojisi ile yıllık 1528,125 kWh/kWp enerji üretiminin gerçekleştirilebileceğini ve elektrik ihtiyacının yaklaşık %41'in den fazlasının sistemden karşılanabileceğini göstermiştir.

Aldudak (2018) çalışmasında, kurulu bir GES'ten elde edilen sonuçları, PVsyst programı hesaplamalarıyla karşılaştırmıştır. Çalışma program çıktıları ile GES verileri arasındaki tutarlılığı vurgulamaktadır. Yatırımcılara fikir vermesi amacıyla, Türkiye'de farklı şehirler için PVsyst programı ile simülasyon çalışması gerçekleştirilmiş böylece çalışmanın bu bölgelerde geliştirilecek yeni projelere ışık tutması hedeflenmiştir.

Kahraman (2018) çalışmasında, Kütahya bölgesinde seçilen bir lokasyonda güneş ve rüzgâr santralleri için 1 MW kurulu güce sahip iki farklı enerji santralının tekno-ekonomik analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmasında, %50 öz sermaye ve %100 öz sermaye olmak üzere iki farklı finansman durumu için muhtemel santrallerin fizibilite çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Her iki sistemin maliyet araştırmasında HOMER yazılımı kullanılmış, iklim verilerinin ve üretilen enerjileri hesaplanmasında ise RETScreen yazılımı kullanılmıştır. Tasarımları yapılan her iki santralin her biri için iki farklı finansman senaryosu

oluşturulmuştur. Güneş santrali için ilk kurulum maliyetlerinin tamamının %100 öz sermaye ile karşılanması halinde geri ödeme süresi 11 yıl, net bugünkü değer 13642 \$ ve iç karlılık oranı %9,8 olarak hesaplanmıştır. Yatırımın %50'sinin öz sermaye ile karşılanması halinde ise geri ödeme süresi 11 yıl, net bugünkü değer 56467 \$ ve iç karlılık oranı %11,9 olarak hesaplanmıştır.

Ramanan ve Karthick (2019) çalışmalarında, Hindistan'ın güneyinde yer alan Tamil Nadu eyaletinde poli-kristal ve ince film panellerden oluşan şebekeye bağlı bir fotovoltaiik sistemin yıllık performanslarını, PVsyst yazılım programı ile belirleyerek, gerçek ölçüm sonuçlarıyla kıyaslamışlardır. Performans oranlarının belirlenmesinde dizi ve nihai verim, PV verimliliği ve kapasite kullanım faktörleri gibi farklı parametreleri kullanmışlardır. Ölçülen yıllık enerji üretimini, poli-kristal paneller için 1536,9 kWh, ince film için 1698,4 kWh olarak belirlemişlerdir. Yıllık ortalama performans oranını ise poli-kristal ve ince film için sırasıyla %78,48 ve %86,73 hesaplamışlardır. Çalışmalarında, ince film panellerin daha yüksek performans oranına sahip olması nedeniyle poli-kristal panellerden çok daha verimli bir çözüm olduğunu vurgulamaktadırlar.

Ali ve Khan (2020) araştırmalarında, Pakistan'ın Lahore Yönetim Bilimleri Üniversitesinde, poli-kristal ve ince film panellerden oluşan 42 kWp gücünde PV sistemin elektrik üretimini ışınım, sıcaklık, yağış ve tozlanma gibi benzer çevresel koşullarda, PV*SOL yazılım programı ile simüle ederek sonuçları, bir yıllık gerçek ölçüm verileri ile kıyaslamışlardır. Sonuçlar, ince film panellerin gerek yıllık enerji üretimi gerekse performans oranı açısından poli-kristal panellerden daha iyi bir seçim olduğunu göstermiştir. Maliyet analizi açısından ise, poli-kristal panelin düşük elektrik maliyetleri nedeniyle Pakistan'da uygulanabilir bir ticari çözüm haline gelebileceğini vurgulamışlardır.

Dey ve Subudhi (2020) çalışmalarında, PVsyst yazılımı ile Hindistan'ın, Odisha kentindeki bir yapı için 90 kW'lık şebekeye bağlı bir PV sistemin tasarımını, simülasyonunu ve ekonomik analizini sunmuşlardır. Simülasyon sonuçları, üretilen toplam enerjinin 15,67 MWh/yıl olduğunu, 30 yılda 1.100.346,3 Hindistan Rupisi tutarında maliyet tasarrufunun gerçekleştirilebileceğini ve 20 yılda 2199,6 ton CO₂ emisyonunun azaltılabileceğini göstermiştir.

Akcan vd. (2020) çalışmalarında, PVsyst programı ile Batman ilindeki bir okulun enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla çatı tipi FV bir sistem tasarlanmışlardır. Tasarımı yapılan sistemin üreteceği enerji miktarı, sistem performans oranı, sistemde meydana gelen farklı kayıpların analizi üzerine değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Ayrıca okulda üretilen yıllık 35,31 MWh enerjinin şebekeye satılarak gelir elde edilmesi planlanmıştır.

Güner ve Muharremoğlu (2020) çalışmalarında, Adnan Menderes Havalimanının otoparkına kurulabilecek bir fotovoltaik üretim sisteminin (FVÜS) tasarımı ile otoparkın enerji ihtiyacını karşılanıp karşılanmadığının analizini yapmışlardır. Otoparka kurulan FVÜS'nin gücünü 534 kWp olarak hesaplanmışlardır. Çalışma kapsamında 330 Wp gücünde 1617 adet LG330N1C-A5 marka mono-kristal güneş panellerini 21 seri modül ve 77 paralel diziden oluşturmuşlardır. Otoparkın bir aylık saatlik tüketim bilgisini kullanılarak otoparka ait ortalama günlük yük eğrisini elde etmişler ve bu iki bilgiyi karşılaştırılarak havalimanının enerji analizini yapmışlardır.

Türkdoğan vd. (2020) çalışmalarında, 160 kişiden oluşan 40 haneli bir topluluğun şebekeden bağımsız bir şekilde elektrik ve termal yük ihtiyacını karşılamak amacıyla farklı hibrit enerji sistemlerinin tekno-ekonomik analizlerini yapmışlardır. Ortalama 320 kWh/gün elektrik ve 142,47 kWh/gün termal yük ihtiyaçlarının karşılanması ve farklı enerji sistemlerinden üretilen enerjinin birim fiyatının belirlenmesi için HOMER yazılım programını kullanmışlardır. Yapılan çalışmada, elde edilen sonuçlar hibrit sistemde bataryaların etkili bir şekilde kullanılması gerektiğini göstermiştir. Çalışmalarında, seçilen sistemin kurulum maliyetini 215958 \$, işletme maliyetini 18029 \$ ve projenin net bugün ki değer maliyetini 598958 \$ olarak hesaplamışlar ve birim enerji maliyetinin 0,164 \$ seviyelerine düştüğü görmüşlerdir.

Yağlı ve Koç (2020) çalışmalarında, Gaziantep'te kurulacak bir GES'te panellerin optimum açılarını belirlenmeyi amaçlamışlardır. Optimum açının belirlenmesinde, literatür çalışmalarını dikkate alarak gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği öngörüsüyle Perez Transpozisyon modeliyle elde edilen transpozisyon faktörlerini kullanılmışlardır. Transpozisyon faktörleri göz önünde bulundurulduğunda optimum açı değerini 31° olarak elde etmişlerdir. PVsyst programı ile farklı panel açılara göre üretim değerlerini karşılaştırmışlar, 30°'lik panel eğim açısında üretilen enerji miktarının 31°'lik panel eğim açısına göre farkının dikkate değer olmadığını belirlenmişlerdir.

Sarı ve Özyiğit (2020) çalışmalarında, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Yerleşkesinde PVsyst programı ile poli-kristal ve mono-kristal panellerden oluşan 0,999 MW gücünde iki ayrı GES tasarlamışlardır. Bu iki GES kurulum maliyeti, enerji üretimi ve karlılık açısından karşılaştırmışlardır. Mono-kristal panellerin kurulum maliyetinin, poli-kristal panellerden daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Buna karşın mono-kristal panel veriminin yüksek olması nedeniyle sistemin kullanım ömrü sonunda elde edilen kazancın daha fazla olacağını yaptıkları maliyet analizleriyle belirlemişlerdir. Poli-kristal paneller için oluşturulan sistemde ilk kurulum maliyetlerinin mono-kristal paneller için

oluşturulan sisteme göre çok daha düşük olması nedeniyle daha düşük amortisman sürelerine ulaşıldığını tespit etmişlerdir.

Satpathy vd. (2021) çalışmalarında, Hindistan'ın yeşil şehri Bhubaneswar'da bulunan bir konut için şebekeye bağlı bir PV sistemi önermişlerdir. Araştırmada, PVsyst ve SketchUp Skelion yazılımlar ile PV sisteminin 3B tasarımı, gölgeleme ve performans analizlerini yapmışlardır.

Arslan ve Türkdöğün (2022) Skelion ve PVGIS programları ile Yalova genelindeki bazı kamu kurumlarına ait binaların güneş enerjisi potansiyellerini analiz etmişlerdir. Çalışmalarında, kamu binalarının mevcut ve geliştirilmiş mimarili halleriyle elde edilebilecek elektrik enerji potansiyelini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar, ülkemizde geçmişten günümüze mimari çizimlerde güneş enerji potansiyelinin dikkate alınmadığını ancak gelecekte yeni inşa edilecek binaların mimari çizimlerinde güneş enerjisinin dikkate alınması gerektiğini ve bu sayede ülkemize kazandırılacak enerji miktarının yüksek olacağını vurgulamışlardır.

Bórawski vd. (2023) araştırmalarında, Avrupa Birliği (AB) ülkelerindeki PV enerjisi tüketimini karşılaştırarak AB'de PV enerjisi kullanımının bir analizini sunmuşlardır. Araştırmada sonuç olarak; AB ülkelerinde PV'lerin gelişiminde büyük bir artış olduğu, en büyük PV üreticilerinin Almanya, İtalya ve İspanya, en küçük PV üreticilerinin ise Letonya, Bulgaristan ve Litvanya olduğu görülmüştür.

Brester vd. (2023) araştırmalarında, sayısal hava tahmini verileri ve hava durumu gözlemleri kullanılarak sahaya özgü güneş PV tahmininde yapay sinir ağı (YSA) modellerini değerlendirmişlerdir. Araştırmada, doğu Finlandiya'daki üç bölgeden elde edilen güneş PV çıktı verileri, tarihsel hava durumu gözlemleri ve tarihsel sayısal hava tahmini verileri kullanılmıştır. Sonuçlar, gözlemsel verilerle eğitilen YSA'nın, sayısal hava tahmini verileriyle eğitilen YSA'ya kıyasla performansında hafif bir düşüşe yol açsa da, yine de fiziksel bir modelden daha iyi performans sağladığını göstermiştir.

Yu vd. (2023) Çin'deki 449 şehirde, PV güç üretim potansiyelini ölçmek için Coğrafi Bilgi Sistemlerinin mekansal analiz araçlarına ve Google Earth Engine'e dayalı bir bölgesel karar destek modeli önermişlerdir.

Al-Masri vd. (2023) araştırmalarında, enerji üretimi, güvenilirlik, ekonomik fizibilite, ekolojik etki, ayak izi alanı ve diğer performans göstergeleri açısından şebekeye bağlı tek yüzeyli ve çift yüzeyli güneş fotovoltaik sistemleri arasında optimum bir enerji yönetimi ve kapsamlı bir karşılaştırma sunmuşlardır.

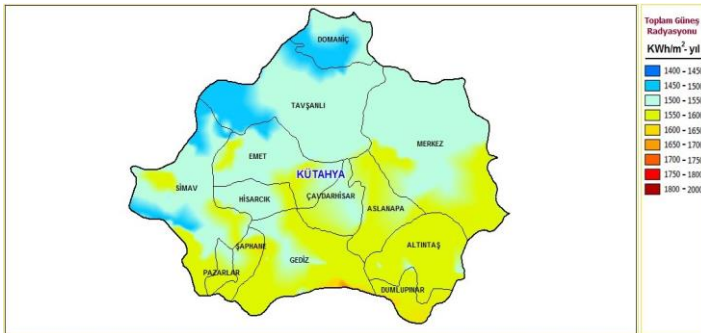
MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi için fotovoltaik güneş enerjisi sisteminin tasarımı, simülasyonu ve ekonomik analizi için PVsyst yazılımı kullanılmıştır.

PV sistemlerin simülasyonunu ve analizlerini yapan PV*sol, Helioscope, Polysun ve PVsyst gibi programlar ile PVGIS gibi online veri tabanı platformu mevcuttur (Ceylan ve Taşdelen, 2018). PVsyst programı, İsviçre'nin Cenevre Üniversitesince geliştirilmiş, şebeke bağlı veya şebekeden bağımsız PV sistemler, PV sulama sistemleri ve DC şebekeler gibi fotovoltaik sistemlerin tasarımlarının yapılp sonuçlarının analiz edilmesi amacıyla kullanılan bir simülasyon aracıdır. PVsyst programı benzerleriyle kıyaslandığında farklı parametrelerin kullanımına imkân sağlamakla birlikte, PV sistemlerin daha ayrıntılı şekilde boyutlandırılmasına ve simülasyonlarının yapılmasına olanak sağlamaktadır. Programda ayrıca güneş ışınım değerlerine, bölgenin kirlilik ve yer yansıma oranlarına, panel yerleşim planlarına, bölgenin meteorolojik verilerine, güneş panellerinin ve inveterlerin özelliklerine, panellerden kaynaklı yıllık güç düşümü oranlarına, şebeke özelliklerine, sistemde kullanılacak kablo mesafeleri gibi pek çok detay yer almaktadır. PVsyst programı, benzerlerine göre gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir (Girgin, 2011).

Kütahya'da Güneş Enerjisi Potansiyeli

Kütahya ili Tavşanlı ilçesine düşen yıllık ışınım miktarı, Şekil 1'de verilen Kütahya ili toplam güneş radyasyonu haritasından görüldüğü üzere 1450-1550 KWh/m²'dir. Ülke ortalamasının 1527,46 kWh/m²-yıl olduğu düşünülürse Tavşanlı ilçesi güneş enerjisi alanında yatırım yapmaya uygun görülmektedir.



Şekil 1: Kütahya'nın Güneş Radyasyonu Haritası (EİGM, 2023)

Tavşanlı ilçesinin güneşlenme ve ışınım değerleri Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1: Tavşanlı'nın Güneşlenme ve Işınım Değerleri (EİGM, 2023)

Güneşlenme süresi (Saat/yıl)	Toplam radyasyon değeri (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme süresi (saat/gün)	Toplam radyasyon değeri (kWh/m ² -gün)
2584	1464	7,08	4,01

Tablo 1 incelendiğinde, yıllık güneşlenme süresi 2584 saat, yıllık ışınım değeri 1464 kWh/m²-yıl, günlük ortalama güneşlenme süresi 7,08 saat ve günlük ortalama ışınım değeri 4,01 kWh/m²-gün olarak görülmektedir.

İklim şartları açısından Tavşanlı ilçesi, İç Anadolu'nun karasal iklimiyle Ege Bölgesinin ılıman iklim özelliklerine sahip bir iklim türüne sahiptir. Bölgede yaz ayları kurak ve sıcak, kış ayları soğuk ve yağışlı geçer, en çok yağışın alındığı mevsim ilkbahardır. Ortalama yıllık yağış miktarının 611 mm/yıl olduğu dikkate alınırsa bölgemizde yağış miktarının oldukça düşük olduğu ortaya çıkmaktadır. Sıcaklık değerleri-28.1°C ile +39.5°C arasında değişmektedir. Tavşanlı ilçesinin rakımı 859 metredir (Anonim, 2023).

Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi Elektrik Tüketimi

Çalışma kapsamında Dumlupınar Üniversitesi İdari ve Mali İşler Daire Başkanlığı'ndan alınan verilere göre Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesinin 2022 yılı için aylık elektrik tüketim değerleri ve fatura tutarları Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2: Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi 2022 Yılı Elektrik Tüketim ve Fatura Tutarları (ZOREN, 2022)

Aylar	Elektrik Tüketimi (kWh)	Fatura Tutarı (TL)
Ocak	8.620,17	22.412,44
Şubat	6.648,15	17.152,22
Mart	9.514,41	22.549,15
Nisan	8.268,27	21.497,50
Mayıs	7.959,15	20.057,05
Haziran	5.147,40	16.729,05
Temmuz	4.276,62	13.899,01
Ağustos	4.345,60	14.123,20
Eylül	4.734,78	20.017,10
Ekim	7.622,43	32.225,30
Kasım	6.983,32	29.523,38
Aralık	9.324,68	39.421,94
Toplam	83.444,98 (kWh/yıl)	269.607,34 (TL/yıl)

Tablo 2 incelendiğinde Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesinin yıllık 83.444,98 kWh elektrik tüketimine karşılık 269.607,34 TL elektrik faturası ödediği görülmektedir.

Fotovoltaik Sistem Tasarımı

Çalışma kapsamında, Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesinin günlük ortalama elektrik enerjisi ihtiyacının belirlenmesinde Tablo 2’den 2022 yılında en yüksek elektrik tüketim oranı 9.514,41 kWh ile Mart ayında görülmektedir. OGET değeri, ortalama günlük elektrik tüketim değeri olup;

$$\text{OGET} = \text{AET}/30 \quad (1)$$

Eşitliği ile hesaplanır (Alahmad ve ark, 2023). Eşitlikteki AET aylık elektrik tüketim değeridir.

Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesinin toplam çatı alanı 1550 m²’lik düz çatı olup fotovoltaik sistem kurulumuna uygundur. Şekil 2’de Uygulamalı Bilimler Fakültesinin uydu görüntüsü görülmektedir. Şekil 2’den görüldüğü üzere çatı yüzeyi 3 parça halindedir. Bu bölümler A, B ve C harfleri ile belirtilmiştir.



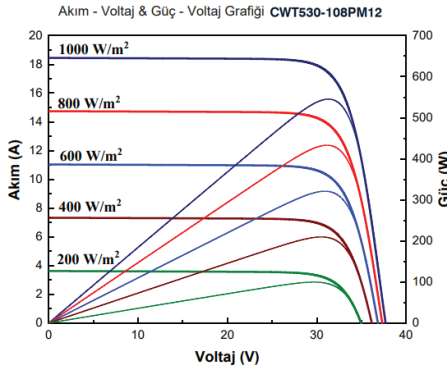
Şekil 2: Çalışma Alanının Uydu Görüntüsü

Kurulumu önerilen sistem için tüketim ile üretim değerlerini dengelemek ve sistemi boyutlandırmak için sistemin kullanılacağı alanın büyüklüğü kadar seçilen fotovoltaik panel ve inverter parametreleri de önemlidir. Kurulumu

önerilen sistem için yerel üretici CW Enerji'nin CWT530-108PM12 modeli seçilmiştir.120 adet panel sabit eğik sistemde 38°'lik eğim açısı ve 0°'lik azimut açısı ile güneye bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Seçimi yapılan panellerin katalog bilgileri Tablo 3'de, elektriksel özellik grafiği ise Şekil 3'de görülmektedir.

Tablo 3: CWT530-108PM12 panele ait katalog bilgileri (CW Enerji, 2023)

Elektriksel Özellikler		Mekaniksel Özellikler	
Maks. Güç (Pmax)	530 Wp	Hücre Teknolojisi	Monokristal
Modül verimliliği (%)	20,70	Hücre Boyutu	210x105
Maks. Güç Gerilimi (Vmp)	30.7	Hücre Sayısı (adet)	108 (6x18)
Maks. Güç Akımı (Imp)	17.27	Ağırlık (kg)	28.5
Açık Devre Gerilimi (Voc)	37.0	Panel Boyutu (mm)	1965x1303x35
Kısa Devre akımı (Isc)	18.28	Panel Kalınlığı	40 mm
Güç Toleransı	0~+5W	Maks. Rüz./Kar Yüğü Day. (Pa)	2400/5400
Maks. Sistem Anma Gerilimi	1500V DC	Bağ. Kutusu Koruma Sınıfı	IP68
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40~+85°C	Bağ. Kutusu Kablo Boyu (mm)	350-1600
Maks. Seri Sigorta Akımı	30A		



Şekil 3: CWT530-108PM12 Panel Elektriksel Özellikler Grafiği (CW Enerji, 2023)

Fotovoltaik sistem tasarımında yatay düzlemdeki bölgesel güneş ışınım değeri, panel sayısını belirlemek için kullanılır. PS değeri, sistemde kullanılacak panel sayısı olup;

$$PS=GEİ*SV/PG*GOGS \quad (2)$$

Eşitliği ile hesaplanır (Alahmad ve ark, 2023). Eşitlikteki GEİ günlük enerji ihtiyacını, SV sistem verimliliğini, PG panel gücünü, GOGS günlük ortalama güneşlenme süresini ifade etmektedir. Sistem veriminin (SV) yaklaşık 0,87

olduğu varsayılmaktadır. SKG değeri, tasarımı yapılan sistemin kurulu gücü olup;

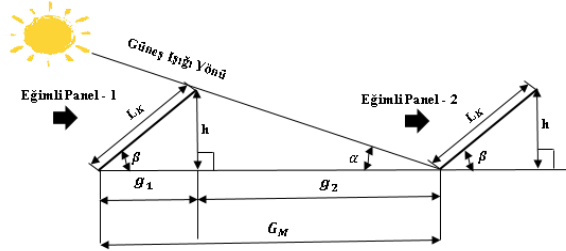
$$SKG=TPS*PG \quad (3)$$

Eşitliği ile hesaplanır (Alahmad ve ark, 2023). Eşitlikteki TPS toplam panel sayısını, PG ise panel gücünü ifade etmektedir.

Fotovoltaik panellerin eğim açısı, bölgenin enlem değeri dikkate alınarak hesaplanır. Enlem değeri 25°'den küçük ise bu açı 0,87 ile enlem değeri 25° ile 50° arasında ise 0,87 ile çarpılıp 3,1° değeri eklenir (Alahmad ve ark, 2023). Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi çatısına kurulacak güneş enerjisi sistemi, Enlem: 39° 56' 82" Kuzey ve Boylam: 29° 45' 93" Doğu koordinatlarına kurulacaktır. Güneş panelleri, maksimum güneş ışığını yakalamak için güneşe bakacak şekilde konumlandırılacaktır. Güneş panelleri dizeler şeklinde yerleştirilirken her dizenin eğim açısından dolayı bir yükseklik değeri vardır. Bu yüksekliğe bağlı olarak öndeki panel dizesi, arkasındaki dizenin gölgelenmesine neden olur. PE, panel eğimi olup;

$$PE=\varphi*0,87+3,1 \quad (4)$$

Eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikteki φ enlem değerini ifade etmektedir (Alahmad ve ark, 2023). Şekil 4'de panellerin yatay yerleşim şekli görülmektedir.



Şekil 4: Panellerin Yatay Yerleşim Şekli

Şekil 4'de panellerin yatay yerleşim şeklinde gösterildiği gibi β eğim açısı ile yerleştirilen paneller için iki panel dizesi arasındaki mesafe, panelin yükseklik değerinin yaklaşık 3 katına eşit olmalıdır. Güneşin derece cinsinden minimum yüksekliği (h_s) olup;

$$h_s=90^\circ-\varphi-23^\circ \quad (5)$$

Eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikteki φ konumun enlem değeridir.

Fotovoltaik sistem için seçilen panelin boyu 1,965 m, eni ise 1,303 m olup panel eğim açısı 38° derece olmakta ve panellerin yatay olarak yerleştirilmesinde panel yüksekliği h olup;

$$h=L_K * \sin(\beta) \quad (6)$$

Eşitliği ile hesaplanır (Alahmad ve ark, 2023). Eşitlikteki L_K değeri panelin enini, β açısı ise panel eğim açısını ifade etmektedir.

Birbirini takip eden güneş panelleri arasındaki mesafe G_M olarak ifade edilir.

$$G_M = g_1 + g_2 \quad (7)$$

Eşitliği ile hesaplanır.

g_1 , önde bulunan güneş panelinin yatay mesafesidir.

$$g_1 = L_K * \cos(\beta) \quad (8)$$

Eşitliği ile hesaplanır.

g_2 , güneş panellerinin en yakın uç noktalarının yatay mesafesidir.

$$g_2 = h / \tan(\alpha) \quad (9)$$

Şeklinde hesaplanır. Burada h , açısı ayarlanmış güneş panelinin yüksekliği, α ise dizi halindeki panellerin güneşi direkt görmeye başladıkları güneş yükseklik açısıdır. Birbirini takip eden güneş panelleri arasındaki mesafe G_M değeri,

$$G_M = L_K * \cos(\beta) + L_K * \sin(\beta) / \tan(\alpha) \quad (10)$$

Eşitliği ile hesaplanır (Küçüköze, 2016).

Şekil 2'den de görülebileceği gibi üç ayrı bölüm olarak kabul edilen Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi çatı alanları ve uygulanabilecek panel sayıları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi Kullanılabilir Net Çatı Alanları ve Panel Sayısı

Çatı Bölümü	Çatı Alanı (m ²)	Panel Sayısı	Panel Alanı (m ²)
A	645	60	540
B	310	-	-
C	595	60	540

Kurulumunu önerdiğimiz güneş santralinde Huawei SUN2000-30KTL-M3 inverterler kullanılmıştır. Tablo 5'te seçimi yapılan inverterlerin katalog bilgileri görülmektedir.

Tablo 5: Huawei SUN2000-30KTL-M3 inverter katalog bilgileri (Huawei, 2023)

Elektriksel Özellikler			
PV Giriş Verileri		PV Çıkış Verileri	
Maks. giriş gerilimi (V)	1100	Nom. AC aktif güç (W)	30000
Maks. MPPT başına akım (A)	26	Maks. AC görünür güç (VA)	33000
Maks. MPPT başına kısa devre akımı (A)	40	Nom. çıkış gerilimi (Vac)	230
Başlangıç gerilimi(V)	200	Nom. AC şebeke frek. (Hz)	50 /60
MPPT çalışma gerilim aralığı (V)	200-1000	Nom. çıkış akımı (A)	43.3
Nom. Giriş gerilimi (V)	600	Maks. çıkış akımı (A)	47.9
Giriş sayısı	8	Güç faktörü aralığı	0.8 LG...0.8 LD
MPP izleyici sayısı	4	Mak. toplam harmonik bozulma	< 3%
Mekaniksel Özellikler			
Maksimum verim (%)	98,7	Boyutlar (GxYxD) (mm)	640x530x270
Soğutma tipi	Konveks.	Ağırlık	43 kg
Sıcaklık aralığı	-25~+60°C	Koruma sınıfı	IP66

Ekonomik Analiz

01/06/2023 tarihli Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankasının Tablo 6’da verilen kur verileri dikkate alınarak maliyet araştırması yapılmış ve Tablo 7’de verilen yaklaşık maliyet tablosu oluşturulmuştur. Santralin %100 öz sermaye ile kurulması durumu, PVsyst simülasyon programının ekonomik değerlendirme sekmesi kullanılarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında, PVsyst programı ile karbondioksit salınımı miktarı da tespit edilmiştir.

Tablo 6: Kur Değerleri (TCMB, 2023)

ABD Doları (\$) / TL
20,75

Tablo 7: Maliyet Tablosu

Kurulum Maliyet Unsurları	Tutar (\$)
PV Modül	44.880
İnverter	7.936
Kablolar AC-DC	1000
Solar Sehpa	582
Solar Konnektör	288
Sayaçlar (Üretim sayacı ve çift yönlü sayaç)	400
İşçilik + Nakliye	7830
Diğer Maliyetler (Mühendislik, onay bedeli, uzaktan izleme, beklenmeyen giderler v.s)	1450
İşletme Maliyet Unsurları	Tutar (\$)
Bakım-Onarım, Temizleme	1536,33 \$/ yıl

Ekonomik analiz için Tablo 8'deki kabuller yapılmış, alım garantisi sonunda elektrik birim fiyatında % 40'lık bir düşüş öngörülmüştür.

Tablo 8: Yapılan kabuller

YEKDEM alışı fiyatı (10 yıllık)	0,133 \$/ kWh
Alım garantisi sonunda satış fiyatı	% 40 düşüş öngörülmüştür
Elektrik satış oranı	% 100
Proje ömrü	25 yıl
Yıllık üretimdeki azalma	% 0,7
KDV	% 0

BULGULAR VE TARTIŞMA

Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi'nin elektrik enerjisi tüketim miktarı belirlendikten sonra santralin tasarımı, simülasyonu, performans ve ekonomik analiz işlemleri için PVsyst programı kullanılmıştır. Uygulamalı Bilimler Fakültesinin çatısına kurulumu önerilen güneş santrali 63,6 kWp kurulu güce sahiptir. Çalışma, güneş enerjisi santraline ilişkin boyutlandırma, tasarım, coğrafi konum, bileşen seçimi, yönlendirme, yerleştirme, gölgeleme değerlendirilmesi, performans ve ekonomik analiz aşamalarını içermektedir. Şekil 5'te çalışmada uygulanan yöntemin iş adımları görülmektedir.



Şekil 5: Çalışmada Uygulanan Yöntemin İş Adımları

Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesine ait bina, mimari projeye uygun olarak SketchUp yazılımında 3B olarak modellenmiştir. Fotovoltaik sistemin 3B tasarım modelini oluşturmak ve güneş panellerinin optimal yerleşimi için SketchUp yazılımı ve Skelion v5.4.2 eklentisi kullanılmıştır. SketchUp, 3B modelleme için geliştirilmiş bir yazılımdır. Skelion, PV sisteminin 3B olarak oluşturulmasına izin veren bir SketchUp eklentisidir. Düz veya engebeli alanlar gibi herhangi bir nesne için PV sistemlerini tasarlama yeteneğine sahiptir (Zsiborács vd., 2021). Şekil 6'da PVsyst programının ana ekran görüntüsü görülmektedir.

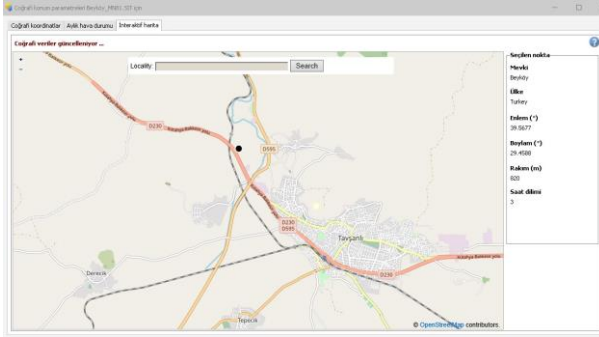


Şekil 6: PVsyst Programının Ana Ekran Görüntüsü

Kurulumunu önerdiğimiz santral şebekeye bağlı (on-grid) bir güneş santralidir. Santralin lisansız olarak kurulumu düşünüldüğünden, Tablo 1'de verilen ilçenin ortalama güneş radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) ile Tablo 2'de verilen yerleşkenin yıllık elektrik tüketim değerleri dikkate alınarak güneş enerjisi santralının kurulu gücü 63.6 kWp olarak tasarlanmıştır. Santralin PVsyst programı kullanılarak yapılan simülasyonu 8 ana adımda gerçekleştirilmiştir. Bu adımlar aşağıda belirtilmiştir.

Coğrafi Konum ve Meteorolojik Verilerin Aktarılması

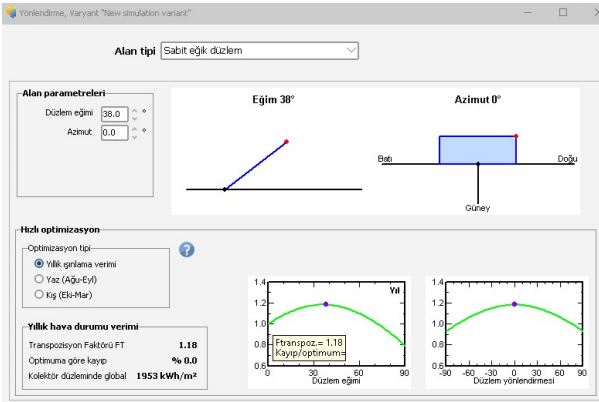
Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi çatı üstü güneş enerjisi santrali, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı yerleşkesinde Enlem: $39^{\circ} 56' 82''$ Kuzey ve Boylam: $29^{\circ} 45' 93''$ Doğu koordinatlarına kurulacaktır. Kurulumu önerilen santralin, coğrafi konumuna ait meteorolojik veriler, Şekil 7'de gösterildiği gibi PVsyst simülasyon programının Databases bölümündeki Geographical Sites sekmesi ile işaretlenmiş ve programın sunduğu Meteororm 7.2 veri tabanından sentetik olarak üretilmiştir.



Şekil 7: Meteorolojik Verilerin Aktarılması

PV Güneş Panel Açılarının Belirlenmesi

PV güneş panelleri sabit eğik sistem olarak tasarlanmıştır, PVsyst simülasyon programında Orientation sekmesi kullanılarak panel eğim açısı 38° ve azimut açısı 0° olarak konumlandırılmıştır. Şekil 8'de PV paneller için oluşturulan panel ve azimut açıları görülmektedir.



Şekil 8: PV Paneller İçin Panel ve Azimut Açısı Ekran Görüntüsü

Sistem Bölümü

Bu bölümde, güneş panelleri, inverterler, seri ve paralel dizelere ait bilgilerin PVsyst simülasyon programına tanıtılması açıklanmaktadır. Sistem bölümüne ait ekran görüntüsü Şekil 9’da verilmiştir.

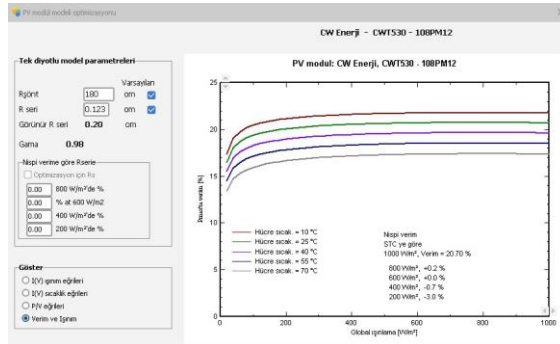
The screenshot shows the 'Sistem Bölümü' (System Section) of the PVsyst software. It is divided into several sections:

- Alt alan (Sub-area):** Includes 'Alt dizinin ismi ve yönü' (Sub-array name and orientation) with 'İsim: PV Array' and 'Yön: Sabit eğik düzlem'. It also shows 'Eğim: 38°' and 'Azimut: 0°'. There is a section for 'Ön boyutlandırma yardımı' (Preliminary dimensioning assistance) with options for 'Boyutlandırma' and 'Boyutlandır'.
- PV modül seçimi (PV module selection):** Shows 'Mevcut' (Current) and 'Filtre: Tüm PV modüller' (Filter: All PV modules). It lists 'Gereken tahmini modül sayısı: 113' (Estimated number of modules required: 113). The selected module is 'CW Enerji' with '530 Wp 26V Si-mono CWT530 - 108PM12'. It also shows 'Gerilim boyutlama: Vmp (60°C) 26.6 V' and 'Voc (-10°C) 40.7 V'.
- Invertör seçimi (Inverter selection):** Shows 'Mevcut' (Current) and 'Çıkış gerilimi 480 V Trf 50Hz'. The selected inverter is 'Huawei Technologies' with '30 kW 200 - 1000 V TL 50/60 Hz SUN2000-30KTL-M3-480V'. It also shows 'İnvertör sayısı: 2' and 'Çalışma gerilimi: 200-1000 V'. It includes a 'Multi-MPPT kullanımı' (Multi-MPPT usage) section and a 'İnvertörde güç paylaşımı' (Power sharing in inverter) section.
- Dizi boyutlandırması (String dimensioning):** Shows 'Modül ve zincir sayısı' (Module and string count) with 'Seri mod. sayısı: 12' and 'Zincir sayısı: 10'. It also shows 'İşletme koşulları' (Operating conditions) with 'Vmp (60°C) 320 V', 'Vmp (20°C) 374 V', and 'Voc (-10°C) 489 V'. It includes a 'Yüzeysel güç' (Surface power) section with 'Yüzeysel güç: 1000 W/m²' and 'İmp (STC) 173 A', 'Isc (STC) 183 A', and 'Alan nominal gücü (STC) 63.6 kWp'.

Şekil 9: Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi Çatı Üstü PV Sistem Bilgileri Ekran Görüntüsü

PV Güneş Panelleri

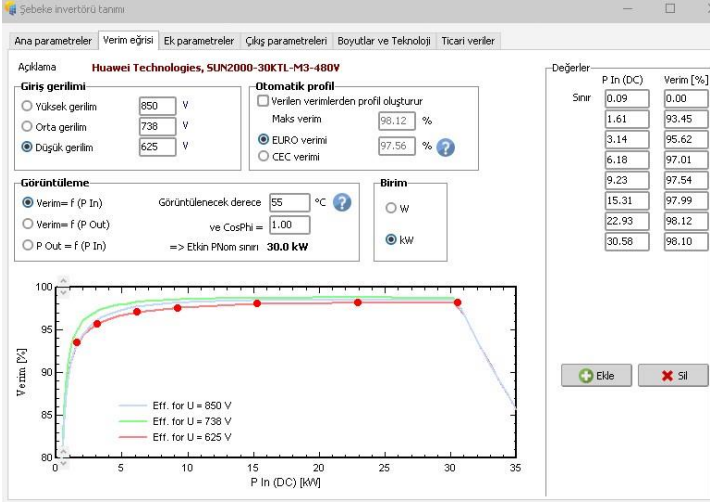
Kurulumunu önerdiğimiz santralde, CW Enerji'nin CWT530-108PM12 modeli kullanılmıştır. 120 adet panel, sabit eğik sistemde, 38°'lik eğim açısı ile güneşe bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 10'da PVsyst simülasyon programından elde edilen PV hücre sıcaklık/verim grafiği görülmektedir.



Şekil 10: PV Hücre Sıcaklık/Verim Grafiği

İnverterler

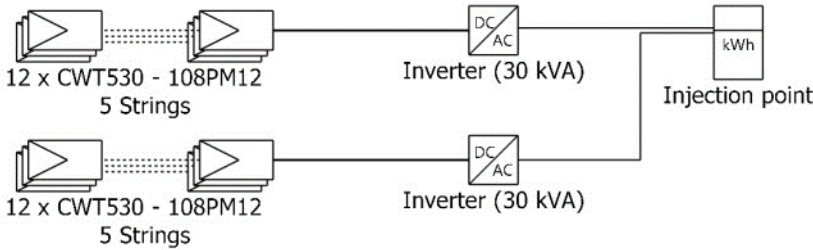
Kurulumunu önerdiğimiz güneş santralinde, Huawei SUN2000-30KTL-M3 tipindeki inverterler kullanılmıştır. Şekil 11’de PVsyst simülasyon programından elde edilen, inverterlere ait verimlilik eğrisi görülmektedir.



Şekil 11: İnverter Verimlilik Eğrisi

PV Şebeke Sisteminin Tanımı

Şekil 12’de PVsyst simülasyon aracından elde edilen fotovoltaik sistemin tek hat şeması görülmektedir. Şebeke bağlantılı bu sistem, paneller, inverterler, güç koşullandırma ünitesi ve şebeke bağlantı ekipmanlarından oluşmaktadır.



Şekil 12: Şebekeye Bağlı PV Sistemin Tek Hat Şeması

Sistemin temel bileşenleri PV paneller ve inverterlerdir. PV paneller üzerinden geçen akım ve voltajdan DC güç üretilir. İnverterler ise panellerde üretilen DC gücü AC güce çevirir ve inverterlerden çıkan AC güç şebekeye

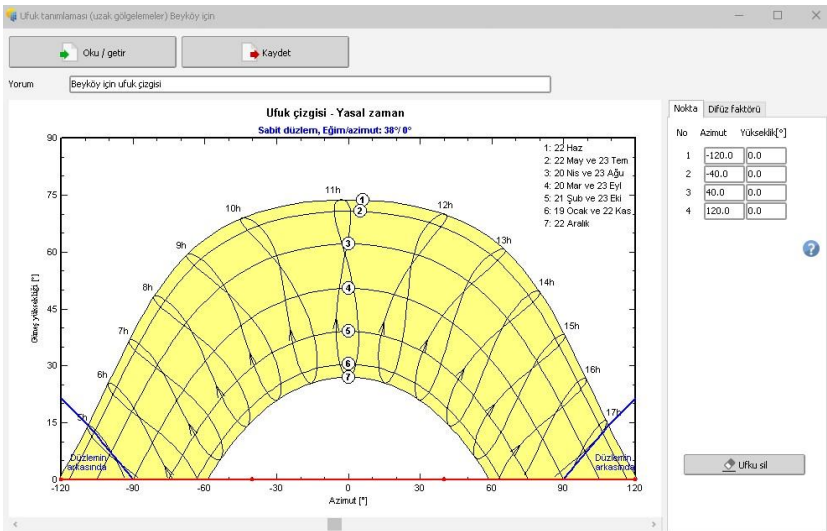
verilir. Şebeke bağlantılı PV sistemlerde inverter, her zaman şebeke fazına uygunluğu sağlayacak şekilde çalışır (Kumar vd., 2017).

Santral tasarımında, Tablo 3'te katalog bilgileri verilen CWT530-108PM12 modelindeki güneş panellerinden 120 adet kullanılmıştır. Şekil 12'de sistemin tek hat şemasında görüldüğü gibi 12'şer adet panel seri şekilde bağlanarak 10 adet string meydana getirilmiştir. 5'er adet string paralel bağlanarak 2 adet array oluşturulmuştur. Her array çıkışına 1'er adet olmak üzere, Tablo 5'te katalog bilgileri verilen Huawei SUN2000-30KTL-M3 modelindeki inverterlerden toplam 2 adet inverter kullanılmıştır. Montajı, bakımı ve sevkiyatının kolaylığı nedeniyle dizi inverter tercih edilmiştir.

PVsyst simülasyon programı, panel açılarının belirlenmesi ve sistem bölümüne ait panel ve inverter verilerinin sisteme aktarılmasından sonra diğer bölümlere ait verilerin sisteme aktarılmasına gerek duyulmadan sistemin varsayılan değerleri dikkate alınarak sistemdeki verilere göre simülasyonun yapılmasına izin verir. Fakat ayrıntılı bir analiz yapılmak istenirse çeşitli santral kayıplarının ve ufuk çizgisi bilgisinin de sisteme tanıtılması gerekir.

Ufuk Çizgisi Bölümü

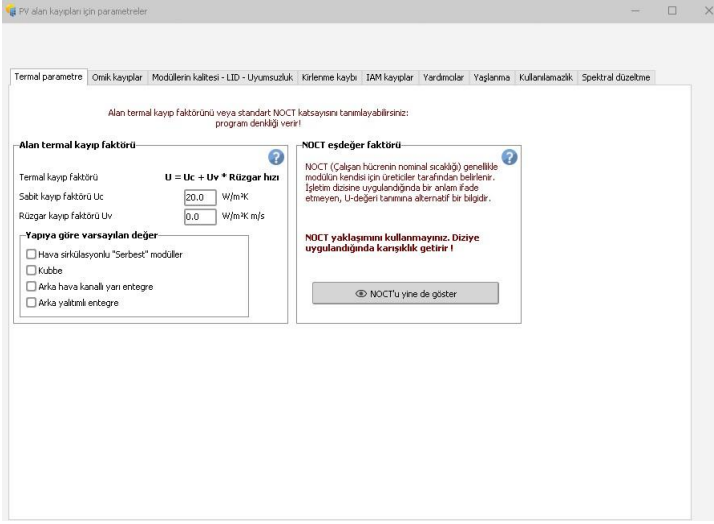
Bu bölümde, kurulumu önerilen güneş santraline ait ufuk çizgisi bilgilerinin sisteme aktarılmasından sonra Şekil 13'teki ekran görüntüsü elde edilir.



Şekil 13: Ufuk Çizgisi Diyagramının Ekran Görüntüsü

Sistem Kayıplarını Modelleme

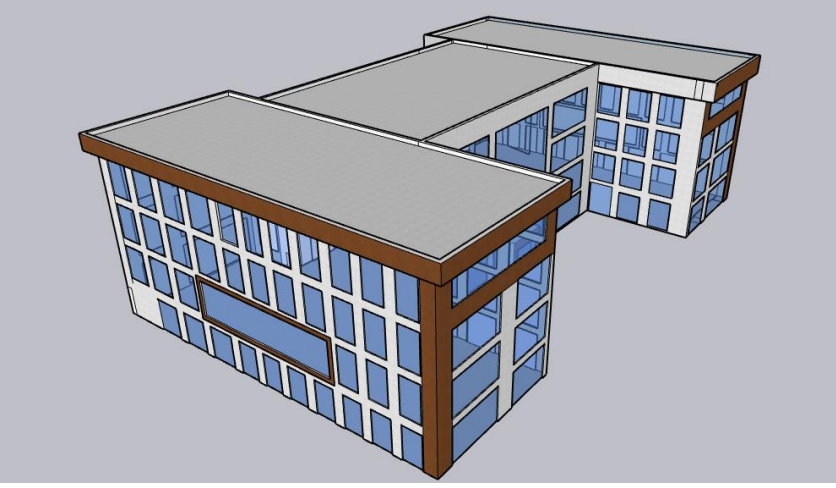
Bu bölümde, termal yük kayıpları, kablolamalardan kaynaklı omik kayıpları, panel uyumsuzluk kayıpları, panellerin tozlanma ve karlanmaya bağlı kayıpları, sistemde kullanılan harici ekipman kayıpları, panel yaşlanma kayıpları gibi santral kayıpları sisteme aktarılır. Şekil 14’de PVsyst simülasyon programından alınan kayıplar bölümü ekran görüntüsü görülmektedir.



Şekil 14: Kayıplar Bölümünün Ekran Görüntüsü

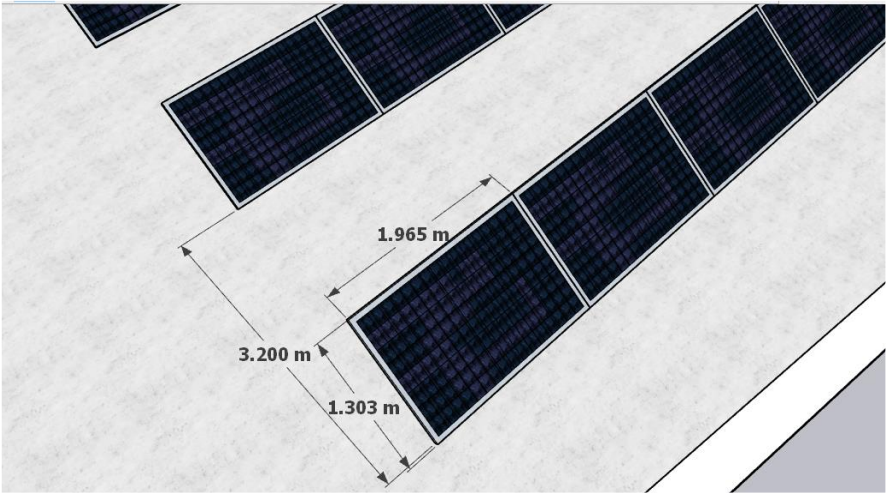
PV Modül Yerleştirme ve Gölge Analizi

Bu bölümde ilk olarak SketchUp programı ile Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi Binası 3B olarak modellenmiştir. Çalışma alanını 3B modellemek için binanın konumu seçilmiş ve uydu görüntüsü SketchUp’a yüklenmiştir. Çalışma alanının 3B modeli, onaylı mimari proje esas alınarak oluşturulmuştur. Oluşturulan 3B modele gerçekçi görünüm kazandırmak ve yapının görselliğini artırmak için yapının dış cephesi orijinal dokusunda renklendirilmiştir. Şekil 15’te çalışma alanının 3B modeli görülmektedir.

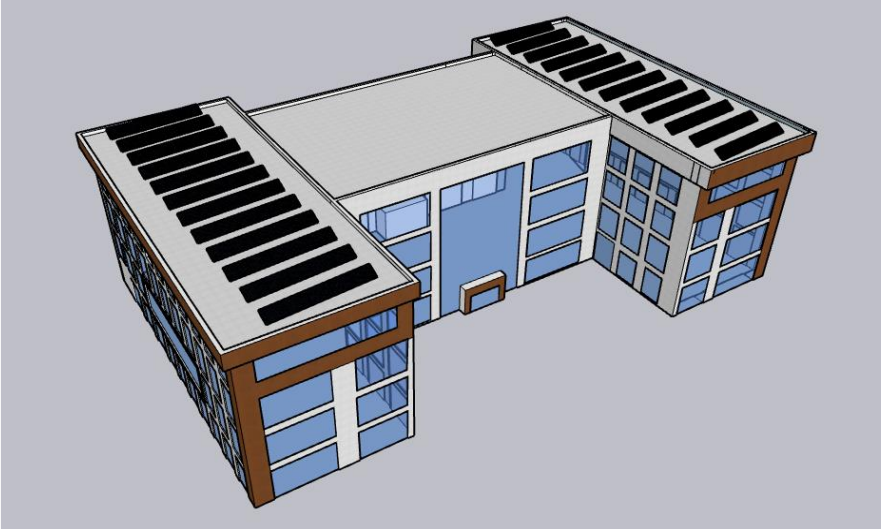


Şekil 15: Çalışma Alanının 3B Modeli

Daha sonra PV sisteminin 3B tasarım modeli SketcUp'ın Skelion v5.4.2 eklentisi ile yapılmıştır. Şekil 16'da ve Şekil 17'de görüldüğü gibi 120 adet panel yerleşiminin 3B çizimi; seri halde bağlanan 12 adet güneş panelleri arasındaki mesafe 3,2 m ve çatının A ve C bölümlerine eşit şekilde yerleştirilen panellerin toplam yerleşim alanı 1080 m² olacak şekilde tasarlanmıştır.

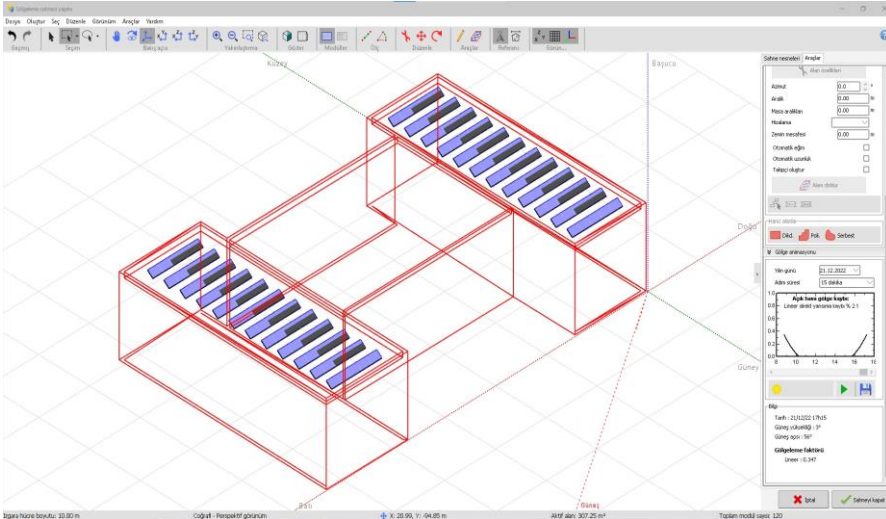


Şekil 16: Panellerin boyutlandırılması



Şekil 17: Panellerin 3B Olarak Yerleşimi

Bir sonraki aşama, çalışma alanına kurulumu ön görülen PV sistemin simülasyonunu içermektedir. PV sistemin 3B tasarım modeli Sketchup yazılımından “dae” uzantılı dosya olarak kaydedilerek PVsyst yazılımına aktarılmıştır. Tasarımı yapılan güneş panellerinin kurulacağı alanda gölgelemeye sebep olacak bir unsur bulunmamasına rağmen panellerin yerleşiminden kaynaklanan bir gölgeleme olabileceği düşünülerek Şekil 18’de görülen gölgeleme analizi PVsyst simülasyon programı ile gerçekleştirilmiştir.

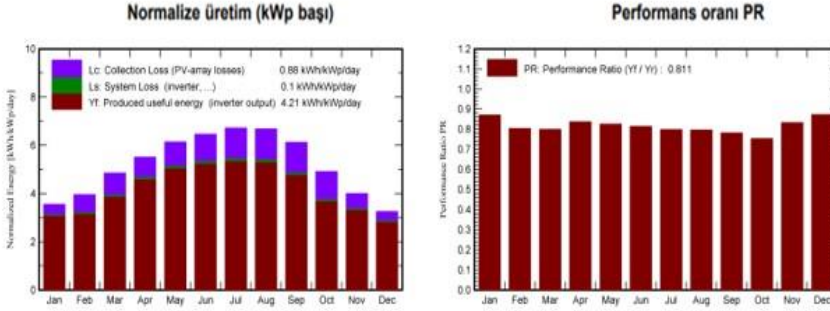


Şekil 18: Panellerin Gölgeleme Analizinin Ekran Görüntüsü

Şekil 18 incelendiğinde sabah saat 10:15'ten önce, akşamüstü saat 15:45'den sonra %2,1 oranında panel yerleşimine bağlı bir gölgelenmenin olduğu görülmektedir.

Simülasyon Bölümü

PVsyst simülasyon programı, ana ekran üzerindeki Report sekmesi kullanıldığında kurulumu önerilen santrale ait tüm verilerin analizlerini rapor ve tablolar halinde yapabilmektedir. Bu sayede santralin kurulum yeri bilgisine, panel açısı bilgisine, panel ve inverter bilgilerine, PV sistemin kayıp bilgilerine, ufuk çizgisi veri ve grafiğine, üç boyutlu panel yerleşimlerine, gölgelenme kayıp bilgilerine, sistem enerji üretim ve performans oranı bilgilerine, enerji akış diyagramına ve ekonomik analize ulaşılabilir. Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi çatısına kurulumunu önerdiğimiz güneş enerjisi santralinin PVsyst simülasyon programı ile sisteme ait enerji üretim değerleri, enerji kayıp değerleri, aylık bazda performans oranlarına ait bulguları elde edilmiştir. Şekil 19'da tasarımı yapılan santrale ait programdan alınan, aylık ışıma, enerji ve ortalama sıcaklık değerleri, nominal üretim, kayıp değerleri ve performans oranının değişim grafikleri görülmektedir.



Bilanço ve genel sonuçlar

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
Ocak	64.1	27.07	3.64	110.1	102.1	6239	6094	0.870
Şubat	76.7	38.01	5.35	110.6	94.7	5788	5647	0.803
Mart	122.1	55.40	8.78	150.4	131.1	7828	7645	0.799
Nisan	155.4	70.70	12.32	165.1	152.9	8987	8782	0.836
Mayıs	199.5	71.73	17.78	190.3	179.3	10221	9989	0.825
Haziran	215.2	76.90	22.20	193.7	182.3	10254	10024	0.814
Temmuz	226.7	61.88	25.50	208.1	196.7	10812	10571	0.799
Ağustos	201.5	59.84	25.53	207.2	195.1	10724	10488	0.796
Eylül	153.5	52.65	20.42	183.8	165.1	9342	9135	0.781
Ekim	107.1	42.80	15.18	152.4	127.7	7473	7299	0.753
Kasım	72.8	30.99	9.61	120.0	108.6	6507	6356	0.833
Aralık	57.4	26.69	5.26	101.0	93.9	5736	5600	0.872
Year	1652.1	614.66	14.35	1892.6	1729.7	99910	97631	0.811

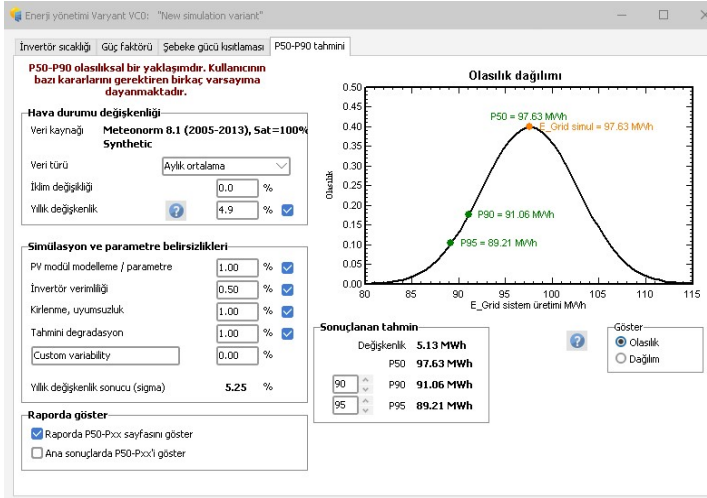
Açıklama

GlobHor	Global yatay ışınlama	EArray	Dizinin çıkışında etkin enerji
DiffHor	Yatay difüz ışınlama	E_Grid	Şebekeye enjekte edilen enerji
T_Amb	Çevre sıcaklığı	PR	Performans oranı
GlobInc	Kolektöre yansıyan global		
GlobEff	IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global		

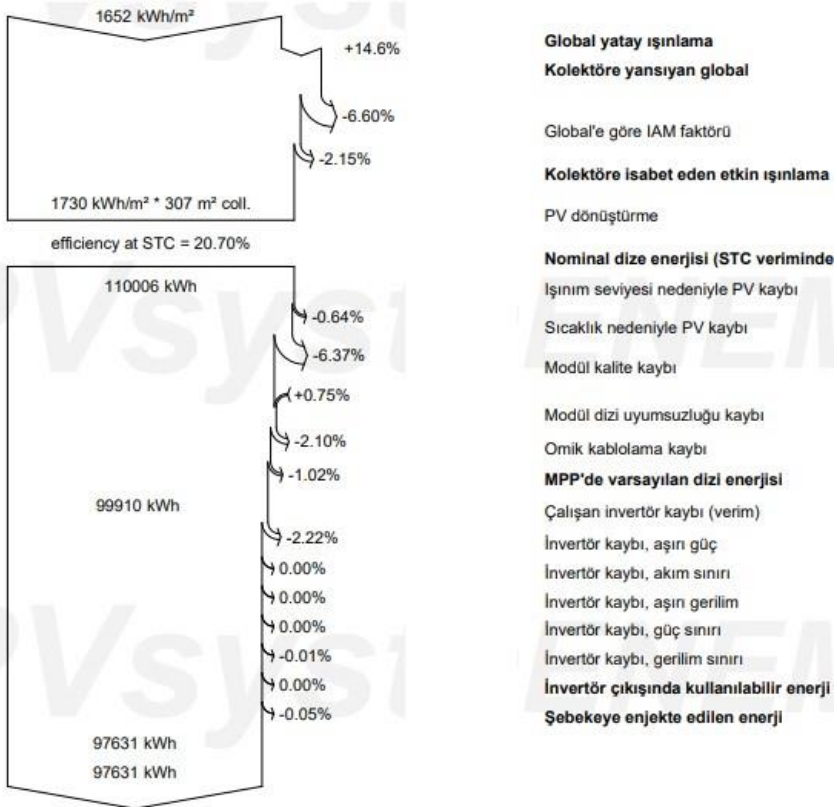
Şekil 19: Tasarımı Yapılan Santralin Üretim ve Performans Verileri

Şekil 19'daki veriler incelendiğinde, ortam sıcaklığının arttığı aylarda enerji üretiminin de arttığı, yaz aylarında sıcaklığın yükselmesi nedeniyle PV hücrelerin verimlerindeki azalmaya bağlı olarak sistemin yaz aylarındaki performansının düştüğü, kış aylarında ise yükseldiği görülmektedir. En yüksek ışımanın ve en yüksek enerji üretiminin temmuz ayında, en yüksek ortalama sıcaklık değerinin Ağustos ayında olduğu görülmektedir. Sistemin ortalama performans oranı %81,1'dir. En düşük performans oranı Ekim ayında %75,3 iken, en yüksek performans oranı %87,2 ile Aralık ayında görülmektedir.

Şekil 20'de PVSyst simülasyon programından elde edilen santrale ait olası yıllık enerji üretim grafiği ve Şekil 21'de yapılan simülasyon sonucunda elde edilen enerji akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 20: PVsyst Simülasyon Programından Elde Edilen, Santrale Ait Yıllık Enerji Üretim Grafiği



Şekil 21: PVsyst'dan Elde Edilen, Sisteme Ait Yıllık Kayıp Diyagramı

Mühendislikte Güncel Yaklaşımlar

Şekil 21 incelendiğinde, güneş enerjisinin kurulacağı bölgede yatay düzleme düşen küresel ışınım miktarı yıllık 1652 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Standart test koşullarında (STK) verimi %20,70 olan fotovoltaik paneller 38°'lik eğim açısıyla yerleştirildiklerinden panel yüzeyine gelen ışınım miktarı %14,6 oranında artmaktadır. Gölgelemeden kaynaklanan kayıplar %6,60, yansımadan kaynaklanan kayıplar %2,15 olarak ölçülmüş ve bahsi geçen kayıp dikkate alındığında panellere düşen ışınım miktarı 1730 kWh/m² dir. Panellerden kaynaklı zayıf ışık kaybı %0,64, sıcaklık kaybı %6,37, uyumsuzluk kaybı %2,1 ve doğru akım kablolama kaybı %1,02 olmak üzere toplamda %9,38'lik dize kaybı, %2,28 inverter kaybı bulunmaktadır. Panel verimi, sıcaklık ve inverter kayıpları göz önünde bulundurulduğunda tasarlanımı yapılan santralden yılda 97.631 kWh (97,631 MWh) enerjinin şebekeye verileceği öngörülmektedir.

PVsyst simülasyon programı ile yapılan ekonomik analizde santralin banka kredisi alınmadan %100 öz sermaye ile kurulması durumu incelenmiştir. Şekil 22'de öz sermaye ile kurulan sistem için programdan elde edilen uzun vadeli maliyet analizi görülmektedir.

Finansal analiz									
Detaylı ekonomik sonuçlar (USD)									
Yıl	Elektrik satışı	Öz kaynak	İşletme gider.	Amortis. payı	Vergi. tabii gelir	Vergiler	Net kâr	Birikmiş kâr	% itfa
0	0	64.366	0	0	0	0	0	-64.366	0.0%
1	12.992	0	1.536	2.605	8.850	0	11.455	-52.911	17.8%
2	12.901	0	1.536	2.605	8.759	0	11.364	-41.548	35.5%
3	12.810	0	1.536	2.605	8.669	0	11.274	-30.272	53.0%
4	12.721	0	1.536	2.605	8.579	0	11.184	-19.088	70.3%
5	12.632	0	1.536	2.605	8.490	0	11.095	-7.993	87.6%
6	12.543	0	1.536	2.605	8.402	0	11.007	3.014	104.7%
7	12.455	0	1.536	2.605	8.314	0	10.919	13.933	121.8%
8	12.368	0	1.536	2.605	8.227	0	10.832	24.766	138.5%
9	12.282	0	1.536	2.605	8.140	0	10.745	35.511	155.2%
10	12.196	0	1.536	2.605	8.054	0	10.659	46.170	171.7%
11	7.266	0	1.536	2.605	3.125	0	5.730	51.900	180.8%
12	7.215	0	1.536	2.605	3.074	0	5.679	57.579	189.5%
13	7.165	0	1.536	2.605	3.024	0	5.628	63.207	198.2%
14	7.115	0	1.536	2.605	2.973	0	5.578	68.786	206.9%
15	7.065	0	1.536	2.605	2.924	0	5.529	74.314	215.5%
16	7.015	0	1.536	2.605	2.874	0	5.479	79.793	224.0%
17	6.966	0	1.536	2.605	2.825	0	5.430	85.223	232.4%
18	6.918	0	1.536	2.605	2.776	0	5.381	90.604	240.8%
19	6.869	0	1.536	2.605	2.728	0	5.333	95.937	249.0%
20	6.821	0	1.536	2.605	2.680	0	5.285	101.222	257.3%
21	6.773	0	1.536	317	4.920	0	5.237	106.459	265.4%
22	6.726	0	1.536	317	4.872	0	5.190	111.648	273.5%
23	6.679	0	1.536	317	4.825	0	5.142	116.791	281.4%
24	6.632	0	1.536	317	4.778	0	5.096	121.887	289.4%
25	6.586	0	1.536	317	4.732	0	5.049	126.936	297.2%
Total	229.710	64.366	38.408	53.686	137.616	0	191.362	126.936	297.2%

Şekil 22: %100 Öz Sermaye ile Kurulan Santrale Ait Uzun Vadeli Mali Analiz

Şekil 22’de görüldüğü gibi, santralin ilk yatırım maliyeti 64.366 \$, YEKDEM’in 10 yıllık alış fiyatı olan 0,133 \$ /kWh tarifesinden alım garantisi sonunda % 40 lık düşüş öngörüsüyle satılan enerjiden elde edilen gelir 229.710 \$ olarak hesaplanmıştır. Kümülatif bilanço sütununda, 2029 yılında 3.014 \$ kazancıyla, 64.366 \$ olan santralin kurulum maliyet değeri 5,7 yılda amortisman süresine ulaşmıştır. Santralden üretilen enerjinin maliyeti 0,046 \$/kWh, santralin kullanım ömrü boyunca net karı 126.936 \$, sermaye yatırımının iç karlılık oranı %14,87 olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik sistem kurulum maliyetlerinin yerli üretim teşvikleriyle önümüzdeki yıllarda düşeceği de göz önüne alındığında 5,7 yıl olarak hesaplanmış olan amortisman sürenin daha da indirgenmesi mümkün hale gelecektir. PVsyst programı ile yıllık 97.631 kWh (97,631 MWh) elektrik üretiminin gerçekleşmesi durumunda santral ömrü boyunca 115.520 kg CO₂ sera gazının salınımı azaltılabilir ve devletten sera gazı azalım geliri elde edilebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi çatısı üzerine kurulumu önerilen 63,6 kWp kurulu güce sahip bir güneş enerjisi santralinin PVsyst V 7.4.0 simülasyon programı ile tasarımı, simülasyonu, performans ve ekonomik analizleri, SketchUp ve Skelion yazılımları ile çalışma alanının 3B modeli oluşturularak optimum yönlendirme, PV modül yerleşimi ve gölgeleme analizleri ayrıntılı bir şekilde yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtildiği gibidir.

- Aylara göre şebekeye verilen enerji miktarının, ortam sıcaklığının arttığı aylarda enerji üretimi artmıştır. Şebekeye en fazla Temmuz ayında 10571 kWh, en az Aralık ayında 5600 kWh enerji aktarılmıştır.

- Yaz aylarında sıcaklığın yükselmesi nedeniyle PV hücrelerin verimindeki azalmaya bağlı olarak, sistemin yaz aylarındaki performansı düşmekte, kış aylarında ise yükselmektedir. En düşük performans oranı Ekim ayında %75,3 iken, en yüksek performans oranı %87,2 ile Aralık ayında görülmektedir. Sistemin ortalama performans oranı %81,1’dir.

- Yapılan çalışma, PV sistemden elektrik üretiminin Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi çatısı için iyi bir seçenek olarak ön plana çıktığını gösteriyor. Sistemin şebekeye verdiği yıllık enerji miktarı, panel verimi, sıcaklık ve inverter kayıpları göz önünde bulundurulduğunda 97.631 kWh’tir. Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesinin Tablo 2’de verilen 2022 yılı Ocak-Aralık ayları arası elektrik tüketim verilerine göre yerleşke son bir yılda 83.444,98 kWh (83,445 MWh) elektrik enerjisi tüketmiştir. Yapılan PVsyst analizlerine göre ise 97.631 kWh elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır. Bu bilgiler

ışığında kurulacak sistem ile yerleşkenin ihtiyacı olan enerji üretildikten sonra yaklaşık 14.187 kWh enerji fazlalığı öngörülmektedir. Sistemde kullanılacak çift yönlü bir sayaç ile tüm elektrik alışverişi kayıt altına alınarak mahsuplaştırılabilir, kullanım fazlası elektriğin şebekeye satılarak Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi için gelir elde edilmesi planlanabilir.

Kurulumu önerilen santralin ekonomik analizinde, YEKDEM'in 10 yıllık alış fiyatı olan 0,133 \$/kWh tarifesinden alım garantisi sonunda %40 lık düşüş öngörüsüyle satılan enerjiden elde edilen gelir 229.710 \$ olarak hesaplanmıştır. Kümülatif bilanço neticesinde, 2029 yılında 3.014 \$ kazancıyla, 64.366 \$ olan santralin kurulum maliyeti 5,7 yılda amortisman süresine ulaşmaktadır. Santralden üretilen enerjinin maliyeti 0,046 \$/kWh, santralin kullanım ömrü boyunca net karı 126.936 \$, sermaye yatırımın iç karlılık oranı ise %14,87 olarak hesaplanmıştır.

Yıllık 97.631 kWh elektrik üretiminin gerçekleşmesi durumunda, önümüzdeki 25 yıl için 115.520 kg CO₂ sera gazının salınım miktarı azaltılabilir ve devletten sera gazı azalım geliri elde edilebilir.

Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesinin ihtiyacı olan elektrik, GES'ten üretilen elektrik ile mahsuplandıktan sonra fazla olması durumunda 11 Ağustos 2022 tarih, 31920 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik'e göre ilgili TEDAŞ'a satışı yapılabilecektir. Buradan elde edilecek gelir de yerleşkenin ihtiyacı olan eğitim-öğretim gider kalemlerinde kullanılabilir.

Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi için kurulumunu önerdiğimiz güneş enerjisi santralinin yerleşkede bulunan önlisans ve lisans düzeyinde eğitim alan öğrencilerimiz için enerji üretimi eğitim laboratuvarı niteliğinde olacağından enerji alanında insan gücü yetiştirmeye de katkı sağlayacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin şekilde kullanımını artırmak ve teşvik etmek için benzer araştırmalar üniversitelerde teşvik edilmelidir. Fizibilite çalışmaları sonucunda uygun fotovoltaik sistemler devreye alınmalıdır.

Fotovoltaik sistemler için 3B görselleştirme araçları, genel ortamı simüle ederek kullanıcılara sürükleyici deneyim sunabilir ve karar vericiler için geleneksel güneş enerjisi santrali kurma yönteminin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Bununla birlikte 3B görselleştirme araçları, başarılı güneş enerjisi santrali geliştirme tasarımının ön koşulu olan modellemede yüksek düzeyde doğruluk sağlayabilir.

Bu çalışmada elde edilen bulguların, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Tavşanlı Uygulamalı Bilimler Fakültesi çatısına kurulumu muhtemel güneş enerjisi santralinin kurulum aşamasında faydalı olacağı düşünülmektedir.

REFERANSLAR

- Akcan, E., Kuncan, M., & Minaz, M. R. (2020). PVsyst yazılımı ile 30 kw şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin modellenmesi ve simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 248-261.
- Alahmad, H., Taşkesen, E., & Bilen, E. N. (2023). Şırnak Üniversitesi Yerleşkesinde Bulunan Mühendislik Fakültesi Bina Çatılarının Örnek Şebekeye Bağlı (On-Grid) Bir Fotovoltaik Sistem Tasarımı. *In International Conference on Scientific and Innovative Studies* (Vol. 1, No. 1, pp. 245-257).
- Aldudak, M. (2018). *Economic Analysis and Efficiency Evaluation of PV Systems in Different Cities of Turkey*. Yüksek Lisans Tezi (Basılmış), Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ali, H., & Khan, H. A. (2020). Techno-economic evaluation of two 42 kWp polycrystalline-Si and CIS thin-film based PV rooftop systems in Pakistan. *Renewable Energy*, 152, 347-357.
- Al-Masri, H. M., Dawaghreh, O. M., & Magableh, S. K. (2023). Realistic performance evaluation and optimal energy management of a large-scale bifacial photovoltaic system. *Energy Conversion and Management*, 286, 117057.
- Al Safarini, N., Akash, O., Mohsen, M., & Iqbal, Z. (2017, November). Performance evaluation of solar tracking systems for power generation based on simulation analysis: Solar island concept. *In 2017 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA)* (pp. 1-4). IEEE.
- Anonim, 2023. Tavşanlı'nın Coğrafi Konumu, <https://www.tavsanli.bel.tr/cografi-konumu/>, (Son erişim tarihi: 27.06.2023).
- Arslan, F., Türkdoğan, S. (2022). Kamu binalarında çatı üzeri fotovoltaik panel kurulum potansiyelinin belirlenmesi ve enerji üretim artışı için mimari tasarımın ele alınması: Yalova ili örneği. *Journal of Innovative Engineering and Natural Science (JIENS)*, 2(2), 76-94.
- Baghdadi, I., El Yaakoubi, A., Attari, K., Leemrani, Z., & Asselman, A. (2018). Performance investigation of a PV system connected to the grid. *Procedia Manufacturing*, 22, 667-674.
- Bhattacharyya, S. C. (2012). Energy access programmes and sustainable development: A critical review and analysis. *Energy for sustainable development*, 16(3), 260-271.

- Bórawski, P., Holden, L., & Bełdycka-Bórawska, A. (2023). Perspectives of photovoltaic energy market development in the european union. *Energy*, 270, 126804.
- Brester, C., Kallio-Myers, V., Lindfors, A. V., Kolehmainen, M., & Niska, H. (2023). Evaluating neural network models in site-specific solar PV forecasting using numerical weather prediction data and weather observations. *Renewable Energy*, 207, 266-274.
- Ceylan, O., & Taşdelen, K. (2018). Isparta ili için fotovoltaik programlarının simülasyon sonuçlarının doğruluğunun incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(3), 895-903.
- CW Enerji, 2023. <https://cw-enerji.com/tr/urun/cw-enerji-530-wp-108pm-m12-blackwhite-gunes-paneli-serisi-1279.html>, (Son erişim tarihi: 20.10.2023).
- Dey, D., & Subudhi, B. (2020). Design, simulation and economic evaluation of 90 kW grid connected Photovoltaic system. *Energy Reports*, 6, 1778-1787.
- Dondariya, C., Porwal, D., Awasthi, A., Shukla, A. K., Sudhakar, K., SR, M. M., & Bhimte, A. (2018). Performance simulation of grid-connected rooftop solar PV system for small households: A case study of Ujjain, India. *Energy Reports*, 4, 546-553.
- EİGM, 2023. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Kütahya İli Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası, <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/43.aspx>, (Son erişim tarihi: 20.06.2023).
- ETKB, 2023. T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>, (Son erişim tarihi: 20.06.2023).
- Girgin, M. H. (2011). *Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralının Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 MW'lık Güneş Enerjisi Santrali için Enerji Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi.*, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış), İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Güner, S., & Muharremoğlu, A. (2020). Bir Havalimanı Otoparkına Kurulabilecek Fotovoltaik Üretim Sisteminin Tasarımı ve Enerji Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 182-188.
- Huawei, 2023. <https://solar.huawei.com/cn/professionals/all-products>, (Son erişim tarihi: 20.10.2023).
- Kahraman, M. Ü. (2018). *Kütahya Bölgesi Güneş ve Rüzgâr Enerji Potansiyellerinin Tekno-Ekonomik Analizi.* Yüksek Lisans Tezi (Basılmış), Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

- Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world:-A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 62, 1092-1105.
- Kumar, N. M., Kumar, M. R., Rejoice, P. R., & Mathew, M. (2017). Performance analysis of 100 kWp grid connected Si-poly photovoltaic system using PVsyst simulation tool. *Energy Procedia*, 117, 180-189.
- Küçükgoze, M.O. (2016). *Erzincan İlindeki Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış), Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.
- Öztürk, H. H., *Güneş enerjisi ve uygulamaları*. Birsen Yayınevi. İstanbul, 2008.
- Ramanan, P., & Karthick, A. (2019). Performance analysis and energy metrics of grid-connected photovoltaic systems. *Energy for Sustainable Development*, 52, 104-115.
- Vekil, S. A. R. I., & Özyiğit, F. Y. (2020). Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde güneş enerjisi santralının ekonomik analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(65), 517-526.
- Satpathy, P. R., Sharma, R., & Panda, S. (2021, January). Optimal Sizing, Placement and Shading Analysis of a 19.2 kW Grid-Tied Residential Roof-Top PV System. In *2021 1st Odisha International Conference on Electrical Power Engineering, Communication and Computing Technology (ODICON)* (pp. 1-6). IEEE.
- TCMB, <https://www.tcmb.gov.tr/Istatistikler/Doviz+Kurlari/>, Erişim tarihi: 01.06.2023
- Türkdoğan, S., Mercan, M. T., & Çatal, T. (2020). Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemleri kullanılarak 40 hanelik bir topluluğun elektrik ve termal yük ihtiyacının karşılanması: teknik ve ekonomik analizleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 476-485.
- Yağlı, H., & Yıldız, K. O. Ç. (2020). Gaziantep Bölgesi İçin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminde Kurulacak Panellerin Optimum Eğim Açılarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 475-483.
- Yu, S., Han, R., & Zhang, J. (2023). Reassessment of the potential for centralized and distributed photovoltaic power generation in China: On a prefecture-level city scale. *Energy*, 262, 125436.
- ZOREN, 2022. Zorlu Enerji Elektrik, Osmangazi Elektrik Parakende Satış A.Ş., Tavşanlı Yerleşkesinin 2021- 2022 Yılı Elektrik Tüketim Miktarları ve Fatura Tutarları, Eskişehir.

- Zsiborács, H., Baranyai, N. H., Vincze, A., & Pintér, G. (2021). An economic analysis of the shading effects of transmission lines on photovoltaic power plant investment decisions: A case study. *Sensors*, 21(15), 4973.
- Zou, C., Zhao, Q., Zhang, G., & Xiong, B. (2016). Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era. *Natural Gas Industry B*, 3(1), 1-11.

Bölüm 3

Savunma Sanayiinde Yapay Zekâ

Arif Furkan MENDİ¹

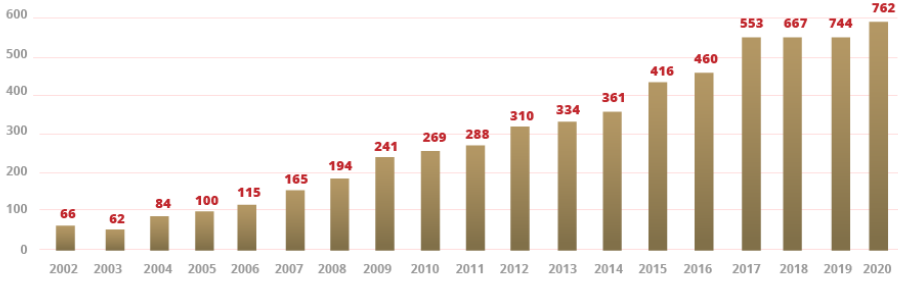
¹ Dr. Öğr. Üyesi HAVELSAN Bilgi ve İletişim Teknolojileri, Ankara, Türkiye,
afmendi@havelsan.com.tr
Ostim Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye,
ariffurkan.mendi@ostimteknik.edu.tr; ORCID No: 0000-0002-0750-4012

GİRİŞ

Yapay zekâ çağımızın popüler yeni nesil teknolojilerinin başında gelmektedir. Yapay zekâ kavramının kökeni, modern bilgisayar bilimi kadar eskidir. Fikir babası, “Makineler düşünebilir mi?” fikrini ortaya atarak makine zekâsını tartışmaya açan Alan Mathison Turing’dir (Durmuş, 2018) . 1943’te II. Dünya savaşı sırasında kriptoloji analizi gereksinimleri ile üretilen elektromekanik cihazlar sayesinde bilgisayar bilimi ve yapay zekâ kavramları doğmuştur (Stendustri, 2019). Yapay zekâ, bilgisayarın veya bilgisayar kontrolündeki robotların faaliyetlerini zeki canlılara benzer şekilde yerine getirme kabiliyetidir. Yapay zekâ çalışmaları genellikle insanın düşünme yöntemlerini taklit eden yapay yöntemler geliştirmeye yönelik bir sistemdir. yani aynı zamanda yapay zekâ insanın kendi faaliyetleri dışında bir zekâ üretme çabasıdır.

Yapay zekâ gelecekte insan zekâsından bağımsız gelişebilecek bir unsur gelmektedir. Yapay zekânın bağımsız gelişimine paralel olarak yeni yönelimler oluşmaktadır. Bu yönelimler insanın evreni anlama çabasında kendisine yardımcı olabilecek hatta belki de kendisinden daha zeki, insan ötesi varlıklar meydana getirme düşüncesinin bir ürünüdür. Bu düş, 1920’li yıllarda yazılan ve sonraları ISAAC Asimov’u etkileyen modern bilim kurgu edebiyatının öncü yazarlarından Karel Capek’in eserlerinde dışa vurulmuştur. Karel Capek “R.U.R” adlı tiyatro oyununda yapay zekâyâ sahip robotlar ile insanlığın ortak toplumsal sorunlarını ele alarak 1920 yılında yapay zekânın insan aklından bağımsız gelişebileceğini öngörmüştür(Ünlü, 2020) .

Ülkelerin kendi refahları ve güvenlikleri açısından savunma sanayi alanında gerçekleştirdikleri çalışmalara önem verdikleri yapılan çalışmaların incelenmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. İncelenen çalışmalar sonucunda Türkiye’de ve birçok ülkede yapay zekânın savunma sanayinde kullanımının yıldan yıla arttığı gözlemlenmektedir. Şekil 1’deki grafik, Türkiye de savunma sanayi alanındaki proje sayılarının yıldan yıla nasıl bir değişim içinde olduğunu göstermektedir. Tablodaki verilere göre 2002 yılında yalnızca 66 savunma projesi %80 dışa bağımlılık oranı ile yürütülürken: elde ettiğimi noktada %65’in üzerinde yerlilik oranı ile proje sayımız yaklaşık 12 kat artarak 762’ ye ulaşmıştır. Bu tablodaki veriler bize savunma projelerindeki yerlilik oranının arttığını ve ülkemizin bu projelere yıldan yıla daha fazla önem verdiğini göstermektedir. Yerleşme ile birlikte bu çalışmaların içerisinde yapay zekâ tabanlı çalışmalar önemli bir yer tutmakta, sayıları da yıllar içerisinde önemli oranda artış göstermektedir (Başkanlığı, 2019).



Şekil 1: Türkiye Savunma Sanayii Proje Sayılarının Yıllara Sayı Dağılımı(Başkanlığı, 2019)

Yapay zekâ teknolojisi, sunmuş olduğu göz alıcı avantajlar sebebiyle en popüler yeni nesil teknolojilerdendir. Yapay zekâ teknolojisinin kullanımı dijitalleşme ile birlikte giderek önem kazanmakta, ülkelerin savunma sanayi etkinliklerini de somut olarak ortaya koyar hale gelmektedir. Savunma sanayi; askerî malzeme, teçhizat ve tesislerin araştırması, mühendislik, üretim ve servis hizmetlerinde yer alan ticari bir endüstriden oluşmaktadır. Savunma sanayi ürünleri, silahlar, toplar, mühimmat, füzeler, askerî uçak, gemi, elektronik sistemler ve daha fazlasını içermektedir. Sadece ülkemiz için değil, uluslararası örnekleri incelediğimizde pek çok ülkenin savunma sistemlerinde yerleşmeye öncelik verdiğini ve kendi geliştirdikleri yazılımlara önem verme hareketinin giderek yayıldığını görüyoruz. Savunma sanayi alanında yapılan çalışmaları incelediğimizde birinci nesilden üçüncü nesle kadar her türlü teknolojik faktörden yararlandığını görmekteyiz. Bu çalışmada yapay zekâ teknolojisinin analizi, kullanım alanları, getirdiği avantaj ve dezavantajlar anlatılacaktır. Son olarak yapay zekâ teknolojinin gelecek öngörülerini tartışılacaktır.

MATERYAL VE YÖNTEM

İlk olarak, dünya genelinde yapay zekâ ile ilgili makale ve çalışmalar incelenerek araştırmaya başlanmıştır. İncelenen makalelerin üzerinde durduğu noktalara önem verilerek çalışmanın devamı sağlanmıştır. Çalışma kapsamında, dünya genelinde yapay zekâ teknolojisinin havacılık ve savunma sanayi alanında kullanımını içeren birçok akademik çalışma, sunum ve uygulama örnekleri detaylı olarak incelenmiştir.

Çalışma yöntemi olarak, öncelikle yapay zekâ teknolojisinin araştırılması adımı ile başlanmıştır. Ardından ulusal ve uluslararası seviyede uygulama örnekleri incelenmiştir. Özellikle havacılık ve savunma sanayi alanındaki şirketlerin gerçekleştirmiş olduğu çalışmalar incelenerek bir havuz

oluşturulmuştur. Bu mevcut çalışmaların analiz edilmesi ile teknolojinin getirmiş olduğu avantajlar ve dezavantajlar ortaya çıkarılmıştır. Teknolojinin mevcut durumu ve uygulama alanlarının detaylı analizi ışığında gelecek dönemki çalışmalara yön gösterecek sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır.

GERÇEKLEŞTİRİLEN ÇALIŞMA

3.1 Yapay Zekâ Teknolojisinin Analizi

Günümüzde firmalar rekabet avantajı elde edebilmek için pek çok yatırım yapmaktadır. Özellikle teknolojiyi takip edenler, yapay zekâ teknolojisini rekabet avantajı, maliyet ve zaman tasarrufu için tercih etmektedir. Teknoloji araştırması yapan en başarılı ve popüler firmalardan olan Deloitte, yapay zekânın kurumlardaki kullanım amacının tespitine yönelik bir anket çalışması gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada yapay zekânın işletmelerde, kurumlarda farklı hedefleri desteklemek için uygulandığı ortaya çıkmıştır. Bunlar; süreçleri daha verimli hale getirmek (%28), mevcut ürünleri ve hizmetleri geliştirmek (%25), yeni ürünler ve hizmetler oluşturmak (%23), karar vermeyi iyileştirmek (%21) ve maliyetleri düşürmek (%20) olarak sıralanmaktadır (Şener, 2021). Bugün hayatımızda gitgide daha fazla öneme sahip olmaya başlayan yapay zekânın temelleri, bu teknolojinin babası olduğu öne sürülen Alan Turing tarafından neredeyse 70 yıl önce atılmıştır. Yapay zekânın uygulanma seviyesini somut olarak ortaya koyabilmek için Turing testi uygulanmaktadır. Bu test ile sorulan soruya alınan yanıtın bilgisayar tarafından mı yoksa insan tarafından mı verildiğinin tespiti yapılmaktadır. Teknoloji devi firmalar bu testi geçtiklerini iddia etseler de, gerçekte böyle bir ilerlemenin önünde uzun yıllar olduğu söylenebilir. Belirsiz durumlar ve süreçler karşısında gerekli detaylı analizleri hızlı bir şekilde yapabilecek, insani reaksiyonlar verebilen, doğal dilleri anlayıp anlamlandırabilen, dünyamızı insan beyni kadar anlayabilen ve bağlantı kurabilen makineler şu an için istenilen seviyede geliştirilebilmiş değildir. Geçmişten bu zamana kadar yapay zekâ sabit bir şekilde gitmeyip, sürekli üzerine bilgi birikimleri ekleyerek kendisini geliştirmeye devam etmiştir. Önümüzdeki yıllarda da yapay zekânın birçok sisteme katkıda bulunup entegre olacağı öngörülmektedir.

Yapay zekânın kazanımlarına bakacak olursak; duygu analizleri ile empati özelliği kazandırması ve robotik süreç otomasyonu olarak iki kısma ayırabiliriz. Robotik süreç otomasyonunu sistemlerin akıllandırılması, duygu analizi ile de duygusal zekânın oluşturulması kavramlarını eşleştirebiliriz.

3.1.1. Duygu Analizleri ile Empati Kazanımı

Duygu analizi, temel olarak metinlerin duygusal içeriklerini sınıflandırarak pozitif, negatif veya nötr olarak belirlemeyi amaçlayan bir metin analizi yöntemidir. Bu analiz yöntemi, özellikle işletmelerin sunmuş oldukları ürünlerin ve hizmetlerin müşteriler tarafından nasıl algılandığını ve değerlendirildiğini anlamak için kullanılır. Müşteri geri bildirimleri, duygu analizi için önemli bir veri kaynağıdır. Markalar, müşterilerin yazılı veya sözlü geri bildirimlerini otomatik olarak analiz ederek ürün ve hizmetlerine yönelik müşteri görüşlerini detaylı bir şekilde inceleyebilirler (Derici, 2020). Bu sayede müşteri memnuniyetini artırabilir ve ürünlerini/hizmetlerini müşteri ihtiyaçlarına daha iyi uyarlama fırsatı bulurlar. Duygu analizi ile benzer bir kavram da duygusal zekâ olarak karşımıza çıkar. Duygusal zekâ, hem kendi duygularımızı hem de diğer insanların duygularını daha iyi anlama, yönetme ve kullanma yeteneğiyle ilgilidir. Duygusal zekâ, duyguları daha yapıcı bir şekilde ele almayı ve kişisel ve iş hayatındaki başarıları artırmayı destekler. Bu yetenekler, bilişsel zekâ (IQ) kadar önemli bir rol oynar (Turkey, 2021). Duygu analizi, bir metnin duygusal tonunu anlamak için kullanılan bir yöntemdir. Bu teknoloji, insanların belirli bir konu veya ürün hakkında nasıl hissettiklerini anlama amacı taşır. Özellikle işletmeler için müşteri deneyimlerinin analiz edilmesi büyük bir öneme sahiptir. Müşteri deneyimleri, ürün veya özellik bazında detaylı yorumlar, gerçek zamanlı raporlar ve öngörülerle incelenebilir. Bu sayede işletmeler, sadece olumlu yönlerini değil, aynı zamanda gelişime açık alanları da belirleyebilirler. Müşteri geri bildirimleri, cümlelerin yapısı ve detayları gibi parametreler üzerinden analiz edilerek olumsuz konuların belirlenmesi ve raporlanması mümkün hale gelir. Bu, işletmelerin müşteri memnuniyetini artırması ve sürekli olarak iyileştirmeler yapması için önemli bir bilgi kaynağıdır.

3.1.2. Robotik Süreç Otomasyonu (RPA)

Robotik Süreç Otomasyonu (RPA), yazılım robotlarının, bir insanın bilgisayarla etkileşimde bulunduğu gibi işlemleri gerçekleştirmesine olanak tanır. Bu teknoloji, özellikle işletme kullanıcıları için tekrarlanan görevlerin verimliliğini artırmak amacıyla geliştirilmiştir. RPA'nın temel bileşeni olan yazılım robotları, bir insanın yapabileceği tekrarlayan görevleri tamamlayabilen yazılım parçalarıdır. Bu robotlar, farklı sistemler arasında iletişim kurabilir, veri yorumlama yeteneğine sahiptir ve belirli koşullara yanıt verebilirler. RPA robotları, birçok insan eylemini taklit edebilir; uygulamalara erişim sağlar, veri kopyalarını taşır, veri tabanlarından okur ve yazar, dokümanları işler ve hesaplamalar yapar. Robotik süreç otomasyonu, özellikle web'den veri çekme

gibi iş süreçlerini ve insanlar tarafından tekrarlanan görevleri ele almak için tasarlanmıştır ve bu, dijital işgücüyü birlikte çalışan ölçeklenebilir bir yazılım robot takımıdır. İnsanlar bu süreçlerde muhakeme yaparlar, istisnai durumları ele alırlar ve denetim sağlarlar. Bu sayede insanlar daha yüksek katma değerli görevlere odaklanabilirler. Robotik işgücü, insan işgücünü tamamlayan bir unsur olarak varlığını sürdürmektedir (Gramoni, 2021). RPA, var olan sistemleri ve uygulamaları minimum değişikliklerle otomatikleştirmeye ve entegre etmeye olanak sağlar. Özellikle büyük şirketler tarafından tekrarlanan manuel işlerin yerine geçme potansiyeli nedeniyle tercih edilmektedir. Bu, aynı zamanda yapay zekâ alanında heyecan verici bir gelişme olarak kabul edilmektedir. RPA, muhasebe süreçlerinden müşterilere fatura göndermeye, işe alım süreçlerinden dokümantasyon ve hukuk metinlerinin yorumlanmasına kadar birçok farklı alanda kullanılabilir. Sistem anlamlandıramadığı süreçlerde bile ilgili kişileri sürece dahil edebilme esnekliği sunar. Robotik süreç otomasyonunun (RPA) geleceği oldukça parlak görünmektedir. Bu teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte, işletmeler daha fazla süreci otomatikleştirmeye yönelik çaba harcamaktadır. RPA, iş verimliliğini artırmanın yanı sıra maliyetleri düşürme potansiyeli sunar. Ayrıca, iş süreçlerinin daha hızlı yürütülmesini sağlar, bu da rekabet avantajı sağlayabilir. Gelecekte, RPA'nın daha karmaşık görevlerde ve endüstrilerde kullanılması beklenmektedir. Örneğin, sağlık sektöründe hasta verilerini işlemek veya üretim sektöründe envanter yönetimi gibi alanlarda RPA'nın kullanımı yaygınlaşacaktır.

3.2. Yapay Zekâ Teknolojisinin Uygulama Alanları

Günümüzde, yapay zekâ alanındaki en büyük hedeflerden biri, insan benzeri davranan sistemlerin geliştirilmesidir. Bu nedenle, birçok sektörde yapay zekâ kullanımı hızla artmıştır. İleri düzey makine öğrenimi, akıllı uygulamalar, sayısal ikiz projeleri ve konuşma sistemleri gibi yapay zekâ uygulamaları, günümüz endüstrisinde köklü bir dönüşüm yaratmıştır. Ancak, pek çok araştırmacı yapay zekânın insan duygularını yansıtmayacağını ve yapay zekânın doğal olarak iyi veya kötü niyetli olmadığını savunmaktadır. Bu nedenle, yapay zekânın faydalarının ve zararlarının insan faktörüne bağlı olduğu bir görüş hakimdir. Yapay zekânın, insanların sahip olduğu gibi duygulara ihtiyaç duymadan belirli görevleri yerine getirebileceği kabul edilmektedir. Ancak, bu duygusal tepkilerin sadece tespit ve taklit olacağı öne sürülmektedir. Gelişimsel yapay zekâ bilimi alanındaki çalışmalar, insanların bilişsel gelişim süreçlerini (örneğin karar verme) yapay zekâyâ aktarmayı hedeflemektedir. Bu, yapay zekânın gelecekte insanlar gibi duygusal zekâ geliştirebileceği düşüncesini

doğurmuştur. Ancak, duygusal ve bilişsel süreçler birbirine bağlıdır ve sadece bilişsel süreçlere dayalı duyguların yapay zekâ tarafından gerçekleştirilmesi çok zorlu bir görev olarak görülmektedir.

Yapay zekâ, birçok sektörde çeşitli avantajlar sunmaktadır. Sağlık sektöründe akıllı tahlillerden, bilişsel bilimlere kadar birçok uygulama örneği bulunmaktadır. Ayrıca, endüstriyel alanda yapay zekânın kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Siber güvenlik alanında, antivirüs şirketleri ve büyük teknoloji firmaları yapay zekâ uygulamalarına büyük yatırımlar yapmaktadır. Ayrıca, makine öğrenimi ve yapay zekâ yazılımları ile güvenlik hizmeti sunan şirketlerin sayısı da artmaktadır. Darktrace, Cylance ve AlienVault gibi şirketler, bu alanda öne çıkmaktadır. Bu nedenle, yapay zekânın potansiyeli ve uygulama alanları oldukça geniştir ve gelecekte birçok sektörde daha fazla kullanımı beklenmektedir. Bunlar yapay zekâ teknolojisinin kullanıldığı bazı alanlardır. Yapay zekâ teknolojisinin geniş uygulama alanları ise aşağıda listelenmektedir:

- Havaacılık ve Savunma Sanayi
- Siber Güvenlik
- Dil Çevirileri
- Navigasyon
- E- ticaret
- Sosyal Güvenlik
- Öneri Sistemleri
- Sağlık Hizmetleri
- Yardımcı Robot Uygulamaları

3.2.1. Yapay Zekâ Teknolojisinin Siber Güvenlik Alanında Kullanımı

Makine öğrenmesi ve yapay zekâ teknolojileri; izleme, denetim, tehdit algılama ve alarm sistemlerini içeren otomatize siber savunma teknikleri için kritik bir temel oluşturmaktadır. Kullanıcı davranışlarını ayrıştırarak iyi ve kötü aktiviteleri tanıma, birbirinden bağımsız gibi görünen saldırı göstergelerini yorumlayarak korelasyon kurallarına dayalı alarmlar oluşturma gibi önemli işlevlere sahip olan siber güvenlik odaklı yapay zekâ uygulamaları, siber savunma ekiplerinin görevlerini büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, önümüzdeki yıllarda siber güvenlik alanında daha da artacak olan güvenlik trendlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Otonom siber güvenlik uygulamaları, siber savunma sistemlerinin bir adım ötesine geçerek otomatize tehdit algılama sistemlerinden daha fazlasını sunmaktadır. Bu sistemler, riskleri tespit edip alarmlar üretmekle kalmayıp aynı zamanda müdahale gerektirmeden

tehditleri etkisizleştirme yeteneğine sahiptir. Bu sayede güvenlik süreci baştan sona daha verimli bir şekilde yürütülebilir.

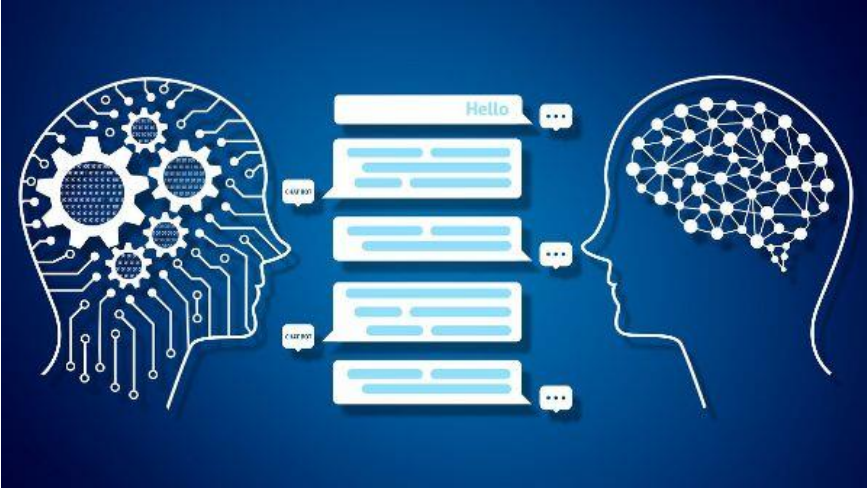
Yapay zekâ ve makine öğrenmesi tabanlı otonom sistemler, özellikle bulut teknolojilerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (BeyazNet, 2020). Bu sistemler, tehdit algılama ve etkisizleştirme işlemlerini gerçekleştirerek bilişim personelinin üzerindeki yükü önemli ölçüde hafifletmektedir. Özellikle siber güvenlik alanında yapay zekânın ideal rolü, makine öğrenimi algoritmalarının oluşturduğu şablonları anlaşılır hale getirmektir. Otonom sistemler, genellikle mobilize edilen sistemlerle karıştırılsa da, bu iki kavram birbirinden ayrılmalıdır. Otonom sistemler, yapay zekâ ile desteklenen ve güvenlik hizmetlerini geliştiren pratik ve kullanılabilir yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.2.2. Yapay Zekâ Teknolojisinin Dil Çevirilerinde kullanımı

Doğal Dil İşleme (NLP), insanların doğal dillerin karmaşıklığını ve inceliklerini anlama ve kullanma yeteneğini teknolojik bir açıdan ele alan bir alandır. Bu disiplinin temel hedefi, insan dilinin yapısını çözümlyerek bu dilleri anlamak ve gerektiğinde yeniden oluşturmak için makineleri eğitmektir. NLP'nin sağladığı faydalar oldukça çeşitlidir ve günlük hayatımıza birçok şekilde entegre edilmiştir. Örneğin, yazılı dokümanların otomatik olarak farklı dillere çevrilebilmesi, soruları yanıtlayabilen bilgisayar programları, otomatik konuşma tanıma ve cevaplama sistemleri, konuşma sentezi, metin özetleme ve bilgi sunma gibi uygulamalar NLP'nin pratik kullanımlarından sadece birkaçıdır. Bilgisayar teknolojisinin hızlı bir şekilde yayılması, NLP ile ilişkilendirilen bu uygulamaların günlük yaşamımıza daha fazla entegre olmasına imkân tanımıştır. Örneğin, yazı işleme programlarının dilbilgisi hatalarını otomatik olarak düzelten imla denetleme özellikleri, aslında metni analiz ederek dil kurallarını kontrol eden doğal dil işleme yazılımlarının bir yansımasıdır (Merve Noyan, 2019). Gelecekte, konuşma sentezi ve konuşma anlama alanındaki gelişmeler ile birlikte, insanlar makinelerden daha fazla anlayış ve zekâ bekleyeceklerdir. Bu, karmaşık işlemlere sahip makinelerin daha büyük bir talep göreceği anlamına gelirken, insanlar ve makineler arasındaki etkileşimi daha zengin hale getirecektir. Zeki makinelerin insanlarla daha iyi iletişim kurabilmesi, yaşam kalitesini artırabilir ve bu nedenle bu teknoloji kaçınılmaz bir şekilde vazgeçilmez hale gelecektir. Bu, yapay zekâ alanındaki çalışmaların hızlanmasına ve yapay zekâ ile iletişim kurmanın temel aracının dil olduğu geleceğin en önemli sektörlerinden biri olmasına yol açmıştır. Dil, insan medeniyetinin temel bir taşıyıcısı olmuş ve insanların zekâlarının doğada benzeri görülmemiş bir şekilde parlamasına olanak tanımıştır. Kültür, dil

kullanarak iletişim kuran insanların sosyal etkileşiminin bir sonucudur ve insanlık birikiminin ta kendisidir.

NLP'nin kullanım alanlarından biri de çeviri alanıdır ve bu alandaki çalışmalar, farklı dillerde konuşan insanların daha kolay ve etkili bir şekilde iletişim kurmalarını amaçlamaktadır (Şekil 2). Geçmişte, farklı dillerde iletişim kurma hayali bir hedefken, bugün artık gerçek bir olasılıktır. Büyük teknoloji şirketleri, bu hedefe ulaşmak için yoğun bir şekilde çalışmaktadır ve bilgisayarların sürekli olarak dil çevirisi yapabilen ve diyalogları anlayabilen sistemler oluşturması için çaba göstermektedir. Bu çalışmaların sonucunda iletişimin kolaylaştırılması hedeflenirken, çeviri hataları gibi sorunlarla karşılaşma olasılığının azalması, insanların daha etkili ve küresel bir iletişim ağına katılmasını sağlayacaktır.



Şekil 2: Yapay Zekâ ve Dil Çevirileri (Kılıç, 2020)

3.2.3. Yapay Zekâ Teknolojisinin Sağlık Hizmetleri Alanında Kullanımı

Sağlık sektörüne yönelik yapay zekâ pazarının 2023 yılı itibariyle 6,5 milyar doları aşması beklenmektedir. Sağlık sektöründeki karar vericilerin yüzde 39'unun makine öğrenimi ve kestirimsel analiz sistemlerine yatırım yapmayı planladığı düşünülürse, bu rakamın ilerleyen yıllarda daha da artacağı rahatlıkla öngörülebilmektedir (NewSoftwareSolutions, 2021). Kısaca insan zekâsının taklit edilmesi olarak tanımlanabilecek yapay zekânın sağlık alanındaki kullanımı diğer branşlara benzer olarak artmaktadır. COVID-19 pandemisi ile birlikte sağlık hizmetlerinde artan yükün yönetilmesinde yapay zekâ araçlarına duyulan ihtiyaç daha da belirgin hale gelmiştir. Yapay zekânın sağlık alanında kullanımı ile birlikte hastalık teşhisinin de hızlı ve daha yüksek doğruluk ile elde edileceği öngörülmektedir. Giyilebilir teknoloji norm olacak ve ek bir

semptom almadan önce hasta olduğumuzu bileceğiz. Bu arada klinik denemeler daha hızlı ve daha doğru hale geldikçe yeni ilaç pazarı da hız kazanacaktır (Demirhan et al., 2010). Aşağıda yapay zekâ teknolojisinin sağlık alanında kullanımının öne çıktığı bazı örnekler verilmektedir:

Kanser tespiti: Kanser hastalığının teşhisinin ve tedavisinin hızı ve doğruluğu, yapay zekâ ve robot bilime olan istekliliği arttıran önemli bir faktördür. Yapay zekâ teknolojisi sayesinde, kanser teşhisinde çalışan patoloğların çalışmalarının etkinliğini ve verimliliğini arttırmaya yardımcı olmak hedeflenmektedir(Cizgi, 2021).

Göz sağlığı: Gözün arkasından önüne kadar gözün tüm yapısı ile ilgili olan hastalıklarda yapay zekâdan faydalanılabileceği düşünülmektedir.

İlaç geliştirme: Bugün, klinik araştırmalar, hasta sağlık kayıtları ve genetik veriler gibi çok çeşitli kaynaklar, sağlıkla ilgili sorunlara daha yakından ve kişiselleştirilmiş bir bakış açısı sunmaktadır. Bu verilerin analizi, bir ilacın bir kişinin hücrelerini ve dokularını nasıl etkileyebileceğini daha ayrıntılı ve özelleştirilmiş bir şekilde anlamamıza yardımcı olur. İlaçların etkinliği ve güvenilirliği artırılmış, tedavi süreçleri daha öngörülebilir hale gelmiştir. Ayrıca, bu gelişmeler sağlık alanında kişiselleştirilmiş tıp uygulamalarının önünü açmaktadır. Her bireyin benzersiz bir genetik yapıya ve sağlık geçmişine sahip olduğu göz önüne alındığında, bireylerin tedavi planları artık daha spesifik ve etkili bir şekilde oluşturulabilir. Teknoloji ve veri analizi, klinik denemelerin daha güvenilir ve anlamlı hale gelmesine katkıda bulunmaktadır. Bu, yeni tedavi yöntemlerinin geliştirilmesini hızlandırırken, daha fazla hasta için daha iyi sonuçlar elde etmeye yardımcı olur. Sonuç olarak, teknoloji ve veri analizi, sağlık sektörünün daha kişiselleştirilmiş ve etkili hale gelmesine önemli katkılar sunmaktadır. Bu sayede, hastaların daha iyi sonuçlar elde etmeleri ve sağlık uzmanlarının daha iyi bilgilendirilmiş kararlar alabilmeleri mümkün olmaktadır. Bu alandaki ilerlemeler, tıbbi bilimin daha da ileri gitmesine olanak tanımaktadır.

Komadaki Hastanın Uyanma Zamanının Tahminlenmesi: Doktorlar, hastaların beyin travması sonucu ne kadar hasar gördüğünü değerlendirmek için yaygın olarak "koma ölçeği" adı verilen bir yöntem kullanmaktadır. Bu ölçek, hastaların bilinç durumunu ve beyin aktivitesini objektif bir şekilde değerlendirmek amacıyla bir dizi klinik testi içerir. Bu testlerin sonucunda doktorlar, hastaya bir puan verirler. Bu puan, hastanın yaşamın sürdürülmesi veya yaşam destek makinelerinin kullanımının sonlandırılması gibi kritik kararlarda

rehberlik edebilir. Ayrıca, hastanın prognozunu tahmin etmede önemli bir araç olarak kullanılır. Ancak, son zamanlarda Çin'de yapılan bir denemede, yapay zekâ tabanlı bir sistem, bu ölçekte doktorlar tarafından verilen puanlardan önemli ölçüde farklı sonuçlar üretti. Bu, yapay zekânın, geleneksel yöntemlere göre daha hassas ve objektif bir şekilde beyin travması sonucu hasarı değerlendirebileceğini işaret ediyor. Yapay zekâ, hastaların bireysel özelliklerini ve tıbbi geçmişlerini daha ayrıntılı bir şekilde analiz edebilir ve bu da daha kişiselleştirilmiş tedavi ve prognoz sağlayabilir. Bununla birlikte, yapay zekâ teknolojisinin tıbbi uygulamalarda kullanımı konusunda daha fazla çalışma ve güvenilirlik gerekmektedir. Özetle yapay zekâ, tıbbi teşhis ve prognozda önemli bir potansiyele sahiptir ve geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında daha objektif sonuçlar sunabilir. Ancak bu teknolojiyi tıp pratiğine entegre etmek için daha fazla araştırma ve klinik çalışma gerekmektedir.(Cizgi, 2021).

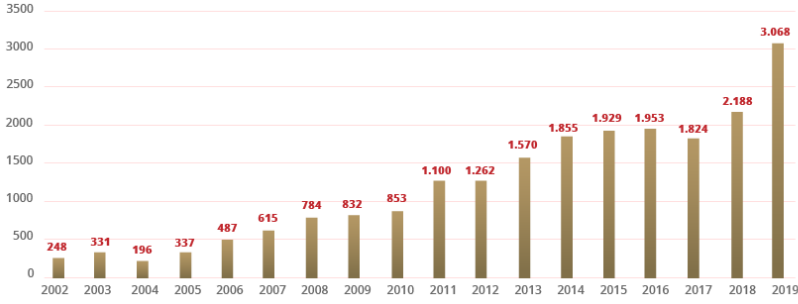
CT-MR Taramalarını Okuma: Yapay zekânın tıbbi görüntüler ve kayıtları okuma yeteneği, sadece zamandan tasarruf etmekle kalmayıp, aynı zamanda tıbbi teşhislerin doğruluğunu ve hassasiyetini de arttırmaktadır. Bu teknoloji, radyologlar ve kardiyologlar gibi uzmanların, hastalarının sağlığı üzerinde daha büyük bir odaklanma ve analiz yapma fırsatına sahip olmalarını sağlamaktadır. Bu sayede, hastaların daha hızlı ve doğru teşhisler alması ve tedaviye daha hızlı erişimleri mümkün olmaktadır. Bu gelişmeler, tıp alanında büyük bir ilerlemenin kapısını aralamaktadır.

Depresyonu Tanımak: Dünya Sağlık Örgütü'nün verilerine göre, dünya genelinde her yaş grubundan 300 milyondan fazla insanın depresyonla mücadele ettiği göz önüne alındığında, ruh sağlığı sorunlarının küresel bir endişe kaynağı olduğunu söylemek mümkündür. Ancak, teknolojinin bu alandaki potansiyeli gün geçtikçe daha fazla aydınlanıyor. Örneğin, Kaliforniya merkezli MindStong, son zamanlarda yaptığı bir araştırma ile insanların akıllı telefon kullanım alışkanlıklarını inceleyerek, depresyon ve diğer ruhsal bozuklukların belirtilerini erken teşhis edebileceğini gösteren önemli bir makale yayınladı. Bu tür inovasyonlar, bireylerin daha iyi anlaşılmasına, desteklenmesine ve uygun tedaviye erişimine katkı sağlayabilir. Teknoloji sayesinde elde edilen bu değerli veriler, aynı zamanda ruh sağlığı alanındaki araştırmaları hızlandırabilir ve tedavi yöntemlerini geliştirmeye yardımcı olabilir. Bu, depresyon gibi sorunların daha iyi anlaşılmasına ve bireyselleştirilmiş tedavi seçeneklerinin oluşturulmasına kapı açar. Teknolojinin mental sağlık alanında kullanılması, ruh sağlığı sorunlarına yönelik daha iyi teşhis ve tedavi imkanları sunmaktadır. Bu, hastaların yaşam kalitesini artırabilir ve daha sağlıklı bir gelecek için umut vaat edebilir.

Robot Doktor Asistanlar: Doktorlar, uzun yıllar süren yoğun bir eğitim süreci geçirirler ve insan vücuduyla birlikte birçok hastalık hakkında geniş bir bilgi yelpazesi öğrenirler. Ayrıca, tıp alanındaki gelişmeleri takip etmek ve güncel araştırmaları incelemek, sürekli bir öğrenme gerektirir. Ancak, son zamanlarda Çin'deki araştırmacılar, bir robotun doktorlara bu bilgileri almasında nasıl yardımcı olabileceğini gösterdiler. İFlyTek Akıllı Doktor Asistanı olarak adlandırılan bu robot, doktorların bilgiye erişimini kolaylaştırarak, tıp alanındaki bilgi birikimini artırıyor. Bu robot, sınavı geçmek için gereken 360 puanın ötesinde anlamlı bir şekilde 465 puan elde etti. Bu, yapay zekânın tıp alanında bilgi akışını iyileştirme potansiyelini gösteriyor ve doktorların daha iyi bilgilendirilmiş kararlar almasına yardımcı olabilir. Bu teknoloji, tıbbi pratiği daha etkili hale getirerek hastaların daha iyi sağlık hizmeti almasına katkıda bulunabilir (Demirhan et al., 2010).

3.3. Yapay Zekâ Teknolojisinin Havacılık ve Savunma Sanayi Alanında kullanımı

Yapay zekâ, askeri alanda oldukça geniş bir uygulama yelpazesi bulmaktadır. Özellikle eğitim alanında geliştirilen yapay zekâ sistemleri, askeri personelin gerçek dünya deneyimi kazanmalarına yardımcı olurken, farklı ve zorlu koşullarda doğru kararlar verme yeteneklerini geliştirmelerine olanak sağlamaktadır. Bu sayede askerler, sahada karşılaşılabilecekleri her türlü duruma daha hazırlıklı olabilmektedirler. Ayrıca, yapay zekâ destekli otonom sistemler, askeri keşif ve imha operasyonlarında önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, askeri kuvvetlerin insan kaynaklarına zarar vermeden düşman bölgelerini keşfetmelerini ve hedefleri etkili bir şekilde imha etmelerini sağlar. Otonom sistemlerin hızla gelişmesi, günümüzde emir komuta sistemlerinde daha etkin bir şekilde kullanılmasını gündeme getiriyor. Bu teknolojilerin askeri alandaki kullanımı, askerlerin görevlerini daha güvenli ve etkili bir şekilde yerine getirmelerine olanak tanırken, operasyonların başarı oranlarını da artırabilir. Bu nedenle yapay zekânın savunma ve güvenlik alanındaki rolü, sürekli olarak gelişmekte ve genişlemektedir. Şekil 3'deki grafiğe göre geçmişte yalnızca 248 milyon \$ olan savunma ve havacılık ihracatı, 2019 yılında yaklaşık 13 kat büyüyerek 3,068 milyar \$'a ulaşmıştır (Başkanlığı, 2019). Giderek artan bu pazar büyüklüğünün, yapay zekâ teknolojisinin kullanımının yaygınlaşması ile çok daha yüksek noktalara ulaşacağı öngörülmektedir.



Şekil 3: Türkiye Savunma ve Havacılık İhracatının Yıllara Göre Dağılımı (Milyon \$)(Başkanlığı, 2019)

Yapay zekânın kullanımı, ihtiyaç duyulan alanlara göre farklılaşmakta, uygulama sayıları giderek artmaktadır. Yapay zekânın savunma alanında sunmuş olduğu çözümleri sayesinde ulusal güvenlik ve milli savunma alanında yaygın kullanımı olabileceği görülmüştür. Bu kapsamda bugün birçok askeri alanda yapay zekâ uygulamaları başlatılmıştır. Bu alanlardan bazıları aşağıda listelenmektedir:

- Deniz Kuvvetlerinde Yapay Zekâ
- Komuta Kontrol
- Bilişsel Elektronik Harp
- Siber Savunma ve Siber Harp
- Sualtı Mayın Harbi
- Lojistik
- Akıllı ve Otonom Sistemler
- İstihbarat Keşif ve Gözetleme
- Bilgi Harekâtı ve Derin Hile
- Deniz Taktik Uygulamaları
- Eğitim

Yapay zekâ, modern bir ordunun olmazsa olmazı haline gelmiştir ve askeri yeteneklerin birçok yönünü güçlendirmektedir. Bu teknoloji, ordunun hızlı yeniden yapılanmasını, anlık kararlar almasını, eğitimini ve başarısını artırmaktadır. Örneğin, artırılmış gerçeklik ve yapay zekâ temelli sistemler, savaş pilotları, kurmay personeli ve teknisyenler gibi askeri personelin eğitimini daha etkili ve gerçekçi bir şekilde sunarak ordunun yeteneklerini geliştirir. Ayrıca, yapay zekâ silahlı kuvvetlerin her alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu teknoloji, askeri personelin farklı ve zorlu koşullarda nasıl doğru kararlar verecekleri konusunda uzmanlaşmalarını sağlar. Bu sayede askeri birimler, sahadaki görevlerini daha etkin bir şekilde yerine getirebilirler.

Yapay zekâ, ordunun operasyonel etkinliğini artırırken aynı zamanda personelin eğitimini ve performansını iyileştirme potansiyeli sunar. Özetle yapay zekâ, modern silahlı kuvvetlerin vazgeçilmez bir parçasıdır ve askeri yeteneklerin geliştirilmesine önemli katkılarda bulunur. Bu teknoloji, ordunun daha hızlı, daha akıllı ve daha etkili bir şekilde hareket etmesine olanak tanırken, askeri personelin yeteneklerini artırmak için önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Lakin bunların yanı sıra bu teknoloji eğitim sonrasında da kullanılabilir nitelikte olmalıdır. Eğitim esnasında kullanılırken sistemin önceliği öğretmek iken, eğitim sonrasındaki önceliği ise bu eğitimi denetleme olmalıdır. Personele sanal ortamda uygulanabilen bir teknoloji ile ilgilendikleri alanlarda, var olan teknoloji geliştirilerek uygulanacak sınavlarda personelin eğitimini hangi oranda başarıyla tamamladığı belirlenebilmelidir.

3.4. Yapay Zekânın Avantajları ve Dezavantajları

Yapay zekâ da tıpkı insanlar gibi edindiği bilgiler doğrultusunda öğrenmektedir. Eğer edindiği bilgiler kötü amaçlı kişiler ve kurumlar tarafından oluşturulmuş ise yapay zekânın davranışları da bu yönde ilerleyecektir. Yapay zekânın hayatımızı kolaylaştıran birçok uygulaması olduğu gibi farklı dünya görüşlerine sahip ya da kurumlarca oluşturulan algoritmalar sonucunda zararlı yansımaları da her zaman mümkündür. Aşağıda yapay zekânın sağladığı avantajlar listelenmektedir:

Verimlilik ve Doğruluk: Yapay zekâ teknolojileri verimli ve ölçeklenebilirdir. Hem çok küçük görevleri hem de son derece karmaşık görevleri yorulmadan tekrar tekrar gerçekleştirmek için kullanılabilir.

İnsan Hatasında Azalma: Yapay zekânın önemli avantajlarından biri, hataların azaltılmasına ve daha yüksek hassasiyetle daha yüksek doğruluğa ulaşma şansının artmasına yardımcı olmasıdır.

7 Gün 24 Saat Kullanılabilirlik: Uzun saatler çalışacak şekilde programlanabilen, sıkılmadan, dikkati dağılmadan ve hatta yorulmadan işi sürekli yerine getirebilir.

Düşük Risk: Yapay zekâ yeteneklerine tehlikeli görevler için kullanmak, insan refahı ve güvenliği riskini azaltacaktır.

Hızlı Karar Alabilme: Yapay zekâyı diğer teknolojiler ile birlikte kullanarak, makinelerin bir insandan daha hızlı kararlar almasını ve eylemleri daha hızlı gerçekleştirmesi sağlanabilmektedir.

Her teknolojinin olduğu gibi yapay zekâ teknolojisinin de dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar en başlıca olanları aşağıda listelenmektedir:

Yüksek Maliyet: Yapay zekânın yaratılması, çok karmaşık makineler oldukları için büyük maliyetler gerektirir. Kurulun maliyetinin yanı sıra, onarım ve bakımı da büyük maliyetler gerektirir.

İşsizlik: İnsanların makinelerle değiştirilmesi büyük çapta işsizliğe yol açabilir. Yapay zekânın kullanımı yaygınlaşırsa, insanlar gereksiz yere makinelere aşırı derecede bağımlı olabilir. Bu durumda insanların yaratıcı güçlerini kaybedip tembelleşmeleri olasıdır.

Yaratıcılık Eksikliği: Makineler yaratıcı olamaz. Sadece kendilerine öğretilen ve emredilen şeyleri yapabilirler. Tasarlama ve yaratmada yardımcı olsalar da, insan beyninin gücü ile eşleşemezler.

Duygusuzluk: Makineler programlanan cihazlar olduğu için duyguları yoktur.

Yani her teknolojinin kişilerin görüşlerine göre yararları olabileceği gibi zararları da bulunmaktadır. Kısaca yapay zekâ, üst seviye işleve sahip insan benzeri robotların dünyayı ele geçirmesine ilişkin görüntüler sunsa da yapay zekânın amacı insanların yerini almak değil, insan yeteneklerini belirgin bir şekilde geliştirmek ve bunlara katkıda bulunmaktır.

TARTIŞMA

Havacılık ve savunma sanayi, her zaman teknolojik ilerlemelerin ön saflarında yer almıştır. Dijitalleşme sayesinde teknolojilere kolay erişim; havacılık ve savunma endüstrisinde rekabetin sağlanabilmesi için inovasyonu gerekli hale gelmiştir. Bugün, birçok ülke ve savunma sanayi şirketi dijital yatırımlara öncelik vermekte ve rekabet avantajı elde etmek için gerekli olan geniş stratejik hamleleri yapmaktadır. Öyle ki ülkeler güvenliklerini sağlayamazsa, o ülkelerdeki hiçbir endüstrinin ayakta kalması mümkün olamaz. Askeri ve sivil havacılıkta örnekleri artan yapay zekâ uygulamaları Türk savunma sanayisi şirketlerinin de gündeminde bulunmaktadır. Buna örnek olarak Türk savunma sanayisinde yazılım tabanlı çözümler üreten HAVELSAN'ın, FIVE-ML ARGE Projesi' ni hayata geçirmesini verebiliriz.

Yeni nesil teknolojiler, çözümler, projeler ve ürünler geliştirmek, ülkelerin yerel ve küresel gelişmişlik düzeylerini hızla yükseltmede büyük bir hızlandırıcı etkiye sahiptir. HAVELSAN, ulusal arenada özellikle yazılım alanında liderlik yapmayı amaçlayan bir misyonla hareket etmektedir. Bu bağlamda, farklı yeni nesil teknolojilere yatırım yaparak inovasyonun önemini vurgulamaktadır. Ancak, bu teknolojilerin kullanımı her zaman sağlam bir temele dayandırılmalıdır.

Yapay zekâ teknolojisi, son on yılda özellikle Open AI tarafından piyasaya sürülen GPT-3 dil işleme modeli gibi etkileyici gelişmelerle öne çıkmıştır. Ancak, bu teknolojinin popülerliği bazen sağlıklı bir temel olmadan popülist yaklaşımlara yol açmış ve birçok başarısız projenin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu nedenle, özellikle yapay zekâ gibi yeni nesil teknolojilerin kullanıldığı projelerin başarılı olabilmesi için teknolojinin ve altındaki tekniklerin ayrıntılı bir şekilde araştırılması ve projenin getireceği avantajlar ile kazanımların dikkatlice değerlendirilmesi gerekmektedir.

HAVELSAN, Milli Taktik Çevre Simülasyonu (MTÇS) ürününü, yapay zekâ tabanlı öğrenen davranış yapısına sahip "Öğrenen Yapay Zekâya Sahip Sanal Kuvvetler (FIVE-ML)" ARGE projesi ile geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu projede kullanılan yaklaşım, makine öğrenmesi tabanlı "Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning)" olarak belirlenmiştir. Bu yaklaşım, yapay zekânın kendi deneyimlerinden öğrenmesine dayalıdır ve yapay zekâyı belirli sonuçlara yönlendirirken en yüksek ödülü elde etme prensibine dayanır. HAVELSAN'ın yeni nesil teknolojileri benimsemesi ve özellikle yapay zekâ alanında önemli gelişmeler yapması, ülkenin savunma ve simülasyon alanlarında rekabet avantajı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu projeler, gelecekte daha gerçekçi ve etkili simülasyonlar ve karar destek sistemleri sağlama potansiyeline sahiptir.

FIVE-ML projesinin tamamlanmasının ardından, HAVELSAN'ın T-129 Atak helikopterinin simülatörü ATAKSİM ve insansız hava aracı Anka Simülatörü, Uzun Menzilli Tank Savar Füze Sistemi(UMTAS) Simülatörü, Hava Savunma Eğitim Merkezi gibi projelerde kullanılan Milli Taktik Çevre Simülasyonu (MTÇS) yazılımının, kural tabanlı davranış altyapısından öğrenen yapay zekâ tabanlı davranış altyapısına geçirilmesi hedeflenmektedir (HAVELSAN, 2020). Muharip platformların görev simülatörlerinde taktik eğitim verilmesi amacıyla kullanılan ve taktik senaryo planlama, planlanan senaryonun koşulması, eğitim sonrası değerlendirme imkânı sağlayan taktik çevre yazılımlarının yapay zekâ tabanlı hale gelmesiyle görev/mühendislik simülatörlerindeki taktik ortamın gerçekliği arttırılacak. Böylece simülatör projelerinde entegrasyon, test ve garanti aşamalarında maliyet düşüşü elde

edilecek, son kullanıcının daha gerçekçi senaryoları daha kolay hazırlaması sağlanmış olacaktır (Şekil 4).

Öğrenen Yapay Zekâya Sahip Sanal Kuvvetler projesinin tamamlanmasının ardından, HAVELSAN'ın T-129 Atak Helikopterin simülatorü ATAKSİM ve ANKA Simülatorü, UMTAS Simülatorü, Hava Savunma Eğitim Merkezi gibi projelerde kullandığı ve Milli Muharip Uçak Projesi (MMU) Harekât Analizi kapsamında kullanılması planlanan MTÇS'nin, kural tabanlı davranış altyapısından öğrenen yapay zekâ tabanlı davranış altyapısına geçirilmesi hedeflenmektedir. Dolayısıyla, yapay zekâ tabanlı başlangıç projesi olarak değerlendirilebilecek bu projenin başarılı bir şekilde tamamlanması sonrası "Simülasyonda Yapay Zekâ Uygulamaları" alanındaki bilgi birikimi daha da genişleyecek ve yapılabilecek yatırımların ve elde edilecek başarıların sayısı da giderek artacaktır.



Şekil 4: HAVELSAN FIVE-ML Projesi (HAVELSAN, 2020)

Örneklerini verdiğimiz bu teknolojik gelişmeleri sürdüren HAVELSAN'ın ilgilendiği alanlara baktığımızda havacılık ve savunma sanayisinde yapay zekânın eğitim alanında kullanımından yeni teknolojik gelişmeler meydana getirdiğini görmekteyiz. Gerçekleştirilen gelişmelere örnek vermek gerekirse: Milli taktik çevre simülasyonu, bilgisayar tabanlı eğitim sistemleri, sanal bakım eğitim sistemlerini örnek verebiliriz. Bunlarla birlikte simülatorler ile oluşturulan uygulamalar sayesinde eğitimi ilk defa alacak olan personelin eğitimde gerçekten kullanacağı mühimmatı önce sanal ortamda kullanarak eğitimi almaya başlaması amaçlanmaktadır.

Savunma alanındaki çözümler üreten bir diğer firma Baykar'dır. Özellikle insansız hava araçları konusunda pek çözümleri mevcuttur. Yapay zekânın kullanıldığı sistemlerinden birisi bu araçları kullanan personele eğitim vermek için tasarlanmıştır (Şekil 5). Bu sistemde gerçek uçuş şartlarının en iyi şekilde

temsili sağlanmaktadır. Geliştirilen sistem sayesinde pilot ve faydalı yük operatörleri kendileri için hazırlanan senaryolar ile operasyonel kullanımda karşılaşabilecekleri muhtemel durumlar için tecrübe kazanmaktadırlar.



Şekil 5: Baykar Eğitim Simülatörü (BAYKAR, 2021)

Yapay zekâ teknolojilerinin savunma sanayii alanındaki kullanımları bu örneklerle sınırlı kalmayacak önümüzdeki dönemlerde birçok yeni ürünün/sistemin pazarda yerini alacağını söyleyebiliriz. Bunun temel sebepleri, yukarıda bahsedildiği üzere; yapay zekâ teknolojisinin çok geniş bir kullanım alanının olması ve vadettiği göz alıcı avantajlardır. Bu sebeplerden dolayı birçok firma yatırımlarını yapay zekâ tabanlı çözümler üzerine yapmaktadır.

SONUÇ

Yapay zekâ günümüzde birçok alanda kullanılan ve gelişmekte olan bir teknolojidir. Özellikle günümüzde küresel COVID-19 salgını nedeni ile dijitalleşmenin öneminin artması ile birlikte bir kat daha önem kazanmıştır. Günlük hayatın bu salgın nedeniyle büyük ölçüde kısıtlandığına şahitlik ettik. İnsanlar günlük fiziksel uygulama ve çaba gerektiren işlerini sanal ortama taşımak zorunda kaldı. Bu da aslında bize yaşamımız da yapay zekânın ne kadar önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Çağımızda teknolojinin ve yeni fikirler üretmenin insanlığa birçok faydası vardır bunlardan en önemlisi de her fikirde her düşüncede insanın kendisine bir şeyler katmaya çalışması, kendisini geliştirmesi ve ileriye görmesidir. Mevcut örneklerin yanında, yapay zekânın özellikle eğitim alanında kullanımının olabileceğini de söyleyebiliriz. Örneğin, sanal ortamda kişinin ilgilendiği alana yönelik eğitim verilebiliyorsa bu eğitimin sınavı da sanal ortamda kurulan bir sistem üzerinde

Mühendislikte Güncel Yaklaşımlar

gerçekleştirilebilir. Sanal ortamda kurulan sistem kişinin aldığı eğitimdeki başarı yüzdesini kişinin sistem içerisindeki zorluklara karşı mücadelesini ve performansını değerlendirerek kişinin aldığı eğitimi hangi oranda tamamladığı belirlenebilir. Elde edilecek verinin artması ile birlikte doğruluk oranı da artacak ve daha kaliteli eğitimler alınabilecektir. Güvenlik kavramının ülkeler için ne kadar önemli olduğunu düşündüğümüzde ve her ülke güvenliğini emanet ettiği insanların zorluklar karşısında ne kadar başarılı olacağını tespit etmek isteğini değerlendirdiğimizde böylesi bir çalışmanın son derece etkili sonuçlar getireceğini rahatlıkla öngörebiliriz.

REFERANSLAR

- Başkanlığı, S. S. (2019). Türk Savunma Sanayiinin 2019 Yılı Performansı. <https://www.ssb.gov.tr/WebSite/ContentList.aspx?PageID=48>
- BAYKAR. (2021). BAYKAR İnsansız Hava Aracı Sistemleri. BAYKAR. <https://www.baykarsavunma.com/iha.html>
- BeyazNet. (2020). Siber Güvenlikte Yapay Zekâ Uygulamaları. BeyazNet. https://www.beyaz.net/tr/guvenlik/makaleler/siber_guvenlikte_yapay_zekâ_uygulamaları.html
- Cizgi. (2021). Yapay Zeka ile Kanser Teşhisi. Cizgi Elektronik. <https://www.cizgi.com.tr/index.php/yapay-zeka-ile-kanser-teshisi/>
- Demirhan, A., Alper KILIÇ, Y. & Güler, İ. (2010). Tıpta Yapay Zeka Uygulamaları. Yoğun Bakım Dergisi, 9(1), 31–41.
- Derici, E. (2020). Duygu Analizi Nedir, Kullanım Alanları ve Zorlukları. Artiwise. <https://www.artiwise.com/2020/07/13/sentiment-analysis/>
- Durmuş, B. (2018). Yapay Zekanın Çeviri Dünyasındaki Mevcut Durumu Nedir? Nettercume. <https://www.nettercume.com.tr/yapay-zekanin-ceviri-durumu-nedir/>
- Gramoni. (2021). Robotik Süreç Otomasyonu. Gramoni Bilişim. <https://gramoni.com/teknolojiler/robotik-surec-otomasyonu/>
- HAVELSAN. (2020). HAVELSAN Yapay Zekâlı Simülâtör Geliştirecek. HAVELSAN. <https://www.havelsan.com.tr/haberler/guncel/havelsan-yapay-zekali-simulator-gelistirecek>
- Kılıç, Y. (2020). Yapay Zekanın Dil Teknolojilerinde Kullanımı. Teknolojidenbihaber. <https://www.teknolojidenbihaber.com/yapay-zekanin-dil-teknolojilerinde-kullanimi/>
- Merve Noyan. (2019). Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing). Medium. <https://merveenoyan.medium.com/doğal-dil-işleme-natural-language-processing-2d7c72daf245>
- NewSoftwareSolutions. (2021). Sağlık Sektöründe Yapay Zeka ve Uygulama Alanları. NewSoftwareSolutions. <https://www.new.com.tr/blog/saglik-sektorunde-yapay-zeka-ve-uygulama-alanlari/>
- Şener, E. (2021). Yapay zekânın Türk Toplumundaki Algısı. Hürriyet Gazetesi. <https://www.hurriyet.com.tr/teknoloji/yazarlar/ergi-sener/yapay-zekanin-turk-toplumundaki-algisi-41830640>
- Stendustri. (2019). Yapay Zeka Nedir - Ne Demektir ? Nasıl Çalışır? Stendustri. <https://www.stendustri.com.tr/bilim-teknoloji/yapay-zeka-nedir-ne-demektir-nasil-calisir-h99459.html>
- Turkey, B. (2021). Duygusal Zeka Nedir? Bcc Turkey. <https://bccturkey.com/duygusal-zeka->

Mühendislikte Güncel Yaklaşımlar

nedir/?gclid=Cj0KCQjwxdSHBhCdARIsAG6zhlXhSr-
0rrHVCztNhkgUV1n4mJpIxAvrGqCq30W85sAcH8zz03Odt2waAhmC
EALw_wcB

Ünlü, F. (2020). Yapay Zekanın İlahi Trajedisi. Sabah Gazetesi.
<https://www.sabah.com.tr/yazarlar/pazar/ferhat-unlu/2020/12/13/yapay-zekanin-ilahi-trajedisi>

Bölüm 4

**Doğanın Mucizesi: Piezoelektrik
Mineraller**

Ayşe Didem KILIÇ¹

¹Doç. Dr.; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Bölümü.

adkilig@firat.edu.tr

ORCID No: 0000-0002-6804-6764

ÖZET

Mineraller, modern yaşamın önemli bir parçasıdır. Piezomineraller gibi birçok mineral farklı endüstri kollarında kullanılmaktadır. Doğal minerallerin mekanik enerjiyi elektrik enerjisine / tersine (aktüatör özelliği) dönüştürebilmesi onların kristal yapısı ve simetrisiyle ilgilidir. Ferro-, Piro- veya Piezoelektrik özelliğe sahip ikiyüzyedi mineral bilinmektedir. Piezoelektrik kristallerin LF-MF aralığında elektromanyetik emisyonlarla elektrik potansiyeli, uygulanan stresin büyüklüğü ve süresine bağlı olarak değişiklik gösterir. Piezoelektrik özellik çoklu mineral içeren kayalarda yüksektir. Bu malzemelerin farklı endüstri kollarında kullanılıyor olması, yenilenebilir ve doğal malzemelerden temin edilebilen hammadde kaynaklarının genişletilmesine ve kendi enerjisini üreten sensörlerden, akustik sensörlere veya uzay, robotik teknolojiler ve mikroenjeksiyon sistemleri gibi teknolojilerde kullanılan doğanın elektrik üretim mucizesi olarak kabul edilen minerallerin incelenmesiyle mümkündür.

Anahtar Kelimeler :Kuvars, Jeoloji, Endüstri, Dayanım, Elektrik

GİRİŞ

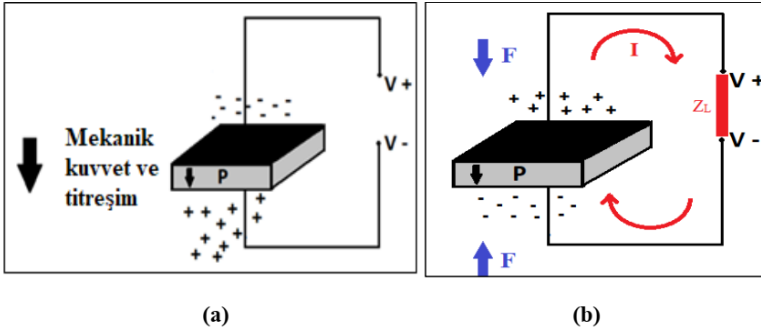
Yerkabuğu kayaçlardan, kayaçlar ise minerallerden oluşur. Latince yerkabuğundan çıkan madde anlamına gelen mineralis (mineral) "inorganik cisimleri" tanımlar. Her bir mineral belirli bir geometrik şekil, içyapı, renk ve farklı fiziksel-kimyasal özellikler gösterir. Mineraller geçmişten günümüze bilinen ve özelliklerine göre (sertlik, renk, parlaklık) farklı amaçlarla kullanılan bir tarihe sahiptir (Yılmaz ve diğ., 2023). Örneğin yapı malzemesi, takı, yontma veya kırma gibi alanlarda minerallerin fiziksel özelliklerinden faydalanılmıştır. 10. Yüzyılda minerallerin daha çok renk, sertlik, yoğunluk özelliklerinden faydalanılmış ve mineraller değerlendirilmiştir. 16. Yüzyıla gelindiğinde minerallerin kristal şekilleri, geometrileri ve kimyası hakkında daha fazla bir farkındalık açığa çıkmıştır. Nihayet, 19. Yüzyılda kimya bilimi, kimyasal analizler ve değişim reaksiyonlarının incelenmesi ile minerallerin endüstriyel kullanımları ve önemini önemli ölçüde artırmıştır. Mineraller, modern yaşamın birçok yönünde kritik bir rol oynamakta ve endüstriyel ürünlerin üretimine ve geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Örnek olarak, inşaat (çimento gibi temel malzemelerde kil, demiroksit mineralleri), cam sanayi (kuvars, feldspat gibi), seramik ve porselen endüstrisi (feldspat, kuvars ve kil), çelik üretiminde (demir cevheri ve kok kömürü gibi mineraller), kimya (potasyum ve magnezyum içeren fosfat gibi) kullanılmaktadır. Ayrıca, camyünü ve yalıtım malzemesi olarak (olivin, serpantin), tekstil (kalsit, feldspat, kaolen, boksit), kozmetik (talk, galen, grafit, limonit, sfalerit), petrol ve doğalgaz (Bentonit, baryum sülfat mineralleri) ve günümüzde artan bir önemle elektronik ve teknolojilerinde (NTE'li mineraller) oldukça önemlidir. Günümüzde, elektrik enerjisi üretme, titreşim algılama, basınç ölçümü ve akustik uygulamalar gibi birçok alanda kullanılan piezo-elektrik malzemeler ve cihazlarda piezo-elektrik mineraller kullanılmaktadır.

Piezo-elektrik ve Mineraller

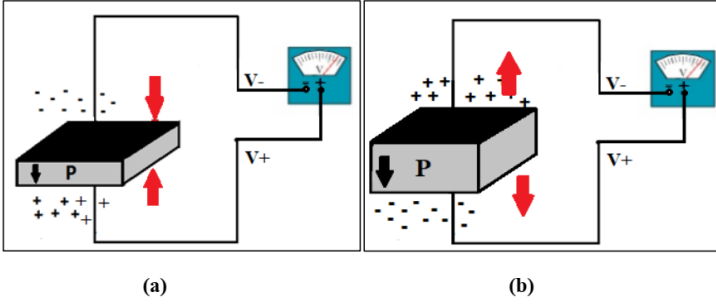
"Piezo-", Yunanca bir kelime olup "basınç" veya "baskı" anlamına gelir. Bu ön takı, "piezo-elektrik" gibi terimlerde kullanılır. Piezo-elektrik etkiye veya mekanik basınca dayalı olayları ifade eden piezo-elektrik etki, bazı kristal ve seramik malzemelerin mekanik basınç altında elektrik yükleri üretmeleri veya tersine, elektrik alanlara maruz kaldıklarında mekanik deformasyona uğramaları anlamına gelir. Piezo-elektrik olayını, 1880 yılında Fransız fizikçiler Curie kardeşler bulmuştur. Daha sonraları piezo-elektrik mineraller ve simetri sınıfları üzerine artan çalışmalar yapılmıştır (Cai ve diğ.,2016; Shannon, 2011; Hou, 2019).

Piezoelektrik özellik, bir kristalin simetrisine bağlıdır. Kristaller üç tip simetriye sahip olabilir. Bir kristal kafesinin koordinatları varsayımsal olarak bir noktadan yansıtıldığında, ters koordinatlara sahip yeni bir ters kafes oluşturulur. Bu ters örgü orijinal kristal örgü ile aynı ise kristal merkez simetrik veya sentrosimetriktir. Eğer ters kafes orijinal kristal kafesle aynı değilse ve ters kafes döndürüldüğünde, orijinal kafese uyacak şekilde eşleşiyorsa, o zaman kristal sentrosimetrik değildir (Cady, 1946). Ters örgü, orijinal kristal örgü ile aynı değilse ve ters örgü orijinal örgüye uyacak şekilde döndürülemiyorsa o zaman kristal kiral veya enantiomorfiktir denir (Şekil 1). Kiral kristaller hem sol hem de sağ formlarda bulunur ve bundan dolayı bu tür kristal ya da moleküller aynadaki görüntüleriyle üst üste gelmezler (Cady, 1946; Blinç, 2011). Sentrosimetrik yapılar bir basınca maruz kaldıklarında piezoelektrik yük oluşturmazlar.

Basınçla yeri değişen her elektron bağı bir diğeri ile karşılaşır ve bu diğernin yükü ile doldurularak tekrar orijinal yüksüz haline döner (Bishop, 1981). Pek çok kiral ve sentrosimetrik olmayan mineral, piezoelektrik etki özelliğine sahiptir (kuvars gibi). Yerkabuğundaki piezoelektrik mineraller uygun yönelimli, Şekil 2'deki gibi hizalanmış ise piezoelektrik yapının kendisi de piezoelektriktir (Nikitin ve Ivankina, 1995; Nikitin ve diğ., 2008).



Şekil 1. a) Mekanik kuvvet ve titreşim uygulanmadan önce piezoelektrik malzemenin görüntüsü, b) Mekanik kuvvet uygulanan malzemenin oluşturduğu elektrik alan ve elektrik akımının yönü (Çolak, 2018).



Şekil 2. a) Piezoelektrik malzemeye gerilim uygulanmadan önceki görüntüsü,

b) Gerilim sonrası piezoelektrik malzemedeki değişim ve kutuplanma yönü (Çolak, 2018)

Toplam 830 mineralin simetrisini ve piezoelektrik özellikleri incelemiş ve yaklaşık 70 mineralin piezoelektrik özelliğe sahip olduğunu belirlemiştir (Hawkins ve diğ.,1995). Piezoelektrik özelliğe sahip bu minerallerden bazıları, borasit, epsomit, hoslarit, morenozit, alfa-kuvars, selenyum, teluryum, berlinit, beta-kuvars, nefelin, turmalin, kankrinit, grinokit, zinkit, kurşun, sfalerit, amonyum klorit, sodalit ve pirolusit şeklindedir (Barthelmy, 2012; Ralph, 2012) (Şekil 3).



Şekil 2. Piezoelektrik mineral örnekleri. A-Brusit, B- kuvars, C-Turmalin

Piezoelektrik özellik gösteren mineral ve mineral gruplarını içeren kayalar üzerine yapılan çalışmalarda (Çakmak ve Kılıç, 2021; Volarovich ve Parkhomenko, 1954;), monomineralli kayaların piezoelektrik özelliği, çoklu mineralli kayalara göre daha az olduğu belirlenmiştir. Yani bir granit (feldispat, kuvars, amfibol, biyotit) bir kumataşından (kuvars, kil) daha piezoelektriktir denilebilir. Çoklu mineralli kayalarda piezoelektrik etkinin varlığı bu minerallerden enerji üretilebilir mi sorusunu açığa çıkarmış ve bazı araştırmacılar (Barthelmy, 2012), raman spektroskopisi ile mineral titreşim değişimlerini karşılaştırarak minerallerin enerji içeriği üzerine LBD-veritabanı

(LandoltBörnstein Data) altında bir veri sistemi oluşturmuşlardır. Bu veritabanında, ferroelektrik, antiferroelektrik ve paraelektrik özellik gösteren 44 mineral, piroelektrik özellik gösteren 175 mineral ve piezoelektrik özellik gösteren 217 mineral bulunmaktadır (Shannon, 2011). Buna göre, ferroelektrik minerallere Stibnit, Borazit, antiferroelektrik veya paraelektrik mineraller/piezoelektrik minerallere Kuvars, Analsim, Sfalerit, Topaz, piroelektrik minerallere ise Turmalin, Nefelin, Brusit, Kolemanit örnek verilebilir. Yalnız mineral grupları içinde farklılıklar görülebilmektedir. Örneğin; Borasit grubunda Borasit, Şambersit, Kongolit, Trembatit minerallerinin, ilk ikisi Paraelektrik, son ikisi Ferroelektrik özelliğindedir (Candy, 1946; Volarovich ve Parkhomenko, 1954) (Tablo 1). Bu farklılık kristal kafes yapılarından kaynaklanır. Örneğin turmalin mineralinin piroelektrik özelliği kristal kafesinde Y köşesinde bulunan Fe^{+2} iyonunun varlığından ileri gelir (Kılıç ve Arslan, 2018).

Tablo 1. Minerallerin Piro-ve Piezoelektrik Mekanizmaları (Çolak, 2018)

Mekanizma	Kategori	Kısa açıklama
Hatalı nokta grubu	1	Önemsiz
Kimyasal olarak eşit fazların içiçe büyümesi	2	İçiçe büyüme
Submikroskopik fazların içiçe büyümesi	3	İçiçe büyüme
Enerji üreten kafes dönüşümü	4	Kafes dönüşümü
Kafes iyonlarının bozunumu	5	Kafes düzenlenmesi
Atom, iyon ve grupların dizilimi	6	Kafes düzenlenmesi
Düzensiz dizilim	7	Kafes düzenlenmesi
Boşluklu dizilim	8	Kafes düzenlenmesi
Büyük boyutlu yapı	9	Kafes düzenlenmesi
Jahn-Teller etkisi	10	Elektronların bağlanması

Piezoelektrik Minerallerin Özellikleri

- Piezoelektrik mineraller mekanik streslere karşı dirençli olmalıdırlar (Kuvars, Turmalin),
- Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine verimli bir şekilde dönüştürebilme özellikleri olmalıdır ki bu, enerji üretiminde verimliliği artırır (Kuvars).
- Bu mineraller çevre dostudur. Bunların üretiminde, herhangi bir kimyasal madde kullanılmaz. Bu nedenle, karbon ayak izini azaltma potansiyeline sahiptirler.
- Piezoelektrik mineraller, enerji üretimi, titreşim analizi, akustik sensörler ve daha fazlası için kullanılabilen malzemelerdir (Brusit, Kolemanit gibi).
-

Piezoelektrik Minerallerin Endüstriyel önemi

Piezoelektrik mineraller, iletken malzemelerden uzay araçlarına dayanıklı malzemelerin birçoğunda kullanılır. Endüstriyel piezoelektrik malzemeler genellikle kurşun-zirkonyum-titanyum (PZT) seramik olarak Tokyo Teknoloji Enstitüsü'nce üretilmektedir (<https://stringfixer.com>). Piezoelektrik kompozitler arasında yaygın olarak; Turmalin, Kuvars, Lityum Niobat/tantalat ve Baryum titanat ($BaTiO_3$) mineralleri kullanılmaktadır.

Uygulama alanlarına göre farklılık göstermesine rağmen, elektromekanik bağlantı faktörü-k, piezoelektrik gerinim sabiti-d, piezoelektrik voltaj sabiti-g, mekanik kalite faktörü-QM gibi belirleyici özellikler temeldir. Kuvars kristali elektronik, osilatör, uzay teknolojileri gibi alanlarda elektrik ve refrakter malzeme olarak veya silikon metali üretiminde kullanılan piezoelektrik minerallerdendir (Volarovich, ve Parkhomenko, 1954). Piezoelektrik minerallerin bir diğer kullanım alanı, titreşim algılayıcılar, hızölçerler ve mikrofonlardır. Bilinen ve endüstriyel anlamda sınırlı oranda kullanılan piezoelektrik özelliğine sahip mineraller, çoğu durumda daha iyi stabiliteye sahip olmaları ve daha fazla mukavemetleri sebebiyle sentetik piezoelektrik malzemelerden üstünlerdir. Minerallerin elektromanyetizma ve piezoelektrik özelliklerini konu alan çalışmalarda (Bathelmy, 2012) minerallerin elektromanyetizma ve piezoelektrik özelliğinin, sentetik malzemelere göre üstünlükleri ortaya konmuştur.

Günümüzde pasif kontrol sistemleri, yarı aktif titreşim metotları gibi dışardan sisteme giren ve enerjiyi elektriğe veya ısıya dönüştürebilen sistemlerde piezomineraller kullanılmaktadır (Syed ve diğ., 2018). Bu sistemlerde aranan önemli unsurlardan biri, ani ısı değişimlerinden malzemenin zarar görmemesidir. Bu dayanım ne kadar yüksek olursa kristalin piezomalzeme özelliğini o oranda artar (Rome, 2005). Özellikle, mekanik ve termal özellik gerektiren yarı iletken teknolojilerde, telekomünikasyon, uzay mekikleri robotik-roketlerde, sensörler ve yapı sektörü gibi farklı alanlarda ani ısı değişime dayanım tercih sebebidir (Volarovich ve Parkhomenko, 1954). Doğal kuvars mineralinin piezoelektrik özellikleri üzerine yapılan deneysel çalışmalarda, 125 kHz frekansta %33 oranında kuvarsın piezoelektrik özelliği maksimumdur. Deforme olmuş dalgalı sönme gösteren kuvarslarda bu oran %10-%50' dir.

Kısaca, titreşimlerden veya dokunmatik hareketlerden kaynaklanan enerjiyi kullanarak kendi enerjisini üreten piezoelektrik sensörlerde (akıllı telefonlar, kameralar), ses dalgalarını algılamak için kullanılabilen akustik sensörlerde (mikrofonlar, ultrasonik tarama cihazları), ilaçları hassas bir şekilde dağıtmak için mikroenjeksiyon sistemlerinde kullanılabilen malzemelerdir.

SONUÇ

Günümüz dünyasında teknoloji hızla gelişmekte ve bu enerji kaynaklarına olan talebi artırmaktadır. Bu artan talebi karşılamak için sürdürülebilir ve çevre dostu enerji üretim yöntemlerine olan ihtiyaç da artmaktadır. Piezoelektrik mineraller, enerji üretiminde sürdürülebilir bir yaklaşım sunan ve çeşitli uygulama alanlarına sahip doğal malzemelerdir. Mekanik stres altında elektriksel potansiyel üreten veya tersi işleyen doğal veya sentetik bu mineraller, bir çeşit enerji dönüşümü sağlar ve dışarıdan uygulanan mekanik basınca yanıt olarak elektrik enerjisi üretirler.

Piezoelektrik mineraller, atomik veya moleküler seviyede simetriye sahip olmamalarından dolayı, pozitif ve negatif yüklerin yerleşik olduğu simetrik olmayan bölgeler bulunur. Mekanik bir stres uygulandığında, bu simetrik olmayan bölgelerdeki yüklerin yer değiştirmesi ile açığa çıkan potansiyel fark, elektrik akımı üretir veya enerji depolamak için kullanılır.

Piezoelektrik mineraller, mekanik dayanıklılığa, yüksek verimliliğe, esnek uygulama alanı çeşitliliğine sahiplerdir. Endüstriyel olarak kendi enerjisi üreten sensörlerde, akustik sensörlerde, elektrik üretiminde, mikroenjeksiyon sistemleri gibi ana başlıklarda kullanılan bu mineraller, doğanın elektrik üretim mucizesi olarak kabul edilebilir. Piezoelektrik malzemelerin doğal kaynaklardan temin edilmesi ve enerji üretim alanında uygulanan mekanik stresin elektrik enerjisi üretmesi, sürdürülebilir enerji üretimi ve çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesi açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Gelecekte, piezoelektrik malzemelerin daha fazla uygulama alanının bulunması muhtemel ve enerji üretimindeki rolü giderek artacaktır.

REFERANSLAR

- Cady, W.G., (1946). *Piezoelectricity: An introduction to the theory and applications of electromechanical phenomena in crystals*: New York, McGraw-Hill, 822.
- Cai Jia-Huan, Li Ping, Wen Yu-Mei, Bao Yi-Zhuang, Liu Shuang-Jian., (2016). *Characteristics of quartz crystal energy storage*. Acta Phys. Sin., 65(10). 104205. doi: 10.7498/aps.65.104205.
- Çakmak, B., Kiliç, A.D., 2021. *Bitlis ignimbiritinin petrografik ve jeokimyasal özellikleri*. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11,4, 1093-1102.
- Çolak, F., (2018). *Piezo ve Isı Tabanlı Düşük Güç Enerji Hasatlayıcı Uygulaması*. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'na Sunulan Yüksek lisans Tezi, 209.
- Barthelmy, D., (2012). *Mineralogy Database*. [http://www. webmineral.com/](http://www.webmineral.com/) (April 2012).
- Bishop, J. R., (1981). *Piezoelectric effects in quartz-rich rocks*. Tectonophysics,77(3-4),297-321. doi.org/10.1016/0040-1951(81)90268-7.
- Blinç, R., (2011). *Advanced Ferroelectricity*. Oxford, Oxford University Press. International Series of Monographs on Physics 151, 272.
- Hawkins K., MacKinnon I., Schneeberger H., (1995). *Influence of chemistry on the pyroelectric effect in tourmaline*. American Mineralogist, 80, 491-501.
- Helman, D.S., (2016). *Symmetry-based electricity in minerals and rocks: A review with examples of centrosymmetric minerals that exhibit pyro-and piezoelectricity*. Periodico di Mineralogia, 85(3), 201-248. doi: 10.2451/2016PM590.
- Hou, S., Cui, L.L., Xu, X.A., (2019). *A piezoelectric-based three-direction normal stress sensor for concrete structures*. J.Intell.Matter.Syst.Structt., 30, 1850-1867.
- Kılıç, A.D., Arslan, G., 2018. *Ca-Fe-Si granatlarda raman spektroskopisi uygulaması, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri*. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 9,1, 291-299.
- Nikitin, A. N., Ivankina, T. I., (1995). *On the possible mechanisms of the formation of piezoelectric active rocks with crystallographic textures*. Textures and Microstructures, 25: 33-43.
- Nikitin, A.N., Ivankina, T.I., Ullemeyer, K., (2008). *Similar quartz crystallographic textures in rocks of continental earth's crust (by neutron*

- diffraction data*): *I.Quartz textures in monomineral rocks*. Crystallogr. Rep.53, 812. doi.org/10.1134/S1063774508050155.
- Ralph J. and Chau I., (2012). *Mineralogy Database-Mineral Collecting, Localities*. Mineral Photos and Data.
- Rome, L.C., (2005). *Generating electricity while walking with loads*. Science, 309(5741), 210 1725-1728.
- Shannon, R., (2011). *List of Piezoelectric and Pyroelectric Minerals*. In: Handbook of Mineralogy. (eds): J. Anthony, R. Bideaux, K. Bladh, M. Nichols, Mineralogical Society of America, Chantilly, VA 20151-1110, USA. <http://www.handbookofmineralogy.org>.
- Syed Atif Naseem, Riaz Uddin, Syed Wasif Naseem, Athar Rashid., (2018). *Future of Renewable Energy Technologies In Pakistan: A Policy Recommendation For Energy Storage Systems, In Pakistan A Policy Recommendation For Energy Storage Systems*. 2018 3rd International Electrical Engineering Conference (IEEC 2018) at IEP Centre, Karachi, Pakistan. The recrystallized grain size piezometer for quartz.
- Volarovich, M. P. and Parkhomenko, E. I., (1954). *The piezoeffect in rocks*. Dokl. AN SSSR, 90, 2, 239-242.
- Yılmaz, D., Kılıç, A.D., Kalecik, S., (2023). Radiation shielding parameters and Micro-Raman spectral analysis of some pyroclastic rocks. Radiation Physics and Chemistry, 203, Part A, 110596

Bölüm 5

**Nesnelerin İnterneti'nde
Yapay Zeka'nın Rolü**

BASHAR ALHAJAHMAD¹, MUSA ATAŞ²

¹ Dr. Öğr. Üyesi.; Siirt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü.
bashar.ahmad@siirt.edu.tr ORCID No: 0009-0009-3455-7206

² Doç. Dr.; Siirt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü.
musa.atas@siirt.edu.tr ORCID No: 0000-0002-1214-3127

ÖZET

Bu bölümde, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Yapay Zeka'nın (AI) kavramları ele alınmış ve bu teknolojilerin birleşiminin getirdiği faydalar incelenmiştir. IoT, internete bağlanabilen birçok cihazın oluşturduğu bir ağdır ve günümüzde milyarlarca cihazın internete bağlı olduğu tahmin edilmektedir. IoT, insanların yaşamlarını kolaylaştırmak ve iletişimi artırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapay Zeka ise, bilgisayarların insan benzeri mantık yürütme yeteneğini hedefleyen bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu teknoloji, endüstrilerin dijital dönüşümünü hızlandırmakta ve insan zekasına giderek yaklaşmaktadır. IoT ve AI'nin birleşimi, operasyonel verimliliği artırmak, maliyetleri düşürmek, ekipman arızalarını tahmin etmek, siber güvenliği geliştirmek ve riskleri öngörmek ve iyileştirmek gibi bir dizi avantaj sağlamaktadır. Özellikle, AIoT'un çalışan güvenliği konusunda nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceği örneklenmiştir. IoT ve AI'nin birleşiminin, veri madenciliği süreçleri için nasıl kritik olduğu ve bu birleşimin gelecekteki teknolojik gelişmeler için ne kadar önemli olduğu da vurgulanmıştır. Ayrıca, IoT içindeki veri madenciliği için yaygın olarak kullanılan bir süreç modeli olan CRISP-DM detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bu model, veri madenciliği projelerinin başarıyla tamamlanması için izlenmesi gereken altı aşamayı belirlemektedir: İş Anlayışı, Veri Anlayışı, Veri Hazırlama, Modelleme, Değerlendirme ve Dağıtım. Sonuç olarak, IoT ve AI'nin birleşimi, gelecekteki teknolojik gelişmelerin temelini oluşturmaktadır. Bu birleşim, iş dünyasında, güvenlikte, sağlıkta ve birçok diğer alanda büyük faydalar sağlayarak yaşantımızı daha akıllı ve etkili bir şekilde yönlendirecektir. Bu teknolojilerin ilerlemesiyle birlikte, insanlığın karşılaştığı pek çok zorluğun çözümünde önemli bir rol oynayacaklardır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, Nesnelerin internet, IOT, AI, Makine öğrenmesi.

GİRİŞ

İnternet, güçlü bir araç olarak bilgi sistemlerinin her yönünde kullanılan ve neredeyse her yerde mevcut bir kaynaktır. Bu nedenle, insanlar hem iletişim hem de yaşam kalitesini artırmak amacıyla teknolojiyi kullanarak neredeyse her günlük kullanım cihazını internetle bağdaştırma düşüncesine yönelmektedirler. Bu fikir, "Nesnelerin İnterneti" olarak adlandırılmaktadır. Bugün, internete bağlı olduğu tahmin edilen 15 milyardan fazla cihaz bulunmaktadır, ancak bu sayı hala potansiyel olarak internete bağlanabilecek cihazların %1'inden daha azını temsil etmektedir. Bir sonraki adım, bu IoT sistemlerine yapay zeka eklemektir (Mane vd., 2019).

Öte yandan, "akıllı" kelimesinin geçtiği her terim, insanların dikkatini çekmektedir. Geçmişte yapay zeka, insan zekasından oldukça uzak bir noktadaydı, ancak bugün bu alanda niteliksel bir sıçrama yaşanmaktadır ve insan zekasına giderek yaklaşmaktadır, hatta bazı durumlarda önüne geçebilir gibi görünmektedir. Örnek olarak, akıllı evler, sürücüsüz akıllı arabalar, akıllı kampüsler, akıllı sulama sistemleri, akıllı sağlık izleme sistemleri gibi birçok akıllı proje ortaya çıkmaktadır (Ghosh1 vd., 2018).

Yapay zeka (AI), bilgisayarların insan benzeri mantık yürütme yeteneğini hedefleyen bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu teknoloji, endüstrilerin dijital dönüşümünü hızlandırmaktadır (Michalski vd., 2013). Fiziksel dünyayı ve nesnelere neredeyse otomatik hale getirmek için, insan öğrenimini taklit eden bir makine öğrenimine (ML) ihtiyaç duyulmaktadır. Makine öğrenimi, ağırlıklı olarak farklı bileşenlerinde ve cihazlarında öğrenmeyi kolaylaştıracak ve onları otomatik ve kendi kendine yönetilen tekniklerle donatacaktır (Monostori vd., 2016). Bu eğilim giderek büyümekte ve şimdi ML'nin akıllı sistemlerin sensörleri ve gömülü sistemleri gibi alanlara entegre edilmesi için çaba gösterilmektedir. Bu eğilimin temelinde yatan büyük fikirlerden biri de Nesnelerin İnterneti (IoT) kavramıdır (Hassan vd., 2017).

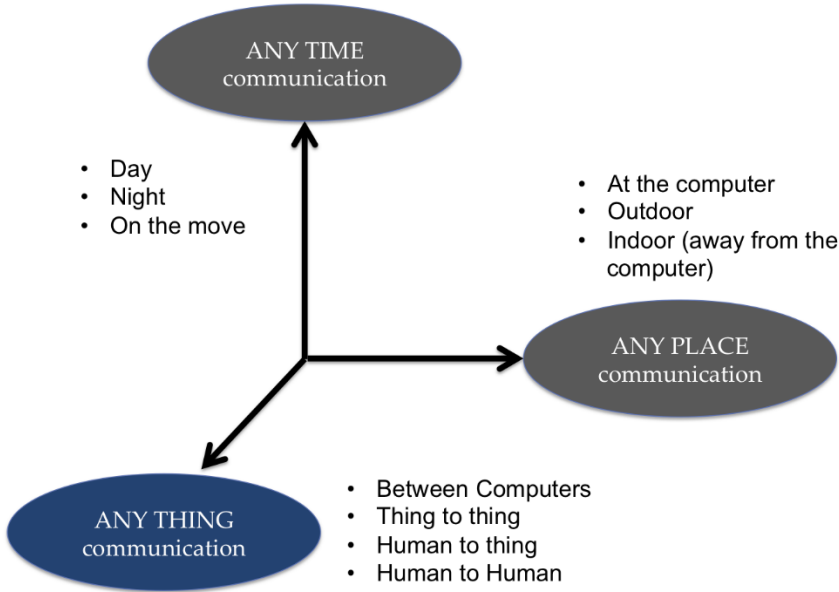
NESNELERİN İNTERNETİ VE YAPAY ZEKANIN TEMELLERİ

IoT ne dir?

"IoT" terimi, 1999 yılında Kevin Ashton tarafından ortaya atıldı. O dönemde, bilgisayarların verilerinin büyük bir kısmı insanlar tarafından üretiliyordu ve Ashton, bilgisayarların insan müdahalesi olmadan doğrudan veri toplaması gerektiğini öne sürdü. Bu düşünceyle, veri toplamak, ağa bağlanmak ve doğrudan bilgisayar sistemlerini beslemek üzere tasarlanmış olan şeyler olarak RFID ve sensörler gibi teknolojileri önerdi.

Günümüzde IoT (her şeyin interneti veya bazen "sis ağı" olarak da adlandırılır),

internete bağlı olan ve genellikle sensörler, aktüatörler ve akıllı telefonlar gibi çeşitli cihazları ifade eder. Bu cihazlar çok çeşitli şeyler olabilir: bir kişinin giydiği bir giyilebilir cihaz, bir hayvanın üzerindeki RFID etiketi veya hatta evimizde bulunan buzdolapları, çamaşır makineleri veya kahve makineleri gibi günlük cihazlar. Bu cihazlar, internetle doğrudan iletişim kurma yeteneğine sahiptirler ve isteğe bağlı olarak algılama, çalıştırma, veri toplama, veri depolama ve veri işleme gibi işlemlere sahip olabilirler. Şekil 1'de görüldüğü gibi, ICT (Bilgi ve İletişim Teknolojileri) alanının kapsamı bize her zaman her yerde iletişim sağlama olanağı sunmuştur; IoT ise "Her Şeyin" iletişimine yeni bir boyut eklemektedir. Yani, IoT, herhangi bir şeyin (Any Thing) iletişimini mümkün kılarak dijital dünyayı fiziksel dünyamıza daha da yakınlaştırmaktadır (Kapoor, A. 2019).



Şekil 1: IoT'de Tanıtılan Yeni Boyut

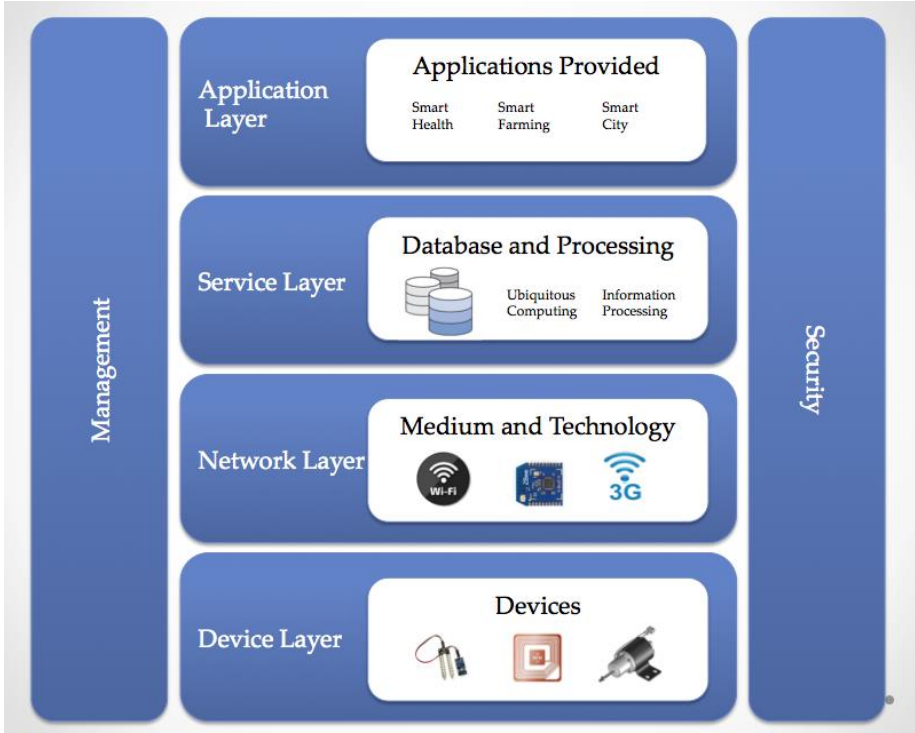
IoT, bir teknoloji olarak, insanlar ve toplum üzerinde kapsamlı bir etki yapacağı öngörülen bir alandır. Bu etkileri daha iyi anlamak için aşağıdaki senaryoyu göz önünde bulundurabiliriz:

Diyelim ki bitkilere büyük ilgi duyuyorsunuz. Özenle saksı bitkileriyle iç mekân bir bahçe oluşturmuşsunuz. Ancak iş yerinizden veya kişisel nedenlerle uzun bir süreliğine uzaklaşmanız gerekiyor ve bitkilerinizin susuzluktan ölmesinden endişe ediyorsunuz. İşte burada IoT devreye giriyor. Bitkilerinizi toprak nemi sensörleriyle donatıp bunları internete bağlayarak, uzaktan kontrol edilebilen sulama sistemleri ve yapay güneş ışığı aydınlatmalarıyla entegre edebilirsiniz. Şimdi herhangi bir yerden dünyadaki bitkilerinizi gözlemleyebilir ve

gerektiğinde sulama veya aydınlatma işlemlerini uzaktan gerçekleştirebilirsiniz. Bu sayede bitkilerinizin sağlığını koruyabilir ve onları her zaman ideal koşullarda tutabilirsiniz (Hu, 2011).

IoT referans modeli

IoT mimarisi, OSI referans modelinde olduğu gibi altı katmana ayrılır. Bu altı katman, dört yatay katman ve iki dikey katmanı içerir. İki dikey katman olan Yönetim ve Güvenlik, dört yatay katmanın her birini kapsayan bir şekilde dağılmıştır, bu konsept aşağıdaki Şekil 2'de görsel olarak gösterilmiştir: (Khan vd., 2012)



Şekil 2: IoT katmanları

Cihaz Katmanı (Device Layer): En alt seviyede, genellikle Algılama Katmanı olarak adlandırılan Cihaz Katmanı bulunmaktadır. Bu katman, fiziksel dünyayı algılama veya kontrol etme işlevini üstlenir ve bunu yapmak için gerekli olan fiziksel donanımları içermektedir. Bu donanımlar, örneğin sensörler, RFID etiketleri ve aktüatörler gibi cihazları içermektedir.

Ağ Katmanı (Network Layer): Ağ Katmanı, kablolu veya kablosuz ağlar aracılığıyla iletişim ve veri iletimini sağlamaktadır. Bu katman, Cihaz Katmanındaki cihazlardan gelen bilgileri güvenli bir şekilde bilgi işlem sistemine

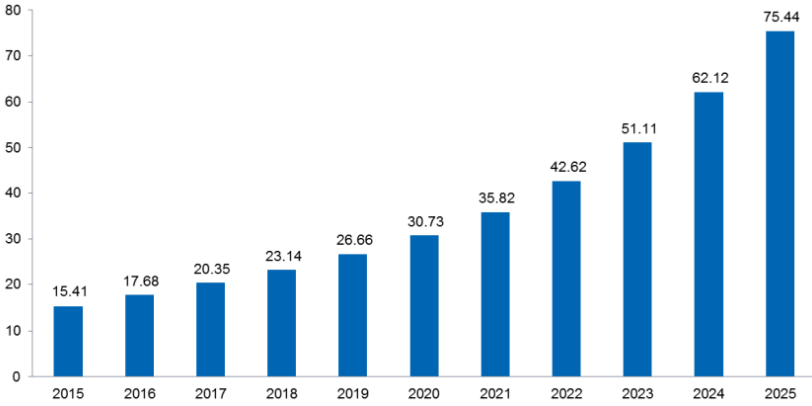
ileterek veri aktarımını sağlar. Örnekler arasında 3G, UMTS, ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi gibi iletişim protokolleri bulunmaktadır.

Hizmet Katmanı (Service Layer): Hizmet Katmanı, hizmet yönetimi ile ilgilidir. Ağ Katmanından bilgi alır, bu bilgileri veritabanında depolar, işler ve sonuçlarına göre otomatik kararlar alabilir. Bu katman, verilerin işlenmesi ve yönetilmesi sürecini denetlemektedir.

Uygulama Katmanı (Application Layer): Uygulama Katmanı, Hizmet Katmanında işlenen bilgilere dayanarak çeşitli uygulamaları yönetir. IoT'nin uygulanabileceği çok çeşitli alanlar bulunmaktadır, örneğin akıllı şehirler, akıllı tarım ve akıllı evler gibi. Bu katman, bu uygulamaların geliştirilmesi ve yönetilmesi için gereklidir.

Büyük veri (Big Data) ve IoT

IoT, özellikle araba motorları gibi daha önce hiç internetle bağlantılı olmayan nesnelere birbirine bağlayarak büyük miktarda sürekli veri akışının oluşmasına yol açtı. Aşağıdaki Şekil 3'te görüldüğü gibi, IHS tarafından yapılan keşif verileri, gelecek yıllarda milyarlarca bağlı cihazın sayısının artacağını göstermektedir. Bu tahminlere göre, IoT cihazlarının sayısı 2025 yılına kadar 75,44 milyarı aşacak gibi görünmektedir: (Sam, 2016)



Şekil 3: 2025 yılına kadar IoT cihazlarının büyümesine ilişkin tahmin (Sam, 2016)

Bu süreçte üretilen veri miktarı hem büyük hem de karmaşıktır ve bu nedenle büyük veri işleme yaklaşımını gerektirir. Büyük veri ve IoT, birbirlerini tamamlayan ve birlikte çalışan iki önemli konsepttir. IoT, sürekli olarak sıcaklık, kirlilik seviyesi, coğrafi konum ve benzeri durumları ölçerek büyük miktarda veri akışı üretir. Bu veriler doğası gereği dinamiktir, bu da veri analizi görevini karmaşıktır. Ayrıca, üretilen veriler yerinde (sensör veya ağ geçidi gibi) veya

bulutta analiz edilebilir. Bu verileri buluta göndermeden önce, IoT veri dönüşümü adı verilen bir süreç gerçekleştirilir. Bu süreç, aşağıdaki işlemleri içerebilir:

Zamansal veya mekansal analiz: Verilerin zaman içindeki veya coğrafi konumlarındaki değişiklikleri incelemek.

Verileri özetleme: Verileri daha öz ve anlamlı bir şekilde özetlemek.

Verilerin toplanması: Dağınık veri kaynaklarından verileri merkezi bir konumda bir araya getirmek.

Verileri normalleştirme: Farklı kaynaklardan gelen verileri aynı formata getirmek.

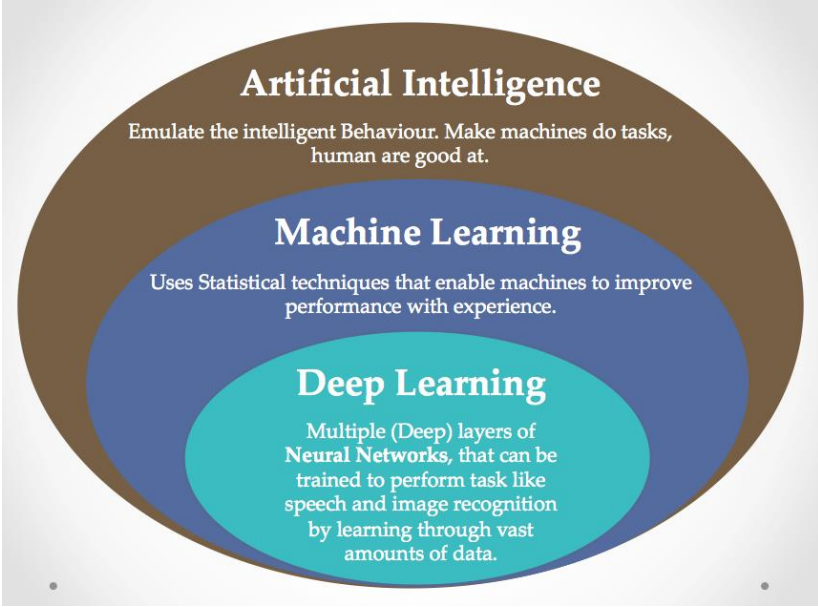
Veri temizleme: Hatalı veya gereksiz verileri ayıklamak veya düzeltmek.

Bu işlemler, IoT verilerinin etkili bir şekilde analiz edilmesi ve anlamlandırılması için önemlidir.

IoT Alanında Veri Bilimi

Veri bilimcileri ve makine öğrenimi mühendisleri arasında oldukça yaygın olan bir söz vardır ki bu söz, Profesör Andrew Ng tarafından 2017'de NIPS konferansında dile getirilmiştir: 'Yapay zeka yeni bir elektriktir.' Bu ifadeyi daha da genişleterek şöyle söyleyebiliriz: Eğer yapay zeka yeni bir elektrikse, veri ise yeni kömürdür ve Nesnelerin İnterneti (IoT), bu yeni kömürün çıkarıldığı madenidir.

IoT, olağanüstü miktarda veri üretir ve bu verileri manuel olarak izlemek hem zaman hem de maliyet açısından zorlayıcıdır. IoT verilerine çeşitli yapay zeka modelleri ve teknikleri uygulanabilmektedir. Bu modeller arasında Yapay Zeka (Artificial Intelligence), Makine Öğrenimi (Machine Learning) ve Derin Öğrenme (Deep Learning) gibi teknolojiler bulunmaktadır. Şekil 4, bu üç modelin birbirleriyle ilişkisini açıklamaktadır.



Şekil 4: AI, Makine Öğrenimi ve DL (Hu, 2011)

Nesnelerin İnterneti (IoT), büyük veri ve yapay zeka kullanarak birçok farklı nesnenin davranışlarını izleyerek, verileri anlamlandırmayı ve temel süreçleri optimize etmeyi hedefler. Bu amaç doğrultusunda aşılması gereken bazı zorluklar bulunmaktadır:

- Gerçek zamanlı olarak üretilen etkinliklerin veritabanlarında saklanması: IoT, sürekli olarak veri üretir ve bu verilerin gerçek zamanlı olarak kaydedilmesi ve saklanması gerekliliği vardır.
- Depolanan veriler üzerinde analitik sorguların çalıştırılması: Biriken verilere erişmek ve bu veriler üzerinde analitik sorgular çalıştırmak, büyük veri işleme yeteneklerini gerektirir.
- Verileri kullanarak öngörüler elde etmek ve tahminler yapmak: IoT verileri, yapay zeka, makine öğrenimi ve derin öğrenme gibi tekniklerle analiz edilerek gelecekteki olayları tahmin etmek ve öngörüler elde etmek için kullanılabilir.

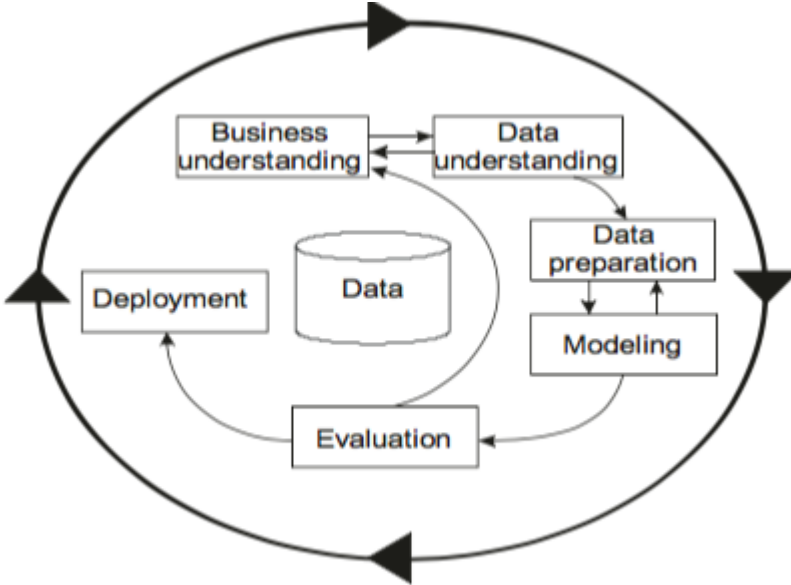
Çeşitli endüstriler arasında veri madenciliği için ortak bir standart süreç" (CRISP-DM)

IoT sorunları için en yaygın kullanılan veri yönetimi (DM) metodolojisi, Chapman ve diğerleri tarafından geliştirilen ve endüstriler arası bir standart olarak kabul edilen Veri Madenciliği için Kapsamlı İş Süreci Modeli (CRISP-DM) yaklaşımıdır (Marbán vd., 2009). CRISP-DM, veri madenciliği projelerini

başarıyla tamamlamak için izlenmesi gereken görevleri belirleyen altı farklı aşamadan oluşan bir süreç modelidir. Bu aşamalar şunlardır:

- İş Anlayışı: İlk aşama, projenin amacını ve iş gereksinimlerini anlamayı içerir. Bu aşamada, problemin tanımlanması ve projenin hedefleri belirlenmektedir.
- Veri Anlayışı: Bu aşamada, mevcut verilerin incelenmesi ve veri kaynaklarının anlaşılması önemlidir. Veri türleri ve kalitesi hakkında bilgi toplanmaktadır.
- Veri Hazırlama: Veri madenciliği için gerekli verilerin temizlenmesi, dönüştürülmesi ve hazırlanması bu aşamada yapılır. Veri özelliklerinin belirlenmesi ve eksik verilerin doldurulması gibi işlemler gerçekleştirilir.
- Modelleme: Veriler üzerinde makine öğrenimi ve istatistiksel modelleme teknikleri uygulanarak analiz yapılır. Bu aşamada, veri madenciliği modelleri oluşturulur.
- Değerlendirme: Oluşturulan modellerin performansı değerlendirilir ve sonuçlar iş gereksinimleriyle karşılaştırılır. Modelin doğruluğu ve etkinliği ölçülebilmektedir.
- Dağıtım: Başarılı bir modelin sonuçları, organizasyonun kullanımına sunulur. Bu aşama, modelin uygulanabilirliğini ve entegrasyonunu içermektedir.

Aşağıdaki Şekil 5, bu farklı aşamaları görsel olarak göstermektedir:



Şekil 5: CRISP-DM'de farklı aşamalar

Gördüğümüz gibi, veri bilimi ve yapay zekanın 2-5. adımlarda önemli roller

oynadığı sürekli bir süreç modelidir.

YAPAY ZEKA İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ IOT'UN FAYDALARI

Amazon, Netflix, Microsoft gibi önde gelen kuruluşlar, Yapay Zeka (AI) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi akıllı teknolojilerden sürekli olarak faydalanmaktadır. IoT içinde yer alan yapay zeka, Makine Öğrenimi (Machine Learning) ve Derin Öğrenme (Deep Learning) gibi tekniklerle bir araya gelerek, IoT sistemlerinin verimliliğini artırmaya odaklanmaktadır. Bu sayede, Yapay Zeka destekli IoT cihazları veri toplar, analiz eder ve elde edilen bilgileri akıllı davranışları simüle etmek için kullanabilmektedir. Böylece minimum insan müdahalesi ile karar verme süreçlerini desteklemektedir.

Günümüzde, internet aracılığıyla birbirine bağlı olan nesnelerin sayısı hızla artmakta ve 2025 yılına gelindiğinde 75 milyardan fazla bağlı cihazın kullanımda olması beklenmektedir (Statista Research Department, web sayfası). IoT içindeki yapay zeka, iş dünyası, hükümet ve sağlık gibi çeşitli insan faaliyet alanlarına büyük fayda sağlayacaktır. Şimdi, IoT içinde yapay zekanın sunduğu bazı avantajlara bir göz atalım: (Prins, N., web sayfası)

1) Operasyonel Verimliliği Artırmak

Yapay Zeka (AI), birbirine bağlı cihazlar tarafından üretilen büyük verileri hızlı ve kesin bir şekilde analiz ederek, zamanı, kaynakları ve çabayı maksimum verimlilikle kullanabilir. IoT içinde AI, yüksek kalitede ürünler ve hizmetler sunmak için kullanılabilir.

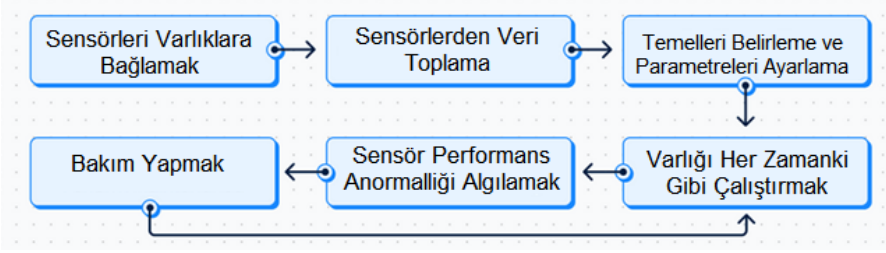
2) Kesinlik Maliyetini Geliştirmek

IoT, büyük veri miktarını parçalama yeteneği ile öne çıkmaktadır. Bu, makine ve yazılım odaklı bir yöntem olduğundan, insan müdahalesine gerek kalmadan işlemlerin tamamlanmasını sağlamaktadır. Örneğin, ATM'lerden para çekme işlemleri, online ödemeler ve e-ticaret işlemleri dolandırıcılığa karşı savunmasızdır. Yapay zeka ile IoT'nin birleşik gücü, olası dolandırıcılıkları önlemek için insan anlayışını kullanarak para kayıplarını minimize edebilmektedir (Anand A., web sayfası).

3) Ekipman Arızasını Tahmin Etmek

Yapay "Yapay zeka destekli IoT, bir ekipmanın üretildiği şartlara ne kadar dayanıklı olduğuyla ilgili verileri ileterek, şirketlere ekipman arızalarını daha hassas bir şekilde algılama ve tahminlere dayalı bakım yapma olanağı sunmaktadır. Bu sayede işletmeler, ekipmanlarının performansını daha iyi anlayabilir ve veri analiziyle gelecekteki sorunları önceden tespit edebilmektedir.

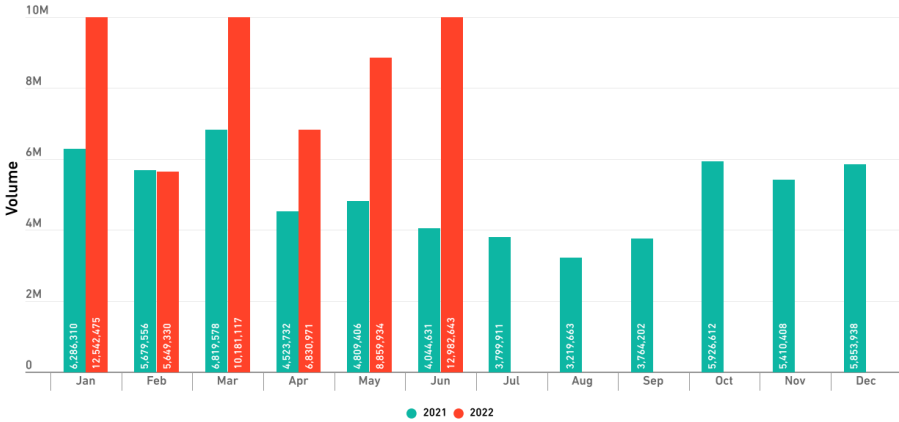
Aşağıdaki şekil, MaintenanceX tarafından geliştirilen bir akış şeması ile IoT içindeki yapay zekanın ekipman arızasını tahmin etme sürecini göstermektedir:



Şekil 6: Tahmine Dayalı Bakım İş Akışı (Predictive Maintenance Workflow, Web Sayfası)

4) Geliştirilmiş Siber Güvenlik

AI, IoT'nin karşılaştığı en büyük sorunlardan biri olan siber güvenlik konusunda etkili bir şekilde mücadele edebilir. Geleneksel IoT sistemlerinin güvenliğini sağlamak, cihazların yetersiz yerleşik güvenlik önlemlerine ve artan saldırı yüzeylerine sahip olması nedeniyle son derece zordur (Newton E., web sayfası). Bu bağlamda, 2022'nin ilk yarısında yalnızca 57 milyon IoT kötü amaçlı yazılım saldırısı gerçekleşmiştir, bu da IoT'nin siber tehditlere açık olduğunu göstermektedir. Ancak, AIoT (Yapay Zeka destekli IoT), bu tür durumlar için etkili bir çözüm sunarak, IoT güvenliğini artırabilir (SonicWall Inc, web sayfası).



Şekil 7: Küresel IoT Kötü Amaçlı Yazılım Hacmi

5) Farklı Riskleri Öngörmek ve İyileştirmek

AIoT, işletmenizin sadece iş risklerini tahmin etmekle kalmaz, aynı zamanda bu risklere nasıl yanıt verileceğini simüle ederek işletmenizin bu riskleri daha iyi yönetmesine yardımcı olmaktadır. Başka bir deyişle, yapay zeka ile güçlendirilmiş IoT, işletmelerin bu risklere daha etkili bir şekilde tepki vermesine olanak

tanımlanmaktadır.

Örnek olarak, bir şirket çalışan güvenliğini sağlamak için yapay zeka destekli IoT'yi kullanabilmektedir. Bu, çalışanları giyilebilir akıllı cihazlarla donatarak gerçekleştirilir ve bu cihazlar konum, sıcaklık ve kullanıcının yaşamsal belirtileri gibi verileri toplamaktadır. Bu veriler merkezi bir veri tabanına iletilir ve analiz edilir.

Bir çalışanın kalp atış hızı veya kan basıncı gibi yaşamsal belirtileri tehlikeli bir seviyeye ulaştığında, yapay zeka destekli sanal asistanlar çalışana önceden uyarabilmektedir. Eğer işyerinde bir kaza meydana gelirse, müdahale eden doktorlar yaşamsal belirtileri izlemek için tasarlanmış bir ekrana bakabilir ve hangi tedavilerin uygulanması gerektiği konusunda net bilgilere sahip olabilmektedir.

1. AIOT UYGULAMALARI

IoT'nin temelini anladık, ancak yapay zeka ile birleştiğinde ortaya çıkan etkiler oldukça karmaşıktır. Birçok şirket, işlerini büyütmek ve geliştirmek için gelişmiş bir yaklaşım olan IoT'yi benimsemektedir. Yeni IoT uygulamaları, kuruluşlara daha güçlü risk yönetimi stratejileri oluşturma ve uygulama kapasitesi sunar. İşte IoT ile AI'nin daha yaygın uygulamalarından bazıları: (Ghosh vd., 2018)

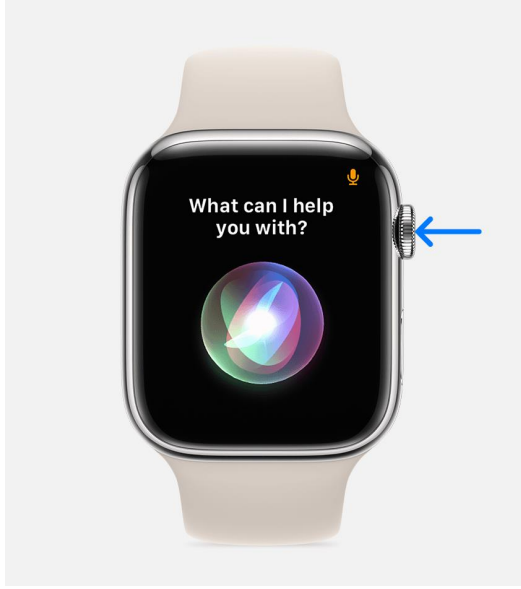
1.1 Sesli Asistanlar

Kullanıcıların kişisel asistan görevi gören bulut tabanlı ses hizmetleri mevcuttur. Bu sesli asistanlar, üçüncü taraf uygulamalar ve diğer akıllı cihazlar aracılığıyla çeşitli görevleri yerine getirebilirler. Kullanıcıların sesli komutlarına dayalı olarak soruları yanıtlayabilir, taksi çağırabilir, restoran rezervasyonları yapabilir, müzik çalabilir, akıllı ışıkları kontrol edebilir ve daha birçok görevi yerine getirebilirler. Tanınmış sesli asistanlardan bazıları şunlardır:

Amazon'un sesli asistanı Alexa, Amazon Echo, Amazon Tap ve benzeri ürünlerde kullanılmaktadır.

Apple'ın geliştirdiği Siri, Apple Homepod ve diğer Apple cihazlarında kullanılmaktadır (Şekil 8'de gösterilmektedir).

Google'ın sesli asistanı Google Asistan, Google Home ve diğer cihazlarda kullanılmaktadır. Ayrıca, altı farklı kullanıcıyı tanıyabilir ve onlarla sohbet etmek için ilgili ayrıntıları çekebilme özelliğine sahiptir.



Şekil 8: Apple Watch'ta Siri'nin nasıl kullanılacağı gösterilmektedir. Dijital kurma kolunu basılı tutun, ardından neye ihtiyacınız olduğunu söyleyin (Apple Inc, web sayfası).

1.2 Robotlar

Robotik alanındaki son gelişmeler, insan benzerliğini artıran ve belirli insan duygularını anlayıp ifade edebilen robotların geliştirilmesine yol açmıştır. Bu robotlar, insanlarla etkileşim kurabilen insansı arkadaşlar olarak kabul edilirler. Yapay zeka, birden fazla sensör ve aktüatör gibi bileşenlerle bir araya geldiklerinde, bu tür robotlar IoT özelliklerine sahip hale gelmektedir.

Bu tür robotlara örnekler şunları içermektedir:

SoftBank Robotics'ten Pepper: İnsan benzeri bir robot olan Pepper, insanlarla etkileşim kurabilmektedir. Pepper, yüz ifadelerini, vücut hareketlerini, ses tonunu ve kullanılan kelimeleri kullanarak insan duygularını anlayabilmektedir. Dört temel insan duygusu olan sevinç, üzüntü, öfke ve sürprizi tanımlayabilir ve uygun tepkiler vermektedir. Pepper, etrafında dolaşabilir ve çevresindeki insanlarla ve diğer cihazlarla etkileşimde bulunabilmektedir. Ticari olarak birçok mağazada müşterilerle etkileşim kurmak için kullanılmaktadır (Şekil 9'un sol tarafında görülebilir).

Hanson Robotics'ten Sophia: İnsana çok benzeyen Sophia, 50'den fazla yüz ifadesini kullanarak duyguları ifade edebilmektedir. İnsanlarla göz temasını sürdürebilir ve sohbet sırasında insan gibi davranmaktadır. Sophia, dünyada tam vatandaşlık alan ilk robot olarak ünlüdür (Şekil 9'un sağ tarafında görülebilir).



Şekil 9: Pepper Robot (soldaki resim) (White, 2018), Sophia Robot (sağdaki resim) (Sophia Hanson Robotics, Web Sayfası)

1.3 Akıllı Cihazlar

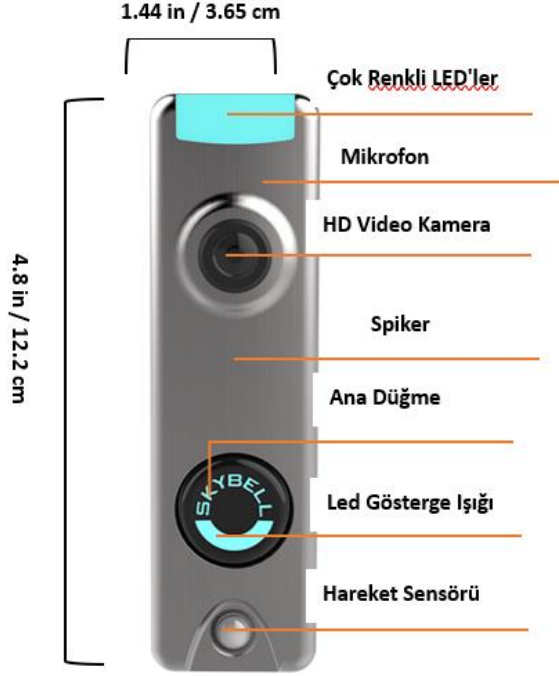
Bir IoT sisteminde, sesli asistanlar ve robotlar dışında, insanların yaşamlarını kolaylaştıran akıllı cihazlar da bulunmaktadır. Bu cihazlar, yapay zekayı kullanarak nesne tanıma, yüz tanıma, ses tanıma, konuşma ve ifade tanıma, derin sinir ağları, transfer öğrenme, bilgisayar görüşü gibi uygulamalara sahiptirler.

Örnekler şunları içerir:

Akıllı Fırın: Yemeklerin her zaman mükemmel pişmesini amaçlamaktadır. İçinde bir HD kamera ve yemek termometresi bulundurur ve fırında pişirilen yemeği otomatik olarak izlemektedir. İhtiyaca göre pişirme modları arasında geçiş yapabilir ve kullanıcıya, beğenilerini analiz ederek otomatik pişirme programları önerip yapılandırabilmektedir. Alexa üzerinden kontrol edilebilmektedir.

SkyBell: Honeywell'in HD Wi-Fi kapı zili, kullanıcının akıllı telefon veya sesli asistan aracılığıyla kapıyı yanıtlamasını sağlamaktadır. Şekil 10'da görüldüğü gibi, kapı zili üzerindeki video kamera, kapıdaki kişiyi tanımlayarak ev sahibine uyarı ve canlı görüntü göndermektedir. Bu sayede ev sahibi, uzaktan bile SkyBell üzerinden kişiyle iletişim kurabilmektedir.

Deako Akıllı Işıklar: Bu ışıklar akıllı telefonlar veya Alexa, Google Asistan gibi platformlar aracılığıyla uzaktan kontrol edilebilmektedir. İnternet bağlantısı ile kullanılabilirler ve zaman zaman yazılım güncellemeleri alabilirler.



Şekil 10: SkyBell Görüntülü Kapı Zili (SkyBell Video Doorbell, web sayfası)

1.4 Endüstriyel IoT

IoT, sadece akıllı evlerde değil, aynı zamanda farklı endüstriyel sektörler üzerinde de büyük bir etki oluşturmaktadır. Bu endüstriyel çözümler, bir şirketin istatistiksel ve finansal analizini gerçekleştirir ve ardından bazı AI ve ML algoritmalarını kullanarak tahminler sunarlar.

Örnekler şunları içerir:

Primer, Alluvium tarafından sunulan bir endüstriyel çözümdür. Primer, toplanan verilere, sistemdeki sensörlere ve varlıklara dayalı gerçek zamanlı bir kararlılık puanı analizi yapmaktadır. Potansiyel sorunları erken tespit etmeyi amaçlar ve operatörlerin anormallikleri tanımlamalarına ve bir sensörden kaynaklanan küçük bir sorundan tesis genelinde gereken tüm değişiklikleri yapmalarına yardımcı olmaktadır.

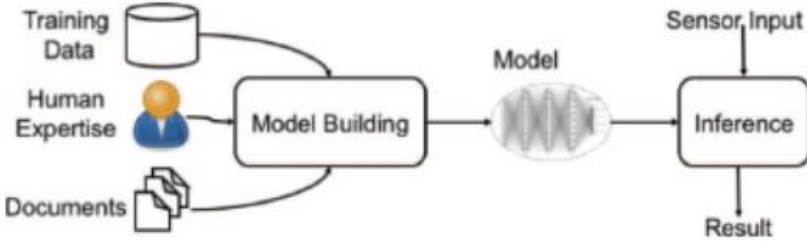
Plutoshift, başka bir endüstriyel IoT tabanlı çözümdür. Sanayi şirketlerinin varlıklarının performansını sürekli olarak izlemelerine yardımcı olur, finansal etkiyi ölçer ve veri odaklı karar verme süreçlerini desteklemektedir.

Sonuç olarak hem AI hem de IoT'nin fırsatları ve potansiyeli bir araya geldiğinde büyük bir potansiyel ortaya çıkmaktadır. IoT, veri üretirken, makine

öğrenimi ve Büyük Veri Analitiği (BDA), bu verilerde büyük değerler bulma potansiyeli sunmaktadır. AI olmadan, IoT'nin ürettiği veriler genellikle işe yaramaz. IoT tarafından üretilen veriler genellikle insanlar tarafından manuel olarak işlenemez, bu nedenle IoT'nin yapay zeka ile entegre olması gereklidir. Ayrıca, verilerde yeni bir model veya anormallik tespit edildiğinde, makine öğrenimi sayesinde yapay zeka olmayan bir IoT sistemi bu tür değişikliklere uyum sağlama yeteneğine sahip olamaz.

1.5 IoT'de Yapay Zeka Kullanımının Mimarlık Seçenekleri

Yapay Zeka yaklaşımları, bir sorunu çözmek için iki aşamalı bir süreç içinde uygulanabilmektedir. Şekil 11'de görüldüğü gibi, bu sürecin ilk aşamasında çeşitli yapay zeka modelleri oluşturulmaktadır. Bu modeller, genellikle büyük miktarda eğitim verisi kullanılarak makine öğrenimi algoritmaları tarafından eğitilmektedir. Eğitildikten sonra, bu modeller sensör giriş verilerini analiz ederek çeşitli sonuçlar çıkarabilir ve sistemin işleyişine rehberlik edebilirler (Seraphin vd., 2017).



Şekil 11: IoT'de Yapay Zeka Kullanımının Mimarlığı

2. CHATGPT'NİN IOT CİHAZLARIYLA ENTEGRASYONU

2.1 ChatGPT nedir?

ChatGPT, OpenAI tarafından geliştirilen ve temelde GPT dil modeli teknolojisi üzerine inşa edilen çok amaçlı ve metin tabanlı bir araçtır (Kirmani, 2022). Basit soruları yanıtlamaktan daha karmaşık görevleri yerine getirmeye kadar geniş bir yeteneğine sahiptir; örneğin, teşekkür mektupları yazmak gibi basit işlerden, zorlu üretkenlik sorunlarını ele almak ve karmaşık metin tabanlı soruları yanıtlamak gibi daha ileri düzeydeki görevlere kadar geniş bir yelpazede kullanılabilir (Liu vd., 2021). ChatGPT, kullanıcı isteklerini anlama ve yorumlama konusunda büyük bir veri havuzundan yararlanır ve ardından neredeyse doğal insan dilinde uygun yanıtlar üretmektedir. Bu, onun çok çeşitli metin tabanlı görevleri başarıyla yerine getirebilmesini sağlamaktadır. ChatGPT'nin pratik uygulamalarının ötesinde, insan benzeri dil üretimi ve

karmaşık görevleri gerçekleştirme yeteneği, doğal dil işleme (NLP) ve yapay zeka alanında önemli bir inovasyon sunmaktadır (Lund vd., 2023).

2.2 IoT ve doğal dil işleme (NLP)

IoT ve doğal dil işleme (NLP) entegrasyonu, Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazlarının insan dilini anlamak ve ona yanıt vermek için NLP teknolojisi ile bir araya getirilmesini ifade etmektedir. NLP, insan dilini analiz etme ve oluşturma konusunda uzmanlaşmış bir yapay zeka dalıdır. IoT cihazlarına NLP entegrasyonu sayesinde, insanlar ile makineler arasında daha doğal ve sezgisel iletişim imkanı doğmaktadır.

Örnek olarak, akıllı ev cihazlarımızı sese dayalı olarak kontrol etmek istediğinizi düşünün; bu, NLP teknolojisinin bu cihazlara entegre edilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu entegrasyon, cihazların insan konuşmasını anlamalarını ve buna cevap vermelerini sağlamaktadır. Aynı prensip, bağlantılı araçlar, endüstriyel makineler ve hatta robotlar gibi diğer IoT cihazları için de geçerlidir. NLP'nin IoT cihazlarına entegrasyonu, daha karmaşık ve gelişmiş etkileşimleri de mümkün kılar, bu da doğal dil ile iletişim kurma ve soruları yanıtlama gibi özellikleri içermektedir.

IoT'de NLP kullanımı, cihazların insan dilini anlama ve insanlarla daha doğal bir şekilde iletişim kurma yetenekleri sunarak etkileşimi daha rahat ve sezgisel hale getirmektedir (AIContentfy team, web sayfası).

2.3 ChatGPT'yi IoT Cihazlarına Entegre Etmenin Avantajları

ChatGPT'nin IoT cihazlarına entegrasyonu, cihazların insan konuşmalarını daha iyi anlamalarını ve etkileşimlerini geliştirmelerini sağlamaktadır. Bu entegrasyonun sunduğu önemli avantajlardan biri, sesli komutları kullanma yeteneğidir (Gill vd., 2023). Kullanıcılar, cihazlarına doğrudan ve anlaşılır bir dilde komutlar verebilirler, böylece özel bir uygulama veya denetleyici gereksinimine ihtiyaç duymadan cihazları kontrol edebilirler (Aydın vd., 2022).

Ayrıca, ChatGPT'nin cihazlarla doğal bir dilde iletişim kurabilme yeteneği büyük bir avantajdır. Kullanıcılar, cihazlarına sorular sorabilir ve cihazlar bu soruları anlayabilir ve insana benzer şekilde yanıtlayabilirler. Bu, etkileşimi daha kişiselleştirilmiş ve ilgi çekici hale getirmektedir. ChatGPT, IoT araçlarıyla daha karmaşık görevler için özelleştirme gibi daha gelişmiş ve rafine iletişimler sağlama kapasitesine sahiptir (Wang vd., 2023).

Sonuç olarak, ChatGPT'nin IoT cihazlarına entegrasyonu, daha derin, daha karmaşık ve daha insana benzer etkileşimlere olanak tanımaktadır. Ayrıca, özel uygulama veya uzaktan kumandaya olan ihtiyacı ortadan kaldırarak kullanıcıların cihazları daha kolay ve verimli bir şekilde kullanmalarına olanak sağlamaktadır.

2.4 IoT ve ChatGPT'nin Gerçek Dünya Uygulamaları

ChatGPT, çeşitli uygulamalara sahip bir yapay zeka modelidir, bu da onun IoT cihazlarıyla entegrasyonunu çok çeşitli alanlarda mümkün kılmaktadır. Özellikle akıllı ev teknolojilerinde, insanlar sesli komutlarla farklı ev cihazlarını kontrol edebilirler. Örneğin, seslerini kullanarak ışıkları açıp kapatabilir, termostati ayarlayabilir veya diğer cihazların durumunu kontrol edebilirler. ChatGPT, bağlantılı araçlarda da kullanılabilir. Sürücüler, sesli komutlarla sıcaklığı ayarlayabilir, müzik çalabilir veya navigasyon talimatlarını takip edebilirler. Bu sayede, sürücüler araçlarıyla doğal bir şekilde etkileşime girebilirler, yolculukları hakkında sorular sorabilirler. Endüstriyel IoT alanında ise ChatGPT, endüstriyel makinelerin izlenmesi ve yönetilmesi için sesli komutlar veya doğal dil mesajları kullanılmaktadır (Kasneji vd., 2023).

Genel olarak, ChatGPT'nin IoT ile birleştirilmesi, cihazlarla daha kolay ve anlamlı etkileşimlerin yanı sıra yönetiminin mümkün olmasını sağlamaktadır. Bu, akıllı ev aletleri, bağlantılı otomobiller ve üretim makineleri gibi birçok alanda kullanışlıdır, çünkü kullanıcılar cihazlarına doğal bir şekilde komut verebilir ve cihazlar da insan benzeri yanıtlar verebilmektedir.

2.5 ChatGPT ve IoT'nin insan yaşamı üzerindeki etkisi

ChatGPT ve IoT'nin birleşimi, teknoloji ve iletişimi daha doğal ve şeffaf bir hale getirme potansiyeli taşımaktadır. ChatGPT'nin IoT cihazlarına entegre edilmesi, sesli kontrol ve doğal dil iletişimini kolaylaştırarak bu cihazları günlük yaşamımız için daha kullanışlı hale getirmektedir (Rousseau, 2023). Ayrıca, bu birleşim, ekipmanların uzaktan kontrolü ve izlenmesini daha etkili hale getirir ve gelişmiş iletişim olanakları sunmaktadır (Gill vd., 2022).

Bu birleşim, tıbbi bakım, şehir planlaması, robot teknolojileri gibi birçok yaşam kalitesini artırıcı alanda önemli gelişmelere yol açabilir. ChatGPT ile IoT arasındaki etkileşim, teknolojiyle ilişkimizi temelde değiştirebilen ve gelecekte yaşamlarımızı önemli ölçüde iyileştirme potansiyeli taşıyan bir etkileşimdir (Calo vd., 2017). OpenAI'nin gelişmiş NLP modeli olan ChatGPT ve IoT, bu bölümde belirtilen ilginç fırsatlar sunmaktadır. ChatGPT'nin IoT cihazlarına entegre edilmesi, daha karmaşık ve sofistike konuşma olanaklarının yanı sıra daha basit ve doğal etkileşimi mümkün kılmaktadır. Bu, akıllı ev cihazları, bağlantılı araçlar ve fabrika makineleri gibi alanlarda IoT ve ChatGPT'nin potansiyel uygulama örneklerinden sadece birkaçıdır.

3. YAPAY ZEKA KULLANARAK IOT GÜVENLİĞİNİ ARTIRMAK

Her saniye yaklaşık 127 yeni internete bağlı cihazın devreye girdiği bir çağda hayati bir öneme sahiptir. Dünya genelinde bağlı cihaz sayısının "2025 yılına

kadar 25 milyardan fazla artacağı ve bu rakamın 2017'ye göre neredeyse üç kat artacağı" tahmin edilmektedir. Ayrıca, IoT cihazlarının sayısı arttıkça, buluta bağlı büyük veri miktarı ve veri ile ağ güvenliğinin önemi de büyümektedir. Bu nedenle, en büyük endişelerden biri, IoT ağlarının güvenilirliği ve sürekli olarak tehdit altında olan bulut altyapısına yönelik siber saldırılardır (Alkali vd., 2022).

3.1 IoT Koruma İle Zorluk

IoT güvenliği ile ilgili büyük bir zorluk ve kritik bir konu, bütünlük ağlarda IoT cihazlarının korunması, iletişim güvenliği ve IoT cihazları arasındaki senkronizasyonun sağlanmasıdır. Veri güvenliği açısından en büyük sorun, çoğu IoT mimarisinin siber tehditler ve gizlilik riskleriyle başa çıkmak için yetersiz olmasıdır. Bu durum ayrıca güvenlik açıklarının tüm IoT ağına yayılmasına yol açabilmektedir. Güvenlik uzmanları, çoğu IoT cihazının güvenlik önlemlerini yeterince almadığına ve bu nedenle saldırganlar için cazip hedefler olduğuna inanmaktadır.

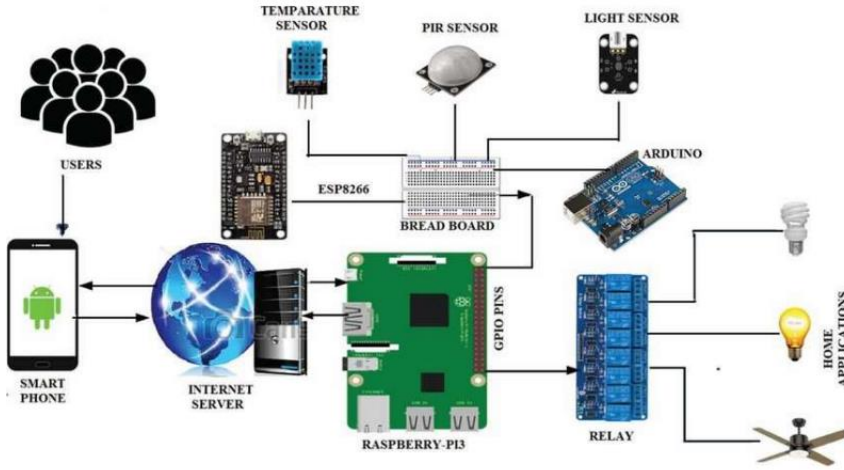
Buna ek olarak, her bir cihaz için özel tanımlayıcılar ve doğrulama kodları gibi sistem kimlikleri (Nesne/Hizmet Tanımlayıcı) başka bir koruma sorunudur. Örneğin, cep telefonlarının IMEI numaraları gibidir. Ancak IoT ağına bağlı cihazlar için bu tür güçlü tanımlayıcılar genellikle bulunmamaktadır (Wan vd., 2011).

Son olarak, coğrafi konum, IoT güvenliği için önemli bir bileşen olarak kabul edilir, çünkü bir cihazın tam fiziksel konumunu bilmek, uygun güvenlik önlemlerini almanın bir parçasıdır.

3.2 Yapay zeka (AI) ve IoT güvenlik Gereksinimleri

IoT cihazlarının büyük ve çeşitli varlıkları, bilgisayar evrenine benzersiz bir boyut ve tanım getiriyor gibi görünmektedir. Her evde bulunan gömülü cihazlar, muhtemelen eşi benzeri görülmemiş bir durumu temsil etmektedir. Bu bağlamda, ana hayati güvenlik gereksinimlerinden biri, kullanılmayan veri tehdidini izlemek, kullanmak ve hareket halindeki verileri en aza indirmek için daha güvenli bir koruma sistemi gerekliliğidir (Chen vd., 2012).

Birçok organizasyon, ağlarını tehlikelere karşı daha iyi korumak için yapay zekayı kullanmanın bir yolunu bulmuştur. Bu, daha uygulanabilir Intrusion Detection System (IDS) ve Saldırı Önleme Sistemi (IPS) rollerini içeren birçok yapay zeka mimarisi geliştirilmesine yol açmıştır.



Şekil 12: Nesnelerin İnterneti öğeleri arasındaki iletişim

Geleneksel, kural tabanlı koruma yöntemlerinin eksikliği, yapay zekayı özellikle siber savunma alanında vazgeçilmez hale getirmiştir. Yapay zeka, şirketlere en son siber tehditler hakkında gerçek zamanlı güncellemeler sağlama konusunda büyük bir yardım sunmaktadır (Yang vd., 2010).

3.3 Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi: Riskler ve Dezavantajlar

Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi teknolojilerinin gelişimi, robotik araştırmaları ve siber güvenliği büyük ölçüde ilerletmiştir. Ancak, bu gelişmeler aynı zamanda olumsuz yönler de taşımaktadır. Bilgisayar korsanlarına, gelişmiş Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi teknikleri ile siber saldırılar düzenleme yeteneği sağlamıştır. Bu, yeni tehditlerin ortaya çıkmasına neden olmuş ve siber güvenliğe karşı daha sofistike saldırılar gerçekleştirilmesine olanak tanımıştır. Bu nedenle, savunma mekanizmalarının sürekli olarak daha modern ve gelişmiş Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi yöntemleriyle güçlendirilmesi gerekmektedir (Hu, Z. H, 2011).

Ayrıca, bilgisayar korsanları kötü amaçlı yazılımlarını test etmek ve araştırmak için Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi tekniklerini kullanabilirler. Bu teknolojileri ağlara sızma ve ağları ele geçirme amacıyla daha etkili bir şekilde kullanabilirler. Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi ne kadar kontrollü ve düzenli olursa, olası zararlar da o denli büyük olacaktır. Bu nedenle, bu teknolojilerin kullanımı ve uygulanması dikkatle ele alınmalıdır.

3.4 IoT Güvenliği İçin Yapay Zeka Tabanlı Teknikler

Ağ ayrıca başka bir olası hedeftir. Herhangi bir IoT cihazına yapılan saldırılar,

bağlı olduğu ağı hedeflemeyi mümkün kılabilir ve diğer birçok bağlı cihaza yönelik saldırıları tetikleyebilmektedir.

Hizmet reddi saldırılarını (Denial of Service - DoS) tetiklemek için hedeflenen sistemi kullanmak gerekebilir. Ayrıca, geniş IoT cihaz ağına saldıran cihazlar ne kadar çoksa, hizmet reddi saldırısının etkisi o kadar yıkıcı olabilir. Saldırganlar, etkilenen cihazları zararlı mesajlar göndermek için kullanabilirler. Ayrıca, bazı durumlarda gizli bilgilerin sızdırılması ve hatta kişinin sosyal medya hesaplarının ele geçirilmesi gibi tehlikelerle karşı karşıya kalınabilir.

Diğer bir önemli endişe, yetkisiz erişimin fiziksel güvenliğe yönelik tehditler oluşturmak için kullanılabilmesidir. Örneğin, akıllı araçlar, uzaktan erişimle fren sistemlerinin manipüle edilmesi gibi gerçek dünya tehlikelerine neden olabilir. IoT, fiziksel dünyayı, iletişim ağlarını ve yazılımı birleştirir, bu nedenle bu modern bilgisayar altyapısı, koruma ve tehdit algılama teknikleri için büyük bir zorluk oluşturur (Mayer, 2009).

Yapay zekanın temel amacı, bilgisayarları insanların gerçekleştirdiği gibi bilgi içeren görevleri yerine getirmesine olanak tanımaktır. Örneğin, makine öğrenme odaklı yapay zeka teknikleri, önceki etkileşimlerden kalıpları tanımlayabilir ve ardından tahminlerde bulunabilir.

Yapay zeka tabanlı güvenlik stratejilerinin, geleneksel güvenlik yaklaşımlarından daha etkili bir şekilde tehditlere yanıt verme kapasitesine sahip olduğu düşünülmektedir. Yapay öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme gibi yapay zeka tabanlı yaklaşımlar, son zamanlarda IoT platformlarında güvenlik sorunlarını çözmek için uygun bir çözüm olarak önerilmiştir (Ding vd., 2011). Bu yaklaşımlar, endüstri ve bilgi işlem gücü alanlarında yaygın bir şekilde araştırılmıştır.

Büyük verilerin mevcudiyeti, yapay zeka stratejilerinin güvenlik açığı eğilimlerini değerlendirmek ve belirlemek için kullanılabilmesini sağlar. Bu nedenle, IoT tabanlı altyapının güvenlik tehditlerini değerlendirmek, tespit etmek ve en aza indirmek için verilerden öğrenme yeteneği, güvenlik stratejilerinde önemli bir rol oynamaktadır.

4. IoT ve AI'nın Karşılaştığı Zorluklar

AI ve IoT her ikisi de kendi başlarına zorluklarla karşılaşırken, bu iki teknolojiyi birleştirdiğimizde, zorluklar daha karmaşık bir hal alabilmektedir. Şekil 13'te gösterildiği gibi, bu zorlukların bazıları şunlar olabilmektedir (Katarel vd., 2018):

Güvenlik: AI ve IoT, kullanıcıların hassas verilerini topladığı için, bu verilerin güvenliğinin sağlanması büyük bir endişe kaynağıdır.

Uyumluluk ve Karmaşıklık: IoT, birçok farklı teknolojiye sahip ve birbiriyle

entegre edilmesi gereken birçok cihaz içermektedir. Bu durum, bu cihazların uyumlu bir şekilde çalıştırılmasını ve yönetilmesini zorlaştırabilmektedir.

Yapay Zeka Eksiklikleri: Yapay zeka sistemlerinin her zaman beklenen şekilde çalışmayabileceği ve bazen hatalı kararlar verebileceği bir gerçektir. Bu nedenle, AI algoritmalarının sürekli olarak geliştirilmesi ve verilerin daha iyi anlaşılması önemlidir.

Güven Eksikliği: IoT, yeni bir teknoloji olduğu için güvenlik konusunda endişeler bulunmaktadır. Hem tüketiciler hem de işletmeler, IoT cihazlarının güvenliği ve veri bütünlüğü konusunda güvensizlik yaşayabilmektedir.

Bulut Saldırıları: IoT, büyük miktarda veri depolamak için bulut bilişim teknolojilerine bağımlıdır. Bu nedenle, veri güvenliği riski artar ve zararlı yazılımların buluta saldırma olasılığı vardır.

Teknoloji Rekabeti: Bu, her iki teknoloji alanında rekabet edilmesi gereken hızlı gelişen bir zorluktur. Farklı teknolojilerin bir araya gelmesi ve uyum sağlaması gereken çok sayıda teknolojik zorluk vardır.



Şekil 13: IoT ile AI'nın Zorlukları

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu bölüm, yapay zeka uygulamalarının Nesnelerin İnterneti alanında nasıl kritik bir rol oynadığına ve aralarındaki yakın ilişkiye odaklanmaktadır. Bu çerçevede, yapay zeka destekli Nesnelerin İnterneti'nin en önemli avantajları ve bu alanda kullanılan önemli uygulamalar ele alınmıştır. Ayrıca, son zamanlarda büyük bir popülerlik kazanan ChatGPT sisteminin IoT cihazlarıyla nasıl entegre edilebileceği de incelenmiştir. Son olarak, yapay zeka kullanarak IoT cihazlarının güvenliğini artırma konusu ele alınmış, ancak bu tür uygulamalardan kaynaklanan riskler ve dezavantajlar da göz önüne alınmıştır.

Genel olarak, bu bölümde vurgulanmış olan, yapay zekanın Nesnelerin

Mühendislikte Güncel Yaklaşımlar

İnterneti projeleri için vazgeçilmez bir katkı sağladığıdır. Elbette, yapay zeka kullanımıyla karşılaşabileceğimiz zorluklar olabilir, ancak yapay zekanın Nesnelerin İnterneti projelerine entegre edilmesi, bu projelerin kalitesini önemli ölçüde artırırken aynı zamanda güvenlik ve doğruluk düzeyini artırmada büyük bir rol oynamaktadır.

REFERANSLAR

- AIContentfy team, ChatGPT and the Internet of Things: Connecting Devices, Web Sayfası, Erişim Tarihi: 20.06.2023 Web adresi: <https://aicontentfy.com/en/blog/chatgpt-and-internet-of-things-connecting-devices>.
- Alkali, Y., Routray, I., Whig P. (2022). Study of various methods for reliable, efficient and Secured IoT using Artificial Intelligence, in the Proceedings of the International Conference on Innovative Computing & Communication (ICICC).
- Anand A., AI in IoT - Benefits and Applications, Web Sayfası, Erişim Tarihi: 08.06.2023 Web adresi: <https://www.analyticssteps.com/blogs/ai-iot-benefits-and-applications>.
- Apple Inc, Use Siri on all your Apple devices, Web Sayfası, Erişim Tarihi: 18.06.2023 Web adresi: <https://support.apple.com/en-us/HT204389>.
- Aydın, Ö., Karaarslan, E. (2022). OpenAI ChatGPT Generated Literature Review: Digital Twin in Healthcare.
- Calo, S. B., Touna, M., Verma, D. C., Cullen, A. (2017). Edge Computing Architecture for applying AI to IoT , IEEE International Conference on Big Data (BIGDATA).
- Chen, M., Wan, J. F., ve Li, F. (2012). Machine-to-machine communications: architectures, standards, and applications, KSII Transactions on Internet and Information Systems, to appear.
- Ding, C., Yang, L. J., ve Wu, M. (2011). “Security architecture and key technologies for IoT/CPS”, ZTE Technology Journal, vol. 17, no. 1.
- Ghosh, A., Chakraborty, D., Law, A. (2018). Artificial intelligence in internet of things. CAAI Trans Intell Technol 3(4):208–218.
- Ghosh1, A., Chakraborty, D., Law, A. (2018). Artificial Intelligence in Internet of Things, IET Research Journals, 1–11.
- Gill, S. S., Kaur, R. (2023). ChatGPT: Vision and challenges, Internet of Things and Cyber-Physical Systems 3, 262–271.
- Gill, S. S., et al. (2022), AI for next generation computing: Emerging trends and future directions Internet of Things, 19.
- Hassan, Q. F., Khan, A. R., ve Madani S. A. (2017). Internet of Things: Challenges, Advances, and Applications. Chapman & Hall/CRC Computer and Information Science Series, CRC Press.
- Hu, Z. H. (2011). The research of several key question of internet of things, in Proc. of Int. Conf. on Intelligence Science and Information Engineering,

362-365.

- Kapoor, A. (2019), Hands-On Artificial Intelligence for IoT, Packt yayınları.
- Kasneci, E., Seßler, K., Küchemann, S., Bannert, M. , Dementieva, D. , Fischer, F., Gasser, U., et al. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education Learn. Individ Differ, 103.
- Katare1, G., Padihar, G. and Qureshi, Z. (2018). Challenges in the Integration of Artificial Intelligence and Internet of Things, International Journal of System and Software Engineering, Volume 6, Issue 2.
- Khan, R., et al (2012). Future internet: The internet of things architecture, Possible Applications and Key Challenges. Frontiers of Information Technology (FIT), 10th International Conference on IEEE.
- Kirmani, A.R. (2022). Artificial intelligence-enabled science poetry”, ACS Energy Letters, Vol. 8, pp. 574-576.
- Liu, X., Zheng, Y., Du, Z., Ding, M., Qian, Y., Yang, Z. and Tang, J. (2021). “GPT understands, too”, arXiv, doi: 10.48550/arXiv.2103.10385.
- [1] Lund, B. D., ve Wang, T. (2023). Chatting about ChatGPT: how may AI and GPT impact academia and libraries?, Library Hi Tech News, 40 (3).
- Mane A. R. ve Patil A. K. (2019). IoT and Artificial Intelligence, *Proceedings of Second Shri Chhatrapati Shivaji Maharaj QIP Conference on Engineering Innovations*, 22-23 Feb.
- Marbán, Ó., Gonzalo M., ve Javier S. (2009). A data mining & knowledge discovery process model. Data Mining and Knowledge Discovery in Real Life Applications, InTech.
- Mayer, C. P. (2009). Security and privacy challenges in the internet of things, Electronic Communications of the EASST, vol. 17, 2009.
- Michalski, R. S., Carbonell, J. G., ve Mitchell, T. M. (2013). Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach. Springer Science & Business Media.
- Monostori, L., Kádár, B., Bauernhansl, T., Kondoh, S., Kumara, S., Reinhart, G., Sauer, O., Schuh, G., Sihn, W., ve Ueda K. (2016). Cyber-Physical Systems in Manufacturing, CIRP Annals, vol. 65, no. 2, 621–641.
- Newton E., 5 benefits of Artificial Intelligence IoT5 benefits of Artificial Intelligence IoT, Web Sayfası, Erişim Tarihi: 08.06.2023 Web adresi: <https://techinformed.com/benefits-of-artificial-intelligence-iot/>.
- Predictive Maintenance Workflow, Web Sayfası, Erişim Tarihi: 08.06.2023 Web adresi: <https://www.getmaintainx.com/static/74a7c43d2edfa3ce7239602dff92b95d/f0f28/Predictive-Maintenance-1.png>.

- Prins, N., 5 Benefits of AI-Enabled IoT for Companies, Web Sayfası, Erişim Tarihi: 07.06.2023 Web adresi: <https://vmblog.com/archive/2022/10/19/5-benefits-of-ai-enabled-iot-for-companies.aspx>.
- Rousseau, H. (2023). From Gutenberg to Chat GPT: the Challenge of the Digital University, CIRANO, No. 2023rb-02. (30)
- Sam, L. (2016). IoT platforms: enabling the Internet of Things. Web Sayfası, Erişim Tarihi: 14.06.2023, Web adresi: <https://cdn.ihs.com/www/pdf/enabling-IOT.pdf>.
- Seraphin B. C., Maroun T., Dinesh C. V., Alan C. (2017). “ Edge Computing Architecture for applying AI to IoT ” , IEEE International Conference on Big Data (BIGDATA).
- SkyBell Video Doorbells, Web Sayfası, Erişim Tarihi: 18.06.2023 Web adresi: <https://skybell.com/collections/accessories>.
- SonicWall Inc., Mid-Year Update: 2022 SonicWall Cyber Threat Report, Web Sayfası, Erişim Tarihi: 08.06.2023 Web adresi: <https://www.sonicwall.com/medialibrary/en/white-paper/mid-year-2022-cyber-threat-report.pdf>.
- Sophia Hanson Robotics, Web Sayfası, Erişim Tarihi: 18.06.2023 Web adresi: <https://www.gspeakers.com/our-speakers/sophia-hanson-robotics/>.
- Statista Research Department, Internet of Things (IoT) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025, Web Sayfası, Erişim Tarihi: 07.06.2023 Web adresi: <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>.
- Wan, J. F., Yan, H. H., Suo, H., ve Li, F.(2011). “Advances in cyber-physical systems research,” KSII Transactions on Internet and Information Systems, 5(11): 1891-1908.
- Wang E., Yang, J. , Wang, X. , Li, J. , Han, Q. (2023). Chat with chatgpt on industry 5.0: learning and decision-making for intelligent industries, in IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 10 (4), pp. 831-834.
- White, D. (2018). Contemplating the Robotic Embrace: Introspection for Affective Anthropology, In More-Than-Human-Worlds: A NatureCulture Blog Series. Last modified June 20. <https://www.natcult.net/contemplatingthe-robotic-embrace/>.
- Yang, G., Xu, J., Chen, W., Qi, Z. H., ve Wang, H. Y. (2010). “Security characteristic and technology in the internet of things,” Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science), vol. 30, no. 4.

Bölüm 6

Güneş Enerji Sistemlerinde Tasarım Yöntemleri

Burak Ege ÖZCAN¹, Gül Fatma TÜRKER²

¹ Arş. Gör.; Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü.
Burakege960@gmail.com ORCID No: 0000-0003-0957-269X

² Dr.Öğr ; Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü.
gulturker@sdu.edu.tr ORCID No: 0000-0001-5714-5102

GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynakları sürdürülebilirlik ve doğa dostu özellikleriyle geleceğin teknolojisini şekillendirmede ilk sıralarda yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının; Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi gibi çeşitleri bulunmaktadır (Erdoğan, 2020). Güneş enerjisi sistemleri, yenilenebilir enerji sistemleri arasında en önemlisi olarak görülen enerji çeşitlerindedir. Dünyada var olan tüm yaşamalar için hayati bir öneme sahip olan güneşin kütesinin %90'lık kısmı protonlardan oluştuğu bulunmuştur. Araştırmalar sonucunda elde edilen verilere göre güneşteki hidrojen yakıtının sona ermesi 5 milyar yıl sürecektir. Bu sebeple Güneş, insanoğlu için tüm nesiller boyunca kullanılabilir bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi ulaşılabilirlik açısından tüm Dünya ülkelerince tercih edilebilir bir enerjidir. Bu özelliği en çok tercih edilen yenilenebilir kaynağı olmasına öncülük etmiştir (Haliloğlu vd., 2019). Dünyamızın her noktasında az veya çok miktarda Güneş enerjisine ulaşılabilirlik güneş ışınları miktarı bakımından oldukça fazladır. Ülkemiz güneş ışınları miktarı bakımından oldukça yeterli bir konuma sahip olduğu gibi 7 saat ortalama günlük güneşlenme süresine de sahiptir (MGM, 2022)

Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilmek için temel olarak; Güneş paneli, şarj kontrol cihazı, akü ve invertere ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş panelleri rahatlıkla evlerimizin çatı bölgelerine monte edilebilir. Güneş panelleri genel olarak 60 güneş hücresinden oluşur. Hücrelerine düşen güneş ışığı, bir başka deyişle elektromanyetik ışımaya, doğrudan akım oluşturduğu fiziksel bir tepkimeyi başlatır. Güneş panelinden üretilen elektrik akımı konnektör yardımıyla invertere aktarılır ve burada DC (Doğru Akım), AC (Alternatif Akım)'a dönüştürülür. Sözü edilen bu inverterler doğru akımı alternatif akıma dönüştürdüğü gibi frekans ve gerilim düzeylerinde uygulayabilirler. Alternatif akım Nikola Tesla'nın en büyük miraslarından birisidir. Evimizdeki, ofisimizdeki cihazlarımız alternatif akım ile çalışır. Bu nedenle güneş panellerinden üretilen enerjinin alternatif akıma dönüştürülmesi gerekir.

Dünya' da ve ülkemizde bulunan 7 şehir için şebekeye bağlı olmayan 5 kW gücünde bir sistem tasarımı oluşturmuştur. Enlemin üretilen enerjiye etkisi görülmüştür. En yüksek verime monokristal paneller kullanılarak ulaşılmıştır, amorf silikon teknoloji panellerde ise en yüksek üretim değerine ulaşılmıştır. Sistem maliyeti monokristal, polikristal ve amorf silikon teknoloji modüllerde 18 ile 25 yıl arasında sistemin sağladığı enerjinin, elektrik toplam maliyetiyle birebir aynı düzeyde olacağı hesaplanmıştır (Keskin, 2012). Solar Foto Voltaik enerji dönüşüm sisteminde harmoniklerin bulunurluğu, güç kalitesinin düşmesine sebebiyet veren bir sorun üzerine yapılmıştır. Böyle bir sorunu ele alabilmek için, oransal integral, yapay sinir ağı ve bulanık mantık kökenli

kontrolörlerin yardımı ile beslemeli ve kademeli 15 seviyeli invertördeki harmoniklerin ortan kaldırılmasını amaçladığı açıkça görülmüş ve yorumlanmıştır. Güç kalitesi iyileştirmesine ek olarak, şebeke bağlantı gereksinimleriyle uyumlu olarak inverter çıkış kolundaki volt değeri ve frekansın korunabilmesi açısından çıkış voltaj değeri regülasyonu sağladığı gözlemlenmiştir (Stonier, vd., 2020).

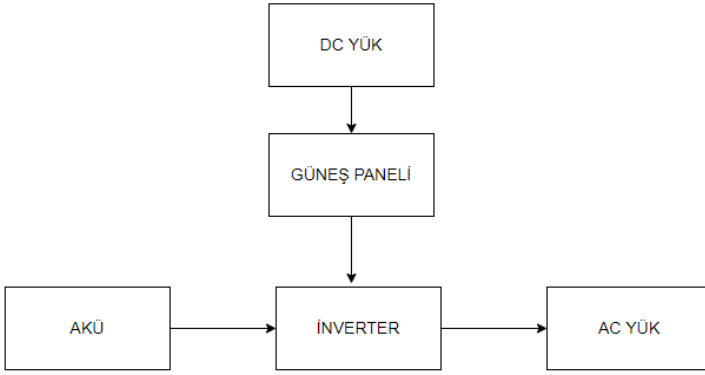
Çift yönlü dc/dc yükseltici dönüştürücü ve ardından flyback indüktör inverter kompanzasyonuna sahip olan yeni bir transformator bulunmayan bir kademeli şebeke bağlantısı bulunan inverter önerisi yapılmıştır. Önerilen evirici kararlı durum çalışması ve tasarım denklemleri ayrıntılı olarak sunulduğu görülmüştür (Gangavarapu, vd., 2020). Başka bir şebekeden bağımsız güneş enerjisi sistemlerinde kullanılacak pasif elemanlarla oluşturulmuş yumuşak anahtarlamalı inverter tekniği çalışması gerçekleştirilmiştir. Ana güç sisteminin üzerine ek olarak sadece 11 pasif eleman kullanılarak yumuşak anahtarlama oluşturulmuş ve anahtarlama kayıpları büyük ölçüde minimize edilerek sistemin güvenliği artırılmıştır. Ayrıca sistemin teorik analizleri tamamlanmıştır (Yılmaz, 2011). Benzer şebekeden bağımsız olarak gerçekleştirilen başka bir çalışmada gerçekleştirilen tasarım 960Wp güce sahip bir sistemdir. Bu sistemin kuruluş aşamasında PVSOL programından yararlanılmıştır ve şebekeden bağımsız olacak şekilde tasarım yapılmıştır (Kutluca, 2020).

Şebekeye bağlı bir tasarım üzerine yapılan çalışmalardan birisi ise Edirne ilinde bulunan Trakya Üniversitesinde gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımda sistemin ekonomik durumu üzerine çalışılmıştır. Şebekeye bağlı sistemlerin şebekeden bağımsız sistemlere göre daha ekonomik olduğu gözlemlenmiştir. Sistemde inverter ile düzenlenmiş güneş enerjisi dizileri de kullanılmıştır (Karataş, 2012). Bir başka şebekeye bağlı sistemde ise 7-50 kW değerinde 10 farklı senaryo için tasarım yapılmıştır. Ayrıca güneş enerjisi sistemlerinin diğer yenilenebilir enerji sistemlerinden hibrit kullanıma göre daha verimli olduğu gösterilmiştir (İpek, vd., 2020). Bunların dışında Mikrodenetleyici kontrollü tasarımlarda bulunmaktadır. Şebekeye bağlı bir sistem olarak tasarlanmıştır (Deveci, vd., 2020).

Bu araştırmalara ve çalışmalara bakılarak bu çalışmada güneş enerjisi tasarım ekipmanları ve tasarım çeşitlerini incelemekle birlikte güneş enerji sistemlerinin verimliliklerini maksimum seviyede tutacak ve minimum seviyeye indirgeyecek kriterler tespit edilerek şebekeden bağımsız bir güneş enerji sistemi tasarım modeli geliştirilmiştir.

GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN TEMEL EKİPMANLAR

Güneş panelleri Güneş'ten aldığı enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler ancak bu 12 Volt değerinde bir doğru akıma eşdeğerdir. Evimizde kullanmakta olduğumuz cihazlar ise 220 Volt değerinde çalışmaktadırlar. Ayrıca sistemin gün ışığı haricinde de çalışması arzu edilmektedir. Bu yüzden güneş enerjisi sistemleri bünyelerinde çeşitli ekipmanlar barındırırlar. Güneş enerjili sistemlerde tercih edilen temel ekipmanlar; solar aküler, güneş panelleri ve inverterlerdir (Şekil 1). Ancak sistemin verimli çalışabilmesi için temel ekipmanların dışında da cihazların kullanılması gerekir. Sistemde cihazların seri veya paralel bağlandığı kablolar, sigorta ve diyotlar, akü hazneleri, panel montaj ekipmanları ve çeşitli sayaçlar gibi yardımcı ekipmanlarda bulunmaktadır.

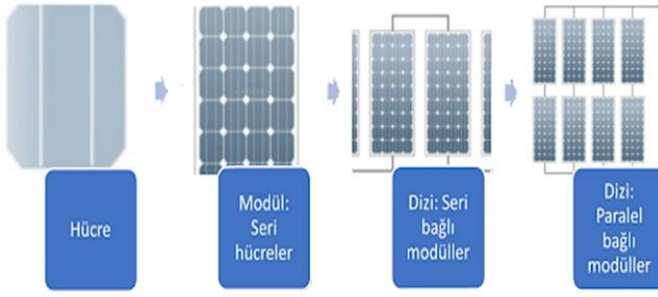


Şekil 1: Güneş Enerjisi Sistemi Ekipman Şeması

Şekil 1'de güneş enerjisi sistemine ait bir ekipman şeması yer almaktadır. Görüldüğü üzere DC yük Güneş paneline oradan da inverter'e yol almaktadır. Daha sonra inverter'de dönüşüm sağlayarak AC yük olarak çıkış verir. Aynı zamanda sistemde akü var ise, aküde inverter üzerinden geçecektir.

Güneş Panelleri

Güneş enerjisi sistemlerinde güneşten alınan enerjiyi elektrik enerjisi olarak çevirme işlemi paneldeki hücreler sayesinde olur. Panel hücreleri tek bileşen olarak laboratuvar ortamlarında 0.5 Volt elektrik üretirler. 36 adet hücrelerin seri şekilde bağlanması ile güç çıkışı 17 Volt olan paneller üretilmektedir. Panelin çıkış akımı ise panelin boyutu ile matematiksel olarak orantılı olup 7 cm çapındaki bir panel hücresi yaklaşık 7 Amper çıkış verebilmektedir. Güneş panelinin tek bir hücreden nasıl oluştuğu Şekil 2 yardımıyla gösterilmiştir.



Şekil 2: Güneş Paneli Oluşumu ve Bağlantıları

Modül aracılığıyla üretilen güç ve akım yaklaşık olarak güneş ışınlarının yoğunluğu ile matematiksel olarak doğru orantılıdır. Modül üzerine düşen güneş ışın değerlerine bakılarak çıkış akımı ve işlem voltajı gözlemlenebilir. Maksimum gerilim değeri 17 Volt olan bir sistem eğer akü kullanılarak çalıştırılacaksa voltaj değeri bu gerilimin altında bir değerde olacaktır. Bu sebeple çalışma voltajı 12 ile 15 Volt arasında incelenir. Sistemin gücü akım değerinin gerilim değeri ile çarpılması ile saptanacağından, sistemden çekilecek gücün de azalacağı gözlemlenmektedir. Sistemden alınan güç değerinin hesabı yapılırken sıklıkla 12 Voltluk aküler tercih edildiğinde 13 Voltluk bir yüklemeye çalışabileceği düşünülür.

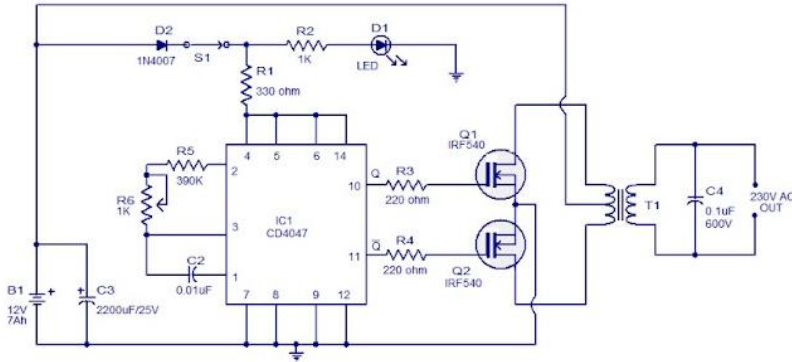
Güneş Aküleri

Aküler, güneş enerjisi sistemlerinde bulunan diğer tüm temel elemanlara bağlandığı ve şebeke elektriğinden bağımsız sistemlerde üretilen elektriğin depo edilip sonradan kullanımını sağlayan elemanlardır. Aküler sıklıkla bakım isterler. Eğer akülerin bakımları önemsenmezse akülerin ömrü kısalmış ve dolayısıyla tüm sistemin çalışmama riski oluşur. Güneş enerjisi sistemlerinde kuru aküler tercih edilir. Islak akü grubunun maliyeti oldukça düşüktür ancak bakım ihtiyacı fazladır. Jel tipi akülerde ise dolum yavaş olduğundan verim düşüktür. Uzun ömürlü akülerin kullanılması güneş enerjisi sistemleri için daha faydalıdır. Uzun ömürlü akülerde kurşun plakalar daha belirgin ve kalındır; ancak yüzeyleri çok daha küçüktür. Bu durum yüksek çıkış akımı sağlamasını engeller. %85-%90 verimle doldurma ve boşaltma yapabilirler. Bu tipte akülere uzun ömürlü terimi kullanılmasının sebebi, güneş enerji sisteminin çektiği akımı uzun süreli kullanabilirler. Akülerin doldurma boşaltma hızları çekilen veya çıkış akımı miktarına ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Soğuk ortamlarda akülerdeki kimyasal reaksiyonların oluşumları matematiksel olarak düşerken, sıcak ortamlarda tam aksine reaksiyon

oluşumlarında artış görülür. Aynı marka ve model soğuk ortamdaki akü sıcak ortamdaki aküye göre aynı saatlerde daha az amper verir. Akülerin verimli çalışması için kabul gören sıcaklıklar 26 °C ile 16 °C arasında bulunmaktadır. Bu nedenle aküleri dış ortamlarda bırakılmamalı, eğer mümkünse ısıtıcılar ve vantilatörlerin olduğu özel dolaplarda saklanmalıdır. Yüksek ve düşük sıcaklıklar ise akünün ömrünü önemli ölçüde azaltmaktadır (Khalid, vd., 2018).

Inverterler

İnverterler güneş enerjisi sistemlerinde aküden gelen doğru akımı şebeke akımı olan alternatif akıma dönüştürür. Türkiye’de 50 Hz frekanslı ve 220 Volt gerilimde ki akıma dönüştüren inverterler kullanılmaktadır. İnverterler, ilk olarak aşırı yüklenmeyi karşılayabilecek kapasiteye sahip olmalıdır. Yeni tip inverterlerden %90 civarında verim alınabilmektedir. Piyasada iki tür inverter satımı ağırlık kazanmıştır. Kare dalgalı inverterlerin güç (W) başına maliyeti daha düşüktür; fakat istenilen verimi kullanıcıya sunmamaktadır. Sinüs dalgalı inverterler ise şebekeye bağlı sistemler için daha uyumludur. Ancak hassas elemanlarla beraber çalıştırılması gerekeceğinden, güç (W) başına maliyeti daha yüksek olmaktadır. İnverterler güneş enerjisi sisteminin maliyeti yüksek parçalarından biri olmasının yanında, çeşitli güvenlik elemanlarına da ihtiyaç duyarlar. İnverter ve akü kablosu üzerinden yüksek akım geçeceğinden, bu kablo kalınlığının 6 ile 10 mm arasında seçilmesi gereklidir. Doğru akımın girdiği kısma ve inverter çıkışına bloklama diyotu ve sigorta konulmalıdır. Sistem akımının ve voltajının okunabileceği ölçüm aletleri de paralel bağlanmalıdır. Şekil 3’te bir inverter’in iç yapısı verilmiştir, iç yapısında hangi komponentleri barındırdığı ve devre şemasının açık hali görülmektedir (Kabalcı, 2020).



Şekil 3: İnverter Devre Şeması

Güneş enerjili sistemlerde güneş panelleri, güneş aküleri ve inverterler olmak üzere üç ana bileşen yer almaktadır. En önemli bileşen güneş panelleridir, ayrıca her tasarımda inverterlerinde kullanılması gerekir. Bu iki bileşen dışında enerjinin depolanması gereken tasarımlar için güneş aküleri tercih edilmektedir. Bu güneş aküleri piyasada jel akü olarak adlandırılmaktadır. Jel akülerin araç aküleri olan sulu akülerden çok daha dayanıklı halleri vardır.

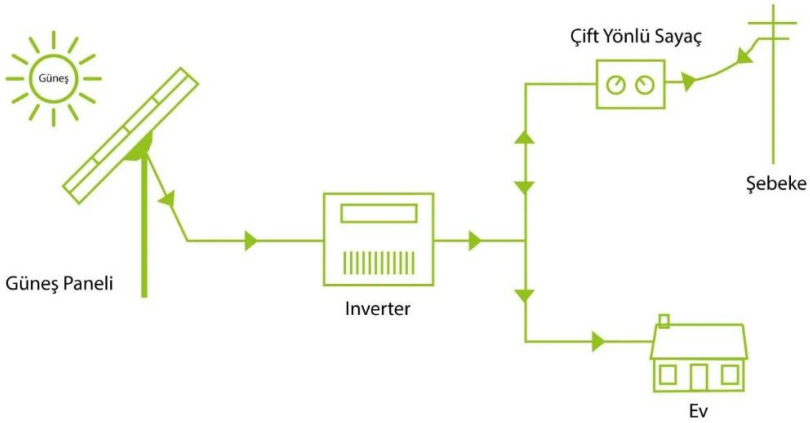
Bu araştırmada üç ana bileşen kullanılarak ve ihtiyaç halinde ara bileşenler eklenerek tasarım yöntemleri incelenecektir. Şu anda sıklıkla kullanılan, elektrik üretme amacı güden iki tip tasarım yöntemi bulunmaktadır. Bunlar; şebekeye bağlı tasarım (grid-connected) ve şebekeden bağımsız tasarım (stand-alone) olarak adlandırılır.

ŞEBEKEYE BAĞLI SİSTEMLER (GRID-CONNECTED)

Günümüz teknolojisinde, güneş enerjisi yardımıyla elektrik üreten evlerin çoğu şebekeye bağlı sistem tercih etmektedir. Bu elektrik şebekeleri, genel olarak kamu hizmetleri sağlayan şirketlere bağlıdır. Şebekeye bağlı sistemlerde, kullanıcı hem güneş enerjisi sisteminden hem de şebekeden elektrik alabilir. Güneş enerjisi sistemi, doğru planlama yapılarak teknik ölçümlerle oluşturulursa bir evin gün içindeki elektrik ihtiyacını tamamen karşılayabilir. Güneş olmadığı zamanlarda ise elektrik şebekesi elektrik ihtiyacına yönelik elektrik sağlama işini devralır. Bu durumda evin elektrik ihtiyacı şebekeden karşılanmış olur.

Elektrik enerjisine erişim önemli bir durumdur. Şebekeden bağımsız sisteme sahip olan kullanıcılar gün içinde tüketilen enerjinin takibini yaparken aynı zamanda gece için de tüketilecek yeteri kadar enerji bırakmalıdırlar. Şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemlerinde kullanıcılar sürekli elektrik şebekesine bağlı kalıp, enerji ihtiyaçlarını kesinti olmaksızın karşılarlar. Bu sistemlerde ayrıca güneş bataryaları kullanılarak enerjinin depolanması ile enerji ihtiyacı bataryadan da karşılanabilmektedir. Şebekeye bağlı güneş enerji sistemlerinin en büyük sorunu, şebekede oluşan olumsuz bir durumda güneş enerji sisteminin devre dışı kalmasıdır. Yaşadığı bölgede çok sayıda elektrik kesintisinden şikayetçi olan kullanıcılara güneş bataryaları kullanmaları önerilir.

Birçok şirket grubu kullanıcılarla, üretilen ihtiyaç fazlası elektriğin şebekeye satılması üzerine anlaşma sağlamıştır. Bu mahsuplaşma olarak tanımlanır. Kullanıcılar, üretilen elektrikten çekilen elektrik çıkarıldığında bulunan net enerji miktarını şebekeye satarak fazladan gelir elde edebilirler (Anang, vd., 2021).



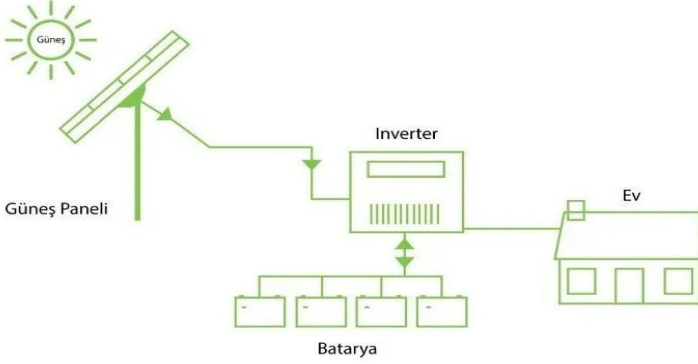
Şekil 4: Şebekeye Bağlı Sistemin Akış Şeması

Şekil 4'te şebekeye bağlı bir sistemin akış şeması gösterilmiştir. Verilen sistemde güneş panelinden üretilen enerji önce inverter'e ulaşır, ardından şebeke gerilimine eşdeğer bir gerilim verir. İnverter'den çıkan diğer enerji ise çift yönlü sayaç üzerinden fazla enerjinin satılması amacıyla şebekeye döner.

ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ SİSTEMLER (STAND-ALONE)

Şebekeye bağlı olmayan sistemler, herhangi bir elektrik şebekesine bağlı kalmayan güneş enerji sistemleridir. Bir güneş enerjisi üzerine faaliyet gösteren birimlerden alınabilecek olan bu tür güneş enerji sistemleri, evin elektrik sistemine kullanıcı tarafından ya da anlaşma sağlanan şirket tarafından kurulumu yapılarak kullanılır. Bu tür sistemlerde, ev sahibi hiçbir şirkete bağlı olmadan elektrik üretimi yapıp kendi ürettiği elektriği kullanır. Ayrıca, ev sahibinin devamlı olarak enerji tüketimini takip etmesi gerekir. Şebekeye bağlı olmayan güneş enerji sistemlerinin kullanıcılar açısından avantajı, elektrik faturası ödeme durumu olmaması ve her koşulda enerjiye ulaşım sağlanmasıdır.

Şebekeye bağlı olmayan sistemler; herhangi bir harici elektrik bağlantısı olmadan tasarlanmış sistemlerdir. Şebekeye bağlı olmayan sistemler genellikle demiryolu, ışıklandırma, yaya geçidi ışığı, yalnız pompalar, ev aydınlatılması, yatlar, botlar, güneşe maruz kalan küçük konutlar vs. alanlarda elektrik üretirler. Akü destekli şebekeye bağlı olmayan sistem olarak tanınan bu sistem, çoğu kez şebekede elektrik kesintisi olan alanlarda ve şebekeye uzak konutlarda kullanılarak elektrik üretimi problemindeki ekonomik ve çevreci çözüm olmuştur (Adesanya, vd., 2019).



Şekil 5: Şebekeden Bağımsız Sistemin Akış Şeması

Şekil 5'te şebekeden bağımsız sistemin akış şeması gösterilmektedir. Bu şemaya göre Güneş panelinden gelen enerji önce inverter'e sonra batarya ya ulaşır. Daha sonra burada depolanan enerji kullanıma açılır.

Güneş'in bulut nedeniyle enerji ihtiyacı için yetersiz olduğu durumlarda ve havanın tam karanlık olduğu durumlarda, elektriğin kullanımı için saatlik güneşe maruz kalma tepe değeri boyunca üretilerek depolanan fazla enerji, batarya kullanılarak şebekeye bağlı olmayan sistemlerde depolanmaktadır. Uygun ekipman seçimiyle şebekeye bağlı olmayan güneş enerjisi sistemleri yıl boyunca evlerde, küçük ticari kuruluşlarda ve diğer şebekenin bulunmadığı alanlarda kullanılabilir.

HİBRİT SİSTEMLER

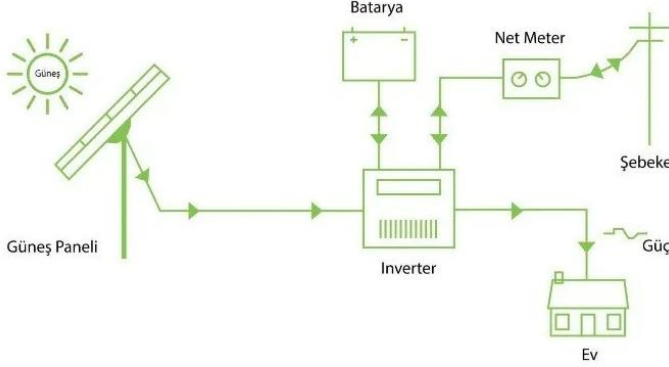
Hibrit solar sistemleri şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemlerin kombinasyonu olarak çalışır. Şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sistemin tüm avantajlarını ortak olarak bize sunar.

Şebekeye bağlı sistemden farklı olarak; sistemde güneş olmadığı zamanlarda kullanılmak üzere enerjiyi depolamak amacıyla hibrit inverter ve bataryadan oluşur. Sistem içerisinde batarya olması sayesinde elektrik kesintisi olmamaktadır.

Hibrit güneş enerjisi sistemi, basit bir ifadeyle aküler ile desteklenmiş şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemi olarak tanımlanabilir. Şebeke tarafından üretilen elektriği çekmeye gerek kalmadan, güneş enerjisinin herhangi bir zamanda kullanılmak üzere akülere depolanabilmesi, ev için elektrik maliyetlerini büyük ölçüde azaltır.

Güneş panelleri aracılığıyla kullanılan güneş enerjisi, elektrik üretmek için bir inverter devresi üzerinden yoluna devam eder. Daha sonra elektrik enerjisi aküye, eve ya da şebekeye gider. Güneş panelleri tavan seviyede verimle

çalışırken aküde enerji depolama ve elektrik oranlarının yüksek olduğu akşam saatlerinde veya herhangi bir şebeke elektriği arızası durumunda depolanan enerji kullanılacak şekilde çalışır (Li, vd., 2020).



Şekil 6: Hibrit Sistemin Akış Şeması

Şekil 6’da hibrit sistemin akış şeması gösterilmiştir. Bu şemaya göre güneş panelinden üretilen enerji inverter’e ve batarya’ya ulaşır, bu noktadan hem eve hem de sayaç üzerinden şebekeye ulaşır.

ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ SİSTEM TASARIMI ÖRNEĞİ

Şebekeden bağımsız güneş enerjisi sistemleri şebeke elektriğine gerek duymadan enerjinin depolanıp kullanılabilirdiği bir sistemdir. Bu sistemin tasarımı için gerekli adımlar bu kısımda sunulmuştur. Sistemde elektriğin depolanabilmesi için güneş enerjisi sistemlerine uygunluğu olan jel aküler tercih edilmektedir. Bu jel akülerin doldurulması için güneş panellerinden yararlanılır ve güneş panellerinin elektrik üretebilmesi için de güneşe ihtiyaç duyulur. Burada elde edilen doğru akımı evlerde kullanılan alternatif akıma dönüştürmek için bir adet sisteme uygunluğu hesaplanan değerde inverter tercih edilmelidir.

Şebekeden bağımsız bir sistem tasarımının birinci aşamasında hangi tür verilere ihtiyaç olduğu ve bu verilerin neler olduğu belirlenmelidir. Bir evde ortalama ihtiyaç olan elektrikli temel eşyalar şekil 7’de verilmiştir. Bu elektrikli eşyalar; buzdolabı, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, fırın, televizyon, led lamba, elektrikli süpürge ve elektrikli su ısıtıcısı olarak belirlenmiştir.

GÜNDE TOPLAM TÜKETİM: 8,3 KW ≈ 10 KW



KULLANIM SÜRESİ: **24 SAAT**
TOPLAM HARCADIĞI GÜÇ: **1000 Watt**



KULLANIM SÜRESİ: **1 SAAT**
TOPLAM HARCADIĞI GÜÇ: **800 Watt**



KULLANIM SÜRESİ: **1 SAAT**
TOPLAM HARCADIĞI GÜÇ: **1000 Watt**



KULLANIM SÜRESİ: **1 SAAT**
TOPLAM HARCADIĞI GÜÇ: **2500 Watt**



KULLANIM SÜRESİ: **8 SAAT**
TOPLAM HARCADIĞI GÜÇ: **200 Watt**



5 ADET KULLANIM SÜRESİ: **6 SAAT**
TOPLAM HARCADIĞI GÜÇ: **300 Watt**



KULLANIM SÜRESİ: **0,5 SAAT**
TOPLAM HARCADIĞI GÜÇ: **500 Watt**



KULLANIM SÜRESİ: **1 SAAT**
TOPLAM HARCADIĞI GÜÇ: **2000 Watt**

Şekil 7: Hibrit Elektrikli Ev Aletleri ve Kullanım Değerleri

Şekil 7’de verilen elektrikli ev aletlerinin kullanım değerleri hesaplanarak bir kullanıcının günlük kaç kW (kilowatt) enerji harcadığını bulmak hedeflenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda evde yer alan elektrikli ev aletleri kullanıcılara sorulmuş ve bu aletlerin günde kaç saat kullanıldığı bilgisi alınmıştır. Her bir elektrikli ev aletinin 1 saatte kullandığı W (watt) miktarı değerlendirilmiştir. Örneğin, Şekil 7’de buzdolabının 1 saatte kullandığı güç miktarı yaklaşık 42W olduğu hesaplanır. Buzdolabının 24 saat kullanılması durumunda ise toplam yaklaşık 1000 W enerji harcayacağı bulunur. Bir örnek daha verecek olursak;

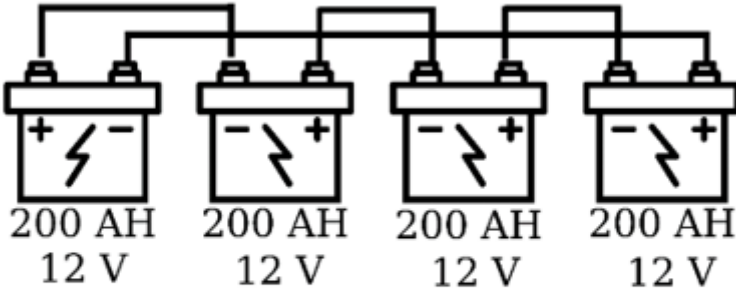
bulaşık makinesinin 1 saatte 1000 W harcadığı bilinmektedir. Buna bağlı olarak kullanıcının bulaşık makinesini günde 1 saat çalıştırması talebi durumunda toplam 1000 W güce ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 7'deki tüm değerler kullanıcı ihtiyaçlarına göre hesaplanmıştır. Sonuç olarak kullanıcının bir günde harcadığı veya ihtiyaç duyduğu enerji toplamı 8,3 kW olarak hesaplanır.

Güneş enerji sistemleri tasarlanırken hava durumu 365 günün her günü güneşli olması beklenemez. Bu durumda en az 2 gün güneş olmadan sistemin çalışabileceği şekilde hesaplama yapılmalıdır. Buradaki birinci kriter, kurulacak sistemin enerjisinin ihtiyaç duyulan enerjiden yaklaşık 2 kW fazla seçilmesi gerekir. Bu nedenle Şekil 7'de de görüldüğü gibi kullanıcının ihtiyaç duyduğu enerji 8,3 kW iken kurulacak sistemin enerjisi 10 kW olarak seçilmiştir. Bu değer 1 günde kullanıcının ihtiyacı olan enerjiye denktir.

Tasarımın ikinci aşamasında ihtiyaç duyulan enerjinin nasıl, ne şekilde ve nereden sağlanacağı belirlenerek bunun üzerine hesaplamalar yapılmalıdır. Bu tasarımda ihtiyaç duyulan enerji, güneş enerjisi sistemlerine uyumlu olan güneş eküleri (jel aküler) tarafından sağlanacaktır. Bu jel aküler piyasada 40 – 200 AH aralığındaki değerlerde bulunmaktadır. Jel aküler 12V'luk değerde çalışır ve her tasarımda aküler birbirine bağlanarak çıkışı inverter'e aktarılır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, inverter'in giriş gerilim değeridir. Piyasada 24V ve 48V giriş gerilimine sahip inverterler bulunur. 3kW değere sahip inverter'e kadar (3kW dahil) olan tüm inverterler 24V giriş gerilimine sahiptirler. Ancak 3kW değerinden büyük tüm inverterler 48V giriş gerilimine sahiptir. Akülerin bağlantısından alınan çıkış gerilim değeri, inverter'in giriş gerilim değerine eşdeğer ya da bu değerden yüksek olması gerekir. Akü veya güneş paneli sistemleri seri bağlanırsa gerilim değerleri artar, paralel bağlandığında ise akım değerleri artar.

Tasarlanacak sistemde; öncelikle 10 kW'lık bir enerjiye ihtiyaç duyulduğu için her zaman piyasada bulunan bir üst değerdeki inverterin (11kW'lık) seçilmesi sistemin verimliliği açısından daha doğru olur. 3kW'lık değer üzerindeki her inverter 48V giriş gerilimine sahiptir ve akülerin çıkış gerilimi en az 48V olarak ayarlanması gerekir.

Tasarlanan sistem için her biri 200 AH değerine sahip 4 adet jel akü kullanılmalıdır ve bunlar seri bağlanmalıdır. Her bir akü 12V ile çalıştığı için aküler seri bağlanarak inverter'in giriş gerilimi olan 48V elde edilmelidir. Şekil 8'de aküler, bağlantı yolları ve hesaplamaları gösterilmiştir.



SERİ BAĞLANDIĞI İÇİN: $12V+12V+12V+12V = 48V$

$P(\text{GÜÇ})=I(\text{AKIM}) \times V(\text{gerilim})$ formülünden;

$P(\text{GÜÇ})= 200\text{AH} \times 48V$

$P(\text{GÜÇ})= 9.600 \text{ WATT}=9,6 \text{ KW}$

Şekil 8: Akü Bağlantı ve Hesaplamaları

Şekil 8’de görüldüğü gibi 4 adet 200 AH değerine sahip aküler seri bağlanmış ve 48V çıkış değeri elde edilmiştir, akım değeri ve nihai gerilim değeri çarpılarak 9,6 kW’lık güç değeri elde edilmiştir. Bu güç değeri akülerin tam kapasite dolu olduğunda verebileceği enerjidir. Bir başka deyişle 9,6 kW değeri 1 saatte hiç durmadan 9,6 kW harcayan bir elektrikli makineyi çalıştırabilmektedir. Bu tasarımda mutlaka aküler ihtiyaç duyulan enerjinin düzeyinde veya fazlasında seçilmelidir. 365 günün her günü güneş alacak şekilde kabul edilmemelidir. Bir sistem en az 2 gün güneşsiz kaldığında çalışmalıdır ve buradan yola çıkarak aküler seçilmelidir. 9,6 kW’lık değeri şu ana kadar ki tasarımda sadece aküden almaktadır ve herhangi bir panel desteği yoktur. Panel desteğiyle birlikte (paneller gündüz çalışır) enerji kapasitesi artacaktır. Bunlar dikkate alınarak adım adım kriterler belirlenmektedir. Tasarımda bu kriterlere uyulması sistem yeterliliği açısından çok önemlidir. Birinci kriter, ihtiyaç duyulan enerjinin her zaman yaklaşık 2 kW fazlası seçilmesi, ikinci kriter ise akülerin toplam gücü ihtiyaç olan enerjiye yaklaşık olarak eşdeğer veya fazlası seçilmesidir. Tasarımda son aşama olan güneş panellerine geçmeden önce Türkiye’nin ortalama güneş potansiyeli ve güneş panellerinin nasıl bir güç ürettiği bilinmelidir.

Türkiye 7 farklı bölgeden oluşur ve 7 farklı iklime sahiptir, her bölgenin güneşlenme süresi aynı değildir. Bu bilgilere dayanarak tasarımı yaparken ortalama bir güneşlenme süresi belirlenmelidir. Eğer Karadeniz bölgesinde tasarım yapılacaksa güneşlenme süresi çok az olacağı için bu bölgeye özel tasarım yapılmalıdır. Bunun dışındaki bölgelerde ortalama güneşlenme süresi

günde 6 saat olarak belirlenmiştir. İkinci bilinmesi gereken husus panellerin hangi değerlerde güç üretebildiğidir. Şu anda piyasada 10 kW-700 kW arasında değerlerde güç üretebilen paneller bulunmaktadır. Buradaki değerler 1 saatte üretebildiği güç miktarıdır. Ayrıca bu güç değerleri W_p (güneş panellerinin maksimum üretebileceği güç değeri) şeklinde gösterilir. Panellerin etiket değerindeki güçler, panelin maksimum güneşlenme seviyesinde 1 saatte ürettiği enerjiye denktir. Panellerden üretilen enerji, sabah ve akşam saatlerinde (güneşin az olduğu zamanlar) etiket değerinden daha az olacaktır. Böylelikle güneşlenme süresi 6 saatten 5 saate indirilmelidir. Bu sayede tasarımdan alacağımız verim daha sağlıklı olacaktır.

5 saatlik bir güneşlenme süresinde 4 adet 470 W_p değerindeki paneller kullanılmalıdır. Bu paneller ve hesaplama kriterleri Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9: Panel Sayıları ve Hesaplamaları

Şekil 9'da gösterilen paneller seri bağlanmış olup toplam 1,880 kWp gücü 1 saatte üretebilmektedir. 5 saat güneşte kalacakları düşünülürse 1 günde toplam 9,4 kWp enerji üretebileceklerdir. Önceki akü tasarımına dönecek olursak 9,6 kWp'lik bir akü kapasitesi belirlenmişti. Bu değerlerden yola çıkarak paneller tam kapasitedeyken ve aküler tam boşken 5 saatte aküler tam dolu hale gelebilmektedir.

Tasarım sonucunda kullanıcı gündüzleri hem panelden hem de aküden enerji desteği alabilecektir. Geceleri ise panellerin doldurmuş olduğu akülerden yararlanacaktır. Böyle bir sistem sonuç olarak 2 gün güneşsiz kalsa bile çalışabilecektir. Gündüzleri bulutlu havalarda bile güneş panelli belli bir değerde enerji üretmeye devam ettiği unutulmamalıdır.

SONUÇ

Bu çalışmada güneş enerjisi santralinde kullanılan ekipmanlar incelenmiştir. Buna bağlı olarak bahsi geçen santrallerin en önemli bileşenlerinin akü, panel ve inverter olduğu görülmüştür. Tasarımların ve kurulumların en önemli üç parçası akü, panel ve inverterdir. Araştırmalar sonucunda akülerin şebekeden bağımsız sistemlerde kilit nokta olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca sistem tasarımlarında da hesaplama adımlarında kritik rol oynadığı görülmektedir. Şebekeye bağlı sistemlerde ise panel grubunun ve tasarım aşamasında matematiksel değerlerinin sistemde önemli bir yere sahip olduğu görülmüştür. Hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız sistemlerde akü ve panel grupları dikkatli seçilip, hesaplamaları iyi yapılmalıdır. Bunlardan hariç hibrit sistemlerde yani hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız sistemlerde akü ve panel gruplarının aynı anda her iki sisteme de uygun çalışacak şekilde seçilmesi bir hayli önem arz etmektedir.

Şebekeden bağımsız sistemlerde şebekeye bağlı sistemlere göre tasarım ayrıntıları daha çok göz önündedir. Şebekeden bağımsız sistem tasarımında tüketimi yapılacak elektrikli aletlerin güçlerinin bilinmesi ve buna bağlı olarak akü değerlerinin doğru seçilmesi önemlidir. Ayrıca bu aküleri şarj edecek panel gruplarının adet seçimi ve dolun hesabı gerçek değerleri üzerinden hesaplanmalıdır.

Sonuç olarak sistem tasarımlarında hesaplamaların büyük önemi vardır. Akülerin ve panel gruplarının en verimli modellerden seçilmesi sistemin verimliliğini ve ömrünü uzatacaktır. Bunlar göz önüne alınarak çok yönlü ve doğru tasarımlar elde edilebilir. Bu çalışma, tasarlanacak güneş enerji sistemlerine katkı sağlaması ile optimum hesaplamalar ile verimli bir yapı oluşturulmasını destekleyecektir.

REFERANSLAR

- Adesanya, A. A., & Pearce, J. M. (2019). Economic viability of captive off-grid solar photovoltaic and diesel hybrid energy systems for the Nigerian private sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109348.
- Anang, N., Azman, S. S. N., Muda, W. M. W., Dagang, A. N., & Daud, M. Z. (2021). Performance analysis of a grid-connected rooftop solar PV system in Kuala Terengganu, Malaysia. *Energy and Buildings*, 248, 111182.
- Deveci, F., Zengin, S., & Boztepe M. (2020). Mikrodenetleyici Kontrollü Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Evirici Tasarımı.
- Erdoğan, S. (2020). Enerji, Çevre ve Sera Gazları. Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 10(1), 277-303
Erişim adresi: <https://www.mgm.gov.tr/kurumici/turkiye-guneslenmesuresi.aspx> (Erişim tarihi: 10 01, 2023)
- Gangavarapu, S., Verma, M., & Rathore, A. K. (2020). A Novel Transformerless Single-Stage Grid-Connected Solar Inverter. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*.
- Haliloğlu, h., & başaran, k. n. (2019). Kâinatın yaratılışı ve yok oluşu (tefsirler ve modern bilim ışığında). *Ağrı İslami İlimler Dergisi*, (8), 20-51.
- İpek, A. T. İ. K., & SEKİN, A. (2020). Hibrit yenilenebilir enerji sistem tasarımı: Balıkesir örneği. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 13(3), 517-529.
- Kabalıcı, E. (2020). Review on novel single-phase grid-connected solar inverters: Circuits and control methods. *Solar Energy*, 198, 247-274.
- Karataş, A. (2012). Güneş enerjisinden elektrik üretimi (Master's thesis, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Keskin, E. (2012). Türkiye İklim Koşullarında Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Tasarımı ve Maliyet Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 114s, Ankara.
- Khalid, M., AlMuhaini, M., Aguilera, R. P., & Savkin, A. V. (2018). Method for planning a wind-solar-battery hybrid power plant with optimal generation-demand matching. *IET Renewable Power Generation*, 12(15), 1800-1806.
- Kutluca, M. (2020). Şebekeden Bağımsız Mikro Güneş Enerji Santralinin Tasarımı ve Analizi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Li, K., Liu, C., Jiang, S., & Chen, Y. (2020). Review on hybrid geothermal and solar power systems. *Journal of cleaner production*, 250, 119481.
- Stonier, A. A., Murugesan, S., Samikannu, R., Venkatachary, S. K., Kumar, S. S., & Arumugam, P. (2020). Power quality improvement in solar fed

Mühendislikte Güncel Yaklaşımlar

cascaded multilevel inverter with output voltage regulation techniques.
IEEE Access, 8, 178360-178371.

Yılmaz, H. E. (2011). Fotovoltaik sistemlerde kullanılan yumuşak anahtarlama
bir inverter devresinin gerçekleştirilmesi.

Bölüm 7

**Makine Mühendisliğinde Malzemeler,
Kullanım Yerleri ve Çeliklerin Isıl
İşlemleri**

Cebeli ÖZEK¹, Faruk KARACA²

¹ Prof. Dr.; Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü.
cozek@firat.edu.tr ORCID No: 0000-0001-7603-415X

² Doç. Dr.; Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü.
fkaraca@firat.edu.tr; ORCID: 0000-0003-1874-9274

ÖZET

Bir makinenin istenildiği kalite ve verimde olması tasarımı düşünen teknik elemanın bilgi ve becerisine bağlıdır. Bir makine veya makine elemanı, tasarım ve dizayn aşamalarında başlar ve son olarak kalite kontrolü aşaması ile son bulur. Üretimde kayda değer faktörlerden en önemlisi çeliğin uygun seçilmiş olmasıdır. Bu yüzden konuların iyi kavranması, tasarım ve üretime yönelik pratik bilginin yer alması sadece üretim ve imalat yapan firmalar için değil aynı zamanda öğrenciler için de çalışmalarına önemli ölçüde katkı yapması açısından faydalı olmaktadır. Mühendislik uygulamalarında malzeme seçimi yapılırken; yapımı düşünülen makine ve elemanın hangi yük ve momentler altında çalışacağı, hesaplanan yük ve momentleri karşılamak için boyutlandırılan makine parçasının yapılacağı malzemenin cinsinin ve özelliklerinin doğru tespit edilmesi önemlidir. Malzeme seçimi yapılırken malzemeyi kolay temin etme, malzemenin imalata uygunluğu, malzemenin fiziki ve mekanik özellikleri ile ekonomik faktörler gibi faktörlerin göz önünde bulundurulması ve bu yüzden malzeme sınıflandırmasının doğru yapılması gerekir.

Bu bölüm, mühendislik ve teknoloji fakültelerinin metalürji ve malzeme ile makine mühendislikleri bölümleri olmak üzere diğer birçok mühendislik dallarında eğitim gören öğrencilere hitap etmektedir.

Bu amaçla bölümde derlenmiş olan bilgilerin imalat alanında firmalar ve insanlar için pratik bir kullanım klavuzu ders dökümanı niteliğinde önemli bir boşluğu doldurması düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Malzeme Seçimi, Makine Elemanları, İmalat, Isıl İşlem

GİRİŞ

Makine ve makineyi meydana getiren elemanların yapımı proje bölümünde başlar, kalite kontrol bölümünde son bulur. Proje bölümünde çalışanların makine parçalarının ve elemanlarının yapılacağı malzemeyi iyi seçmesi ve bu malzemeyi doğru olarak değerlendirmesi gerekir.

Mühendislik uygulamalarında bir eleman için malzeme seçimi yapılırken; yapımı düşünülen makine ve elemanın hangi yük ve momentler altında çalışacağı, hesaplanan yük ve momentleri karşılamak için şekil ve boyutlandırmanın yapılması ve boyutlandırılan makine parçasının yapılacağı malzemenin cinsinin ve özelliklerinin doğru tespit edilmesi önemlidir. Malzeme seçimi yapılırken malzemeyi kolay temin etme, malzemenin imalata uygunluğu, malzemenin fiziki ve mekanik özellikleri ile ekonomik faktörler gibi faktörlerin göz önünde bulundurulması ve bu yüzden malzeme sınıflandırmasının doğru yapılması gerekir. En genel halde malzemelerin sınıflandırılması Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Malzemelerin genel sınıflandırılması.

ÇELİK MALZEMELER

Bir makinenin istenildiği kalite ve verimde olması tasarımı düşünen teknik elemanın bilgi ve becerisine bağlıdır. Bir makine veya makine elemanı, tasarım ve dizayn aşamalarında başlar ve son olarak kalite kontrolü aşaması ile son bulur.

Üretimde kayda değer faktörlerden en önemlisi çeliğin uygun seçilmiş olmasıdır.

Tasarımcı çelik seçiminde çok dikkatli ve titiz davranmalıdır. İster yerli imalat isterse başka ulusların imal ettiği çeliklerin doğru olarak seçimi iyi bir deneyim ve beceriye bağlıdır (Koç, E, 2007).

Demir-karbon alaşımı çelik olarak ifade edilir. Çeliğe çeşitli karbon ve alaşım elementlerinin ilave edilmesi ile istenilen özellikler sağlanabilir.

Yapısındaki C oranı %0,02'den az olan Fe-C bileşiği demir, %0,02-1,7(\approx %2) olan Fe-C bileşiği çelik ve 1,7(\approx %2).....%4,1 olan Fe-C bileşiği ise dökme demirdir. %4,1.....%6,67 olanı ise genel anlamda grafit olarak adlandırılır.

Yapısında %2' den az (genellikle %1,7'den az) karbon (C) ihtiva eden demir veya demir-karbon (Fe-C) bileşiği olan çelik makine elemanları ve makinaların imalatında en çok kullanılan önemli malzemedir. Alaşımız çelik veya karbon çeliği içerisinde sadece karbon bulunan çeliktir (Koç, E, 2007).

Çeliğe istenilen özelliği veren bileşimi ve içyapısıdır. Saf demir çok yumuşak ve bu haliyle makine elemanı yapımında kullanılmaz. Demirin sertlik ve mukavemeti karbon (C) yüzdesinin artması ile artmakta, dövülme ve kaynak edilebilme kabiliyeti düşmektedir. Çeliğin dövülmesi, çekilmesi ve darbeli yüklere karşı dayanımının yüksek olması gerekir. Bu özelliklerin tamamı çeliğin yapısındaki karbon miktarına bağlı olarak değişir. Az karbonlu çelikler yumuşak, karbonu düşük çeliklerin şekillendirilme ve kaynak edilebilirlikleri kolaydır. Yüksek karbonlu çelikler ise sertleştiklerinden uzama yetenekleri düşüktür. Bu çeliklerin uygun kullanım durumuna gelmesi için bazı özel işlemlerin yapılması icab eder (Koç, E, 2007).

Karbon en önemli alaşım elementidir. Çeliğin kopma ve akma mukavemeti, sertlik ve akma sınırları, sertlik ve çentik hassasiyeti genel olarak belirli bir oranda artan karbon ile iyileşirken, sünekliliği, dövülebilirliği, kaynak edilebilirlik özellikleri ve talaş kladırma özelliğini kötüleştirmektedir.

ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Çelikler genel olarak Kimyasal bileşimine göre ve karbon (C) oranına göre sınıflandırılırlar.

Kimyasal Bileşimine Göre Çeliklerin Sınıflandırılması

Çelikler kimyasal bileşimlerine göre alaşımlı ve alaşımsız çelikler diye iki ana grupta sınıflandırılabilirler.

a) Alaşımız çelikler: Bünyesinde demir (Fe) ve karbon (C)'dan başka sınırlı sayıda diğer kimyasal elementleri bulunduran çeliklere alaşımız çelikler denir. Karbon dışında bulunan elementler, Al<%0.1, Cu<%0.25, P<%0,09, Si<%0.5, Mn<% 1 ve S<%0,06 dir. Bu çeliklerde C oranı 100 katı olarak yazılır (Koç, E, 2007).

C35→%0,35 C bulunan alaşımız çelik sakınleştirilmiş oksijen konverter çeliği, C_k45→%0,45 C bulunduran alaşımız asal çelik, C_f53→%0,53 C bulunduran yüzeyi sertleştirilebilen alaşımız çelik).

k→Fosfor ve kükürt miktarı düşük (C_k22: %0.22 C'lu çelik)

f→Alevle yüzeyi sertleştirilen (C_f45: %0.45 C'lu.....)

q→Soğuk şekillendirilebilen (C_q35: %0.35 C'lu.....)

m→Fosforu düşük, Kükürdü çok daha düşük (C_m35.....)

Alaşımız karbonlu çelikler için çeşitli standartlarda gösterim için aşağıdaki semboller incelenebilir.

Fe40 →($\sigma_k=40\text{daN/mm}^2$ - minimum)

Ç1060 → (1 çelik, karbonlu çelik, 0 alaşımız 60:C % 0.6- MKE)

St42-2→($\sigma_k=42\text{daN/mm}^2$ -minimum 2. kalite genel yapı çeliği DIN).

b) Alaşımılı çelikler: Yapısında demir (Fe) ve Karbon (C)'dan başka önemli miktarda diğer kimyasal elementleri bulunduran çeliklere alaşımılı çelikler denir.

b1) Düşük alaşımılı çelikler: Bu çeliklerde C harfi kullanılmaz. Karbon miktarının 100 katı yazıldıktan sonra, çokluk sırasına göre alaşım elemanları simgeleri aşağıdaki katsayılar ile çağrılıp tam sayıya yuvarlatılarak ortalama yüzdeleri belirtilir. Yapılarındaki alaşım elementleri toplam oranı %5'ten az olan çelikler düşük alaşımılı çeliklerdir (Koç, E, 2007).

Alaşım elemanları

Katsayı

Ni, Si, W, Cr, Co, Mn

:4

Nb, Ta, Ti, V, Zr, Al, Be, Cu, Pb, Mo

:10

S, N, Ce, C, P

:100

B

:1000

Yüksek alaşımılı çelikler

:1

15CrMo44: bileşiminde %0.15 C, %1 Cr, % 0.45 Mo bulunan düşük alaşımılı çelik.

34Cr4 : C %0.34, Cr %1 (4/4=1)

30SiPb7 : C %0.30, Si %1.75 (7/4 = 1.75)

20Mn5 : C %0.20, Mn 5/4=1,25 (%1,25 Mn)

15Cr3 : C %0,15, Cr %0,75 (3/4=0,75)

b2) Yüksek alaşımlı çelikler

Yapılarındaki alaşım elementleri toplam oranı %5'ten fazla olan alaşımlı çelikler yüksek alaşımlı çeliklerdir. Bu çeliklerin gösteriminde en başta X harfi ve hemen arkasından karbonun 100 katı ve hemen Karbonun (C)'nun arkasında da elementlerin gerçek yüzdeleri belirtilir. İkinci dereceden önemli alaşım elemanlarının miktarları gösterilmeyebilir (Koç, E, 2007).

X20Cr19Ni8V : C %0,2, Cr %19, Ni %8, V vanadyum %1'den az.

XCr22Ni5MoCu: C %0,10, Cr %22, Ni %5, Mo %0,60, Cu %0,60

X5CrNiMo1812 : C % 0,05, Cr %18, Ni %12, Mo (%1'den az)

c) Otomat çelikleri

Karbonlu çeliklerin takom tezgâhlarında rahat bir şekilde işlenebilirliğini temin etmek amacıyla yapısına kurşun, kükürt, fosfor ilave edilerek talaşın uzamamsı ve dolayısıyla kırılması sağlanmış olur. Çeliklerin bu çeşidi otomat çeliği olarak isimlendirilir. Bu çelikler soğuk hadde çelikleri şeklinde endüstride kullanılırlar.

Otomat çelikleri büyük bir miktarda Kükürt (S) ve Mangan (Mn) içerdikleri için alaşımsız çelikler olarak ifade edilirler. Bu çeliklerde Mn ve S, mangan sülfür (MnS) oluşturur. Buda küçük ve kırılğan talaş oluşumu sağlar. Bu yüzden seri imalatta yaygın olarak kullanılırlar. Otomat çeliklerine %0,15.....%0,35 oranında Pb ilave edildiğinde kesme hızları artırılmaktadır. Fosforu (P) yüksek oranda içermeleri de talaş kırılğanlığını ve kesme yüzey kalitesini iyileştirir. Bu çeliklerde Kükürt (S) oranı %0,3'e kadar çıkabilmektedir (Koç, E, 2007).

Otomat çelikleri düşük karbonlu çelikler gibi yazılır. Kükürdün ortalama yüzde oranı 100 katı ile çarpılarak ifade edilirler. Çelikte S, Mn, Pb ve P elementlerinden hangileri varsa bu sıraya göre yazılarak gösterilirler.

45 SPb20→%0,45 C, %0,20 S ve %0,15.....%0,30 Pb içeren otomat çeliği.

Çeliklerin Karbon (C) Oranına Göre Sınıflandırılması

a) Az (Düşük) karbonlu çelikler

Düşük karbonlu çelikler yapılarında maksimum %0,25 oranında C bulundurlar. Çok yumuşak ve yumuşak çelikler diye ikiye ayrılırlar.

Yapılarında %0,07...%0,15 arasında C bulunduran çelikler çok yumuşak çelikler olup soğuk şekillendirmeye elverişlidirler. Su verme işlemi ile sertleştirilemezler.

Yapılarında %0,15...%0,25 arasında C bulduran çelikler yumuşak çelikler çok iyi kaynak edilebilen ve yaygın olarak kullanılan çeliklerdir. Su verme işlemi ile sertleştirilemezler (Koç, E, 2007).

b) Orta karbonlu çelikler: Bu çelikler yapılarında %0,25...%0,55 oranında C içerir ve ısıtım işlem için çok uygundur. Yapılarındaki C oranına göre üçe ayrılırlar (Ongun ve ark, 2017; Koç, E, 2007).

%0,25...%0,35 oranında C içeriyorsa genel dövme çelikleri adını alırlar.

%0,35...%0,45 oranında C varsa mil çelikleri adını alırlar. Mil, tel ve dingil imalatlarında kullanılırlar.

%0,45...%0,55 oranında C varsa aşınmaya dayanıklı çeliklerdir. Ray, ray tekerleği, silindir ve press kalıpların imalatında tercih edilirler.

c) Yüksek karbonlu çelikler

Bu çelikler yapılarında %0,55...%0,9 miktarlarında C buldururlar. Yüksek bir mukavemet ve yüksek bir aşınma direncine sahiptirler.

d) Yüksek karbonlu takım çelikleri

%0,9...%1,6 (%1,7) arası oranda C içeren çelikler yüksek karbonlu takım çelikleri olarak ifade edilirler. Mukavemeti yüksek ve çok iyi derecede bir aşınma direnci olması icab eden malzeme ve elemanlarda yaygın olarak tercih edilirler. Torna kalemleri, matkap uçları ve parmak freze çakılarının yapımında yaygın olarak kullanılırlar (Koç, E, 2007).

Sementasyon çelikleri

Yapısındaki karbon (C) miktarı %0,10...0,25'den ve alaşım elementleri miktarı %5'den (düşük alaşım) az olan çeliklerin karbon verici bir ortamda 900 °C'ye kadar uygun bir süre ısıtılarak dış tabakadaki karbon miktarının yaklaşık %0,6'ya çıkartılarak sürekli mukavemetin istendiği yerlerde kullanılması için dış yüzeylerinin sert, iç kısımları ise elastikliğin korunması amacıyla sünek olur. Dış tabaka sertleşir, iç tabaka yumuşak ve sünek kalır. Böylece darbelerle mukavemetli bir çelik elde edilir. Bu çeliklere sementasyon çeliği denir.

Islah çelikleri

Makine elemanları imalatında değerlendirilmek amacıyla su ile sertleştirilerek sertlikleri merkezlemesine doğru iyileştirilebilen çelikler ıslah çelikleri olarak isimlendirilir. Bu çelikler, kimyasal bileşenleri (alaşım ve alaşımsız makina imalat çelikleri) ve özellikle de yapısındaki karbon (C)

miktarı %0,2-0,6'ya kadar olan çeliklerin mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesi (yüksek tokluk) amacıyla 650-920°C'de sertleştirilip tavlanması sonucu kullanıma uygun hale getirilmesi işlemine ıslah etme, bu şekilde elde edilen çeliklerde ıslah çelikleri adı verilir. Islah çeliklerinde alaşım elementleri olarak Cr, Ni ve Mo bulunur. Islah işlemi sonunda elemanlar üstün mekanik özellikler kazanırlar (Savaşkan, T, 2009).

Islah çelikleri C35 gibi sade karbonlu çeliklerden olabildikleri gibi 34CrNiMo6 vb. alaşımlı çeliklerdende bulunabilirler. Islah çeliklerinin derinlemesine (tam) sertleşebilir çelikler olma özellikleri onları imalat çelikleri grubundan ayıran en önemli özellikleridir. Sade karbonlu çeliklere göre Alaşımlı çeliklerin derinliğine (içyapılarının) sertleşebilme kabiliyeti daha yüksektir. Sade karbonlu çeliklere göre Islah çeliklerinin yapısında bulunan Cr, Ni, Mo gibi alaşım elementleri su verme sırasında malzemede çatlama ve çarpılma gibi hasarların oluşumunu minimuma düşürmektedir. Belli bir derinliğe kadar ister düşük alaşımlı çeliklerde ister sade karbonlu çeliklerde su vermek suretiyle tabaka sertleşmesi oluşturulabilmektedir. Tamamıyla sertleşebilme özelliğine sahip alaşımlı çeliklerde ise tabaka sertleşme kalınlığı daha fazladır. Bu özellikteki çelikler AISI/SAE standardında ve bu kalınlığı net bir şekilde veren çelikler SAE normunda sonlarına H harfi konularak gösterilirler. SAE1040H, SAE4140H, SAE5160H gibi (Savaşkan, T, 2009).

Transmisyon (mil) çelikleri

Transmisyon çelikleri ticari isimlendirme dışında, kimyasal kompozisyonundan çok kopma ve çekme dayanımına göre adlandırılmaktadır. C değeri düşük olan ve mukavemeti artırmak için Mn ilave edilerek elde edilen, süneklik ve sertlikleri iyileştirilmiş çeliklerdir. Bu çelikler St37, St44, St52 şeklinde gösterilerek 37, 44 ve 52 daN/mm² çekme mukavemetlerini ifade etmektedir. Karbon (C) değeri düşük olduğundan mukavemet artırmak için içeriğindeki mangan (Mn) değeri artırılarak mukavemeti iyileştirilir. Transmisyon çeliği ifadesi genellikle SAE1008-SAE1010-SAE1012-SAE1811013 ve St-37 kalite çelikler için kullanılmaktadır. Bu çeliklerin soğuk çekilmiş şekli ticari piyasada transmisyon çelikleri şeklinde ifade edilirler. Transmisyon çelikleri karbon değerinin düşük olmasından dolayı iyi bir kaynak edilebilme özelliği sağlanmaktadır. Bu sayede işlem sonrası veya montaj anında kaynak yapılması icab eden makine, otomotiv parça ve elemanlarında, millerde ve üretimin pek çok alanında kullanılmasını sağlamakta ve dolayısıyla çok fazla talep edilmektedirler. Talaş kaldırma sırasında çok sert olmadıkları için kolay bir biçimde şekilendirilmekte ve işlenmektedir (Çapan, L, 2010).

Paslanmaz çelikler: Paslanmaz çelikler yapılarında %12'den fazla Krom (Cr) miktarı bulunan çeliklerdir. %12'den fazla krom bulunması bu çeliklerin oksitleyici ortamların korozyon etkisine karşı dayanımını sağlamaktadır. Yüksek oranda krom (Cr) ve nikel (Ni) içerdiklerinden yüksek alaşımlı çelik grubunda olan çeliklerdir. Paslanmaz çelikler korozyon ve ısıya dayanıklıdır. (X20Cr13Mo, X40Cr13, X90Cr18MoV gibi). Bu çelikler kalay-kurşun alaşımları ile yumuşak lehimlenirler (Çapan, L, 2010). Paslanmaz çelikler yapısındaki Cr ve Ni oranlarına göre sınıflandırılırlar.

Yapısında maksimum %0,2 C ve %18-30 arasında Cr bulunanlar Ferritik paslanmaz çeliklerdir. (Örnek: X10Cr17, X12Cr17, X10Cr25, X10Cr17Mo, X8Cr17Ti).

Yapısında maksimum %1,2 C ve %12-17 arasında Cr bulunanlar Martenzitik paslanmaz çeliklerdir. (Örnek: X40Cr13, X20Cr13Mo, X90Cr18MoV, X70Cr17).

Yapısında maksimum %0,4 C ve %8-30 arasında Cr ve ayrıca %6-20 Ni bulunanlar Ostenitik paslanmaz çeliklerdir. (Örnek: X12Cr18Ni8, X5Cr18Ni9, X10Cr18Ni9Ti, X5Cr17Ni13Mo).

Yapısında eşit oranda Ostenit ve Ferrit mikro yapısında olanlar duplex (çift fazlı) paslanmaz çeliklerdir. Yapılarında %24 Cr ve %5 Ni içerirler (Koç, E, 2007).

Dökme çelik (DÇ): Endüstrideki bir çeliğin ergitilerek daha sonra yeniden kalıplara dökülmesi sonucu yeniden şekil verilmesi ile elde edilen çelikler dökme çelik şeklinde ifade edilirler. Yeniden elde edilmiş olan bu çeliklere yüzey sertleştirme ve ıslah ısı işlemleri uygulanabilir. Bu çelikler, Konverterde Siemens-Martin veya elektro fırınlarda ergitilerek kalıba dökülerek elde edilir. Dökme çeliklerin mukavemeti yüksek, uzama ve süneklik kabiliyeti iyi rahat kaynak edilebilirler.

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİK YAPISINA ETKİSİ

a)Esas elementler

Karbon (C): Karbon en önemli alaşım elementidir. Çelikte başlıca sertleştirici etkisi olan elementtir. Karbon miktarındaki her artış, çeliğin sıcak hadde ürünü veya normalize edilmiş halindeki sertlik ve çekme direncini artırır. Fakat esnekliğini, dövülme, kaynak edilme ve kesilme özelliğini zorlaştırır (Bhadeshia ve ark, 1985; Özbek ve ark, 1999).

Mangan (Mn) 1244 °C: Mangan her çelikte bulunan, oksit giderici bir elementtir. Çelik yapısında esnekliği çok az azaltırken, çelik direncini ise artırır. Kaynak edebilme ve Dövme özelliğine pozitif bir katkı verir. Çeliğin bünyesindeki karbon miktarına bağlı olarak sertlik ve dayanım direnci üzerinde olumlu bir etki yapmaktadır. Dönüşme hızını düşürür. %1'den fazla Manganlı çelikler yağda soğutulur ve yağ çelikleri adını alır. %1 oranında Mn bulunan çelikler sertleştirildiklerinde ölçü değişimine uğramazlar. Bu sebeple sıcak iş kalıp çeliği olarak kullanılırlar. Ayrıca %12-13 Mn'lı çelikler ostenitik çeliklerdir. Aşınmaya, kesme ve işlenmeye karşı yüksek dirençlidirler. Düşük karbonlu çeliklerde yüksek karbonlu çeliklere göre Mangan'ın tesiri daha azdır. Çelik yapısındaki Mangan miktarı su verme derinliğini ve korozyona (paslanmaya) karşı direnci artırır (Bhadeshia ve ark, 1985, Özbek ve ark, 1999, Brown, 1999).

Silisyum (Si) 1410 °C: Bütün çeliklerde silisyum mangan gibi mevcuttur. Yani, çelik bünyesinde demir filizlerinden bir miktar silisyum çeliğin bünyesinde kendiliğinden vardır. Çelik dökümlerde silisyum özgül ağırlık ve mekanik direnç üzerinde pozitif etki yapar. Silisyum çelikte arttığı zaman, çeliğin esnekliği düşer, ancak akma sınırı ise aynı oranda artar. Çekme dayanımı 10 kg/mm² beher başına %1 artış gösterir. Normal olarak çelikte % (0,3-0,4)'e kadar silisyum bulunur. Özel amaçlar için çeliğe %6,5'a kadar silisyum katılabilir. Silisyum çeliğin dayanımını ve akma dayanımını artırır, kritik soğuma hızını düşürerek, derinliğine sertleşebilirliği artırır. %0,5-1,5 Si ve %0,5-1 kromlu çelikler iyi kalitede yay çelikleridir (Bhadeshia ve ark, 1985; Özbek ve ark, 1999; Brown, 1999).

Fosfor (P) 118 °C: Genellikle fosfor çelikte negatif etki yapan bir elementtir ve çeliği gevrekleştirir. Fosfor oranı çeliklerde çoğu zaman % 0,04'den daha az olması istenir. Yüksek oranlardaki fosfor yapı içerisinde sert ve gevrek demir fosfor (Fe₃P) oluşmasına yol açar. Fe₃P bileşiği çeliğin sünekliğini azaltarak soğuk şekil verme esnasında çatlamlara veya kırıkların oluşmasına sebep olur. Bu durum "**soğuk çatlama**" veya "**soğuk gevreklik**" olarak ifade edilir. Kalitesi yüksek çeliklerde fosfor yüzdesi en çok 0.030-0.050 oranında tutulmalıdır (Bhadeshia ve ark, 1985, Özbek ve ark, 1999; Kaufman ve ark. 2004; Brown, 1999).

Kükürt (S): Mangan (Mn) çelikte olması halinde mangan ile kükürt mangan sülfür (MnS) bileşiğine dönüşmektedir. Başka bir deyişle FeS oluşması gerekirken MnS meydana gelmektedir. MnS'ün önemli bir miktarı cürufta

yığılırken, diğer bir miktarda MnS artık malzemesi şeklinde yapı içerisinde dağılmaktadır. Kükürt'un Mangan oranının yarısı kadar, ticari çeliklerde ise % 0,05'in altında kükürt oranının olması istenir. Demir ile kükürt bir araya gelerek FeS (demir sülfür) bileşimini oluşturarak demir ile birlikte erime dercesi düşük olan ötektik bir alaşım meydana getirmektedir. En çok çeliğin tane sınırı bölgesinde bulunur ve sıcak dövme veya haddeleme işlemi esnasında tane sınırlarındaki alaşım erimiş olur. Bu alaşım ergidiği zaman taneler arası bağlar birbirinden ayrılır ve yapıda çatlaklar oluşturur. Bu olaya "**Kızıl kırılganlık**" veya "**sıcak gevreklik**" denir. Kükürt çeliklerde genel olarak istenmeyen yabancı bir element olarak kabul edilmektedir. Ancak, çeliğin işlenebilme özelliğinin artırılması söz konusu olduğunda ise kükürt önemlidir. Çelikte müsaade edilen miktar normal olarak en fazla %0.025-0.030 oranında ve sınırlıdır. Çeliğin kırılganlığı ve haddelenmesi artan kükürt miktarı ile zorlaşmaktadır. Kükürt düşük oranlarda talaşlı işlenebilirliği olumlu etkiler (Özbek ve ark, 1999).

Krom (Cr) 1920 °C: Çeliklere en fazla katılan alaşım elementi Krom (Cr) dur. Krom karbonla bileşerek çok sert krom karbürler (CrC) meydana getirir. Dönüşüm hızını düşürdüğünden kromlu çelikler çekirdeğine kadar sertleşir. Akma direncini, dayanımı ve sertliği önemli ölçüde artırır. Yüksek aşınma mukavemeti sağlanması nedeniyle takım çeliklerinde %13'e kadar krom katılır. Çeliğin dayanımı yapısındaki krom miktarına göre artmaktadır. Ancak esneklik özelliğine ise çok azda olsa negatif yönde etki yapmaktadır. Çelikteki krom oranı arttıkça sıcaklığa karşı dirençte artar. Tufal oluşumunu engeller. Çeliğin içerisinde çok fazla krom olması aşınmaya ve paslanmaya karşı direncini artırır. Çeliklerde kaynak edilebilme yeteneği artan krom miktarına bağlı olarak zorlaşırken paslanmazlık özelliği ise artmaktadır (Bhadeshia ve ark, 1985; Özbek ve ark, 1999).

Nikel (Ni) 1453 °C: Çelik direnci üzerinde silisyum ve mangana göre Nikel'in etkisi daha azdır. Özellikle kromla birlikte nikel bulunduğu zaman çelikte derinlemesine sertlik artar. Nikel-Kromlu paslanmaz çelikler, ısıya ve tufallanmaya dirençli olurlar. Sıcaklığı düşük makine yapı çeliklerinde çentik direnci üzerinde pozitif bir etki yapmaktadır. Ayrıca ıslah ve sementasyon çeliklerinin dayanım direncini de artırmaktadır. Ostenitik paslanmaz çelikler gibi tufal atmaya dayanıklı çeliklerde en uygun alaşım elementi nikel'dir. Nikel Ostenit oluşumunda etkilidir. Çeliklerin iç çekirdeğine kadar sertleşebilmeleri üzerinde Nikel'in önemli bir etkisi vardır (Bhadeshia ve ark, 1985; Özbek ve ark, 1999; Kaufman ve ark. 2004; Brown, 1999). Nikelli çelikler otomotiv

sanayisinde miller, supaplar ve benzeri makine parçalarının üretiminde kullanılırlar. Çeliklerde Nikel bakırla beraber korozyona karşı çelik mukavemetini yükseltir. Genel olarak çeliklere %1,5-5 oranında nikel katılır.

Molibden (Mo) 2610 °C: Molibden, çeliğin akma dayanımını, çekme dayanımını ve özellikle ısıya dayanıklılığı ile kaynak edilme özelliğini artırır. Tane büyümesi ve gevrekliği önler. Molibdenli çelikler özlü olduğu için vuruntulu yerlerde kullanmaya elverişlidirler. Genellikle çeliklere % 0,15-0,50 oranında Molibden katılır (Bhadeshia ve ark, 1985; Özbek ve ark, 1999). Yüksek miktarda Molibdenli çeliklerin dövülmesi güçleşir. Molibden kromla birlikte daha çok kullanılır. Molibdenin etkisi Wolframa benzer.

Vanadyum (V) 1730 °C: Vanadyum, tane küçültücü ve karbür yapıcı bir elementtir. Çeliklerde büyük özellik değişimi sağlayan en önemli elementlerden biridir. Ancak düşük oranlarda ve dengeli bir oranda ilave edilmelidir. Özellikle çelikte darbelere karşı dayanımı artırır. Genel olarak kesici takımların uzun süre kesme özelliklerini korumasını temin eder. Akma ve çekme dayanımlarını artırır. Darbeli ve vuruntulu çalışan makine parçalarının yapımında kullanılır. Çeliğin ısı mukavemetini ve kesme özelliğini yükseltir. % 0,15-% 0,5 arasında Vanadyum içeren çelikler yüksek dayanıma sahiptir (Bhadeshia ve ark, 1985; Özbek ve ark, 1999).

Wolfram (W) 3380 °C: Wolfram, kuvvetli karbür yapıcı ve olumlu özellikleri olan bir elementtir. Wolframlı çelikler yüksek sıcaklıkta sertliklerini muhafaza ettiklerinden kesici takım yapımında, daha çok yüksek hız takım çelikleri ve sıcak iş çeliklerinde kullanılırlar (Bhadeshia ve ark, 1985; Özbek ve ark, 1999).

b) Diğer elementler

Kurşun (Pb) 327 °C: Alaşım elementi olarak kullanılmaz. Ancak, talaşlı işlenebilirliği olumlu olarak etkilediği için otomat çeliklerinde alaşım elementi olarak kullanılır. Otomat çeliklerine, %0.2-0.5 oranında katılır. İşlemede kolaylık ve temiz bir yüzey elde edilmesini sağlar. Çeliklerde mekanik özellikler üzerinde pek etkisi yoktur (Bhadeshia ve ark, 1985; Özbek ve ark, 1999).

Bor (B) 2040 °C: Çeliğe çok düşük oranda (%0.001 gibi) ilave edilse bile su vermede sertliğin derinlere erişmesini sağlar. Özellikle sementasyon

çeliklerinde ana mukavemet dayanımının artmasını sağlar (Bhadeshia ve ark, 1985; Özbek ve ark, 1999).

Alüminyum (Al) 660 °C: Alüminyum çeliklerde az miktarda kullanılan faydalı bir elementtir. Çeliklere tane yapısını küçültmek amacıyla katılır. Dolayısıyla ince taneli çeliğin mukavemetini artırır (Bhadeshia ve ark, 1985; Özbek ve ark, 1999).

Bakır (Cu) 1084 °C: Bakır çeliklere korozyon direncini artırmak ve geliştirmek amacıyla katılır. Dövmeyi zorlaştırdığından çeliklerde çok fazla istenmez. Akma sınırı ve çekme dayanımını, asit ve korozyona dayanımı yükseltir (Bhadeshia ve ark, 1985, Özbek ve ark, 1999; Apelian ve ark, 2009; Kaufman ve ark. 2004; Brown, 1999).

Oksijen(O) : Oksijen çelikte FeO şeklinde bulunur ve gevrekleşmeye yol açar.

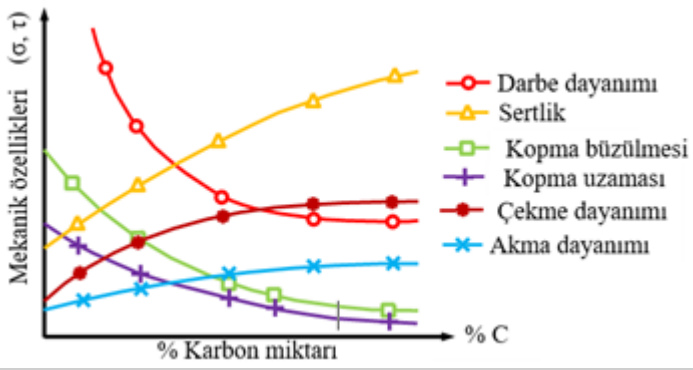
Azot (N): Azot, demir nitrür oluşturarak çeliği gevrek ve kırılğan yapar. Ancak, uygun alaşımli çeliklerin yüzeyine nüfuz ettirilerek aşınmaya dirençli ve sert bir yüzey tabakası elde edilir.

KARBONUN ÇELİĞİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE OLAN ETKİSİ

Karbonun çeliğin fiziksel özelliklerine etkisi; Genel özelliklere etkisi, Kaynak edilebilirliğe etkisi ve Talaş kaldırma özelliğine etkisi olmak üzere üç ana başlıkta incelenebilir.

Genel özelliklere etkisi

Karbon çeliğin yapısal ve mekanik özelliklerini en fazla etkileyen alaşım elementidir. Artan karbon oranıyla malzemelerin sertlikleri, çekme dayanımları ve aşınma mukavemetleri artar, % uzama, çentik darbe dayanımı gibi süneklik özellikleri ve işlenebilirlik, kaynak edilebilirlik, soğuk deformasyon gibi üretimle ilgili özellikleri düşer (Çakır ve ark, 2016, Başak ve ark, 2016). Şekil 2'de karbonun çeliğin mekanik özelliklerine etkisi gösterilmiştir (Savaşkan, T, 2009).



Şekil 2: Karbonun, çeliğin mekanik özelliklerine etkisi (Savaşkan, T, 2009).

Artan karbon miktarı ile yapıda oluşan sert ve kırılğan sementit fazı soğuk biçimlendirme yeteneğini düşürür. Soğuk şekil değiştirmenin üst sınırı yaklaşık olarak %0,83 C olarak verilebilir. Ayrıca, bu değere kadar artan karbon oranıyla biçimlendirme için gerekli kuvvet de önemli ölçüde artar.

Kaynak edilebilirliğe etkisi

Çeliklerin kaynak kabiliyetleri ve özellikle de, çeliğin mekanik özellikleri, kimyasal içeriği ve buna bağlı olarak da kaynak sonrası kaynak bölgesinde oluşan fazlarla yakından ilgilidir. Sünekliği düşük ve sert olan çeliklerde kaynak işleminde oluşan gerilmeler giderilmediği takdirde çatlama ve çarpılmalar görülür ve kaynak dayanımı düşer. Karbon oranı %0,25 ten az olan çelikler kaynağa yatkın olan çeliklerdir. Karbon oranının daha yüksek olması halinde özel şartlarda kaynak yapılması gerekir. Genel olarak çeliğin kaynak kabiliyeti karbon eşdeğerine göre tespit edilir ve bu değerlere göre parçanın yavaş soğuması için ön tavlama ve gerilme giderme tavlama uygulanır (Çakır ve ark, 2016; Başak ve ark, 2016; Savaşkan, T, 2009).

Talaş kaldırma özelliğine etkisi

Malzemelerde talaş kaldırma özelliği sertlik ve çekme mukavemetleri ile yakından ilgilidir. Karbon oranının artması ile bu iki özellik arttığından, talaş kaldırma özelliği bunlara bağlı olarak kötüleşir. %0,3'e kadar C içeren çelikler kolaylıkla torna edilebilirler. %0,3-0,83 C içeren çelikler talaş kaldırmadan önce lamelli sementitin taneli sementite dönüştürülmesi ve çeliğin yumuşatılması gerekir. %0,83-1,7 C içeren ötektoid üstü çeliklerde yumuşatma tavlama yapılarak tane içi ve tane sınırı sementitin küreselleştirilmesi gerekir. İşlenebilirlik belirli bir sertlik değerine kadar sertlik arttıkça artıkça iyileşir. İşlenebilirlikle sertlik, sertliği 250 HB'den büyük çelikler için ters orantılı olarak

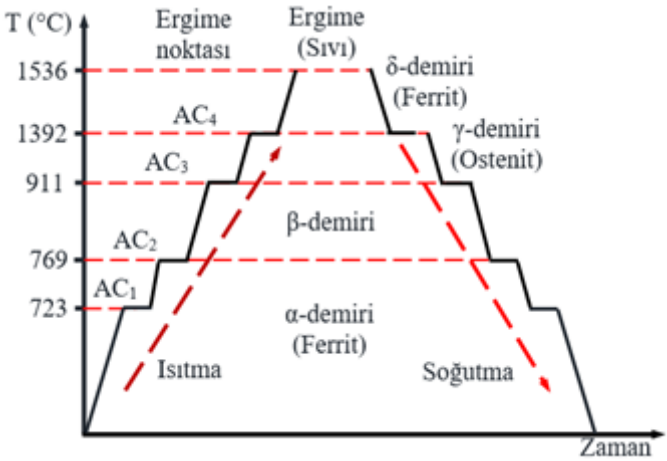
değişir. Ancak 250 HB'ye kadar doğru orantılı artış gösterir. En ideal çelik sertlik değeri işlenebilirlik açısından 180 HB civarındadır. Bu değer altındaki çeliklerde işlenebilirlik seviyesi kötüleşir. Çünkü yüksek süneklikten dolayı işleme sırasında yüksek deformasyon meydana gelir (Lane ve ark, 1967).

ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMLERİ VE FAZ DÖNÜŞÜMLERİ

Demirin dönüşüm fazları ve faz dönüşüm sıcaklıkları

Saf durumdaki demir oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar ısıtıldığı zaman çeşitli kristalografik faz dönüşümlerine uğrar. Bu dönüşüm iki farklı allotropik hal gösterir. Bileşimi aynı kalan bir malzemenin kafes yapısının sıcaklıkla değişmesine Allotropi (Polimorfizm) adı verilir.

Faz dönüşümü ile demirin üç önemli temel yapısı mevcuttur. Bunlar, Ferrit, Östenit ve Sementit'dir. Saf demir oda sıcaklığında α (ferrit) kristallerinden ibarettir. 769 °C sıcaklıktan sonra yapı aynı olduğu halde mıknatıslanma özelliği kaybolur. Bu sıcaklıktan sonra yapı β -demiri adını alır. İkinci faz değişimi (duraklama) 911 °C'de görülür. Yapı yüzey merkezli (γ) ostenit kristallerine dönüşür. α ve β kristalleri ancak %0,008 kadar karbon çözüdürebildikleri halde, γ kristalleri sıcaklığa bağlı olarak % 2 oranına kadar karbon eritebilirler. 1392 °C'de γ kristalleri tekrar hacim merkezli delta ferrit kristallerine dönüşür. Bu kristallerin de karbon çözüdürme özelliği yoktur. Demir, 1536 °C'de ergimiş olur ve sıvı duruma geçer (Palaniradja ve ark, 2010). Şekil 3'de saf demirin allotropik halleri (faz dönüşümü) verilmiştir.



Şekil 3: Demirin zamana bağlı faz dönüşümü (Savaşkan, T, 2009).

Metastabil denge diyagramı fazları

Malzemelerin içyapılarında homojen ve belirli özellikler gösteren kristal yapıları bölge olarak ifade edilir. Demir- Sementit denge diyagramı da denir. Sementit, Fe_3C formüllü bir demir karbür bileşiği olup, yapısında en çok % 6,67 oranında karbon bulundurabileceğinden Metastabil denge diyagramı bu karbon oranında sona erer (Palaniradja ve ark; 2010, Savaşkan, T, 2009).

Metastabil sistemde görülen başlıca faz çeşitleri;

Ferrit (α): Demirin kübik hacim merkezli α karışım kristalidir. Kristal kafesinde en çok %0,008 oranında karbon içerebilir. Saf demire bilinen özelliklerini verir. Şekil değiştirme özelliği ve çentik darbe tokluğu iyidir (Savaşkan, T, 2009).

Perlit ($\alpha+Fe_3C$): Yaklaşık %86 ferrit ve %14 sementitin birlikte oluşturdukları dokudur. %0,83 C içeren γ karışım kristalinin 723 °C'de ötektoid dönüşüm ile doğrudan ferrit ve sementite ayrışmasından meydana gelir. Kübik yüzey merkezli kristal yapıya sahip ve içerisinde karbon çözüdürebilen ostenit, 723 °C sıcaklığa soğutulduğunda önce kübik hacim merkezli ferrit kristalleri açığa çıkar. Ferrit kristallerinde karbon atomlarına yer bulunmadığından, karbon atomları ferrit kafeslerini terkederler. Bu durum %6,67 oranına ulaşıncaya kadar devam eder. Böylece bir ferrit ve bir sementit olmak üzere arka arkaya tabakalar sıralanır. Nitrik asitle dağlanıp yüzey mikroskopta incelendiğinde perlit, parmak izine benzer bir görünüme sahiptir (Savaşkan, T, 2009).

Austenit (Ostenit) (γ): Demirin kübik yüzey merkezli γ karışım kristalidir. 1147 °C'de %2 oranına kadar karbon eritebilir. Çok iyi şekil değiştirir, kolayca dövülüp, çekilebilir. Mıknatıslanma özelliği yoktur. İçerisine Mangan ve Nikel katılarak oda sıcaklığında bile mıknatıslanmayan ostenitik yapı elde edilebilir (Genç, S., 2010; Savaşkan, T, 2009).

Sementit (Fe_3C): Yapısında %6,67 C bulduran demir karbür bileşiğidir. Ortorombik kristal yapıya sahiptir. Demir karbon denge diyagramında en sert fazdır. Üç tür sementit vardır. I. Sementit, II. Sementit ve III. Sementittir. Yapılarında %4,2-6,67 oranlarında C bulduran demir karbon alaşımlarının normal şartlarda katılması ile uzun sivri iğne görünümünde I. Sementit oluşur. II. sementit demir karbon denge diyagramının ötektik ve ötektoidik noktaları arasında kalan bölgede tane sınırlarında görülür. Tane sınırı sementiti dağlamadan etkilenmediği için optik mikroskopta beyaz görülür. Yapılarında

%0,83 ten daha az karbon bulunduran demir karbon alaşımlarında çok yavaş soğuma ile ferrit tanelerinin sınırlarında toplanan sementite III. sementit denir. Sementit yapıyı sertleştirir ve gevrekleştirir (Savaşkan, T, 2009).

Ferrit: Demir karbon alaşımlarının 1402 °C ile 1536 °C arasında görülen, yapısında en fazla % 0,07 C bulunduran kübik hacim merkezli kafes sistemine sahip fazdır.

Ledeburit: Metastabil denge diyagramının ötektik dokusudur. %4,3 C oranında ve 1147 °C sıcaklıkta ötektik bir reaksiyon sonucunda sıvı fazdan ostenit ve sementit fazları açığa çıkar. Yapı olarak ötektoid üstü (723 °C) Ledeburit %48 ostenit ve %52 sementit, ötektoid altı Ledeburit % 48 perlit %52 sementitten oluşmaktadır (Savaşkan, T, 2009).

ÇELİKLERİN GENEL ISIL İŞLEMLERİ

Isıl işlem, alaşım veya metallere hedeflenen nitelikleri sağlamak için katı durumda kontrol altında yapılan ısıtma ve soğutma mekanizmasıdır. Metal veya alaşımlara katı durumda istenilen özellikleri sağlamak için bir veya daha çok sayıda ard arda farklı sürelerde uygulanan ısıtma ve soğutma mekanizması şeklinde ifade edilmektedir. Çeliklere tatbik edilen genel tüm ısıl işlemler demir-sementit denge diyagramında bulunan östenit fazının dönüşümü ile alakalıdır. Dönüşüm ürünlerinin çeşidi, metalografik yapısı ve bileşimi çeliğin fiziksel ve mekanik özelliklerini büyük oranda etkiler.

Isıl işlemlerin başlıca amaçları;

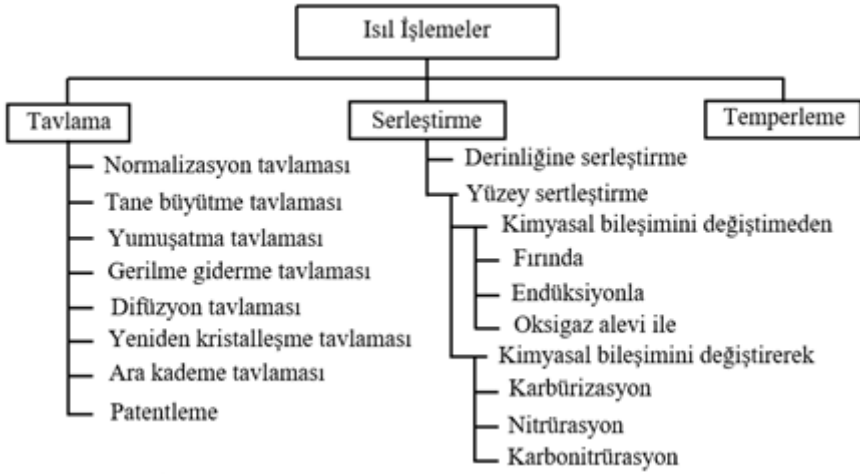
- a) Sıcak ve soğuk biçimlendirme gerginliklerini gidermek,
- b) Talaşlı imalatı kolaylaştırmak,
- c) İnce ve kaba dokulu malzemeler elde etmek,
- d) Sertlik ve çekme dayanımını yükseltmek,
- e) Kimyasal bileşimi değiştirmek,
- f) Zamanla sert bir yapının oluşumunu sağlamak,
- g) Elektrik ve manyetik özellikleri değiştirmek,
- h) Darbelere karşı direnci artırmak ve
- i) Yapıdaki gazları uzaklaştırmaktır.

Isıl işlemleri 3 ana gruba ayırabiliriz.

1. Tavlama ısıl işlemi,
2. Sertleştirme ısıl işlemi,
3. Temperleme-Menevişleme (İslah etme)

Çeliğin katı haldeki dönüşümleri sonucunda ısıl işlemler gerçekleşir. Çeliklerin yapısındaki karbon miktarına bağlı olarak dönüşüm sıcaklıkları

sonucu ısıl işlem sağlanmış olur. Bu yüzden belirli sıcaklık aralıkları bu dönüşümler için kesin olarak söylenemez. Demir-karbon denge diyagramındaki eğrilerle dönüşüm sıcaklıkları tespit edilebilmektedir. Isıl işlemlerin genel sınıflandırılması Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4: Isıl işlemlerin sınıflandırılması (Savaşkan, T, 2009).

Tavlama ve Tavlama Mekanizması

Tavlama, istenilen yapıda fiziksel ve mekanik özellikleri sağlamak amacıyla soğuk şekillendirmeyi ve talaş kaldırmayı kolaylaştırmak için metal malzemelerin istenilen sıcaklıklarda ısıtılması, istenilen değişiklikler elde edildikten sonra belli sıcaklıkta sabit kalması ve daha sonra yavaş soğutulma işlemi olarak ifade edilmektedir. Aşağıda Şekil 5’de tavlama mekanizması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5: Tavlama mekanizması (Savaşkan, T, 2009).

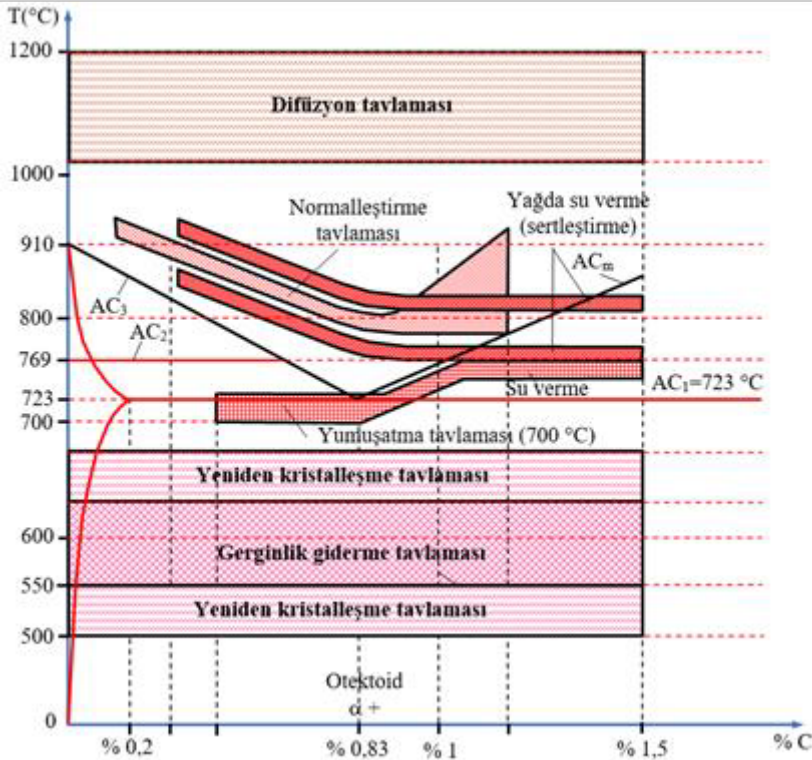
Kısaca malzemenin katılaşma eğrisi altında belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmasına ve bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletilmesine ve yavaş

soğutulmasına “**Tavlama**” denir. Kısa bir tanım olarak denge durumuna yakın bir yapıda çeliklere özellik verebilmek amacıyla, sıcaklığı belli olan bir sıcaklıkta ısıtma ve hemen devamında çoğu zaman yavaş soğutma yapılan ısıtma işlemi olarak ifade edebiliriz. Seçilecek tavlama sıcaklıkları ve tavlama süreleri tavlamanın amacına göre belirlenir.

Tavlama işleminin amacı;

- a) Tane yapısını küçültmek,
- b) Çeliklerin elektrik ve manyetik özelliklerini iyileştirmek,
- c) İşlenebilirliği kolaylaştırmak,
- d) Mikroyapıyı homojenleştirmek,
- e) Sertliği azaltmak yani maksimum bir tokluk sağlamak ve
- f) Soğuk şekillendirmede için biçimlendirilebilme kabiliyetini artırmaktır.

Şekil 6’da Tavlama yöntemleri ve uygulama sıcaklıkları genel bir biçimde gösterilmiştir.



Şekil 6: Tavlama yöntemleri ve uygulama sıcaklıkları (Savaşkan, T, 2009; Özek, C., 2020).

Tavlama çeşitleri aşağıda verildiği gibidir.

1. Normalizasyon tavlaması

2. Tane büyüten tavlama
3. Yumuşama tavlama
4. Gerilme giderme tavlama
5. Difüzyon tavlama ve
6. Yeniden kristalleşme tavlama.

Tavlama, malzemenin ısıtmaya tabi tutulduğu sıcaklık genellikle 550-850 °C sıcaklık aralığındadır. Ancak bunun hemen ardından aşağı yukarı yavaş soğuma 590 °C'de sağlanmış olmalıdır. 590 °C'nin altında sağlanan soğuma oranının etkisi yoktur.

Normalizasyon (Normalleştirme) tavlama

Normalizasyon tavlama, genel olarak bir çeliğin kritik sıcaklığı olan 40-60 °C'nin üzerinde oda sıcaklığı şartlarında soğutulması işlemidir. Ötektoid altı çeliklerde (%0,2-0,83 C) AC₃ sıcaklığının 30-50°C üzerine, ötektoid üstü çeliklerde ise (%0,83-1,7 C) AC₁ sıcaklığının 30-50°C üzerine çıkarılır. Tavlama sıcaklığında malzemenin en iç bölgesi tamamen dönüşüme uğrayana kadar bekletilir. Bekleme süresi her mm kalınlık için yaklaşık olarak 2 dakikadır. Parça 600 °C'ye kadar fırında yavaş daha sonra açık havada soğutulur. Tavlama sonrası kimyasal açıdan bir değişiklik olmadan çeliğin dokusu düzgünleşir ve iç gerilim kaybolur. Bu şekilde sıcak şekil verme işlemi sonucunda ortaya çıkan büyük tane yapısı daha homojen, daha ince karbür yapısı oluşmasına sebep olur (Vitek ve ark, 1983).

Normalleştirme tavlama çeliğin ısıtma işlem sıcaklığı değerine yaklaşık değerdeki (840-880 °C) bir sıcaklık olan sıcaklıkta tavlama ve daha sonra 840-880 °C'de 10-20 dakika boyunca sabit tutulması ve devamında açık havada soğutma yapılmasıdır. Normalleştirme tavlama çeliğin normal olan eşit boydaki yuvarlak tanelerden oluşan ince taneli yapısına yeniden ulaşmasıdır. Genel olarak çeliğin mekanik özelliklerini daha iyi hale getirmek için ötektoid üstü çelikleri AC_m dönüşüm, ötektoid altı çelikleri ise AC₃ sıcaklıklarının hemen hemen 30-50 °C üstünde olan sıcaklıklara kadar ısıtılarak tavlama ve tavlama yapıldıktan sonra fırından alınarak dışarda açık havada yapılan yavaş soğutmadır (Savaşkan, T, 2009).

Normalizasyon tavlama amacı;

- a) Tane ölçüsünü inceltmek (safılaştırma veya küçültme),
- b) Homojen bir içyapı oluşumunu sağlamak,
- c) Ötektoid üstü çeliklerde tane sınırlarında bulunan karbür ağını dağıtmak,
- d) Çeliklerin işlenebilir kabiliyetini geliştirmek,
- e) İyi mekanik özellikler elde etmek,
- f) Çeliğin cinsine göre mukavemet özelliklerini iyileştirmek,

g) Çeliğin cinsine bağlı olarak iyi ısıl ve mekanik özellikler elde etmek,

h) Yumuşatma tavnasına tabi tutulmuş çeliklerin sertlik ve mukavemetlerini arttırmaktır.

Dövülmüş, haddelenmiş, dökülmüş, çekilmiş, iri taneli ve eş yönelmiş yapılar normalizasyon tavlama ile düzeltilir. Malzeme, tavlama işleminden sonra kendine özgü çekme dayanımı, sertlik ve süneklik gibi özelliklere geri döner.

Bununla birlikte yüksek sıcaklıkta uzun bir zaman tavlama yapılmış çelikler (difüzyon tavlama), kritik biçim değiştirme oranına kadar soğuk biçim değiştirmiş malzemelere ve kaynak edilmiş küçük elemanlarda düzenli olmayan bir biçimde oldukları için normalleştirme tavlama işlemi uygulanması gerekir. Normalizasyon tavlama için soğutma işlemi açık havada ve fırın dışında uygulanır.

Tane büyütme tavlama

Tane büyütme tavlama, düşük karbonlu (<0,2%) çeliklerde, iri taneli yapı elde etmek ve çeliklerin talaş kaldırma özelliğinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan tavlama şeklidir. Ayrıca bu sayede ötektoid altı çeliklerde talaş kaldırma esnasında yüzeyde oluşan yırtılmalar önlenir ve daha pürüzsüz bir yüzeyin ortaya çıkması sağlanır. Malzeme AC₃ sıcaklığının yaklaşık 150 °C üzerinde her (cm) kalınlık için bir saat süreyle bekletilir.

Tavlama işlemi bittikten sonra parça yavaş yavaş soğutulur. Uzun süre ostenit bölgesinde yüksek sıcaklıklarda bekletilen malzeme önce iri taneli ostenite, daha sonra yavaş soğuma ile iri taneli ferrit ve perlitte dönüşür (Savaşkan, T, 2009).

Yüksek sıcaklıklarda yapılan ısıl işlemlerde malzeme yüzeylerinde bir oksit tabakası oluşur. Bu tabaka tufal olarak isimlendirilir. Oksit tabakası yüzey kalitesinin bozulmasına ve malzeme kayıplarına yol açar. Bunu önlemek için, fırın atmosferi denetim altında tutulmalı veya parça dökme demir talaşı içerisinde ısıtılmalıdır.

Yumuşatma (Küreselleştirme) tavlama

Malzemelerde sertliği düşürmek, çeliğe en uygun yumuşak yapı kazandırmak, mukavemeti düşük ve yüksek sertlikte bir uzama sağlayabilecek yapıya erişirmek için yumuşatma tavlama uygulanır. Yumuşak tavlamanın amacı çeliğin soğutulması veya soğuk çekilmesi sonunda meydana gelen gerginlikleri gidermek, kristal yapısını değiştirmek, belirli bir tane yapısı elde etmek veya şekillendirme ve işlenebilme yeteneğini geliştirmektir. Çeliklerin işlenebilirliğini kolaylaştırmak, dövme ve döküm malzemelerdeki iç

gerginlikleri yok etmek için, ötektoid üstü çelikleri AC₁, ötektoid altı çelikleri AC₃, hatlarının üstündeki bilinen sıcaklıklar seviyesinde ısıtıp, içyapılarını Östenit faz yapısına dönüşümlerini sağladıktan sonra çok yavaş soğutma için fırın içerisinde tutarak yumuşatma tavlaması yapılmış olur. Bu şekilde karbonu yüksek çeliklerin talaş kaldırma işlemleri rahat bir şekilde yapılır (Savaşkan, T, 2009).

Yumuşatma tavlamsı bütün çelikler için talaşsız şekillendirmeye uygun bir ilk hedef içyapısı oluşturmak, 0,5% C'dan fazlasını bünyesinde bulunduran çeliklerde işlenebilirliğe hazır hale getirme ve su verme sertliğini yok etmek için yapılır.

Yumuşak tavlama, çeliğin kritik sıcaklığı altında 650°C-700 °C ısıtılıp belirli bir süre bekletildikten sonra fırın içinde yavaş yavaş soğutularak yapılmalıdır. Yumuşak tavlama işleminin uygulanacağı sıcaklık, ısıtma ve soğutma hızı ile zamanı, ısıl işleme tabi tutulan çeliğin kimyasal bileşimine, şekline, ölçüsüne ve ısıl işlemi sonunda çeliğe kazandırılması öngörülen özelliklere bağlı olarak değişmektedir.

Ötektoid altı çelikler yumuşatma tavlaması için, AC₁ (723 °C) sıcaklığının hemen altında (700 °C civarı) bir sıcaklıkta bir kaç saat veya daha uzun süre bekletilir (15-25 saat). Ötektoid üstü çeliklerde ise, AC₁ sıcaklığının zaman zaman üstüne çıkılarak uygulanır. Tavlama işlemi bittikten sonra parça 600 °C'ye kadar çok yavaş, daha sonra istenilen hızda soğutulabilir.

Gerilme giderme tavlaması

Gerilme giderme tavlaması 150-695 °C sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanmış malzemelerde kaynak, döküm ve soğuk şekillendirme aşamalarından meydana gelen düzenli olmayan soğuma soğuma sonucunda oluşan gerginliklerin giderilmesi için yapılmaktadır. Kalıcı şekil değiştirmeler sonucunda meydana gelen bu iç gerginlikler malzemelerin kullanılması esnasında çeşitli gerginliklerinde tesirinde olur. Aşırı gerilme yığılmalarının etkisi artar ve buda elemanlarda çatlakların oluşmasına sebebiyet verir. Bu gerilme yığılmalarının yok edilmesi en azından düşürülmesi için dönüşüm sıcaklıklarının altında metalik malzemeleri elverişli bir sıcaklık seviyesinde ısıtmak ve daha sonra yavaş soğutma işlemidir (Savaşkan, T, 2009). Parçalar, 550... 600 °C arasındaki sıcaklıklarda yavaş ısıtılacak bir biçimde tavllanır ve yaklaşık olarak 4 saat süre ile burada ısıtılmış olur. Soğutma, daima malzemenin her tarafı eşit sıcaklıkta olacak bir biçimde çok yavaş olarak yapılmalıdır.

Sıcak dövülmüş ve dövülmüş malzemelerde işlenebilirlik işlemi yapılmadan önce tolerans aralığı az olan parçaların yüzeyleri silinmeden önce veya kaynak yapılmış parçalarda gene gerilme giderme tavlaması yapılmalıdır. Dövülmüş,

kaynak edilmiş, çekilmiş malzemelerin gerginliklerini gidermek için uygulanır. Parça 550-650 °C arasındaki sıcaklıklara kadar ısıtılır. Bu sıcaklıkta yaklaşık 4 saat bekletilir ve yavaş soğumaya bırakılır. Sertlik ve mukavemeti fazla düşmez. Ancak malzemenin iç gerginlikleri giderilir.

Difüzyon (Homojenleştirme) tavlaması

Difüzyon tavlaması, döküm parçalarında döküm esnasında meydana gelen konsantrasyon farklılıklarını tekrar dengelemek amacıyla çok büyük oranda kükürt içeren otomat çeliklerine uygulanır (Savaşkan, T, 2009). Haddelenerek elde edilmiş olan hadde ürünlerinin tane sınırı bölgelerinde sülfür segregasyonları oluşmaktadır. Homojenleştirme tavlaması ile bu ürünler daha düzenli ve ince bir yapı haline ulaşırlar. Çözünebilir bileşenlerin içyapıda düzenli bir şekilde dağılmasını sağlamak amacı ile yapılır (Genç, S, 2010).

Bir malzeme içinde atomların yüksek potansiyelden düşük potansiyele doğru hareketi difüzyon olarak ifade edilir. Bu işlem, karbon atomlarının (karbürleme) ve karbon ve azot atomlarının birarada difüzyonuyla gerçekleşmektedir. Malzeme, içerdiği karbon oranına göre 1050 ile 1250 °C sıcaklıklar arasında uzun süre tavllanır. Tavlanan bu malzeme daha sonra istenilen şekilde soğutulur.

Tavlama işlemi için katılma çizgisinin hemen altında 1000-1300°C de parça uzun süre bekletilir (40 saat). Tavlama işlemi bittikten sonra parça 600 °C ye yavaş, daha sonra açık havada soğutulur ve iri taneli ferritik perlitik bir yapıya ulaşılır. Yüksek sıcaklıklarda çalılışıldığından parçanın yüzeyi yanarak tufal tabakası meydana gelir. Bunun için parçalar dökme demir talaşı içerisine paketlenmeli veya koruyucu atmosfer ortamı kullanılmaktadır (Genç, S, 2010).

Yeniden kristalleşme (Ara) (Rekristalizasyon) tavlaması

Malzemelerde soğuk şekil değiştirmeden sonra azalan uzama kabiliyetini yeniden kazandırmak ve soğuk sertleşmeyi önlemek için yeniden kristalleşme tavlaması yapılır. Malzeme yeniden kristalleşme sıcaklığı üzerindeki bir sıcaklıkta tavllanır. Bu sıcaklık her malzeme için soğuk şekil değiştirme miktarına göre değişir. Çelik, kuvvetli bir soğuk şekil değiştirmeden sonra 300 °C'de, zayıf bir soğuk şekil değiştirmeden ise, yaklaşık 500 °C'de yeniden kristalleşir (Genç, S, 2010, Savaşkan, T, 2009).

Tel, boru ve ince sac tabakalar gibi soğuk hadde ürünleri, profil çekiminde soğuk şekil verme işlemi sırasında malzeme sertleştiğinden malzeme yeniden şekil değiştirebilir hale getirilmelidir. Bu yüzden yeniden kristalleşme tavlaması ara tavlama olarakta ifade edilebilir. Derin çekme parçaları için de gerekli bir tavlama türüdür.

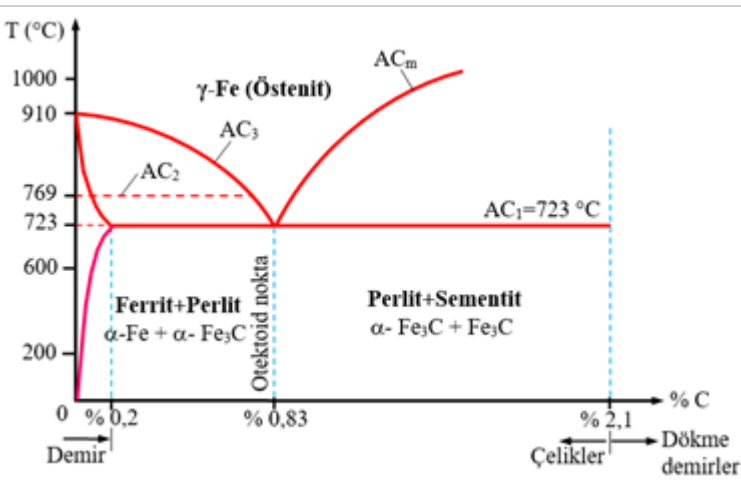
Çeliklerin Sertleştirilmesi (Su Verme) İşlemi

Çeliklerin sertleştirilmesi pratikte su verme işlemi olarak tanımlanır. Sertleştirmede amaç, sert martenzitik bir yapıya ulaşmaktır. Bunun için, soğutma işleminde kritik soğuma hızını aşarak ostenit fazının perlite dönüşümünü engellemek ve bunun yerine martenzite dönüşümünü sağlamak önemlidir. Çeliklerde yapının tamamen martenzitik bir yapıya dönüşümünü sağlayan en düşük soğuma hızı kritik soğuma hızı olarak ifade edilir. Kritik soğuma hızı sertleştirme yapılacak parça boyutlarına, malzemenin sertleşebilme kabiliyetine ve su verme derecesine göre değişiklik gösterir (Savaşkan, T, 2009; İnternet: 2012).

Su verilen bir çeliğin yapısında çatlama veya çarpılmalar meydana gelir. Bu yüzden istenmeyen değişim gerginliklerine sebep olmamak için soğuma hızı olması gerekenden çok fazla büyük alınmamalıdır. Şayet soğuma hızı istenilen değerden çok altında ise istenilen oranda sertlik sağlanmamış olur. Soğutma hızı çok yüksekse özellikle çatlama ve çarpılmalar olmuş olur (Genç, S, 2010).

Kritik soğuma hızı, kimyasal bileşim (karbon ve alaşım elementi oranı) ve ostenitin tane büyüklüğüne bağlı olarak çelik için önemli bir kriterdir. İlke olarak ötektoid altı sade karbonlu çelikler AC_3 çizgisinin, ötektoid üstü çelikler ise AC_1 çizgisinin, 30-50 °C üzerinde tavlanaarak perlit oluşumu önlenecek şekilde uygun ortamda hızlı olarak soğutulur. Daha yüksek sıcaklıklarda yapılacak tavlama sonucu oluşan martenzit kabalaşır ve malzeme aşırı gevrek olur. Aşırı ısıtmanın diğer bir sakıncası da kalıntı (dönüşmemiş) ostenit miktarının fazlalığıdır ki bu da sertliğin düşmesine neden olur.

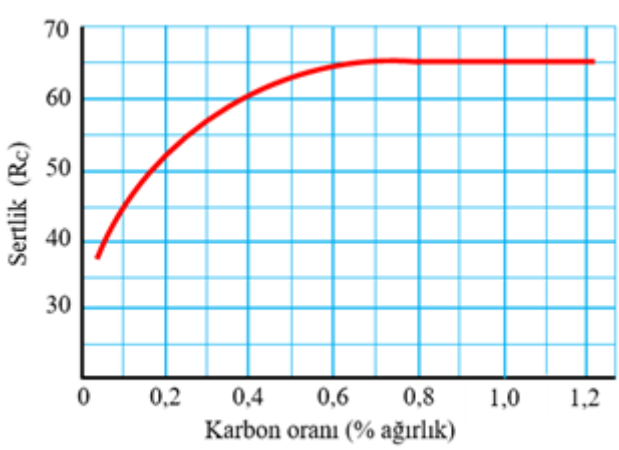
Şekil 7'de, Fe-C denge diyagramı ve çeliklerin ısı işleme mekanizması verilmiştir.



Şekil 7: Fe-C denge diyagramı ve çeliklerin ısı işleme mekanizması (Savaşkan, T, 2009).

Çelik ostenit sınırına kadar ısıtıldığında, yapı karbon çözündürme özelliğine sahip ostenit (γ) kristallerinden oluşur. Çelik hızlı soğutulacak olursa, γ kristal kafesleri içerisinde çözülmüş olan karbon atomları kristalden ayrılacak zaman bulamazlar ve dönüşmeye uğrayan kristal kafesleri içerisinde hapsedilmiş olurlar. α kristal kafeslerinde karbon bulunamayacağı için, bu durum dokuda anormallik oluşturur ve kristal kafeslerinde zorla sıkışmış olarak kalan karbon atomları iç gerginlikler doğurur. Bu nedenle kafes, tetragonal hacim merkezli yapıya dönüşerek martenzitik yapı oluşturur. Martenzit, karbon atomları ile aşırı doymuş tetragonal hacim merkezli bir fazdır ve sertliği takriben 60-65 R_C civarındadır. Şekil 8’de karbon yüzde miktarına göre çeliklerde ısıtım sonrası elde edilen en yüksek sertlik dağılımı verilmiştir.

Diyagramda gösterildiği üzere, başlangıçta ısıtım görmüş çeliklerden elde edilen martenzitik yapının sertlik değeri karbon miktarının artması ile hızlı bir biçimde artmaktadır. Bu artış yaklaşık 60 R_C değerine %0,4 C oranı içerdiği zaman sağlanmaktadır.



Şekil 8: Su verilen sade karbonlu çeliklerde karbon oranına göre sertlik değişimi (Savaşkan, T, 2009).

%0,4C oranının hemen ardından grafikte görüldüğü gibi eğri eğimi veya sertlikteki artış hızı giderek azalmakta ve yaklaşık 65 R_C değerinde bir sertliğe %0,8C oranında ulaşılmaktadır. Yüksek karbonlu çeliklerde kalıntı ostenit oluşma eğiliminin artması sertliğin artış hızındaki azalmadan olmaktadır.

Menevişleme (Temperleme) İşlemi

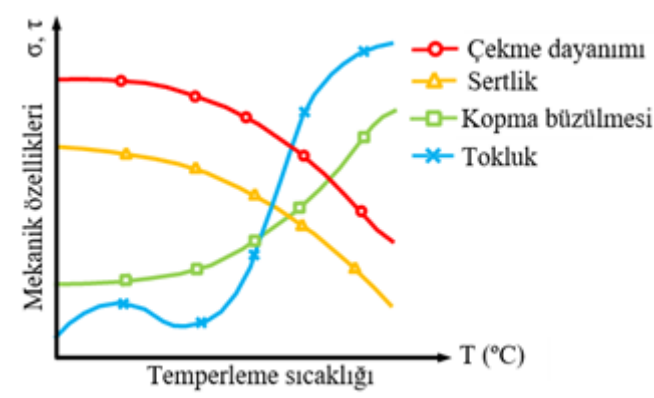
Su verme işlemi ile çeliklerde elde edilen martenzitik yapı sert ve gevrek. Malzemelerin gevrek olması birçok mühendislik yapıları için uygun olmamaktadır. Bunun yanı sıra, martenzitik yapının dönüşümü çelik bünyesinde

iç (kalıntı) gerilmelerin meydana gelmesine neden olur. Bu yüzden su ortamında çelik malzemeler çoğu durumlarda AC_1 hattı sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda tavlanylabilir.

Su verilen çeliklerin gevrek yapısını yok etmek veya tokluğunu ise artırmak için AC_1 çizgisi altındaki sıcaklıklarda (200-650°C) yapılan tavlama işlemi “Menevişleme-Temperleme” olarak ifade edilir (Savaşkan, T, 2009).

Temperleme işleminde numune, sıcaklığı belli olan bir değerde ısıtılıp, bu sınırdaki belli süre kaldıktan sonra havada soğutma işlemine tabi tutulur. Özellikle kalınlığı 1 inç (2,54 cm)’e kadar olan bir numune için yaklaşık 1 saat bekletilerek temperleme işlemi yapılmıştır.

Temperleme işlemi esnasında su verilmiş olan çelik bünyesindeki kalıntı gerilmeler çok büyük bir oranda giderilmiş olur. Çeliğin tokluk ve sünekliği artmakta ve mukavemet ve sertliği ise büyük oranda düşmektedir. Temperlemeden sonra çelik malzemeler özellikle 160-220 °C aralığındaki sıcaklıklarda menevişlenmiş olurlar. Menevişleme süresi 1-2 saat olarak uygulanır. Parça yüzeyinde olan sertliğin 60 H_{RC} ’den daha az olması gerekmiyorsa menevişleme için olan sıcaklık 180 °C’nin altında olması önemlidir. Şekil 9’da, Temperleme sıcaklığının çeliğin mekanik özelliklerine etkisinin değişimi verilmiştir.



Şekil 9: Temperleme sıcaklığının, çeliğin mekanik özelliklerine etkisi (Savaşkan, T, 2009).

Martemperleme işlemi

Ostenit-martenzit dönüşümü esnasında karbon atomlarının distorsiyona (çarpılma) uğrayan veya çarpılan kafes içerisindeki ara yerlere yerleşmesi sebebiyle büyük oranda hacimsel büyüme hâsıl olur. Su verilen malzemenin çeşitli bölgelerinin soğuma hızları arasındaki farkı gidermek zor olduğundan malzemenin bir bölümünün hacmi büyürken diğer bölümü küçülür. Böylelikle

elemanda çekme gerilmeleri meydana gelir. Önemli çarpılma ve çatlama oluşur. Sonuçta parça kullanılamaz bir hal alır (Savaşkan, T, 2009). Bu sebeple bazı malzemelerin sertleştirilmesinde normal su verme metodu her zaman doğru sonuçlar vermeyebilir. Bunun için martemperleme uygulanır. Sertleştirilmek istenen parça ostenitleştirme işlemine tabi tutulduktan sonra, martenzitik dönüşümün başlama sıcaklığının (M_s) hemen üzerindeki bir sıcaklıkta bekletilen malzeme kurşun veya tuz banyosuna bırakılır. Parça, yüzeyi ile merkezinin sıcaklıkları aynı oluncaya yani bütün noktalarında aynı sıcaklık elde edilinceye kadar banyo içersinde tutulur. Daha sonra parçaya su verilerek tamamen martenzitik bir içyapı elde edilir. Böylece çatlama veya çarpılmaların önüne geçilmiş olur.

YÜZEY SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Makine elemanları genellikle dinamik gerilmeler ve yüzey olarak aşınma etkisi altında çalışırlar. Bu tür parçaların içyapılarının sünek, dış yapılarının ise sert olması önemlidir. Bu sayede aşınma dayanımı artarken, aynı zamanda dinamik zorlanmalar altında dayanımları da artırılmış olur (Savaşkan, T, 2009).

Yüzey sertleştirme metodlarını iki temel başlıkta incelemek yeterlidir.

a)Yüzeyin kimyasal yapısı değiştirilmeden yapılan yüzey sertleştirme yöntemleri.

b)Yüzeyin kimyasal yapısı değiştirilerek yapılan yüzey sertleştirme yöntemleri.

Yüzeyin kimyasal yapısı değiştirilmeden yapılan yüzey sertleştirme yöntemleri

Bu yöntemin uygulanabilmesi malzeme yüzeyindeki karbon oranının yeterli olması (%0,2 veya 0,3'den çok) ile mümkündür.

Fırında ısıtılarak yüzey sertleştirme

Parçanın dış yüzeyi malzeme yapısındaki karbon miktarına göre AC_3 veya AC_1 sıcaklıklarının biraz üzerinde, ostenit sıcaklığına kadar ısıtılır. Bekleme süresi iyi tespit edilmelidir. Daha sonra malzeme hızlı bir şekilde soğutulur ve malzeme yüzeyi sertleşirken içyapıda fazla bir değişiklik olmaz. Uygulanması zordur.

Alevle yüzey sertleştirme

Karbon oranı %0,35-0,70 C arasında bulunan sade karbonlu çeliklerle, krom-nikelli ve krom-molibdenli çeliklere uygulanır. Alevle sertleştirmede ısı kaynağı olarak genellikle oksii-asetilen alevi ve uygun üfleçler kullanılır. Parça

yüzeyi oksitlenmiş alevi ile kısa sürede ısıtılır. Isıtma işlemi sonrası yüzeye su püskürtülerek soğutulur. Böylece istenilen sertlik elde edilmiş olur.

İndüksiyon akımı ile yüzey sertleştirme

Frekansı 9000-100000 arasında değişen bir akımın geçtiği sargıların arasına konulan çelik parçalar çok kısa bir zamanda (birkaç saniye) girdap akımlarının etkisiyle, su verme sıcaklığına kadar yüzeyden birkaç mm derinliğinde ısıtılır ve hemen ardından püskürtülen su ile soğutulur. Krank milleri, dişliler ve benzeri birçok parça bu yöntem ile sertleştirilirler. Süre ve kalite açısından tercih edilen bir yöntemdir.

Yüzeyin kimyasal yapısı değiştirilerek yapılan yüzey sertleştirme yöntemleri

Sementasyon (karbürizasyon)

Sementasyon işlemi yüzey sertleştirme metodlarından birisi olup en yaygın olarak kullanılmaktadır. Esas itibarıyla düşük karbonlu çeliklerin yüzeyine karbon emdirilmesi işlemidir. Karbon emdirilmesi işlemi çelik parçasının karbon monoksit (CO) ihtiva eden bir ortamda östenit faz sıcaklığına kadar ısıtılmasıyla gaz-metal reaksiyonu sonucu gerçekleşir. Genellikle 850-950°C arasında sıcaklıklarda yapılır. Bu sıcaklığa “Sementasyon Sıcaklığı” denir.

Karbon oranları %0,2’den daha az olan çeliklerin bilinen yöntemlerle sertleştirilmesi imkânsızdır. Bunların sertleştirilmesi için önce malzeme yüzeyine karbon verilerek yüzeyde takriben %0,6 dolaylarında karbon içeren bir tabaka elde edilir. Daha sonra uygun bir yöntemle normal sertleştirme işlemine geçilir. Karbonun yapıya difüzyonu sıcaklık, zaman, kimyasal bileşim ve karbürleyici ortama göre değişir. Genellikle alaşım elementleri karbürizasyonu güçleştirir.

Sementasyon işlemi değişik karbon verici ortamlarda yapılabilir. Bunlar;

Kutu sementasyonu (katı ortamda),

Tuz (sıvı) banyosunda sementasyon ve

Gaz sementasyonu’dur.

Tatbik edilen metod her ne olursa olsun sementasyon işlemi çelik parçanın östenit faz sıcaklığına kadar ısıtılmasıyla gaz-metal reaksiyonu sonucu oluşur. Her yöntem kendi özel karakteristiği ile malzeme yüzeyinde çeşitli sementasyon derinlikleri ve sementasyon sonrası tatbik edilen sertleştirme metoduna bağlı olarak farklı sertliklerin elde edilmesini sağlar (Savaşkan, T, 2009).

Katı (kutu) sementasyonu

Katı (kutu) sementasyonunda, yüzeyi sertleştirilecek parçalar kapalı bir hacimde karbon verici olarak, odun kömürü, kok ve kemik kömürü gibi maddelerle baryum oksit ve baryum karbonat gibi aktivasyon maddeleriyle beraber, hava geçirmeyen sementasyon kutularında takriben 8-16 saat 875-950 °C sıcaklıkta tavlanylrlar.

Semente edilecek parçalar çelik veya dökme demirden yapılmış kutu içerisindeki uygun kömüre gömülür ve kutunun ağzı sıkıca kapatılarak fırına yerleştirilir. Sıcaklığın yükselmesi ile odun kömürü kutu içindeki havanın oksijeni ile reaksiyona girerek CO₂ oluşur. CO₂ de tekrar odun kömürü ile reaksiyona girerek CO meydana getirerek çeliğin yüzeyi karbonca zenginleştirilir. Ortaya çıkan karbon difüzyonla malzeme yüzeyine geçer ve yüzey karbonu artan çeliğin yüzeyi sertleştirilmiş olur (Savaşkan, T, 2009).

Gaz sementasyonu

Gaz sementasyonu işleminde, metan, etan, asetilen gazı kullanılarak son yıllarda yüzey sertleştirme metotlarının en popüler olanıdır. Bu metotla oldukça iyi ve güvenilir sonuçlar elde edilmektedir. Gaz sementasyonu için karbon verici olarak metan (CH₄), etan (C₂H₆), propan (C₃H₆) gibi hidrokarbonlar kullanılır. Sementasyon sıcaklığında çeşitli reaksiyonlar oluşur (Savaşkan, T, 2009). Sementasyon sonrasında çelik parçalar bir sertleştirme işlemine tabi tutulurlar.

Sıvı (tuz banyosu) sementasyonu

Sıvı (tuz banyosu) sementasyonunda, Sodyum siyanür, Sodyum klorür, Sodyum karbonat ve Kalsiyum siyanür gibi tuz bileşikleri kullanılmaktadır. Sementasyon işlemi tuz banyosunda yapılırken malzeme yüzeyine karbon geçiştirmek için potasyum siyanür (KCn) veya sodyum siyanür (NaCn) vb tuzlar kullanılır. Burada önemli olan uygun tuz seçilirken sementasyon derinliğinin istenilen derinlikte olması ve sementasyon sıcaklığında uygun olarak tespit edilmesi önemlidir (Savaşkan, T, 2009).

Tuz banyosu sementasyonunda 2 türlü tuz kullanılır.

1.İnce sementasyon derinliği veren (düşük sementasyon sıcaklığında çalışılan) tuzlar:

Bu durumda tuz banyosundaki siyanür miktarı %20 civarındadır ve çalışma sıcaklığı 843-899C° olmalıdır. Böyle bir tuz banyosunda 0.9 mm ye kadar sementasyon derinliği elde edilebilir.

Sementasyon derinliğini artıran (yüksek sementasyon sıcaklığında çalışan) tuzlar:

Bu durumda ise tuz banyosundaki siyanür miktarı 0.10 dur ve kullanılan sementasyon sıcaklığı 899-954 C° arasındadır. Bu tip tuz banyosunda 3 mm ye kadar sementasyon derinliğine ulaşılır. Böylece 6 mm derinliğe kadar bir yüzey sertliği elde etmek mümkün olur.

Parça sementasyon işleminden sonra su verilerek sertleştirilebilir. Ancak sementasyon sırasında tane irileşmesi olacağı için, doğrudan sertleştirme tercih edilmez. Bunun yerine önce tane küçülmesi ve yapının gerginliklerinin giderilmesi için normalizasyon tavlama yapıp, daha sonra uygun şekilde su verilerek sertleştirme işlemi yapılmış olmalıdır (Savaşkan, T, 2009).

Nitrürasyon işlemi

Malzeme yüzeyine karbon yerine azot geçirtilerek yapılan yüzey sertleştirme metodu nitrürasyon yöntemidir. Bir malzemenin nitrürasyona uygun olup olmadığı bünyesindeki krom, molibden ve alüminyum gibi nitrür oluşturan elementlerin olmasına bağlıdır. Sade karbonlu alaşımsız çeliklere nitrürasyon uygulanamaz. Bu işlem için uygun sıcaklık 500-550 °C civarındadır. Ostenit bölgesine geçilme olmamalıdır. Aksi takdirde çelik çok miktarda azot çözündürür ve yapı olumsuz etkilenir (Demir nitrür oluşur). Nitrürasyon işlemi için direkt olarak amonyak gazı kullanılabilir gibi azot verici (siyanür ve siyanatlar) tuz banyoları da kullanılabilir. Martenzitten daha sert bir tabaka elde edilebilmesine rağmen bekleme süreleri uzun ancak sertleştirilen tabaka kalınlığı azdır. Örneğin 20 saat bekleme süresinden sonra takriben 0,4 mm lik bir sertleştirilmiş tabaka elde edilebilir (Savaşkan, T, 2009).

Karbonitrürasyon işlemi

Karbürizasyon ve nitrürasyon işlemlerinin karışımı şeklinde olan karbonitrürasyon yüzey sertleştirme metodunda ise yüzeye karbon ve azotun birlikte geçişi sağlanır. Karbürleme banyosuna benzer tuz eriyikler içerisinde yapılır. İşlemden genellikle, metan(CH₄), etan(C₂H₆), propan(C₃H₈) gibi gazlarla amonyak gazı birlikte kullanılır. Ayrıca sıvı sementasyonda kullanılan siyanür banyoları da kullanılabilir. Bu işlem için uygun sıcaklık 650-850 °C, işlem süresi genellikle 1-1,5 saat civarındadır. Parça yüzeyinde oldukça sert (R_C=65) ve ince bir kabuk meydana gelirken parçanın içinde dönüşü olmaz. Malzeme yüzeyinde elde edilen kalınlık 700 °C'de 0,1 mm, 800 °C'de 0,2 mm civarındadır (Savaşkan, T, 2009).

Borlama (Bor kaplama) işlemi

Borlama, difüzyon mekanizmasıyla gerçekleştirilen yüzey sertleştirme işlemlerindendir. Demir ve demir dışı birçok alaşım ile sinterkarbürler ve

seramik malzemelere uygulanabilir. Borlama, metalik malzemenin yüzeyine borun yayındırıldığı termo kimyasal bir işlemdir. Borla yüzey sertleştirme, esas olarak borun yüksek sıcaklıkta çeliğe geçirilmesi ile yayınıcı olaydır. Borlanacak malzemeler, özelliklerine göre 700–1000 °C sıcaklık aralığında, yaklaşık 1-12 saat süre ile katı, macun (pasta), sıvı veya gaz fazındaki bor verici ortamlarda bekletmek suretiyle yapılan bir işlemdir. Borlu tabakanın özellikleri, borlanan çeliğin bileşimine, borlama sıcaklığına, süresine ve ısı işleme bağlıdır. Borlamayla çelik yüzeyinde oluşan tabaka çok sert olup ayrıca sementasyon da olduğu gibi sertleştirmeye gerek kalmaz. Borlu tabakada bor Fe₂B ve FeB şeklinde bulunur. Nitrürasyon, karbürizasyon v.b. konvansiyonel yüzey sertleştirme yöntemlerinde (600-1100) HV'lik bir yüzey sertliği elde edilirken, borla yüzey sertleştirmede 1500-2000 HV'lik sertliğin yanında çok düşük sürtünme katsayıları da elde edilebilmektedir (Savaşkan, T, 2009).

Su Verme Ortamları

Su verme esnasındaki ısı transferi hızları su verme ortamı sıcaklığı, akışkanlığı ve karıştırma gibi değişkenlerin büyük etkisi altındadır. Su verme etkinliğinin kontrol edilebilmesi için tank içindeki su sıcaklığının kontrol altında tutulması ve karıştırılması şarttır (Genç, S, 2010; İnternet: 2012).

Su verme ortamları soğutma hızlarına göre;

1. % 10 NaOH'li su (su verme ortamlarının en hızlı soğutanıdır),
2. % 5-10 NaCl' lü su (Normal suya göre yaklaşık iki kat hızlıdır),
3. Saf su,
4. Yağlar (Geleneksel yağların su verme ortamı olarak kullanılmasında uygun soğutma hızları 49°C-66°C arasındaki sıcaklıklarda sağlanır),
5. Gazlar ve hava.

Çeliklerin bileşimindeki alaşım elementleri çeliklerin kritik soğutma aralığını artırır. Bu tip çelikler havada soğutulmaları bile sertleşirler ve dokuları martenzit olur. Çelikler soğutma ortamlarına göre, hava, yağ ve su çelikleri olarak da sınıflandırılmaktadır.

Yüksek karbonlu ve yüksek alaşımlı çelikler, havada soğutulmaları dahi sertleşebilmekte ve yapıları martenzite dönüşmektedir. Bu tür çeliklere “**hava çelikleri**” denir. İçerisinde %1'den fazla Mn bulunan çelikler suda soğutulmaları halinde çatlama veya çarpılma ihtimali vardır. Bu tür çelikler yağda soğutulurlar ve “**yağ çelikleri**” adını alırlar. Sade karbonlu çelikler ve bazı çelikler su verme sıcaklığına kadar tavlandıktan sonra ancak suda soğutulmaları halinde sertleşebilirler. Bu tip çeliklere “su çelikleri” adı verilir.

ÇELİKLER VE KULLANIM YERLERİ

Mühendislik uygulamalarında herhangi bir prototip geliştirilirken tasarım için uygun malzemenin seçimi en önemli faktörlerden biridir. Makine veya makina elemanının özelliğine uygun malzeme seçmek önemlidir. Örneğin bir mil yapımında kullanılacak “**Transmisyon çeliği**”, bir dişli yapımında kullanılacak uygun “**Semantasyon çeliği**” veya bir yay yapımında kullanılacak uygun “**Silisyum çeliği**” nin seçilmesi gerekir (Koç, E, 2007; Özek, C; 2020). Ayrıca yapım ve kullanma süresi boyunca elemanın veya malzemenin dış zorlanmaları, malzemenin durumunu ve piyasada temin edilebilme kolaylığının veya zorluğunun düşünülmesi şarttır.

Alevle yüzey sertleştirme, karbon oranı %0,35-0,70 C arasında bulunan sade karbonlu çeliklerle, krom-nikelli ve krom-molibdenli çeliklere uygulanır. Sertleştirmede ısı kaynağı olarak genellikle oksii-asetilen alevi ile parça yüzeyi kısa sürede ısıtılır, ısıtılan yüzeye su püskürtülerek yüzey soğutulur ve böylece istenilen sertlik elde edilmiş olur.

İndüksiyon akımı ile yüzey sertleştirme, akımın geçtiği sargıların arasına konulan çelik parçalar kısa sürede indüksiyon akımlarının etkisiyle, su verme sıcaklığına kadar birkaç mm derinliğinde ısıtılır ve hemen ardından su ile soğutulur. Krank milleri, dişliler ve benzeri birçok parça bu yöntemle sertleştirilirler.

Karbonlu Çelikler

Bu çelikler yapılarında yaklaşık olarak %0.05...2.0 karbon içeren ve kimyasal bileşiminde Al, Cr, Co, Mo, Ti, W, Ni, V veya belli amaçla katılabilecek diğer alaşım elementleri için belirlenmiş olan ve gerekli en az bakır (%0,40Cu) değerini aşmayan ve bileşiminde %1,65Mn, %0.65Si ve %0.60Cu'dan çok Mangan, Silisyum ve Bakır bulunmayan demir karbon alaşımlı çeliklerdir. Bu çeliklerin sınıflandırılmaları içindeki karbon oranına göre yapılır. Düşük, orta, yüksek ve yüksek karbonlu takım çelikleri olarak dörde ayrılırlar.

Düşük (az) karbonlu çelikler, yapılarında maksimu %0,25 oranında C bulundurlar. Yapılarında %0,07...%0,15 arasında C bulunduran çelikler çok yumuşak çelikler olup soğuk şekillendirmeye elverişlidirler. Yapılarında %0,15...%0,25 arasında C bulunduran çelikler yumuşak çelikler olup çok kullanılan ve iyi kaynak edilebilirler. Su verme işlemi ile sertleştirilemezler.

Orta karbonlu çelikler, yapılarında %0,25...%0,55 oranında C içeren ve ısıtım işlem için uygun olan çeliklerdir. %0,25...%0,35 oranında C içeriyorlarsa genel dövme çelikleri, %0,35...%0,45 oranında C içeriyorlarsa mil çelikleri ve %0,45...%0,55 oranında C içeriyorlarsa aşınmaya dayanıklı çeliklerdir. Ray,

ray tekerlekleri, silindir ve press kalıplarının yapımında kullanılırlar (Koç, E, 2007).

Yüksek karbonlu takım çelikleri, yapılarında %0,9....%1,6 (%1,7) arasında C içerirler. Yüksek bir mukavemet ve yüksek bir aşınma direnci gerektiren yerlerde yaygın olarak kullanılırlar. Torna kalemleri, matkap uçları ve parmak freze çakıları gibi takımların yapımında yaygın olarak kullanılırlar (Koç, E, 2007).

Tablo 1’de karbonlu çeliklerin karbon oranına göre ve Tablo 2’de ise MKE normu çelik türlerinin kullanıldığı yerler verilmiştir.

Tablo 1: Karbonlu çeliklerin karbon oranına göre kullanıldığı yerler
(Çiftçi, E., 2007).

Karbon oranı %	Kullanıldığı yerler
0.05...0.07	Tel yapımında
0.06...0.15	Sac demiri ve çubuk demiri, oto karoseri ve çamurluk saçları
0.08...0.18	Kazan boruları, kazanlar ve düşük basınçlı buhar kazanları
0.15...0.20	Dişli borular, çekme zincirleri, kamalar, pimler ve pervane kanatları
0.20...0.30	Demir yolu ray altlıkları, pimler, kamalar ve dişliler
0.35...0.45	Piston kolları, miller, dişliler ve çeşitli makine parçaları
0.45...0.55	Darbe altında çalışacak iş parçaları, demir yolu tekerlekleri ve milleri
0.60...0.70	Sıcak iş kalıpları, darbeye dayanıklı parçalarda, kalıp blokları, zimbalar
0.70...0.80	Darbeli çalışan makine parçalarının yapımında, kesici ve delici aletler
0.80...0.90	Darbeli matkap uçları, kaya matkapları, tepsi testereler, raspalar, pres zimbaları vb.
0.90...1.00	Bilyalar anahtarlar pimler yaylar
1.00...1.10	Makine takımları, mandrenler zimbalar
1.10...1.20	Dişli kalıpları, kesici takımlar matkaplar
1.20...1.30	Eğeler ve matkap uçları vb.
1.30...1.40	Yüksek dayanım isteyen parçaların yapımında, kesici takımlar vb.
1.40...1.60	Yüksek dayanım isteyen parçaların yapımında, çelik kesme testere lamaları vb.

Tablo 2: MKE Normu çelik türlerinin özellikleri (Çiftçi, E. 2007).

MKE Normu	Çekme dayanımı (daN/mm ²)	Brinell sertliği HB30	Kullanıldığı Yerler
Ç1020	40-45	140	Cıvatalar, Somunlar, vb.
Ç1030	42-50	155	Uskur milleri, dingiller, cıvatalar vb.
Ç1040	50-60	172	Raylar, dişliler, transmisyon milleri vb.
Ç1050	60-72	206	Dişliler, kazmalar, cer kancaları vb.
Ç1060	70-85	243	Miller, şaftlar, cıvatalar vb.
Ç1090	115	220	Matkap, kesme takımları, çekiçler, egeler vb.
Ç3130	65-85	206	Krank milleri, dişliler, oto milleri vb.
Ç3230	70-95	220	Miller, kamalar, yüksek direnç gösteren parçalar.
Ç3315	95-120	220	Dişliler, bilyalı yataklar, orta dirençli parçalar vb
Ç3330	75-105	230	Miller, dişliler, kamalar vb.
Ç4130	75-120	217	Paletler, oto hareket parçaları ve miller vb.
Ç4140	80-130	220	Yapı malzemeleri, miller, yüksek direnç gösteren parçalar
Ç5140	80-120	277	Krank milleri, Alevle sertleştirilmeye uygun parçalar.
Ç8640	79	222	Pervane milleri vb.
Ç10110	--	210	Klavuzlar ve paftalar, Egeler, freze bıçakları, çakılar.
Ç10115	--	210	Deri ve ahşap işleme kesicileri
Ç3150	**75-230	217	Kalıp çelikleri, otomobil parçaları, aşınmaya dayanıklı parçalar.
Ç5330	*190	Rc45-49	Sıcak kesici makas bıçakları, yüksek sıcaklığa dayanıklı kesiciler
Ç7430	*180	240	Sıcak kesme ve basma kalıpları, yüksek ısıya dayanıklı parçalar vb.
Ç7930	*150-175	240	Yüksek sıcaklıklarda şekillendirecek parçalar, Pres kalıpları ve benzeri vb.
Ç1390	-	220	Çekme kalıpları, keskiler vb.
Ç5190	-	225	Yatak bilyaları, saç işleme kesikleri vb.
Ç7245	-	225	Sac ve lamaların kesilmesinde kullanılan keskiler, basınca dayanıklı el aletleri vb.
Ç72100	-	230	Ölçü aletleri, masterlar, soğuk kesme takımları vb.
Ç71875	-	240-300	Çok yüksek dirençli kesici Takımlar, helisel matkaplar, freze çakıları, testereler vb
Ç51420	75	220	Korozyona dayanıklı parçalar, pompalar, pistonlar, türbin parçaları vb.
Ç3415	120-140	240	Krank milleri, şanzıman dişlileri ve yüksek direnç gerektiren yerlerde vb.
Ç8620	50-79	156	Otomobil dişlileri, traktör dişlileri vb.
Ç9245	130-150	240	Makas yayları, helisel yaylar, tampon yayları vb.
Ç9260	130-150	240	Otomobil yayları ve yay gereci olarak vb.
Ç9265	130-150	240	Otomobil yayları, 7 mm'den kalın yaprak yaylar, yay

			gereci olarak vb.
Ç1350	120-135	260	Takım kalıpları, çekme kalıpları vb.
Ç1117	38	157	Distribütör milleri, mafsallar, cıvatalar vb.
Ç1137	50-70	-	Islah çeliklerinin kullanıldığı yerler

DÖKME DEMİRLER

Döküm, istenen bir şekli elde etmek için sıvı metalin söz konusu şeklinin negatifi olan kalıp boşluğuna dökülmesi işlemidir. Mekanik özellikleri fazla önemli olmayan parçaların yapımında kullanılan dökümler yüksek fırından alınan ham demir içerisindeki karbon %3-5 oranında olması sebebiyle dayanıksız ve kırılğan olup çelik endüstrisinde kullanılmaz, bununla beraber ham demir dökme demir veya çelik üretiminde kullanılır. Dökme demir, yüksek fırından alınan ham demir, hurda döküm malzemeler ile çelik artıklarının kupol ocaklarında veya elektrik ark fırınlarında ergitilmesiyle elde edilir. Dökme demirler, takım tezgâhlarının gövdesi ve kızakları, motor blokları silindir kapakları, şanzıman gövdeleri ve fren diskleri gibi makine parçalarının yapımında kullanılır. Dökme demir 'G' harfi ile belirtilir (Koç, E, 2007).

Dökme demir çeşitleri

Sembol Adı

- G : Döküm malzeme
GG : Lamel grafitli dökme demir (Kır döküm)
GGG : Küresel grafitli dökme demir (Sfero döküm)
GGL : Lamel grafitli östenitik dökme demir
GT : Temper döküm
GTW : Beyaz temper döküm
GTS : Siyah temper döküm
GH : Sert döküm
GS : Çelik döküm

Aşağıda Tablo 4'de Dökme demir malzemelerin özellikleri ve kullanıldığı yerler verilmiştir.

Tablo 4: Dökme demir malzemelerin özellikleri (Koç, E, 2007; Çiftçi, E.,2007).

Sembol	Çekme/kopma dayanımı (daN/mm ²)	Kullanıldığı yerler
GG	10-35	Takım tezgahları, şanzıman gövdeleri, motor blokları, fren diskleri, silindir kapakları vb
GGG	40-80	Pompa, türbin muhafaza gövdeleri, dişli çarklar, yüksek dayanım ve uzama göstermesi gereken yerlerde ve boru tesisatlarında
GTW GTS	32-48 35-70	Direksiyon milleri, biyel kolları vites çataları ve tesisat sanayinde vb.
GH	35-65	Sert ve aşınmaya dayanıklı olması gereken yerlerde vb.
GS	37-69	Yüksek yükte çalışan parçalar, pres sütunları, dişli çarklar, tarım makinaları, takım tezgahları vb

Çelik döküm malzemelerin genel kullanım yerleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5: Çelik dökümler (DIN 1681) (Çiftçi, Erdal, 2007).

Sembol	Çekme dayanımı (daN/mm ²)	Kullanıldığı yerler
GS-38, GS-38,3	38	Çeşitli makinaları parçaları v.b. (İyi kaynak yapılabilir)
GS-45, GS-45,3	45	
GS-52, GS-52,3	52	Yüksek dayanım isteyen parçalarda, tekerlek çatalı, valf gövdesi vb. (Dövülebilir, sementasyon yöntemi ile yüzey sertleştirilebilir)
GS-60, GS-60,3	60	
GS-62, GS-62,3	62	
GS-70	70	

Tablo 6’de Lamel grafitli dökme demir (Kır döküm) lerin kullanıldığı yerler verilmiştir.

Tablo 6: Lamel grafitli dökme demir (Kır döküm) (DIN1691) (Çiftçi, Erdal, 2007).

Sembol	Çekme/kopma dayanımı (daN/mm ²)	Kullanıldığı yerler
GG-10	-	Az zorlanan parçalar v.b
GG-15 GG-20	15 20	Yüksek gerilmeye maruz parçalar, gövde, kızak, buhar silindiri pistonu ve segmanı v.b.
GG-25 GG-30	25 30	Sürtünerek aşınan ısıya dayanıklı parçalar v.b
GG-35 GG-40	35 40	Çok fazla zorlanan parçalar,yatak burçları

Küresel grafitli dökme demir (Sifero döküm) lerin kullanıldığı yerler Tablo 7’da verilmiştir.

Tablo 7: Küresel grafitli dökme demir (Sifero döküm) (DIN1693) (Koç, E, 2007; Çiftçi, E., 2007).

Sembol	Çekme/kopma dayanımı (daN/mm ²)	Kullanıldığı yerler
GGG-40	400	Aşınmaya karşı az direnç gösteren yerlerde v.b.
GGG-50	500	Bağlama parçaları, pres gövdeleri ve kolları v.b
GGG-60	600	
GGG-70	700	Kavrama parçaları
GGG-80	800	

Tablo 8’de özellikle motorlarda kaymalı yatlarda kullanılan Kurşunlu bronz malzemelerin genel kullanım alanları, Tablo 9’da ısıya dayanıklı yerlerde kullanılan çelik döküm malzemelerin genel kullanım yerleri ve Tablo 9’da ise motorlarda dökümden yapılan kaymalı yatlarda kullanılan beyaz metal döküm malzemelerin genel kullanım alanları verilmiştir.

Tablo 8: Kurşunlu bronz (Kaymalı yataklar için) (Çiftçi, Erdal, 2007).

Adı	Sembol		Kullanıldığı yerler
	DIN 1716	TS 502	
Kurşunlu Brons Döküm	G-PbBz25	D-PbBz 25	İçten yanmalı motor yataklarında
	G-PbBz24	D-PbBz24	Asitlere ve yorulmaya karşı dayanıklı motor, ana ve kol yatakları
Kalaylı Kurşunlu Brons Döküm	G-SnPbBz5	D-SnPbBz5	Kol yatakları, sıcak hadde merdane yatakları ve armatürlerde (Sülfürik aside karşı iyi kayma özelliği vardır)
	G-SnPbBz10	D-SnPbBz10	Az yan baskısı olan biyel yataklarında, sıcak hadde merdane yataklarında (Aşınmaya ve korozyana karşı dayanıklıdır).
	G-SnPbBz15	D-SnPbBz15	Basıncı fazla yan basıncı az olan yerlerde (Yağsız kalma tehlikesi olan veya su ile yağlanan yerlerde kullanma özelliği vardır).
	G-SnPbBz20	D-SnPbBz20	Özgül basıncı fazla düşük devirli çelik yataklar, motor biyel yatakları ve su pompalarında kullanılır. (Sülfürik aside karşı dayanıklıdır iyi kayma özelliği vardır).

Tablo 9: Isıya dayanıklı çelik dökümler (DIN17245) (Çiftçi, Erdal, 2007).

Sembol	Çekme dayanımı (daN/mm ²)	Kullanıldığı yerler
GS-C25	44-59	Isıya dayanıklı döküm parçalar, pompa gövdesi v.b
GS-22Mo4	45-60	Yüksek dayanım gerektiren yerlerde v.b.
GS-17CrMo55	50-65	Buharlı türbinler için yüksek basınç gövdesi,
GS-17CrMoV511	60-80	Yüksek basınca maruz kalan parçalar (Kaynak yapılabilir, dövülebilir ve sementasyonla sertleştirilebilir).
G-X22CrMoV121	70-90	
G-X22CrMoWV121	70-90	

Tablo 10: Beyaz metal (kaymalı yataklar için) dökümler (Çiftçi, Erdal, 2007)

Adı	Sembol		Kullanıldığı yerler
	DIN 1703	TS 503	
Beyaz Metal5	LgPbSn5	BM-PbSn5	Fazla yükü yüklenen yataklarda
Sert Kurşunlu Beyaz Metal12	LgPbBz12	BM-PbSn12	Normal yüklemelerde
Kadmiyumlu Beyaz Metal6	LgPbSn6Cd	BM-PbSn6	Fazla yükü yüklenen yataklarda
Beyaz Metal10	LgPbSn10	BM-PbSn10	Vagon yataklarında
Beyaz Metal 80	LgSn80	BM-Sn 80	Motor, Lokomotif yatakları ve darbeli yerlerde

ALAŞIMLAR

İki veya ikiden fazla metalin (veya ametalin, örneğin karbon) ergime yoluyla birleştirilmesi ile homojen olarak elde edilen ve gene metal özelliği taşıyan malzemelere alaşım denir.

Bakır ve Alaşımları

Bakır alaşımları, ana bileşeni bakır olan bir grup metaldir. Bakır alaşımları, bakırın çinko, kalay ve kurşun gibi diğer elementlerle birleştirilmesiyle üretilir. Havacılık, otomotiv, elektronik, denizcilik ve diğerleri dâhil olmak üzere birçok farklı endüstride kullanılırlar (Savaşkan, T, 2009).

Bakır alaşımları en genel şekilde;

Pirinç: %60 bakır ve %40 çinko (veya bazen başka metaller) karışımı.

Bronz: %85 bakır ve %15 kalay karışımı olarak iki tip olarak bilinirler.

Bakır alaşımı, daha yüksek mukavemetleri ve korozyona karşı daha iyi dirençleri nedeniyle saf bakıra göre çeşitli avantajlar sunar. Son derece sünek ve dövülebilirler, bu da onları istenen şekillerde manipüle etmeyi kolaylaştırır. Bu

aynı zamanda onlara hiçbir özelliğini kaybetmeden birçok kez geri dönüştürülebilmelerini sağlar.

Kolay işlenmesi, iyi ısı ve elektrik iletkenliği, alaşımlarının sulu ortamda korozyona mükemmel dayanımı gibi özellikleri bakır ve alaşımlarını önemli mühendislik malzemeleri haline getirmiştir.

En önemli bakır alaşımları, (Cu-Zn), (Cu-Mn), (Cu-Ni), (Cu-Sn) ve (Cu-Zr) gibidir.

Bakır-Çinko alaşımları (pirinçler)

Bakır, çinko ile her oranda alaşım yapabilmektedir. Çinko arttıkça kırmızıdan sarıya doğru renk değiştirir. Bu alaşımlarda, kafes yapısı bakır ve çinko atomlarının çapları birbirine yakın olduğundan katı çözelti oluştururlar. Bu esnada kafeste bakırın yerini çinko doldurabilir. Bakırın atom çapı çinkonun atom çapına göre daha küçük olduğundan atomlar arası uzaklık artar ve kafes yapısında kısmen hacim genişlemesi meydana gelir. Bu yüzden ortaya çıkan gerilimler sertliği artırmış olur. Genel olarak talaşlı işlenebilirliği düşük karbonlu çelikler gibidir (Savaşkan, T, 2009, Şahin, Y, 2000). Bakır-Çinko alaşımları (pirinçler) metalografik yapılarına göre ikiye ayrılırlar:

α pirinci (CuZn): %62'den fazla bakır içeren ve yalnız α katı eriyik kristallerini içeren yumuşak alaşımdır. Bileşiminde max %37Zn vardır.

$\alpha+\beta$ pirinci (CuZnPb): %62'den az bakır içerir. Serttir. Döküm alaşımıdır. Oda sıcaklığında $\alpha+\beta$ vardır. β , α 'dan daha sert ve gevrek. Bu nedenle soğuk şekillendirilmesi zordur. Yüksek sıcaklıklarda plastik şekil verilebilir. Sarı pirinç olarak bilinir (çoğunlukla %60Cu-%40Zn). Kurşun ilavesi ile işlenebilme kabiliyeti geliştirilebilir.

Bakır-Nikel alaşımları

Bakır-Nikel alaşımları, mukavemet özellikleri ve korozyona karşı dirençleri yüksektir. Bu yüzden buhar kazanları sistemlerinde, kimyasal tesis yapılarında, kondenser boru malzemelerinde ve korozyona karşı direncin yüksek olması gerektiği durumlarda yaygın olarak kullanılırlar. %30'a kadar Nikel içerebilirler. Para yapımında %25'ten fazla nikel içeren alaşımlar kullanılır. Büyük oranda nikel içeren alaşımları ise Mn ilave edildiğinde elektrik direnç tel malzemesi olarak üretilirler. Bu alaşımlar özellikle 0 °C 'nin altında yüksek mukavemetlidir (Savaşkan, T, 2009, Şahin, Y, 2000).

Alüminyum ve alaşımları

Demir esaslı malzemelerden sonra en çok üretilen ikinci metalik malzeme grubunu Alüminyum ve alaşımları oluştururlar. Alüminyum doğada bileşikler halinde bulunur. Yer kabuğundaki yaklaşık olarak %8 civarındaki içeriğiyle alüminyum, oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü elementtir. Alüminyum alaşımlarının kullanımını kısıtlayan en önemli faktörlerden biri düşük ergime sıcaklığı ve buna bağlı olarak düşük sürünme dayanımıdır. Buna karşın yüzeylerindeki alüminyum oksit tabakası oksidasyona direnç kazandırır. Mukavemet değerleri çelik kadar yüksek olmamasına rağmen birim ağırlığının dayanımı çelikten yüksektir. (özgül ağırlık: $2,7 \text{ gr/cm}^3$) Dolayısıyla ağırlık-mukavemet oranının önemli olduğu çalışma şartları için uygundur.

Esas olarak Alüminyum ve alaşımları iki temel başlıkta incelenebilirler. Dövme ve Döküm alaşımları. Genellikle ilave bir ısıl işlem gerektirmeden döküm yolu şekillendirilen döküm alaşımlarıdır. Haddeme, ekstrüzyon ve dövme ile şekillendirilenler ise dövme alaşımları olup bu alaşımlara son kullanım özellikleri ısıl işleme tabi tutulmak suretiyle kazandırılabilir. Yaşlandırma ısıl işlemi ile Alüminyum alaşımlarına istenilen mukavemet özellikleri kazandırılabilir. Yaşlandırma, genel olarak $530-560 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lerde bileşikler çözündürme için devamında hızlı soğutma (su verme) ve en sonunda $150-180 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de yavaş soğutma aşamasından oluşmaktadır. Alaşımın türüne göre işlem sıcaklıkları farklılık gösterir (Sigworth ve ark, 2007, Ibarra, 1999).

SONUÇ

Artan müşterilerin istekleri, ürünleri üreten firmaların sayısının artması ve imalatın artık yerellikten çıkarak küreselleşmesi imalat alanında sürekli yeni malzemeler, işlemler ve sistemler ortaya çıkmasını sağlamaktadır.

Bu bölümde makine mühendisliğinde malzemeler, kullanım yerleri ve çeliklerin ısıl işlemlerine ait temel bilgiler kısa ve özet olarak sistematik bir biçimde ele alınmış, pratik olarak uygulama kavramları basit olarak açıklanmıştır. Konuların anlatımı belli bir sıraya göre yapılmış ve kişinin olabildiğince gerekli bilgilerden doyurucu olarak faydalanması ve bütün bunlar bir ders kitabı formatında hazırlanmıştır. Bölüm içerisindeki konuların kavranması, tasarım ve üretime yönelik pratik bilginin yer alması sadece üretim ve imalat yapan firmalar için değil aynı zamanda öğrenciler için de çalışmalarına önemli ölçüde katkı yapması açısından faydalı olmaktadır. Ön görülen bu bölüm, mühendislik ve teknoloji fakültelerinin metalürji ve malzeme ile makine mühendislikleri bölümleri olmak üzere diğer birçok mühendislik dallarında eğitim gören öğrencilere hitap etmektedir.

Mühendislikte Güncel Yaklaşımlar

Bu amaçla bölümde derlenmiş olan bilgilerin imalat alanında firmalar ve insanlar için pratik bir kullanım klavuzu ders dökümanı niteliğinde önemli bir boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Koç, E.**, 2007. Makine Elemanları, Cilt 1, Nobel Kitabevi, 3. Baskı, Ankara.
- Çapan, L.**, 2010. Metallerde Plastik Şekil Verme, 5. Baskı, İstanbul.
- Savaşkan, T.**, 2009. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, 5. Baskı, Trabzon. Mekanik Özellikler.
- Şahin, Y.**, 2000. Talaş Kaldırma Prensipleri 1, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara. Sertlikler
- Özek, C.**, 2020. Makine Konstrüksiyonu ve Malzeme Seçimi, Ders Notları, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Çiftçi, E.**, 2007, Uygulamalı Makine Elemanları El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul. Tablolar
- Apelian, D.**, 2009. Aluminum Cast Alloys: Enabling Tools for Improved Performance, North American Die Casting Association.
- Kaufman, J., G., and Rooy, E., L.**, 2004. Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications, Asm International, 83.
- Brown, J.**, 1999, Foseco Non-ferrous Foundryman's Handbook: Butterworth-Heinemann.
- İnternet:** 2012. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ders Notları, <https://docplayer.biz.tr/12743335> Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemlerinin Esası.
- Sigworth, G. K., and Kuhn, T. A.**, 2007. Grain Refinement of Aluminum Casting Alloys, International Journal of Metalcasting, vol. 1, pp. 31-40, 84.
- Ibarra, D. G.**, 1999. Control of Grain Refinement of Al-Si Alloys by Thermal Analysis, Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, Montreal: Ottawa, Canada.
- Bhadeshia, HKDH, Svensson, L.E., Grefott, B.** 1985. Düşük Alaşımlı Çelik (Fe-Mn-Si-C) Kaynak Yataklarında Mikro Yapının Geliştirilmesi İçin Bir Model. Acta Metallurgica, 33 (7), 1271-1283.
- Başak, H., Baday, S.** 2016. Küreselleştirilmiş Orta Karbonlu Bir Çeliğin İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Regresyon Analizi İle Modellenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(4), 253-258.
- Çakir, G., Nas, E.** 2016. Orta Karbonlu AISI1040 İmalat Çeliğine Uygulanan Sıcak Dövme İşleminin Malzemenin Mekanik Özelliklerine Etkisi. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 5(1), 92-97.
- Lane, J.D., Stam, J.W., Wolfe, J.B.**, 1967. General Introductory Review of the Relationship Between Metallurgy and Machinability, Machinability (Proceedings of a Conference on Machinability), pp.65-70.

London: Iron and Steel Institute.

- Ongun, A., Uzun, İ., Turgut, O. K.**, 2017. Elektrik Ark ve Gaz altı kaynağı (MIG) ile Birleştirilmiş AISI 1040 Çeliğinin Mekanik Özelliklerine, Çeşitli Isıl İşlemlerin Etkisinin İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(1), 1-5.
- Özbek, İ.** 1999. Borlama Yöntemiyle (AISI M50, AISI M2) Yüksek Hız Çeliklerinin ve AISI W1 Çeliğinin Yüzey Performanslarının Geliştirilmesi. (Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya). <https://tez.yok.gov.tr>
- Palaniradja, K., Alagumurthi, N., Soundararajan, V.**, 2010. Modeling of Phase Transformation in Induction Hardening. The Open Materials Science Journal, 4(1), 64-73.
- Vitek, J. M., Klueh, R. L.**, 1983. Precipitation Reactions During the Heat Treatment of Ferritic Steels. Metallurgical Transactions A, 14(6), 1047-1055.

Bölüm 8

**Hidrolik Mühendisliğinde Hesaplamalı
Akışkanlar Dinamiği (CFD) Kullanımı**

Esin ACAR¹

*¹Dr. Öğr. Gör.; Artvin Çoruh Üniversitesi Borçka Acarlar MYO İnşaat Bölümü.
esinacar@hotmail.com.tr ORCID No: 0000-0002-3926-2804*

GİRİŞ

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) çözümleri birçok mühendislik alanlarında bir sayısal modelleme olarak kullanılmaktadır. Günümüzde bilgisayar kaynaklı çözümlerin mühendislik dallarında sıkça kullanılması hem zaman hem de güvenilirlik sağlamaktadır. Bu kapsamda çözülmesi zor birçok denklemler sayısal programlar sayesinde hızlı ve güvenilir biçimde çözümlenerek, bilime katkıda bulunmaktadır. İnşaat Mühendisliği birden fazla bilim dalında çalışmalarını yürütmekte olup, hidrolik alanında da yaygın hizmetlere cevap verebilmektedir. Hidrolik çalışmalar da kendi için de farklı akışkanların (su, petrol, doğalgaz, atıksu gibi) inşaat yapıları içinde çözümlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak sayısal modellemeler ve hesaplamalar yapılmaktadır. Bu kapsamda farklı CFD programları kullanılabilen ve çözülmesi zor akışkan hareketlerinin incelenerek bir çözüm ağı oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.

HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (CFD)

Akışkanlar mekaniği problemlerinin çözümünde kullanılan denklemlerin çözüm zorluğu sebebiyle sayısal hesaplamaların bilgisayar programları vasıtasıyla yapılması CFD programlarının kullanımını yaygınlaştırmıştır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) akışkanlar mekaniği problemlerini analiz etmek ve çözmek için kullanılan bir araçtır. Sorunları çözmek için CFD, sayısal analizler ve algoritmalar ve en önemlisi bilgisayarların gücünü kullanır. Ayrıca, tüm hesaplamaları ve analizleri yapan bilgisayarlar, görsel içerikleri göstererek akışkan akışı olaylarını anlamaya yardımcı olurlar (Rajaonary, 2016:35).

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), dijital bilgisayarların yardımıyla, akışkan hareketini yöneten korunum yasalarına (kütlenin, momentumun ve enerjinin korunumu) dayanarak akışkan akışı niceliksel tahminlerini üreten bir bilimdir. CFD'nin önemi ve doğruluğu artmıştır ancak tahminleri hiçbir zaman tamamen kesin değildir. CFD yalnızca sıvı akışı problemlerini analiz etmek için kullanılan bir araçtır (Howard, 2012: 421).

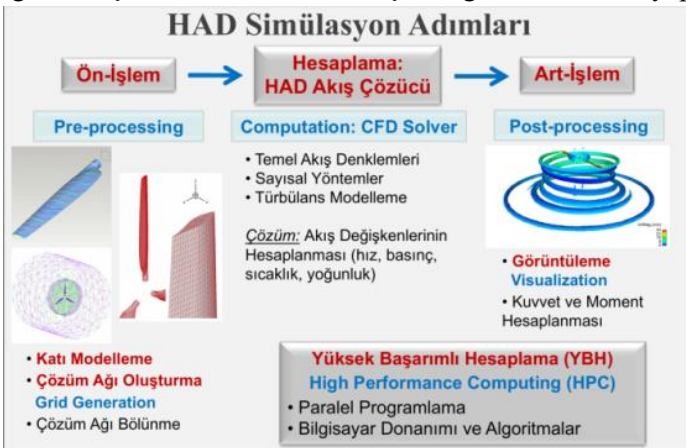
Herhangi bir sıvı akışının fiziksel yönleri aşağıdaki üç temel prensibe tabidir: (1) kütle korunur; (2) $F = ma$ (Newton'un ikinci yasası); ve (3) enerji korunur. Bu temel ilkeler, en genel haliyle genellikle kısmi diferansiyel denklemler olan matematiksel denklemlerle ifade edilebilir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, kısmen, akışkan akışının geçerli kısmi diferansiyel denklemlerini sayılarla değiştirme ve bu sayıları, ilgilenilen akış alanının tamamının nihai sayısal tanımını elde etmek için uzayda ve/veya zamanda iletme sanatıdır (Wendt, 2009:5).

Akışkanların hareketini belirlemek için, temel denklemlerden ve deneysel sonuçlardan yola çıkılarak geliştirilmiş bazı matematiksel yöntemler vardır. Tipik bir akışkanlar mekaniği analizinin takip ettiği süreçler tüm CFD yazılımlarında benzerdir. İlk önce akış sınırları ve bu sınırlar içinde mevcut olan vücut / cisimler CAD yazılımı kullanılarak çizilir. CFD yazılımı, sınırlar içindeki her elementte denklemlere yaklaşmak suretiyle akışkanlar mekaniği problemlerini çözer. Bunu yapmak için, boşluk elementlere ayrılmalıdır, bu adıma meshing denir. Bir CFD simülasyonunda ağ oluşturma çok önemlidir, bu nedenle kaliteli bir ağ oluşturmak için çok çaba sarf edilmelidir. Ağ oluşturma işlemi tamamlandıktan sonra, bu işlemdeki son adım başlatılabilir. Bu adımda akış, malzemeler, sınır şartları ve simülasyonla ilgili diğer detaylar hakkında bilgiler girilir. Simülasyon yapılır ve birleştiğinde başarılı olduğu söylenir. CFD metodolojisinin bir özeti, Şekil 1'de sunulmaktadır (Aydın, 2005:41).



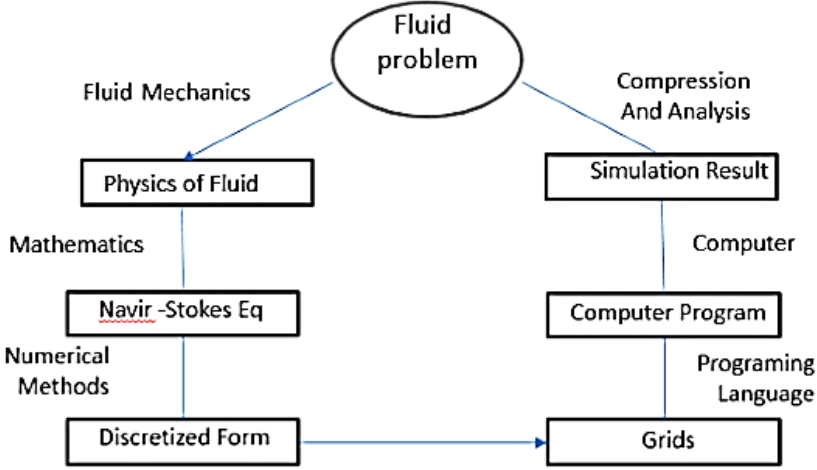
Şekil 1. CFD Metodolojisi

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği çalışmalarını ön-işlem, hesaplama ve art-ışlem olarak bölümlere ayırdığımızda (Şekil 2.) öncelikle katı modelleme ve çözüm ağlarının (mesh) oluşturulması gerekmektedir. Katı modelleme farklı programlar vasıtasıyla yapılarak programlara aktarılabilir. Daha sonra sorunun kaynağına göre fiziksel tanımlanarak yapılarak çözümler yapılmaktadır. Son olarak istenilen sonuçların belirlenerek hesap dataları, simülasyonlar ve istenilen değerler seçilerek elde edilen sonuçların görüntülenmesi yapılmaktadır.



Şekil 2. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Simülasyon Adımları (TRUBA, 2023)

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD), matematiksel modellemenin yanı sıra çözümler, ayrıklaştırma yöntemleri, ızgara oluşturma ve sayısal parametreler yardımıyla akışkan mühendisliği sistemlerini simüle eder. Şekil 3'te açıklanmıştır (Silini, 2018:47).



Şekil 3. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği süreçleri

2.1. CFD Analizi Temel Basamakları

Problemin önemli özellikleri belirlendikten sonraki aşağıdaki adımlar izlenmektedir (Güney, 2010:22);

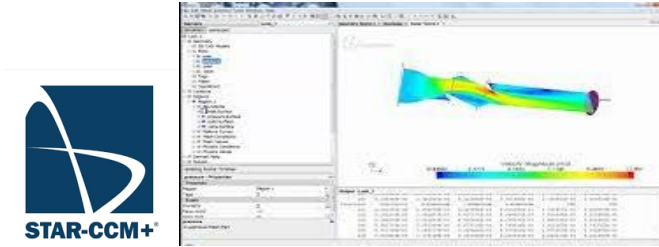
- Model geometrinin oluşturulması,
- Model ağ yapısının (mesh) oluşturulması,
- İki veya üç boyutlu model için uygun çözümleyicinin çalıştırılması,
- Grid kontrolü,
- Çözümleyici seçimi
- Malzeme özelliklerinin belirlenmesi,
- Sınır şartlarının belirlenmesi,
- Çözüm kontrol parametrelerinin ayarlanması,
- Akış alanının başlatılması,
- İlk çözümlemenin yapılması,
- Sonuçların değerlendirilmesi,
- Sonuçların kaydedilmesi,
- Eğer gerekiyorsa grid yapısının iyileştirilmesi veya sayısal/fiziksel modelin gözden geçirilmesi.

2.2. CFD Programları

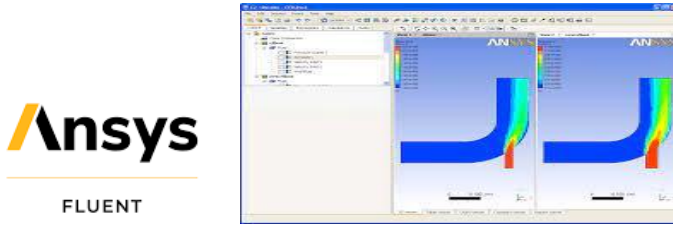
Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği problemlerin çözümünde kullanılan Akışkanlar Mekaniğinin önemli bir parçasıdır. Bu sebeple bilgisayar destekli sayısal analiz programları kullanılmaktadır. Hidrolik Mühendisliğinde en sık kullanılan CFD programları;

- STAR CCM+
- ANSYS FLUENT
- ABAQUS

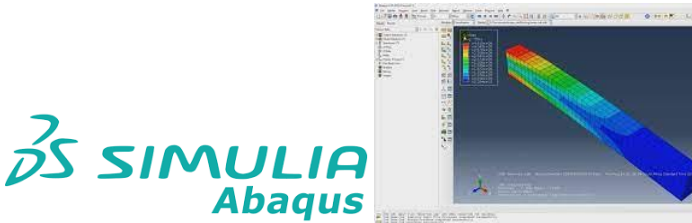
Olup, hem çözümü zor diferansiyel denklemlerin çözümünü kısa zamanda yapabilme özellikleri hem de 3 boyutlu görseller ile desteklenmesi bu programları yararlı kılmaktadır.



Şekil 4. Star CCM+ Programı



Şekil 5. Ansys Fluent Programı



Şekil 6. Abaqus Programı

Bu programları hidrolik mühendisliğinde en sık kullanılan programlar olup, hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin karmaşık yapılarını farklı sayısal ayrıklaştırma yöntemleri kullanarak çözebilmektedirler.

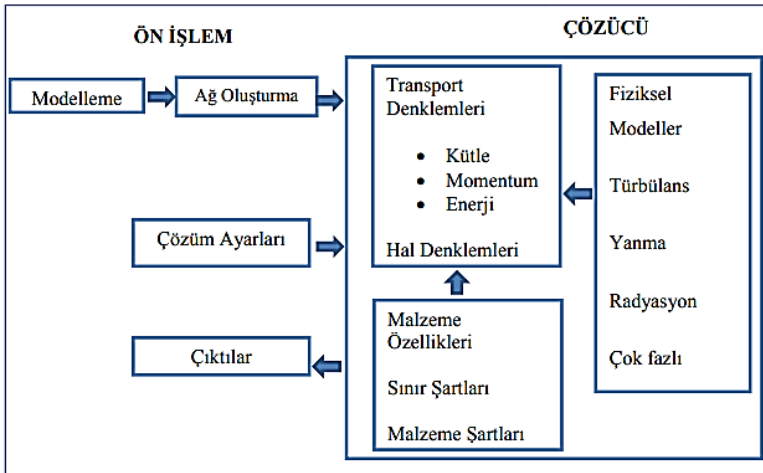
2.2.1. Star CCM⁺ Programı

STAR-CCM⁺, kullanıcı arayüzünü ve simülasyonları birleştiren eşsiz bir ortamdır. Bu arayüz ve simülasyon kombinasyonu, STAR-CCM⁺ çok verimli CFD yazılımı haline getirir. STAR-CCM⁺, kullanıcıların geometrileri içe aktarmasına veya yapılandırılmamış veya yapılandırılmış geometriler geliştirip üretmesine olanak tanıyan üç boyutlu bir ağ oluşturma aracıdır. Bunlara ek olarak STAR-CCM⁺, Reynolds Average Navier-Stokes modellerini de içermekte olup son derece güçlü bir çözücüdür. Ayrıca STAR-CCM⁺ simülasyon ağacı, kullanıcıların simülasyonu kolayca kontrol etmesini sağlar ve başlangıçta anlaşılması basit ve iyi organize edilmiştir (Danış, 2012:43)

STAR-CCM⁺ benzersiz ortam şu parametrelere dayanmaktadır (Danış, 2012:43); (Rubanito v.d., 2017)

- Grafikselle kullanıcı arayüzüne sahip olmak
- Kullanıcı tanımlı sınır koşulları
- Ön işleme ve son işleme fonksiyonları
- Simülasyonlar için veri tabanı
- Kullanıcılar için programlama seçenekleri
- Linux, Windows ve Unix işletim sistemlerinde çalışmış olmak

Sonlu elemanlar, sonlu hacimler, sınır elemanları ve sonlu farklar yöntemlerini kullanan CFD, domain kontrol hacimlerinin sonlu set üzerinde ayrışma yapılmasını sağlayarak çözümlenmektedir. Kütle, enerji ve momentum gibi korunum denklemlerinin çözümü, kontrol hacimleri için hazırlanan denklemler aracılığıyla çözülmektedir. Şekil 7.'de CFD modellemesinde gerçekleştirilen işlemler ve temel prensipler gösterilmektedir (Savaş, 2015:29).



Şekil 7. CFD modelleme özet şeması (Fluent, 2002)

2.2.2. Ansys Fluent Programı

ANSYS-Fluent sonlu elemanlar yöntemini kullanan ve fiziksel modelleme yeteneği çok geniş olan bir yazılımdır. Makine, endüstri, havacılık, kimya, inşaat gibi birçok farklı sektörde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan ANSYS-Fluent türbülanslı ve laminer akışlarda, ısı transferi problemlerinde, çok fazlı akışın söz konusu olduğu durumlarda, çevresel yüklere maruz uzay taşıyıcı sistem deniz yapılarının tasarımında hızlı ve güvenli hesap yapabilmesi nedeni ile tercih edilmektedir. CFD analizlerini temel üç başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar,

- a) Katı model ve sayısal ağ yapısının tanımlanması,
- b) Sınır koşulları ve çözüm parametrelerinin belirlenmesi ile birlikte çözümün yapılması,
- c) Çözüm sonrası elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, olarak sıralanabilmektedir (Dağlı, 2017:54); (Rao, 2010).

ANSYS Fluent, çok çeşitli türdeki sıkıştırılmaz ve sıkıştırılabilir, laminer ve türbülanslı akım problemlerine yönelik kapsamlı modelleme imkanı sunar. Kararlı ya da kararsız akımların analizleri gerçekleştirilebilir. ANSYS Fluent'teki bir diğer çok faydalı model grubu serbest yüzey ve çok fazlı akış modelleridir. Bunlar gaz-sıvı, sıvı-katı ve gaz-sıvı-katı akışlarının analizlerinde kullanılabilir. Bu tip problemler için ANSYS Fluent, akışkan hacmi yönteminin (volume of fluid, VOF), karışım yönteminin, Euler modellerinin ve ayrık faz modelinin (discrete phase model, DPM) kullanımını sağlar. Çok fazlı akışın örnekleri; açık kanal akımlarını, spreylere, sedimantasyonu, ayrılma ve kavıtasyonu içerir (Aydos, 2019:32); (Ansys, 2013).

Hidrolik yapılarda, Fluent modülü kullanılarak akış hareketleri daha etkili bir şekilde modellenmektedir. Böylelikle bu yapılarda akışkanın nasıl hareket edeceği ve bu hareketin yapılardaki sonuçları doğru bir şekilde öngörülebilecektir (Aydın ve Taylan, 2021:666).

2.2.3. Abaqus Programı

Abaqus, sonlu elemanlar analizi ile çalışan ve bilgisayar destekli mühendislik için bir yazılım paketidir. Gerçekçi modeller oluşturma imkanı sağlayarak detaylı çözümler yapmayı sağlayan bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Bünyesinde yer alan farklı malzeme modelleri ve sonlu eleman tipleri sayesinde çözülmesi zor olan lineer ve non-lineer projeleri analiz etme imkânı sunmaktadır. Paket olarak beş temel yazılımdan oluşmaktadır. Bunlar: (a) Standard, (b) Explicit, (c) CFD, (d) Electromagnetic ve (e) CAE' dir.

Abaqus/Standard, son derece hassas stres çözümlerinin kritik öneme sahip olduğu statik ve düşük hızlı dinamik olaylar için ideal olan çözüm teknolojisini

kullanır. Tek bir simülasyon içinde, bir modeli hem zaman hem de frekans alanında analiz etmek mümkündür. Ayrıca, Abaqus/Standart çalışması içindeki herhangi bir noktadaki sonuçlar alınarak, Explicit'te başlangıç koşulları olarak kullanılıp analize devam edilebilmektedir. Benzer şekilde, Explicit ile başlayan bir analize Abaqus/Standard' da devam edilebilir. Bunun en büyük avantajı, Explicit, analizin yüksek hızlı ve doğrusal olmayan bölümlerine uygulanabilirken; Abaqus/Standard' ın, analizin statik veya düşük hızlı, dinamik veya sabit durumlu bölümlerine uygulanmasına olanak tanınmasıdır. ABAQUS/Standard statik ve dinamik analizler yapabilen kapalı bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Çözümlemelerinde gelişmiş malzeme ve eleman özelliklerinden faydalanmaktadır. Ayrıca akustik ve buna bağlı çift-etkili analizleri yapabilmekte, plastik enjeksiyon kalıp analiz sonuçları için çeşitli programlarla birlikte kullanılabilir (Atabey, 2023)

2.3. Sayısal Ayrıklaştırma Yöntemleri

CFD programlarının çalışma yöntemlerine göre farklı sayısal ayrıklaştırma metodları kullanılabilir. Bu metodlar;

- Sonlu Hacimler Metodu
- Sonlu Elemanlar Metodu
- Sonlu Farklar Metodu

Olup, ne tür yaklaşımlar kullanıldığı açıklanmıştır.

2.3.1. Sonlu Hacimler Metodu

Bir HAD yazılımı olan STAR-CCM+ yazılımı da bu sayısal yöntemlerden sonlu hacimler yöntemini kullanmaktadır. Sonlu hacimler yöntemi kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan sayısal bir yöntemdir. Sonlu hacimler metodu akışkanlar mekaniğinde, akışkanın hareket denklemlerinin integral hallerini fiziksel uzayda ayrıklaştırarak çözmek için kullanılır. Çözüm için, incelenecek bölgenin üst-üste binmeyen sonlu sayıda kontrol hacmine bölünmesi gerekmektedir. Bu sonlu sayıdaki elemanların tamamı çözüm ağı veya sayısal ağ olarak adlandırılmaktadır.

Genellikle değişkenler kontrol hacimlerinin merkezinde hesaplanır. Diğer metodlardan farklı olarak, sonlu hacimler yöntemi ile hesaplamalar düğüm noktalarında yapılmadığından çok esnek çözüm ağlarına uygulanabilmektedir. Bu avantajı dolayısıyla, yapısal çözüm ağlarında olduğu kadar yapısal olmayan çözüm ağlarında da başarılı sonuçlar vermektedir. Karmaşık geometrilere uygulanabilmesi ve daha esnek olması açısından daha çok yapısal olmayan çözüm ağları tercih edilmektedir. Sonlu hacimler yöntemi için hazırlanmış olan

çözüm ağlarında üçgen dörtyüzlü, piramit, prizmatik, düzgün altı yüzlü ve gelişigüzel çok yüzlü elemanlar kullanılmaktadır (Mehdiyev, 2009:21).

2.3.2. Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu elemanlar yöntemi "parçadan bütüne gitme" genel prensibine dayanmaktadır. Sonlu eleman; iki veya üç boyutlu yapıların bir parçası veya bir bölgesidir. Bu yöntemin ilk ve en geniş uygulama alanı "gerilme analizi"dir. Sonruları ısı analizi, akışkan analizi, piezoelektrik analizi, elektrik analizi vb. alanlarda da kullanılmıştır (Güler ve Şen, 2015:56); (Liu, 2009).

Sonlu eleman metodu yapısal olmayan ağ yapısına izin verdiği için kompleks geometriler ile ilgili akış problemlerinin çözümünde ve Newtonien olmayan akışların çözümünde tercih edilir. Sonlu elemanlar metodunun matematiksel altyapısı yapısal ağ üretimine izin veren diğer bir metod olan sonlu hacim metoduna göre daha karmaşıktır. Dolayısıyla bu metodun uygulanması daha çok çaba ve donanım ihtiyacı duyar. Her ne kadar sonlu hacim metodu daha tercih edilir olsa da bazı karmaşık problemlerin çözümünde her iki metod kombine olarak kullanılabilir (Başyazıcı, 2007:38);(Kaykaoğlu, 1994); (Blazek, 2001).

Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan yazılımlardan birisi ANSYS programıdır. Bu program model üzerinde analiz yapılırken, en yüksek von Mises gerilmesinin elde edilmesine izin verdiği gibi, gerilmelerin yoğunlaşmasını, bulunduğu yerleri ve sebep olduğu yer değişikliklerinin grafiksel olarak gösterilmesini de sağlamaktadır. (Güler ve Şen, 2015: 58)

2.3.3. Sonlu Farklar Metodu

Sonlu farklar yöntemi, çeşitli diferansiyel denklemlerin kapalı çözümleri elde edilemediğinde, kullanılan sayısal ve yaklaşık yöntemlerdendir (Ergün ve Kumbasar, 2003:2); (Berktaş, 1992).

Yaklaşık yöntemler karakter bakımından ikiye ayrılır. Bir kısmı sınır şartların gerçekleşmesinde yaklaşıklık kabul eder; fakat diferansiyel denklemin kesin olarak sağlanmasını ister; ikinci grup yöntemlerde ise sınır şartlarının gerçekleşmesi kesin olduğu halde diferansiyel denklemin sağlanmasında yaklaşıklık vardır. Sonlu farklar yöntemi bu ikinci gruba girer. Dayandığı esas, diferansiyeller yerine sonlu farkları alarak, problemin diferansiyel denklemini, fonksiyonun ayrık noktadaki değeriyle yaklaşık olarak ifade etmektir. Sonlu farklar yönteminde diferansiyel denklem ayrıklaştırılarak cebirsel denkleme dönüştürülür ve sayısal olarak çözülür. Denklem ayrıklaştırılması; türevlerin yerine fonksiyon değerlerinin kullanılmasıyla olur. Bu ayrıklaştırma sonucu fonksiyon değerlerine bağlı bir cebrik denklem sistemi elde edilir. Bu denklem

sistemi çözülerek her nokta için aranan bilinmeyenler bulunur (Saraçoğlu ve Özçelikörs, 2011:57).

Sonlu farklar metotları HEC-RAS programı ile simülasyon modeli tanımlanabilmekte ve kısmi diferansiyel denklemlerin çözüm prensibine dayanan Method of Characteristics (MOC) gibi analitik çözümler için yöntemlerde kullanılmaktadır.

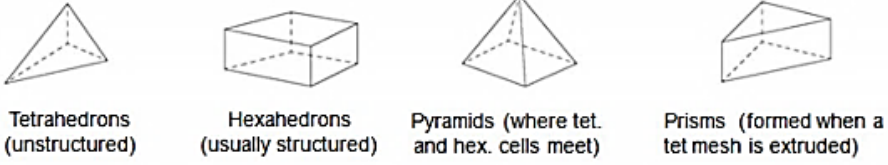
3. SAYISAL ÇÖZÜMLEME

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği sayısal çözümlemesinde temel konu, analizi yapılacak sistem ve cihaza ait çözüm bölgesi tanımlamaktır. Bu hesaplama alanının iki boyutlu çalışmalarda “yüzey”, üç boyutlu çalışmalarda ise “hacim” denilen mesh veya grid denilen alt bölgelere ayrılarak, seçilen differansiyel formdaki korunum denklemlerinin bu hesaplama alanı için ayrıştırılıp doğrusal (linear) denklem sistemlerine dönüştürülür. Sayısal analiz yönteminin genel adımları şöyle sıralanabilir (Bardakçı, 2018:24):

- Modelin oluşturulması; çözülmek istenen sistem veya cihaza ait hesaplama alanının katı veya fluid olarak en doğru ve en az bilgisayar gücü kullanacak şekilde geometrinin çizilmesi
- Ağ oluşturma (mesh); Seçilen modelin sonlu sayıda kontrol hacmine (alt bölgelere) bölünmesi
- Ayrıştırma; Çözülecek korunum denklemlerinin doğrusal denklem sistemine dönüştürülmesi
- Ayrıştırılmış doğrusal denklemlerin çözdürülmesi
- Analiz sonuçlarının akış fiziği açısından uyumlu olup olmadığının değerlendirilmesi.

3.1. Mesh'in (çözüm ağının) Oluşturulması

Mesh üretimi ve mesh kalitesi CFD simülasyonlarında üzerinde durulan en önemli işlemlerden biridir. İki boyutlu simülasyonlarda yüzey meshin, üç boyutlu simülasyonlarda hacimsel meshin cinsi, ölçüsü ve sayıları mesh kalitesini etkiler. Üç boyutlu CFD analizlerinde en önemli adımlardan birisi geometrinin meshlenmesi yani sonlu sayıda çok kenarlı hacimlere ayrılmasıdır. Böylelikle korunum denklemleri, sonlu sayıdaki bu küçük hacimler için ayrı ayrı çözülerek toplam akış alanı için genel çözüme ulaşılır. Bu küçük mesh (grid) en küçük elamanına hücre, hücreyi çeviren bölge yüzey, yüzeylerin ortak noktalarına da düğüm (nod) denir. Mesh modülünde yüzeylerde quad/tri/map gibi alternatifler mevcut iken hacimsel ağlar oluşturmak için “tetra, hexa, pyramid” gibi meshleme çeşitleri mevcuttur (Şekil 8). 3 boyutlu mesh yapıları temel olarak aşağıda yer aldığı gibi gruplandırılmaktadır (Bardakçı, 2018:25).

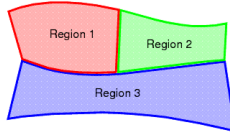


Şekil 8. Üç boyutlu ağ yapısı çeşitleri (Bardakçı, 2018:25); (Canbaz,2011).

CFD programlarının kullanımında en çok dikkat edilmesi gerek konu meshlerin doğru atılmasıdır. Eğer problem uygun mesh sistemi ile tanımlanmazsa çözüm hataları olma olasılığı yüksektir. Bu sebeple hangi mesh modelinin problem tanımında kullanılacağı, mesh aralıkları gibi özelliklerin deneyimlenerek uygun hale geldiğinden emin olduktan sonra bir sonraki adıma geçilmelidir.

3.2. Bölgeler (Regions)

Bölgeler, sınırlarla tamamen çevrili alandaki hacim alanlarıdır (veya iki boyutlu bir durumda alanlardır). Mutlaka bitişik olmaları gerekmez ve bağlı yüzler, hücreler ve köşelerden oluşan uygun bir ağ tarafından ayrılırlar (Şekil 9).

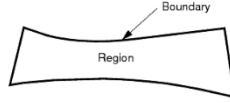


Şekil 9. CFD programında bölge tanımlaması

Bölgeler, bir hacim ağı içe aktarıldığında veya bir yüzey geometri parçaları kullanılmadan içe aktarıldığında oluşturulur. İçe aktarma işlemi sırasında her bölgeye benzersiz bir ad verilir, ancak yeniden adlandırılabilir. Bir bölge bir arayüz kullanılarak diğerine birleştirilir, böylece bilgiler aralarında aktarılabilir. Sınırlar bölgeler arasında paylaşılmaz (Star CCM⁺,2015:35).

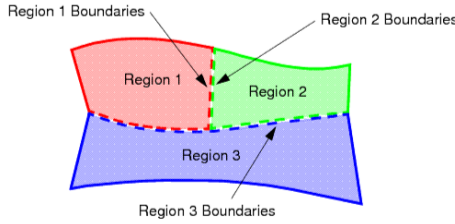
3.3. Sınır Şartlarının Belirlenmesi

Sınırlar, bir bölgeyi tamamen çevreleyen ve tanımlayan yüzeylerdir (veya iki boyutlu bir durumda çizgilerdir). Her sınır, simülasyon ağacında karşılık gelen bir düğüme sahiptir ve kendi özelliklerine ve açılır menüsüne sahiptir. Aşağıdaki Şekil 10, bölgeyi çevreleyen çizgilerin sınırları temsil ettiği basit bir bölgeyi göstermektedir. Bu örnekte, bölge tek bir sınır ya da çoklu sınırlarla çevrelenmiş olabilir. Seçim hangi koşulların ve değerlerin atanması gerektiğine bağlıdır (Star CCM⁺,2015:39).



Şekil 10. CFD programında sınır tanımlaması

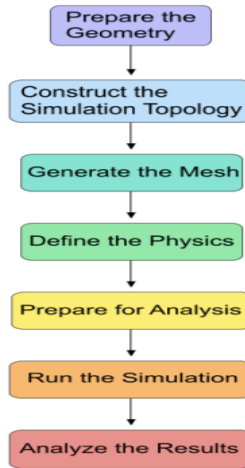
Bir sınırın ayrıklaştırılması, bölge için hacim ağını sınırlayan yüzeye karşılık gelir. Sınırlar bölgeler arasında asla paylaşılmaz; bir sınır sadece bir bölgeye ait olabilir. Aşağıdaki Şekil 11’de üç ayrı bölge örneği gösterilmektedir. Noktalı çizgiler, her bölgeyi ayıran sınırları temsil eder. Bir bölgenin ve komşusunun ara yüzündeki sınırlar uzayda çakışmaktadır (Star CCM⁺,2015:39).



Şekil 11. CFD programında bölge ve sınır tanımlaması

3.4. CFD Genel İş Akışı

Bir iş akışı, kesin bir sonuç elde etmek için üzerinde çalışmanız gereken işlemlerin dizisidir. CFD iş akışının en genel görünümü aşağıdaki Şekil 12’de gösterilmektedir (Star CCM⁺,2015:49). Bu akış CFD programlarının genel iş akışını göstermekte olup, doğru adımlarla gidilmesi, problemin doğru fiziksel özelliklerinin tanımlanması ve istenilen bilgilerin alınabilmesi açısından önemlidir.



Şekil 12. CFD programında iş akışı şeması

3.5. Türbülans Modelleri

CFD programı fiziksel tanımlamaların problem uygun biçimde yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple türbülans tanımlanırken $K-\varepsilon$ ya da $K-\omega$ modelleri kullanılmaktadır.

3.5.1. $K-\varepsilon$ (Epsilon) Modeli

$k-\varepsilon$, mühendislik çalışmalarında en yaygın olarak kullanılan türbülans modellerinden birisidir. Sağlamlık, hesap süresi ve çözümün doğruluğu arasında çok iyi bir optimizasyonla oluşturulmuştur. İki denklemli bir modeldir, başka bir deyişle akışın türbülans özelliğini göstermek için iki ekstra taşınım (transport) denklemi içerir. Taşınım ilk değişken türbülanstaki enerjii belirleyen türbülans kinetik enerji k , ikincisi de türbülansın ölçeğini belirleyen türbülans yitimi (dissipation) dir (Usta, 2012:93).

3.5.2. $K-\omega$ (Omega) Modeli

(Bal, 2011:38); (Wilcox, 1991), standart $k-\omega$ modelinin özellikle serbest kayma akışlarında ω 'nın giriş sınırındaki değerlerini aşırı derecede bağlı olduğunu ve türbülans viskozitesinin değerlerini iki kattan fazla değiştirebildiğini göstermiştir ve ω taşınım denkleminde bazı eklentilerin yapılması gerekebileceğini belirtmiştir. Böylece (Bal, 2011:38);(Menter, 1993), sınır tabaka içerisinde, bu bölgede çok başarılı olan orijinal $k-\omega$ modelini kullanıp serbest kayma akışlarında ise modelin serbest akım değerlerine bağlılığından kurtulmayı amaçlayarak ω taşınım denkleminde önemli değişiklik yapmıştır. Denklem standart $k-\varepsilon$ modelinde kullanılan ε taşınım denkleminde değişken dönüşümü yapılarak kullanılmakta ve böylece standart $k-\omega$ modelinde kullanılan ω taşınım denkleminde “çapraz difüzyon” adı verilen terim eklenmektedir.

Ancak bu terimin sınır tabakada çok başarılı olan orijinal formu etkilememesi için (-ki etkilemektedir) (Bal, 2011:38); (Wilcox, 1998) akıllı bir fonksiyon ile bu terimin yalnızca serbest akışlarda ve sınır tabakanın üst bölgelerinde kullanılması sağlanmıştır. Buna göre SST $k-\omega$ modeli, türbülans viskozitesinin hesabında daha önce sözü edilen değişiklik dışında, sınır tabaka içerisinde orijinal $k-\omega$ modelini, serbest kayma akışlarında ise standart $k-\varepsilon$ modelini kullanmaktadır.

3.6. VOF (Volume of Fluid) Modeli

Birbiri ile karışmayan iki veya daha fazla akışkan arasındaki fazlar arası arayüzeyin pozisyonu şekli ve oluşumu incelenmek istendiğinde sabit bir Eulerian çözüm ağına uygulanan VOF modeli tercih edilir. Bu metodun temel prensipleri diğer Eulerian yaklaşımlara benzer olmakla beraber nümerik olarak uygulanışı farklılık gösterir. Bu yaklaşımda tüm akışkanlar için sadece bir

denklemler seti çözülürken, fazlar arası arayüzey için ayrı bir denklem çözülür ve tüm sayısal çözüm ağı içerisinde fazların hacimsel fraksiyonları ayrı-ayrı izlenir. Bir gaz – sıvı arayüzeyinin zamana bağlı olarak incelenmesini içeren katmanlı akış, serbest yüzey akışları, kapalı bir tankta sıvı hareketi, bir sıvı içerisinde kabarcıkların hareketi gibi farklı endüstriyel alanlardan problemler VOF modeli ile çözülebilir (Başyazıcı, 2007:66).

4. AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ DENKLEMLERİ

Son zamanlarda kullanımı oldukça artan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile birçok çeşitli akışkan, faz değişimi, çok fazlı, kararlı ya da kararlı olmayan akış, şok dalgaları, yüzey kuvvetleri ve kimyasal reaksiyonlar ile ilgili pek çok karmaşık problem çözülebilmektedir. Akış hareketi; kütle, enerji ve momentum korunumunu ifade eden diferansiyel denklem sistemiyle tanımlanmaktadır (Savaş, 2015:27).

CFD çalışmalarında kullanılan temel denklemler olan Navier-Stokes, Momentumun Korunumu ve Süreklilik denklemleri açıklanmıştır.

4.1. Navier Stokes Denklemleri

Navier-Stokes denklemleri sıvı hareketini üç boyutlu olarak simüle eder. Navier-Stokes denklemleri aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = \rho B_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \delta_{ij} \lambda \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right]$$

Söz konusu akışın su olduğuna ve simülasyonun türbülanslı bir akış durumu olduğuna dikkat çekerek, ana denklemlerde modifikasyonlar ve basitleştirmeler yapılmıştır. CFD analiz programının temel denklemleri Navier-Stokes denklemlerinin korunum şeklini kullanır. Sıkıştırılamaz bir akış için denklemlerin korunum şekli korunma şeklinde yazılabilir.

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho B_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \rho B_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \rho B_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

4.2. Momentum Denklemi

Newton, cisimlerin hareketleri ile onlara etkiyen kuvvetler arasındaki ilişkileri aşağıda verilen üç yasa ile açıklamıştır.

1. Yasa: Cismin durumunu koruma isteğine eylemsizlik (atalet) denir. Bir dış kuvvet etkimedikçe durmakta olan bir cisim durmaya (durumunu korumaya), sabit hızla bir doğru boyunca hareket etmekte olan bir cisim ise hareketini sürdürmeye (durumunu korumaya) devam edecektir.

2. Yasa: Bir dış kuvvete maruz kaldığında, bir cismin hızının nasıl değiştiğini açıklamaktadır. Bu dış kuvvet, cismin momentumundaki zamana göre değişim hızına eşittir. Şayet cismin kütlesi (m) sabit ise, bu dış kuvvet, cismin kütlesi ile ivmesinin çarpımına eşittir.

3. Yasa: Bir cisim, ikinci bir cisme kuvvet (etki) uyguladığında, ikinci cismin de birinci cisme eşit ve ters yönde bir kuvvet (tepki) uygular. Bu kurallar ışığında, kütlesi sabit m olan bir cisim için Newton'un 2. yasası aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{V})}{dt} = m \cdot \frac{d\vec{V}}{dt} = m \cdot \vec{a}$$

Bu bağıntıda \vec{F} cisme etkiyen net kuvveti, \vec{a} ise \vec{F} kuvvetinin etkisindeki cismin ivmesini ifade etmektedir. Bir cismin kütlesi ile hızının çarpımı, cismin doğrusal momentumu ya da sadece momentumu olarak adlandırılır. \vec{V} hızı ile hareket eden m kütleli cismin momentumu $m\vec{V}$ 'dir. Bu durumda 2. yasa, "Bir cismin momentumunun zaman göre değişim hızı, cisme etkiyen net kuvvete eşittir" şeklinde de ifade edilebilir. (Munzur Üniversitesi,2023:1)

4.3. Süreklilik Denklemi

Sıkışmayan, türbülanslı akımda,

$$u = \bar{u} + u', v = \bar{v} + v', w = \bar{w} + w',$$

anlık hız bileşenleri,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Süreklilik denkleminde yerine yazılıp bir Δt zaman aralığı için zamansal ortalaması alınabilir. Bu durumda örneğin; denklemin birinci terimi aşağıdaki değere indirgenir,

$$\overline{\frac{\partial}{\partial x}(\bar{u} + u')} = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} \left[\frac{\partial}{\partial x}(\bar{u} + u') \right] dt = \frac{\partial}{\partial x} \underbrace{\left[\frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} (\bar{u} + u') dt \right]}_{\bar{u}} = \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}$$

buna göre, türbülanslı akım için süreklilik denklemi ortalama değerler cinsinden aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad \text{veya} \quad \bar{V} = \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (4.2)$$

Sıkışmayan türbülanslı akımda anlık hız bileşenlerinin

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Süreklilik denkleminde yerlerine yazılıp elde edilecek denklemden

$\bar{V} = \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0$ Denkleminin çıkarılmasıyla kalan terimlerden hız sapınçlarının da süreklilik denklemini sağladığı görülecektir (İspir,2014:21)

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği özellikle Hidrolik Mühendisliğinde akışkanın hareketlerinin incelenmesi prensiplerine dayandığı için oldukça karmaşık denklemlerin çözümüne gerek duymaktadır. Bu sebeple analitik hesaplamalardan ziyade nümerik çözümlerin bilgisayar programları vasıtasıyla yapılması gereksinimini doğurmuştur.

CFD programları hem denklemlerin çözüm kolaylığı hem de simülasyonlar sayesinde farklı fiziksel/vektörel parametrelerin istenilen yerde ve görsel de görünmesini de sağlamaktadır. Bu programlar sadece hidrolik alanlarında değil aynı zamanda makine, gemi inşaa, uçak mühendisliği, petrol mühendisliği gibi akışkanın var olduğu temel alanlarda da aktif olarak kullanım göstermektedir.

Günümüzde bilgisayar teknolojilerinin artması ile birlikte daha güvenli sonuçları kısa sürede elde edebilmekteyiz. Bu yüzden İnşaat Mühendisliği Hidrolik bilim dalının çalışmalarına büyük katkılar sağlamaktadır. Bu bölümde tanıtılan programlar Hidrolikte en çok kullanımı olan programlardır. Bu programların genel çalışma prensipleri birbirleri ile benzerlik göstermekle birlikte farklı tanımlayıcıları da bulunabilmektedir. Kullandığımız program özelliklerine bağlı kalarak Akışkanlar Mekaniği problemlerini çözmek için katkı sağlayacaklardır.

KAYNAKÇA

- Ansys Fluent Theory Guide, (2013).
https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/main_pre.htm adresinden 20.09.2023 tarihinde alınmıştır.
- Atabey, V. ABAQUS Programı ve Kullanım Alanları.
<https://volkanatabey.com.tr/abaqus-programi-ve-kullanim-alanlari/>,
adresinden 24 Eylül 2023 tarihinde alınmıştır.
- Aydın, M.C. (2005). Alttan alıslı dolusavak havalandırıcıların CFD analizi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Elazığ, 156 s. (Doktora tezi).
- Aydın, T. ve Taylan, D. (2021). Darıderesi II Göleti Dip Savak Yapısının Fluent ile Sayısal Modellenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9 (2), 661-671.
- Aydos, M.R. (2019) Farklı Bitki Kümesi İçeren Açık Kanal Akımındaki Hız Dağılımının Ansys-Fluent Programı İle Modellenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 180 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- Bal, H. (2011). Geniş Başlıklı Savak İçeren Açık Kanal Akımının Sayısal Modellenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana, 114 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- Bardakçı, A.T. (2018). Dalgalı Kanatlı Isı Değiştiricilerinin Isıl ve Hidrolik Performansının Hesaplama Akışkanlar Dinamiği Yaklaşımı ile İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 86 s. (Yüksek lisans tezi).
- Başyazıcı, İ.U. (2007). İki Fazlı Akışlara Sayısal Yöntemlerin Uygulanması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 117 s. (Yüksek lisans tezi)
- Berktaş, İ. (1992). Plak teorisi ve uygulamaları, Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü, 237, İstanbul.
- Blazek, J. (2001). Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications. Elsevier, Amsterdam, 440 s.
- Canbaz, H. (2011). Kanatlı Borulu Bir Isı Değiştiricisindeki Isı Geçişinin Sayısal Olarak İncelenmesi. YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 63 s. (Yüksek lisans tezi)
- CD-Adapco, Inc. (2010). STAR-CCM+ User Guide Version 5.04.006.
- Dağlı, B. (2017). Açıkdeniz yapılarında uzay taşıyıcı sistem elemanlarına etkiyen hidrodinamik kuvvetlerin katılık oranına göre belirlenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Manisa, 129 s. (Doktora tezi)

- Daniş, E. (2012). Deneysel ve Teorik Yöntemleri Kullanarak Birtakım Yelken Modellerinin Etrafındaki Aerodinamik Akışının İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 107 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- Ergün, A., Kumbasar, N. (2003). İnce plaklar için geliştirilmiş sonlu farklar yöntemi. İTÜ Dergisi, Seri: D Mühendislik. 2(1), 35-44.
- Fluent, (2002). Fluent v6.0 Introductory Fluent Notes.
- Güney, H. (2010). Adyabatik Mikrokanallarda Akışın Fluent ile Modellenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Sakarya, 61 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- Güler, M. ve Şen, S. (2015). Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler. Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5 (1) , 56-66.
- Howard H. Hu. (2012). Chapter 10 - Computational Fluid Dynamics, Editor(s): Pijush K. Kundu, Ira M. Cohen, David R. Dowling, Fluid Mechanics (Fifth Edition), Academic Press, Pages 421-472.
- İspir, M.A. (2014). Kritik Altı Açık Kanal Akımının Deneysel ve $k-\epsilon$ Türbülans Modelleri ile Sayısal Analizi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 100 s. (Yüksek Lisans tezi)
- Kaykaoğlu, R. (1994). Introduction to Computational Fluid Dynamics – Summer Short Course Series on Computational Fluid Dynamics Techniques in Engineering, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Liu, G.R. and Quek, S.S. (2003). The Finite Element Method: a Practical Course, Ed: Liu G.R., Quek S.S. Butterworth Heinemann, Oxford, 1-11.
- Mehdiyev, N. (2009). Yüksek süratli kayıcı bir teknenin hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile form optimizasyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 95 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- Menter, F.R.(1993). Zonal Two Equation $k-\omega$ Turbulence Models for Aerodynamic Flows, American Institute of Aeronautics and Astronautics Report, AIAA-93-2906, Orlando, Florida, USA.
- Munzur Üniversitesi, Makine Mühendisliği ders notları, <https://www.munzur.edu.tr/birimler/akademik/fakulteler/muhendislik/bolumler/makine/Pages/file/5-%20AKI%C5%9E%20S%C4%B0STEMLER%C4%B0N%C4%B0N%20MOMENTUM%20ANAL%C4%B0Z%C4%B0.pdf> adresinden 26 Eylül 2023 tarihinde alınmıştır.

- Rajaonary, T.T. (2016). Design and Optimization of a Hydrokinetic Turbine with CFD. Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gaziantep, 99 s. (Yüksek Lisans tezi).
- Rao, S.S. (2010). The Finite Element Method in Engineering. Butterworth&Co. Ltd., Londra, UK, 728s.
- Rubanito, M., Martins, R., Kesserwani, G., Leandro, J., Djordjovic, S., Shucksmiths, J. (2017). Experimental Calibration and validation of sewer/surface flow Exchange equations in steady and unsteady flow conditions. Journal of Hydrology, 552, 421-432.
- Saraçoğlu, M. H. ve Özçelikörs, Y. (2011). Tabakalı Kompozit Plakların Sonlu Farklar Yöntemi ile Statik Analizi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (1) , 51-62.
- Savaş, E. (2015). Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yazılımı (Fluent) Kullanılarak Bir İşyerinde Yangın Acil Durumunda Duman Tahliyesi Modellenmesi. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 163 s. (Uzmanlık Tezi).
- Star CCM+ Documentation. (2015). User Guide, Version 10.02, CD-adapco™.
- Silini, S.R. (2018). Wind Assessment for different sites in Libya and proper wind turbine blade design using CFD. Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina ve Uçak Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara, 124 s. (Doktora tezi).
- Türk Ulusal Bilim Yapısı (TRUBA), Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD). <https://docs.truba.gov.tr/education/cfd/about/index.html#id1> adresinden 22 Eylül 2023 tarihinde alınmıştır.
- Usta, O. (2012). Tekne yüzey pürüzlülüğünün sınır tabaka ve gemi direncine etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 161 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- Wendt, J. F. (2009). Computational Fluid Dynamics. Third Edition, Springer.
- Wilcox, D.C. (1991). A Half Century Historical Review of the k- ω Model, American Institute of Aeronautics and Astronautics Paper, AIAA-1991-615, Reno, Nevada, USA.
- Wilcox, D.C. (1998). Turbulence Modeling For CFD, DCW Industries, Inc., California.

Bölüm 9

Makinelere Risk Değerlendirmesi

Ramazan KAYABAŞI¹, Hatice ÖZDEMİR²

¹ Öğr. Gör.; Kayseri Tomarza Mustafa Akıncıoğlu Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü.
rkayabasi@kayseri.edu.tr ORCID No: 0000-0001-6195-7445

² 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 mal ve hizmet üretimi gerçekleştirilirken, ürünün takip ettiği; tasarım, tedarik, imalat, montaj, depolama ve sevkiyat gibi iş akışları içerisinde çok sayıda makine ve ekipman kullanılmaktadır. Kullanılan makine ve ekipmanlar, bağlı olduğu enerji kaynağından, çalışma prensibine, işlediği ürünlerden, yerleşim planına kadar pek çok değişkenin sebep olduğu tehlikeleri barındırır. Alınmayan veya eksik bırakılan önlemlerle birlikte bu tehlikeler, istemediğimiz risklere dönüşebilmektedir. İşyerinde kullanılan makine ve ekipmanlar, elektrik çarpması, sıkışma, batma ve uzuv kopması gibi pek çok yaralanmalı kazanın dışında ölümlü iş kazalarına da neden olabilmektedir. Bu nedenle işyerlerinde makineler, yapılan risk değerlendirmesi içerisinde özenle değerlendirilmeli veya makine risk değerlendirmesi yapılarak makinelere özgü riskler tespit edilmelidir. Makinelere ilişkin tehlikelerin belirlenmesinde ve risk skorlarının düşürülmesi için yürütülecek olan önleyici ve iyileştirici faaliyetlerde üretim süreç ve tekniklerinin yanı sıra makinelerin taşınması, tamiri, bakımı, parça değişimi, temizlik, yağlama ve ayar gibi makine ile ilişkili diğer faaliyetler de göz önünde bulundurulmalıdır. İşyerlerindeki imalat süreçlerinin dinamik yapısı göz önünde bulundurulmalı ve bu sürecin maddi ve manevi kayıplara sebep olmaması için düzenli olarak takip edilmelidir. Çalışmamızda makinelerde yaşanan iş kazaları ve makinelere yönelik risk değerlendirme araştırmalarında kullanılan yöntemler incelenmiştir. ULAKBİM, Google Akademik, Ulusal Tez Merkezi ve EBSCO dizinlerinin/veri tabanlarının üzerinden Ulakbim TR Dizin, Dergi Park, Google Akademik arama motoru ve Ulusal Tez Merkezi veri tabanı üzerinden makinelerde yürütülen risk değerlendirme yöntemlerine tarama yapılarak ulaşılmış ve incelenmiştir. Makineleri dikkate alarak risk değerlendirmesi yürüten araştırmacıların; makinelerdeki tehlike ve riskleri tanımlamak için Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA), Fine Kinney Metodu, 3T Risk Değerlendirme Metodu gibi sahada sıklıkla kullanılan metotları tercih ettikleri görülmüştür. Makinelerde yapılan risk değerlendirmesi sonucunda, önerilen önleyici ve iyileştirici faaliyetlerin tamamlanması ile iş kazaları ve ramak kala olayları azalacak ve işletmelerde güvenli çalışma koşulları oluşacaktır.

Anahtar Kelimeler: Makineler, Risk değerlendirmesi, Makinelerin tehlikeleri, Risk değerlendirme yöntemleri

GİRİŞ

İşveren işyeri veya eklentilerinde İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) ile ilgili her türlü önlemi almak, çalışanların mesleki risklere karşı korunması için gerekli tedbirleri yürütmek zorundadır. İşyerinde kullanılan makine ve ekipmanlarda, değişken çalışma koşulları ve çalışanlardan kaynaklı hatalı davranışlar nedeniyle İSG tedbirlerinin sürekli gözden geçirilmesi gerekmektedir. İşyeri veya eklentilerinin fiziksel koşulları, çevresel etkenler, kişisel hatalar veya iş yerinde kullanılan makine ve ekipmanlar kazaların ana nedenlerini oluşturmaktadır. Bu nedenle işyerinin tamamı; çırak ve stajyerler dahil olmak üzere İSG uygulamaları kapsamında iyileştirici ve önleyici faaliyetler ile tehlike ve risklere karşı korunmalıdır.

Dünyada her yıl milyonlarca iş kazası ve meslek hastalığı yaşanmaktadır. İş kazalarının ve meslek hastalıklarının ülkelere vermiş olduğu maddi ve manevi kayıplar gayri milli hasılanın %1'i ile %3'ü arasındadır. İnsan Hakları Evrensel Beyanamesi'nin 23. maddesinde "Herkesin kendi özgür seçimiyle belirlediği işyerinde, adil ve elverişli çalışma koşullarında çalışma hakkı vardır" denilmektedir (TMMOB, 2014). İşverenin işyerinde İSG'ni sağlayarak, çalışanları sağlıklı koşullarda çalıştırmak üzerine kurulmuş İSG politikaları olmalı ve bu politikaları uygulamalıdır. Yönetimin İSG politikası kurumsal İSG kültürünün oluşmasına katkı sunmalıdır (Kayabaşı, 2019). Khan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada niteliksel ve niceliksel yaklaşımlar dâhil olmak üzere çeşitli makine risk değerlendirme yöntemlerine incelemiştir. Farklı yöntemlerin güçlü yanlarını ve sınırlamalarını tartışır ve risk değerlendirmesinin makine tasarım sürecine entegre edilmesinin önemini vurgulamıştır (Khan ve Abbasi, 2013). Costa ve arkadaşları (2018), makine sektörüne uygulanan risk değerlendirme metodolojilerindeki son durumu incelemiştir. Makine sistemlerindeki riskleri belirlemek ve değerlendirmek için çeşitli yaklaşımları ve araçları tartışır ve bu alandaki zorluklara ve fırsatlara ilişkin öngörü sağlamaktadır. Potts ve arkadaşları, farklı sektörlerdeki makine risk değerlendirmesi uygulamalarının kapsamlı bir incelemesini yapmıştır. Makine risk değerlendirmesi için mevcut yöntemleri, düzenlemeleri ve standartları tartışır ve risk değerlendirmesi uygulamalarını iyileştirmek için öneriler sunmuştur (Potts ve Bovenzi, 2019).

Levallois ve arkadaşları Avrupa makine sektöründeki risk değerlendirme uygulamalarına odaklanmıştır. Tehlike tanımlama, risk tahmini ve risk değerlendirmesi dâhil olmak üzere risk değerlendirmesinin temel unsurlarını analiz etmiştir. Çalışmada ayrıca Avrupa mevzuatının makine risk değerlendirmesi üzerindeki etkisi tartışılmıştır (Levallois vd., 2019). Palaniappan ve arkadaşları makine risk değerlendirmesi için bir mühendislik

yaklaşımı önermektedir. Tehlikeleri belirlemek, riskleri tahmin etmek ve risk kontrol önlemlerini uygulamak için sistematik bir yöntem sunmaktadır. Rapor ayrıca risk değerlendirme sürecinde mühendisler, operatörler ve güvenlik uzmanları arasındaki iş birliğinin önemini vurgulamaktadır (Palaniappan vd., 2020).

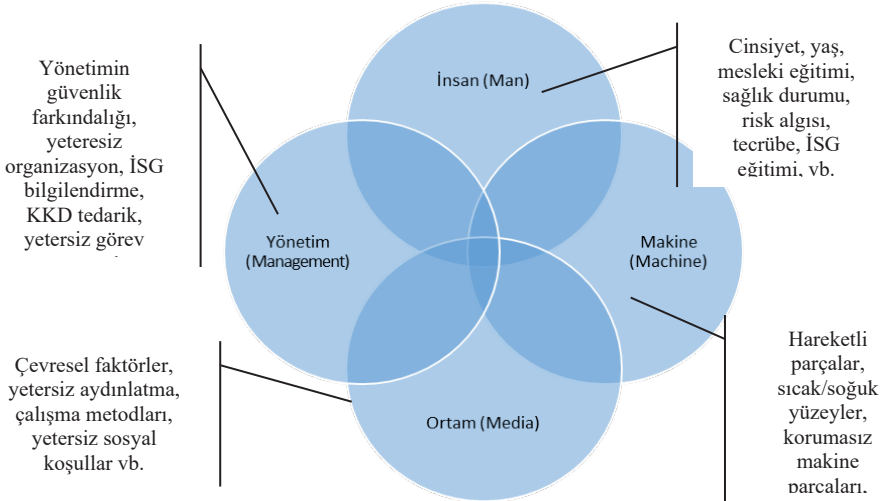
Kazaları önlemek için öncelikli olarak tehlikenin tamamen ortadan kaldırılması hedeflenmelidir. Bu durum tehlike kaynağını ortadan kaldıracacağı için İSG açısından kalıcı bir çözümdür. Bertaraf mümkün değil ise kaynaktan koruma yöntemi kullanılarak tehlikeli etkinin yayılması önlenmelidir. Kaynaktan koruma yapılması halinde risk devam ediyorsa mühendislik çalışmaları yapılarak risk seviyesi kabul edilebilir risk seviyesine kadar düşürülmeye çalışılmalıdır. Risk kabul edilebilir seviyeye düşürülememesi halinde çalışanlar riskli durumlar için uyarılmalıdır. Uyarılar yönetime ulaştırılmalı ve yönetimin vereceği kararlar ile (mesai süresi, çalışanların değişimi, vb.) risk seviyesi düşürülmelidir. Risk devam ediyorsa çalışana uygun özellikte Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) verilmelidir. Çalışanlar mesleki riskler ve KKD kullanımı gibi konularda eğitilmelidir (Şekil 1).



Şekil 1: Kazaları Önleme Yöntemleri Ve Etkileri

İş kazalarının meydana gelmesinde çok sayıda neden bir arada bulunabilmektedir. 4M olarak bilinen yaklaşıma göre, iş kazalarının temel nedenleri 4 ana başlık altında toplanmaktadır (Şekil 2). Bunlar insan (man), yönetim (management), ortam (media) ve makine (machine) olarak sıralanır (Demir ve Öz, 2018; Ceylan vd., 2021; Çınar, 2023). İnsan, hatalı davranışın nedenini oluşturmaktadır. Kişinin unutkanlığı, tedbirsizliği, bilgisizliği, çokbilmişliği ve mesleki yetersizliği hatalı davranışların oluşmasına neden olmaktadır. İşyerinde, orta ve üst yönetimin bir İSG politikasının olmaması, iş

güvenliğini önemsememesi, düşük farkındalığa sahip olmak veya ekonomik sebepler İSG kültürünün oluşmasını engellemektedir. Üst yönetimin iş sağlığı ve güvenliğine bakışı, çalışanları etkilediği gibi sürdürülebilir bir İSG politikasının belirlenmemiş ve uygulanmıyor olması çalışanlar ve diğer paydaşların İSG kurallarına uymaması ve benimsememesine neden olmaktadır. Yönetim faktörleri, emniyet yönetimi sistemleri, politikaları, prosedürleri ve organizasyonel kültürdeki eksiklikleri ifade eder. Yetersiz güvenlik eğitimi, yetersiz güvenlik protokolleri, tehlike tanımlama ve risk değerlendirmesi eksikliği, yetersiz denetim ve etkisiz iletişim kazalara katkıda bulunabilir ve işçi güvenliğini tehlikeye atabilmektedir. İş kazalarının birçok nedeni olduğu gibi, meydana gelen iş kazalarının nedenlerinden biri de makine ve ekipmanların neden olduğu kazalardır. Makine ile ilgili faktörler arasında mekanik arızalar, tasarım kusurları, uygun olmayan bakım veya yetersiz koruma yer alır. Bu faktörler, makineler uygun şekilde çalıştırılmaz veya bakımı yapılmazsa kazaları ve yaralanmaları artırmaktadır. İşyerinde fiziksel koşulların yetersiz olması ve ortam kaynaklı risk faktörlerinin kontrol altında tutulmaması ramak kala, yaralanma ve ölümlü olaylara davetiye çıkarmaktadır. Çevresel veya malzeme faktörleri, işin yapıldığı fiziksel çevreyi kapsar. Bu, yetersiz aydınlatma, kaygan yüzeyler, aşırı sıcaklıklar, gürültü, tehlikeli maddeler veya yetersiz havalandırma gibi faktörleri içerir.



Şekil 2: İş Kazalarının Temel Nedenleri

Bu koşullar kaza ve yaralanma riskini artırabilir İşyerinde bulunan makinelerin özellikleri ve çalışma şekillerine bağlı çalışanlar risk altında bulunabilir. Güvensiz sayılabilecek durumda olan bir makine her an bir kazaya

sebebe olabilecek kabiliyete sahiptir. Kuruluşlar, bu dört faktörü göz önünde bulundurarak ve uygun kontrolleri ve önleyici tedbirleri uygulayarak potansiyel riskleri etkili bir şekilde ele alabilir ve iş yeri güvenliğini iyileştirebilir. Daha güvenli bir çalışma ortamı oluşturmak için işverenlerin, amirlerin ve işçilerin 4M faktörleriyle ilişkili tehlikeleri belirlemek ve azaltmak için birlikte çalışması önemlidir.

Makinelerin neden olduğu, yaralanmalı hatta ölümlü iş kazalarının önlenmesi için makinelerle yönelik risk değerlendirmesi yapılması önem taşımaktadır. Makinelerden kaynaklı tehlikelerin yanı sıra çalışan gurupları, yönetim ve çevre ile etkileşimleri de dikkate alınarak tehlikeler tanımlanmalıdır. Risk değerlendirmesi yaptıran işveren, risk değerlendirme ekibini belirlerken kimlerden oluşması gerektiğini bilmeli ve risk değerlendirme ekibinin gerekli eğitimleri almasını sağlamalıdır (Kaya vd., 2018). İşverenin kendisi de risk değerlendirme sürecinin tüm aşamalarına katılmalı, risk değerlendirmesini incelemeli ve önerilerde bulunmalıdır. Aynı zamanda dinamik bir süreç olan risk değerlendirme sürecinde aktif rol almalı ve cezai sorumluluklarının farkında olmalıdır. Böylece risk değerlendirme ekibini motive edecek ve sürece aktif katıldığı için risk değerlendirme sürecinden uzak kalmayacaktır.

Makine ve ekipmanlar sadece imalat sektöründe yer alan ve sadece imalat sektörü çalışanları için risk oluşturan ekipmanlar değildir. İmalat sektörünün yanında hizmet sektöründe de karmaşık yapıda, kullanımı için uzmanlık gerektiren ve özelliklerine bağlı olarak çeşitli risk faktörlerini bünyesinde taşıyan makine ve ekipmanlar kullanılmaktadır. Örneğin hastaneler, bünyesinde pek çok makine, ekipman ve tıbbi araç gereç bulunduran işyerleridir. Hastanelerde kullanılan tıbbi cihaz ve makineler için çalışanların algı ve farkındalıklarını İSG açısından ölçülmüş olup yapılan araştırma sonucunda; makine ve tıbbi cihazlar için yürütülen İSG uygulamalarına yönelik algı düzeylerinin %54,7 olduğu ortaya çıkmıştır. Tıbbi cihaz ve makineler için çalışanların olumlu algı düzeylerinin düşük olduğu bulunmuştur. Araştırma ile eğitimler, risk değerlendirmeleri ve diğer uygulamaların gözden geçirilmesi ve güvensizliğin nedenleri araştırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Bulut vd., 2020).

Makinelerde Yaşanan İş Kazaları

Malzemenin işlenmesi, işleme tâbi tutulması, hareket ettirilmesi veya paketlenmesi, gibi belirli bir uygulama için uygun bir makine tahrik düzeneği, kumanda ve güç devresi ile en az biri hareketli birbiri ile irtibatlı parçalar veya bileşenlerden oluşan sistemlere makine denilmektedir (Guide to Application of The Machinery Directive, June, 2010). Makine bazlı imalat ve üretim yapan

işletmelerde çalışanların güvenli çalışma ortamında çalışmalarını sağlamak en önemli konulardan biridir. İşletmelerde makineleşme ile birlikte üretim artışı, ürün çeşitliliği, seri üretim ile işlerin sürelerinin kısalması olumlu gelişmeler iken İSG açısından çalışanlara olumsuz etkileri de görülebilmektedir (Cataklı ve Ayberk, 2020). Risk değerlendirmesi ile işyerlerindeki her türlü tehlikeyi bertaraf etmek ve riskleri azaltmak için işletmenin tamamında gözlemler, analizler ve değerlendirmeler yapılmaktadır. Böylece riskleri insan sağlığını etkilemeyecek seviyeye düşürmek amacına ulaşılmaya çalışılmaktadır (Çakır, 2018). Risk değerlendirmesi tehlikelerin tanımlanması ve risklerin büyüklüğünün derecelendirilmesi için yapılan her aşaması uzman bilgisi ve çalışan katkısıyla yoğrulan bir süreçtir. Risklerin yönetimi ve düşürülmesi için her aşaması yüksek öneme sahiptir. Risk değerlendirmesinde önleyici ve iyileştirici faaliyetlerin belirlenmesi ve uygulanmasıyla işyerinde yaralı etkiler görülmeye başlayacaktır (Çebi ve Temizoğlu, 2020).

Chinniah (2015) tarafından yürütülen çalışmada, makinelerle ilgili kazaların başlıca nedenleri arasında; makinelerin hareketli parçalarına kolay erişim, bakım, onarım faaliyetleri sırasında kilitleme prosedürleri uygulanmaması, güvenlik cihazlarının etkisiz hale getirilmesi, makinelerde ve güvenlik kontrol sisteminde yapılan yetkisiz değişiklikler ile üretici firma tarafından risk değerlendirmesinin yapılmaması sayılmıştır. Ülkemizde SGK tarafından düzenli olarak yayımlanan “İş Kazası ve Meslek Hastalıkları İstatistik Yıllıkları” kaza sebeplerini de içermektedir. 2018-2022 yılları için ve 4-1/a statüsünde çalışanlar dikkate alınarak kaza geçiren çalışanın kazadan hemen önce yürüttüğü faaliyete ilişkin elde edilen sonuçlar Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1: Kazadan Hemen Önce Yürütülen Özel Faaliyet (2018-2022)

N o	Kazadan önce yürütülen özel faaliyet	2018	2019	2020	2021	2022	Toplam	Oran %
1	Bilgi yok	26.013	26.025	25.445	30.741	34.670	142.894	6,11
2	Makine işletimi	37.448	35.702	34.594	47.309	50.795	205.848	8,81
3	El makineleriyle çalışma	47.971	43.801	41.036	54.204	61.383	248.395	10,63
4	Sürücülük/taşı t aracında bulunmak veya donanım kullanımı	17.577	18.199	16.707	23.398	25.782	101.663	4,35
5	Nesnelerin kullanımı	39.574	40.240	35.121	46.545	54.978	216.458	9,26
6	Elle taşıma	41.490	39.059	35.293	47.184	54.992	218.018	9,33
7	Hareket	47.817	46.744	39.453	54.030	67.590	255.634	10,94
8	Belirtilmemiş	23.239	22.488	20.307	27.151	34.092	127.277	5,44
9	Bu sınıflandırma listelenmemiş özel faaliyet	149.85 6	150.20 5	136.30 6	180.52 2	204.54 1	821.430	35,14
10	Toplam	430.98 5	422.46 3	384.26 2	511.08 4	588.82 3	2.337.61 7	100,00

Kaynak: SGK istatistik yıllıklarından derlenmiştir.

Tablo 1 incelendiğinde, makine işletimi ile ilişkili (makinenin başlatılması, durdurulması, beslenmesi, boşaltılması, izlenmesi vb.) kazalar yıllık olarak artma eğilimindedir. Makine işletimi dışında gerçekleşen kazaların da örneğin motorlu veya motorsuz el makineleri ile çalışılması, bir taşıt aracını sürmek veya donanımı kullanmak vb. dikkate alındığında, makinelerin iş kazaları içindeki payının %8,81'den %33,04'e kadar çıktığı görülmektedir.

Tüm sektörlerde makinelerden kaynaklı iş kazası yaşanması muhtemeldir ancak makinelerin yoğun olarak kullanıldığı kimi sektör çalışanları diğerlerine göre daha fazla riske maruz kalmaktadır. İş kazaları, işyerinin yürütmüş olduğu faaliyete göre değerlendirildiğinde, makine ve ekipmanlardan kaynaklı oluşan kazalarda; ana metal sanayi, fabrika metal ürün imalatı ve makinelerin kurulumu ve onarımı faaliyetleri karşımıza çıkmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2: İş Kazalarının İşyerleri Faaliyetine Göre Dağılımı (2013-2022)

Faaliyet Grubu/Yıllar	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fabrikasyon metal ürünleri imalatı (makine ve teçhizat hariç)	15.559	18.529	19.221	20.616	23.627	25.716	24.085	22.746	30.599	33.770
Ana metal sanayi	12.061	12.357	12.529	13.081	15.670	17.403	16.413	15.782	21.868	22.775
Makine ve ekipmanların kurulumu ve onarımı	2.560	3.592	3.920	4.277	3.797	4.756	5.420	5.124	7.159	8.941
Makinelerle ilişkili sektörlerde iş kazalarının toplamı	30.180	34.478	35.670	37.974	43.094	47.875	45.918	43.652	59.626	65.486
İş kazaları genel toplamı	191.389	221.366	241.547	286.068	359.653	430.985	422.463	384.262	511.084	588.823
Makinelerle ilişkili sektörlerde iş kazalarının (%) payı	15,8	15,6	14,8	13,3	12,0	11,1	10,9	11,4	11,7	11,1

Kaynak: SGK istatistik yıllıklarından derlenmiştir.

2013 yılında makine ve ekipman kurulumunda yaşanan iş kazalarının toplam kazaların içerisindeki oranı; 2013 yılında %1,34 iken 2022 yılında %1,52 olarak gerçekleşmiştir. Kullanılan yeni teknoloji, bakım onarım ekipmanlarındaki yenilikler, iş izin sistemleri, etiketleme kilitleme sistemleri vb. rağmen makine ve ekipmanlar çalışanlar için hala ana tehlike kaynaklarıdır. İş kazaları sonucu ölümler işyerinin faaliyet gurubuna göre değerlendirildiğinde makine ve ekipmanlarından kaynaklı çok sayıda ölümlü iş kazası meydana gelmiştir (Tablo 3). 2013 yılında sadece makine ve ekipmanların kurulumu esnasında yaşanan iş kazaları sonucu meydana gelen ölümlerin toplam içerisindeki oranı %1,69 iken bu rakam 2022 yılında %1,05 olarak gerçekleşmiştir. Aşağıda sıralanan ve sektörlerde yürütülen diğer iyileştirme adımları ölümlü iş kazalarının azalmasında az da olsa bir etkisinin olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3: İş Kazaları Sonucu Ölümlerin İşyerlerinin Faaliyet Gruplarına Dağılımı (2013-2022)

Faaliyet Grubu/Yıllar	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fabrikasyon metal ürünleri imalatı (makine ve teçhizat hariç)	35	31	37	27	36	48	31	20	36	34
Ana metal sanayi	34	14	21	30	29	43	19	32	35	32
Makine ve ekipmanların kurulumu ve onarımı	23	23	16	16	9	15	15	19	14	16
Makinelerle ilişkili sektörlerde iş kazaları sonucu ölen sigortalı sayısı	92	68	74	73	74	106	65	71	85	82
İş kazaları sonucu ölen toplam sigortalı sayısı	1.360	1.626	1.252	1.405	1.633	1.541	1.147	1.231	1.382	1.517
Makinelerle ilişkili sektörlerde ölümlerin payı-%	6,8	4,2	5,9	5,2	4,5	6,9	5,7	5,8	6,2	5,4

Kaynak: SGK istatistik yıllıklarından derlenmiştir.

Makine Güvenliği Temel Standartlar

Türkiye'de makine güvenliği, makinelerin güvenli bir şekilde tasarlanmasını, kullanılmasını ve çalıştırılmasını sağlamayı amaçlayan çeşitli standartlar ve yönetmeliklerle düzenlenmektedir. Türkiye'de makine güvenliği ile ilgili temel standartlar ve düzenlemelerden bazıları şunlardır:

- TS EN ISO 12100: Makinelerde güvenlik- Tasarım için genel ilkeler- Risk değerlendirmesi ve risk azaltma: Bu standart, uluslararası ISO 12100 standardını temel alır ve makine tasarımında risk değerlendirme ve risk azaltma süreci için kılavuzlar sağlar.

Mühendislikte Güncel Yaklaşımlar

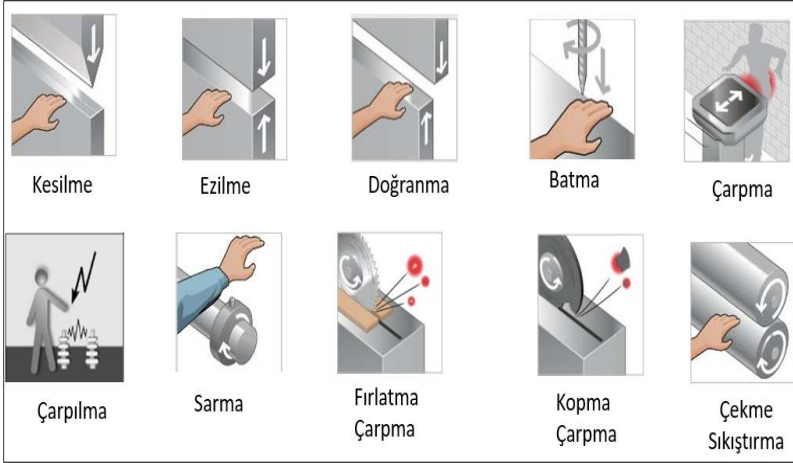
- TS EN ISO 13849-1: Makinalarda güvenlik- Kontrol sistemlerinin emniyetle ilgili parçaları- Bölüm 1: Tasarım için genel prensipler: Bu standart, makinalarda emniyetle ilgili kontrol sistemlerinin tasarımı ve doğrulanması için genel prensipleri ve gereklilikleri belirler.
- TS EN 60204-1: Makinelerde güvenlik- Makinelerin elektrikli donanımı- Bölüm 1: Genel gereklilikler: Bu standart, makinelerin elektrikli donanımını ve güvenlikle ilgili yönlerini kapsar ve bunların tasarımı, yapımı ve işletilmesi için gereklilikleri sağlar.
- TS EN 61439-1: Alçak gerilim şalt ve kontrol düzenekleri- Bölüm 1: Genel kurallar: Bu standart, alçak gerilim şalt ve kontrol düzeneklerinin tasarım, yapım ve performanslarıyla ilgili güvenlik hususları da dâhil olmak üzere genel gereklerini belirtir.
- TS EN 953+A 1 -2011: Makinalarda güvenlik-koruyucular-sabit ve hareketli koruyucuların tasarımı ve yapımı için genel özellikler.
- TS EN ISO 13857 -2009: Makinalarda güvenlik-kol ve bacakların ulaşabileceği bölgelerde tehlikenin önlenmesi için güvenlik mesafeleri.
- EN ISO 13849 -2009: Makine güvenliği kontrol sistemlerinin güvenlikle ilgili parçaları.
- EN ISO 13855 -2010: Makine güvenliği insan vücudunun bölümlerinin yaklaşma hızlarına göre koruyucuların konumlandırılması.
- ISO 14971 -2007: Risk yönetiminin tıbbi cihazlara uygulanması.
- EN 1088 -2007: Makine güvenliği korumalarla ilişkili kilitleme cihazları.
- EN 61511 Fonksiyonel güvenlik proses endüstrisi için güvenlik enstrümanlı sistemler.

Standartların ve düzenlemelerin periyodik olarak güncellenebileceğini veya revize edilebileceğini not etmek önemlidir. Türkiye'deki en güncel makine güvenliği standartlarına uygunluğu sağlamak için Türk Standartları Enstitüsü'nün (TSE) resmî web sitelerine ve ülkedeki İSG' den sorumlu ilgili düzenleyici kurumlara başvurulması önerilir.

Makinelere Özgü Tehlikeli Durumlar

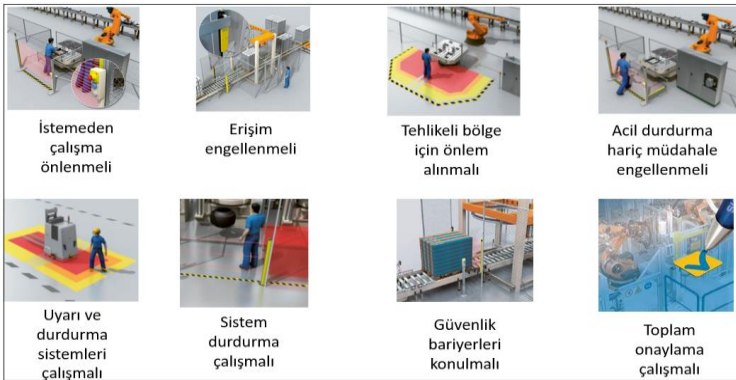
Makineler çalışma şekli ve fiziksel özelliklerine göre makine operatörleri, bakım operatörleri ve çevresindeki diğer çalışanlar, stajyer ve çıraklar hatta ziyaretçiler için risk oluşturabilmektedir. Makineler kesme, ezme, doğrama, batma, çarpma, sarma ve sıkışma gibi çok sayıda sebeple çalışanların zarar görmesine neden olabilmektedir (Şekil 3). Bu benzeri durumlar nedeniyle SGK verilerinden de yola çıkarak çok sayıda kaza meydana geldiği ve kazaların yaralanma, uzuv kaybı ve ölümlerle sonuçlandığı görülmüştür. Doğru metotların kullanıldığı ve makinelerin çalışanlara zarar verecek operasyon bölgelerine

öncelikle odaklanarak yürütülen risk değerlendirmesi, bu nedenle yüksek öneme sahiptir. Risk değerlendirmeleri yürütürken makine-makine, makine-çevre, makine-insan ve makine-çevre-insan etkileşimi de göz ardı edilmemelidir.



Şekil 3: Makinelerde Görülebilir Yaralanmaya Sebep Olabilecek Etkiler (Türer, 2013).

Makinelere özgü çok sayıda tehlike kaynağı ve risk varsa yine makineler özgü önlemler alınarak bu yüksek risk seviyesi düşürülebilmektedir. Makinelerin özelliklerine göre istemeden çalıştırma engelleme, erişim engelleme, acil durdurma, bariyer, toplam onaylama gibi önlemler ile riskler düşürülerek tüm çalışma alanları ve makineler insana yakışır işler haline dönüştürülmelidir (Şekil 4).



Şekil 4: Makineler ve çevresi için alınabilecek önlem örnekleri (Türer, 2013).

Risk Değerlendirmesi

Risk değerlendirme işyeri veya eklentilerinin tamamında ve tüm faaliyetlerin işleyişinde var olan veya ortaya çıkabilecek tehlikelerin belirlenmesi için yürütülen çalışmalar bütünüdür (Card vd., 2012). Risk değerlendirme İSG ve finansal karlılık açısından küçük veya büyük işletmeler için yüksek öneme sahiptir. Ayrıca risk değerlendirmesinin yasal zorunluluklar, denetimler ve cezalar önemini giderek arttırmaktadır (Tekin ve Erol, 2016). İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli tüm çalışmalar risk değerlendirme kapsamındadır.

Makine risk değerlendirme üç aşamada yapılır:

1. Makine tasarlanırken imalatçı tarafından
2. Makine kullanılırken operatör tarafından
3. Bakım onarım ve periyodik kontrol sorumlusu tarafından

Güvenliğin tasarım aşamasına entegrasyonu, makine güvenliğinde hala temel prensiptir ve tasarımcılar, operatörün gelecekteki kullanımı sırasında ortaya çıkabilecek potansiyeli risk senaryolarında öngörmelidir (Gauthier vd., 2021). Makine tasarlanırken imalatçı tarafından yapılan risk değerlendirme ticari olarak ürün satan firmanın makinenin teknik özellikleri ile riskleri belirlediği ve riskler için önlemler geliştirdiği kısmı kapsamaktadır. Makine kullanılırken kullanıcı tarafından yapılan risk değerlendirme ise makine operatörü, diğer çalışanlar ve çevresel olarak etkilenenler dâhil makine park yeri ve çevresi ile ilgili yapılan risk değerlendirmesidir. Makine kurulması, taşınması, bakımı ve onarımından sorumlu olan çalışanlar, makine operatörlerinin aksine makinelerin tehlike arz eden bölümlerine makine koruyucuları olmaksızın müdahale etmek zorunda olan çalışanlardır. Dolayısıyla bir iş kazasına maruz kalma olasılıkları yüksektir. Makinelerle yürütülen kontrol, bakım, onarım, taşıma, ayar, temizlik ve kalibrasyon gibi faaliyetlerin mutlaka risk değerlendirme sürecine dahil edilmesi oluşabilecek tehlike ve risklerin tespit edilmesi açısından önemlidir.

Makinelerde Risk Değerlendirmesi

Makineler tüm işletmelerde hammadde hazırlama, ürünleri iletme, işleme, paketleme, yükleme ve benzeri tüm süreçlerde görev almaktadır. Bu nedenle bir fabrikada yüzlerce farklı makine bulunabilmekte ve bu makineler yan yana birbirlerini etkileyebilecek yakınlıkta çalıştırılmaktadır. Makinelerde var olan bir olumsuzluk sadece operatörleri ve kullanıcılarını değil yakın çevrede

çalışanlar başta olmak üzere tüm çalışanları etkileyebilmektedir. Ayrıca her bir makinenin özelliği, hareket kabiliyeti, kullandığı enerji kaynağı gibi değişkenler o makinenin özelinde farklı risklerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle her bir makine özel olarak ele alınmalı ve makinelerin risk değerlendirmesi genel değil tüm makineler özelinde gerçekleştirilmelidir. Bu durum işverenler açısından aynı zamanda yasal bir zorunluluktur.

6311 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu işverenleri, her türlü tedbirin alınması, mevcut durumun iyileştirilmesi ve sağlık ve güvenlik tedbirlerinin değişen şartlara uygun hale getirilmesinden sorumlu tutmuştur. Risk değerlendirmesi, Kanun'un en kritik maddelerinden biri olup işverenin, İSG yönünden risk değerlendirmesi yapmak veya yaptırmakla yükümlü olduğu belirtilmiştir. İSG Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği'ne göre risk değerlendirmesi, "İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmalar" olarak tanımlanmaktadır. İşveren yapılan risk değerlendirme sonuçlarına göre önlem almakla yükümlüdür.

Bu çalışmada makinelerdeki tehlike ve risklere odaklanılmıştır. İşletmelerde üretim süreçlerinde çok sayıda makine kullanılmaktadır. Her makinenin kendilerine has özellikleri mevcuttur. Dolayısıyla makine kullanıcıları ve diğer çalışanlar her ne kadar işletmenin daimî çalışanları olsalar bile makineye özgü tehlike kaynaklarının bazen farkında olamamaktadırlar. Bu nedenle makineler kendine has tehlikeleri göz önünde bulundurularak risk değerlendirmesine alınmalıdır. Risk değerlendirmesi, makine operatörü dâhil edilerek görevlendirilmiş olan risk değerlendirme ekibince yapılmalıdır. Böylece makineye özgü riskler ortaya çıkacaktır. Makinelere ilişkin tehlikelerin belirlenmesinde üretim süreç ve tekniklerinin yanı sıra makinelerin taşınması, tamiri, bakımı, parça değişimi, temizlik, yağlama ve ayar gibi makine ile ilişkili diğer faaliyetler de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu faaliyetlerin bir kısmı makine operatörleri tarafından yerine getirilirken bir kısmı işyerlerindeki bakım onarım ekibi tarafından diğer bir bölümü de makine servis firmaları tarafından yürütülür. Rutin üretim faaliyetlerinin risk analizinin ardından risk değerlendirme ekibinin ilgili kişilerce desteklenmesi sağlanarak bakım onarım işleri de dâhil her türlü faaliyetin ve çalışma usullerinin gözden geçirilmesi gerekliliği unutulmamalıdır.

Makineler bu kapsamda ele alındığı zaman işyerinde;

- Makine imalatı çalışanları,
- Makine nakliye çalışanları,

Mühendislikte Güncel Yaklaşımlar

- Makine kurulum çalışanları,
- Makine operatörleri,
- Makine bakım ve onarım çalışanları,
- Makine teknik periyodik kontrol faaliyetlerini yürüten çalışanlar,
- Makinelerin etkilediği çevreye yakın çalışanlar

İçin risk oluşturmaktadır.

İşyerinde kullanılan tüm makineler potansiyel olarak tehlike kaynaklarını bünyesinde barındırmakta çeşitli risk seviyelerinde risklere sahip olabilmektedir. Herbiri bir veya birden fazla tehlike ile bu tehlikelerin kombinasyonlarını içerir. Makine risk değerlendirmesi için öncelikli olarak makinelerin özellikleri bilinmelidir. Makinelerin çalışma yöntemi, makinelerin kullanmış oldukları enerji kaynağı, makinenin işyerindeki fiziksel park yeri, çevresel risk etmeleri, operatör kaynaklı tehlike kaynaklar vb. durumlar için tehlike kaynakları tanımlanmalıdır.

İşyerinde çalışan gurupları için tehlike oluşturan makine kaynaklı tehlike faktörleri:

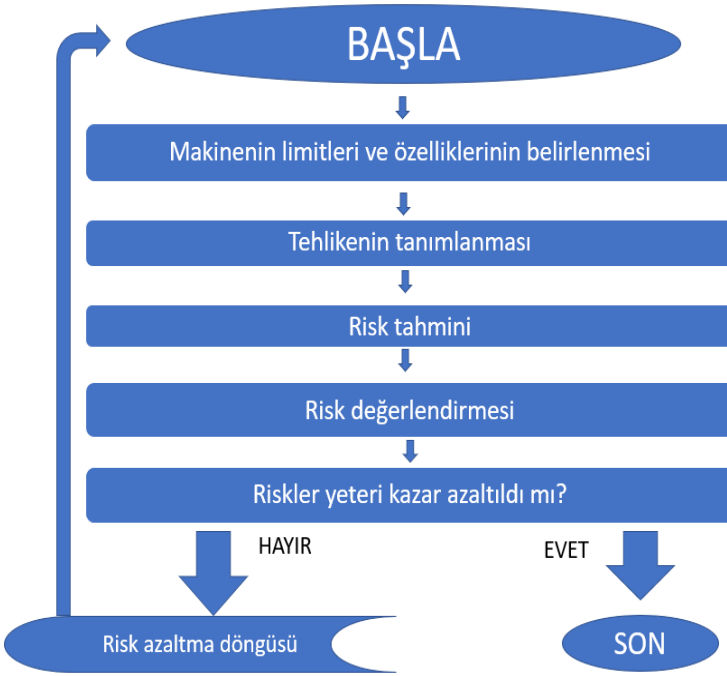
- Mekanik tehlikeler barındıran (korumasız hareket eden parçalar, keskin, köşeli, sivri kenarlar ve köşeler, çapaklı yüzeyler vb.)
- Elektrik tehlikeleri (açıkta elektrik akımı olan parçalar, kaçak akım koruma, yetersiz izolasyon, kısa devre, elektrostatik yüklenme, yetkisiz personel tarafından müdahale, uygun olmayan kişisel koruyucu donanım vb.)
- Isıl tehlikeleri (işlenen sıcak malzemeler, sıcak yüzeyler, sıcak buhar, açık alev, sıcak boru hatları, soğuk malzemeler, soğuk yüzeyler, soğuk metal parçalar, vb)
- Fiziksel tehlikeler barındıran (gürültü seviyesi yüksek, tüm vücut titreşimi üreten, el kol titreşimi üreten makineler, yüksek veya düşük basınç vb.)
- Işımadan kaynaklı tehlikeler barındıran (iyonize olmayan ışınlar: mor ve kızıl ötesi, lazer ışınları gibi, iyonize ışın: röntgen, gama, parçacık radyasyonu yayan cihazlar gibi, elektromanyetik alanlara maruz kalma vb.)
- Kullanılan malzeme ve maddelerden kaynaklanan tehlikeler barındıran (asitler, bazlar, soğutma sıvıları, çözücü maddeler, yağlar, cildi tahriş eden maddeler, kanserojen, kalıtsal değişikliğe yol açan maddeler, tozlar, dumanlar, buharlar, patojen mikroorganizmalar vb.)
- Makine tasarımında ergonomik prensiplerin ihmal edilmesinden kaynaklanan tehlikeler barındıran (ağır dinamik çalışma, statik çalışma, sürekli tekrarlayan hareketler, ayakta sabit durma, dar alanlarda çalışma,

baş üstü çalışma, ayak pedalı ile çalışma, gövdenin yana veya öne eğik çalışması, yük tutma vb.)

Makine risk değerlendirmesi aşağıdaki açılardan bakılarak yapılmalıdır.

- Makine üretimi (sahip olması gereken standartlar)
- Makine emniyeti ve otomasyon (mekanik, elektronik, termal vb. korumalar)
- Makine kabulleri ve CE gereksinimleri
- Bakım ve onarım planları ve ekipleri (Etiketleme-Kilitleme sistemleri)
- İş izin sistemleri
- Makine koruma planları
- Makine teknik periyodik kontrolleri
- Makine güvenlik işaretleri ve etiketleri
- Risk değerlendirmesinin yenilenme süreleri ve yenileme gereklilikleri.

Tehlike kaynaklarına göre risk değeri tahmin edilir. Riskin ortaya çıkma olasılığı ve riskin ortaya çıkmasıyla oluşturacağı zararın etkisi gözden geçirilerek riskler değerlendirilmelidir. Yapılan risk değerlendirmesinden riskin kabul edilip edilmeyeceğine karar verilir, kabul edilemeyen yeteri kadar azaltılamamış riskler için risk değerlendirme döngüsünün ilk adımına tekrar dönmek gereklidir. Riskler yeteri kadar azaltılmış ve risk seviyesi kabul edilebilir seviyeye ulaşmış ise mevcut önlemlerin sürdürülmesine yönelik kontrol önlemleri planlanarak risk analizi tamamlanmalıdır (Şekil 5).



Şekil 5: Makinelerde risk değerlendirme döngüsü

Ayrıca risk değerlendirmelerinde makine koruyucularının sökülmesi ve devre dışı bırakılması değerlendirilmeli ve bu durum ile ilgili önleyici ve iyileştirici faaliyetler önerilmelidir. İnsanların güvenliğini sağlamak amacıyla tasarlanan makine koruyucuları çeşitli amaçlar ile devre dışı bırakılmakta veya çıkarılmaktadır. Bunlardan biri bu durumun çalışana kolaylık sağlayacağı ve verimliliği artıracağına inanmasıdır. Bazı kişiler, görevlerini yerine getirirken kolaylık veya verimliliği artırmak için makine korumalarını çıkarabilir. Korumaları çıkarmanın, daha hızlı çalışmalarına veya makine bileşenlerine daha kolay erişmelerine izin verdiğine inanabilirler. Ancak, güvenlik önlemlerinin bu şekilde dikkate alınmaması ciddi kazalara veya yaralanmalara neden olmaktadır. Bunlardan diğeri çalışanın düşük farkındalığı sebebiyle makine korumalarının önemini veya bunların çıkarılmasıyla sonucu potansiyel riskleri bilmemesidir. Ayrıca makinenin çalıştırılması ve güvenlik prosedürleri hakkında yetersiz eğitim, kişilerin ilgili potansiyel tehlikeleri tam olarak anlamadan korumaları kaldırmasına neden olabilir. Uygun eğitim programları, makine korumalarının önemini ve bunların çıkarılmasının olası sonuçlarını vurgulamalıdır. Ayrıca maliyetler düşünülerek makine korumaları ek bir masraf veya üretkenliğe engel olarak algılanabilir. Bazı kişiler veya kuruluşlar, uzun

vadeli güvenlik hususları yerine kısa vadeli maliyet tasarruflarına veya operasyonel verimliliğe öncelik verebilir. Ancak bu bakış açısı, kazaların veya yaralanmaların potansiyel mali ve insani maliyetlerinin farkında değildir. Makine koruyucuları bakım veya onarım faaliyetleri sırasında geçici olarak çıkarılabilir. Ancak, uygun kilitleme/etiketleme prosedürleri izlenerek bakım işi tamamlandıktan sonra korumaların yeniden takıldığından emin olunmalıdır.

Tüm bu noktaların yanında; yapılacak risk değerlendirmesi için tercih edilecek metotta çok önemlidir. Literatürde risk değerlendirme çalışmalarını yürütmek üzere pek çok yöntem bulunmaktadır. Çalışmanın bu aşamasına ULAKBİM, Google Akademik, Ulusal Tez Merkezi ve EBSCO dizinlerinin/veri tabanlarının üzerinden Ulakbim TR Dizin, Dergi Park, Google Akademik arama motoru ve Ulusal Tez Merkezi veri tabanı üzerinden makinelerde yürütülen risk değerlendirme yöntemlerine ulaşmak için bir tarama gerçekleştirilmiştir. Tablo 4, literatürde daha önceden kullanılmış olan risk değerlendirme yöntemleri, farklı kaynaklardan derlenerek oluşturulmuştur. Türkçe yazılmış kaynaklara ve içerisinde “makine”, “makine koruyucuları”, “metot”, “risk analizi”, “risk değerlendirme” anahtar kelimeleri geçen çalışmalara odaklanılmıştır. İşletmenin tamamının risk değerlendirmesini yapan çalışmalar yerine seçilmiş makineleri esas alarak analiz yürüten çalışmalar dâhil edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4’de yer alan veriler incelendiğinde, makinelerdeki tehlike ve riskleri tanımlamak için en fazla FMEA Metodu (f=4), Fine Kinney Metodu (f=3) ve 3T Risk Değerlendirme Metodunun (f=2) araştırmacılar tarafından tercih edildiği görülmüştür. Risk değerlendirmesi yapmak için literatürde kullanılan çok sayıda yöntem bulunmaktadır.

Tablo 4: Makinelere Risk Değerlendirme Araştırmalarında Kullanılan Yöntemler

No	Kullanılan metod	Çalışma başlığı	Yazar, yıl	Çalışma türü
1	5X5 L Tipi Matris Metodu	Yüksek Fırınlarda İşletiminde Risk Değerlendirilmesinin Yapılması ve Geliştirilmesi	(Topaloğlu, Koç, & Öztürk, 2015)	Araştırma Makalesi
2	FMEA (Hata Türü Etkileri Analizi) Metodu	Hata Türü Etkileri Analizi Yöntemi ile Bir Asansörün Yapıya Tesis Edilmesinde Risk Analiz Çalışması	(Keçeci, 2017)	Yüksek Lisans Tezi
3	3T Risk Değerlendirme Metodu	Uygulama Atölyelerinin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından İncelenmesi ve Risk Analiz Uygulaması	(Koçak, 2019)	Yüksek Lisans Tezi
4	5X5 L Tipi Matris Metodu Fine Kinney Metodu	L Tipi (5x5 Matris) Risk Analiz Yöntemi ve Fine Kinney Yöntemi İle Yapı Makinalarında Risk Değerlendirmesi	(Korkmaz, 2020)	Yüksek Lisans Tezi
5	Fine Kinney Metodu FMEA Metodu	CNC ve Freze Tezgahlarında Fine-Kinney ve FMEA Yöntemleriyle Risk Analiz Uygulamaları ve Karşılaştırılması	(Uçum, 2020)	Yüksek Lisans Tezi
6	Fine Kinney Metodu	Cam Şekillendirme Tesislerinde Kesim Hattında İş Sağlığı Ve Güvenliği Risklerinin Değerlendirilmesi	(Görece, Kitiş, & Topal, 2021)	Araştırma Makalesi
7	HRNS (Hazard Rating Number System) Risk Değerlendirme Metodu	Makine Tasarımında Koruyucuların Bulunmaması, Ayrı Parça Olarak Satışı ve İptal Edilmeleri Durumunda İş Kazalarına ve Giderlere Etkisi	(Maç, 2021)	Araştırma Makalesi
8	HRNS Risk Değerlendirme Metodu FMEA Metodu	Gıda Paketleme Makinelerinin Kullanım Risklerinin HRNS Metodu ve FMEA Yöntemi ile Karşılaştırılması	(Oral & Bayhun, 2021)	Araştırma Makalesi
9	FMEA Metodu	Universal ve CNC Kontrollü Torna Tezgahlarında FMEA Yöntemiyle Risk Değerlendirme Uygulaması	(Bağırın & Erçetin, 2022)	Araştırma Makalesi
10	3T Risk Değerlendirme Metodu	3T Risk Değerlendirme Tekniği Üzerinden Kars DSİ Atölyeleri Risk Analiz ve Değerlendirilmesi	(Soylu, 2022)	Yüksek Lisans Tezi
11	FRAM (Fonksiyonel Rezonans Analiz) Metodu	Tersanelerde Vinç ile Yük Elleçleme Operasyonları ve FRAM Yöntemi Kullanılarak Risk Analizi	(Özsayan & Barlas, 2023)	Araştırma Makalesi

Tabloda yer alan yöntemlerin dışında; John-Ridley risk değerlendirme yöntemi, Risk Değerlendirme Karar Matrisi (RADM), Fonksiyonel Rezonans Analiz Yöntemi (FRAM) vb. yöntemler makine risk değerlendirmelerinde kullanılmaktadır. Özel olarak ise makineler için, makinelerde risk değerlendirmesi ve risklerin tahmini Hazard Rating Number System (HRNS) yöntemi kullanılabilir. Yöntemlere göre bazı değişiklikler bulunmakla birlikte makine risk değerlendirmesinin yapılması işletmeler için en önemli güvenlik unsurudur. Çalışmanın bu bölümünde risk değerlendirme yöntemlerinin içeriğine giriş yapılmamıştır.

SONUÇ

Makine risk değerlendirmesi makinelerden kaynaklı risklere bağlı ve SGK verileri çerçevesinde iş kazaları, iş kazaları sonucu ölüm ve iş göremezlik verilerine göre değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. İşyerindeki tüm makine ve ekipmanlar özelinde ayrı ayrı risk değerlendirmesi yapılmalıdır. Makinelere özgü riskler çıkarılmalı ve bu risklere yönelik önleyici ve iyileştirici faaliyetler önerilmelidir. Risk değerlendirmesi sonrası tüm süreçler takip edilmeli ve risk değerlendirmesinde elde edilen veriler makinelerden kaynaklı tehlikelerden etkilenecek personelin eğitiminde kullanılmalıdır.
2. Makine ve ekipmanlarından kaynaklı iş kazaları, iş kazaları sonucu ölüm ve iş göremezlik verileri yıllara göre değişmekle birlikte tüm kazalar içerisindeki oranı yüksek seyretmektedir. Makine risk değerlendirmelerinin kurulmadan önce, çalışma sırasında, makinelerin yer değiştirmesi halinde ve bakım, onarım vb. bakımları sırasında ve sonrasında yapılması/yenilenmesi yararlı olacaktır. Makinelere kaynaklı riskler etki alanı ve çevresi düşünülerek etkilenen tüm çalışanlara bildirilmeli ve etki alanında bulunan çalışanlara eğitimler verilmelidir.
3. İşverenler gerek makineleri kullanan gerekse bakım ve onarım görevlerini yerine getiren yetkili personellerini yazılı olarak görevlendirmeli ve hizmet öncesi ve hizmet içi eğitimler ile eğitmelidir.
4. Bakım ve onarım yapılan makineler çalıştırılmadan önce kontrol edilmeli ve koruyucu kısımlarının eksiksiz montajın tamamlandığı raporlanmalıdır.
5. Makinelerin imalattan gelen koruyucu kısımları sökülmemeli ve sensör, switch, buton vb. iptal edilmemelidir. Makineler her çalışma öncesinde kontrol edilmelidir.
6. Güvensiz ve uygunsuz makineler kullanılmamalıdır. Makine de “CE” uygunluk işareti bulunmalı ev makine alımlarında teknik şartnamelerde standartlara uygun makineler tarif edilmelidir.
7. Bakım ve onarımlar için Etiketle Kilitte Emniyete Al Dene (EKED) sistemleri kullanılmalı, çalışanlara gerekli ekipmanlar sağlanmalı ve eğitim verilmelidir.
8. Hareketli kısımları bulunan ve hareket alanının tarayarak çalışan makineler için tarama yerleri işaretlemeli ve girişler engellenmelidir. Giriş yapılması halinde durdurma sistemi çalışmalıdır.
9. Makinelere kaynaklı ve diğer tüm kazalar için, kaza kök neden analizi yapılmalıdır ve kazaları olmaması için kalıcı çözümler aranmalıdır.

10.Makine kontrol listesi her makine için doldurulmalı ve yetkili onayına sunulmalıdır.

Makine korumalarının çıkarılmasının, makineleri çalıştıran veya yakınında çalışan kişilerin güvenliği ve refahı için önemli riskler oluşturduğuna dikkat etmek önemlidir. Makine korumaları tipik olarak kazaları, yaralanmaları ve potansiyel ölümleri önlemek için tasarlanır ve kurulur. Güvenli bir çalışma ortamı oluşturmak için uygun güvenlik protokollerini takip etmek ve makine korumalarını korumak çok önemlidir. Güvenli işyeri ve insana yakışır işler için İSG işyerinin öncelikli konuları arasında olmalıdır. İSG politikasına sahip işletmelerde Proaktif yaklaşım ile ramak kala olayların kayıtları alınmalı zamanında periyodik kontroller yapılmalıdır. Böylece işyerinin tamamında İSG ile ilgili bir kazanım sağlanacak olup bu kazanım İSG kültürünün kalıcı olmasını sağlayacaktır.

REFERANSLAR

- Bağır, H. E., ve Erçetin, R. (2022). Universal ve CNC kontrollü torna tezgahlarında FMEA yöntemiyle risk değerlendirme uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), s. 24-31.
- Bulut, A., Ünal, E., ve Şengül, H. (2020). Makine ve Tıbbi Cihaz Kullanan Hastane Çalışanlarının İş Sağlığı ve Güvenliğine Yönelik Algılarının İncelenmesi. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 4(1), 25-37.
- Card, A. J., Ward, J. R., ve Clarkson, P. J. (2012). Beyond FMEA: the structured what-if technique (SWIFT). *J Healthc Risk Manag*, 31(4), 23-29.
- Cataklı, M. N., ve Ayberk, S. İ. (2020). Risk Assessment of subway construction. *OHS Academy*, 3(1), 9-12.
- Ceylan, H., Kaplan, A., ve Bekar, M. (2021). High-risky sectors in terms of work accidents in Turkey. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 14(1), s. 45-57.
- Chinniah, Y. (2015). Analysis and prevention of serious and fatal accidents related to moving parts of machinery. *Safety Science*, 75, s. 163-173.
- Costa, N., et al. (2018). Risk assessment in the machinery sector: A literature review. *Safety Science*, 105, 257-266.
- Çakır, A. K. (2018). Makine Bazlı Risk Değerlendirmesi. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 1(1), 1-10.
- Çebi, S., & Temizoğlu, H. (2020). Makine Tabanlı Dinamik Risk Analizi İçin Bir Karar Destek Sistemi Geliştirme. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, Prof. Dr. Talha Ustasüleyman Özel Sayısı*, 149-166.
- Çınar, U. (2023). A new accident analysis model proposal in occupational safety risk management: "Star diagram". *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 21(48), s. 205-219.
- Demir, A., ve Öz, A. (2018). Teolojik açıdan iş kazalarının incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(14), s. 189-197.
- Gauthier, F., Chinniah, Y., Abdul-Nour, G., Jocelyn, S., Aucourt, B., Bordeleau, G., and Mosbah, A. B. (2021). Practices and needs of machinery designers and manufacturers in safety of machinery: An exploratory study in the province of Quebec, Canada. *Safety Science*, 133, s. 1-12.
- Göreke, C., Kitiş, Ş., ve Topal, A. (2021). Cam şekillendirme tesislerinde kesim hattında iş sağlığı ve güvenliği risklerinin değerlendirilmesi. *İSG Akademik – OHS Academic*, 3(1), s. 47-69.
- Guide to Application of The Machinery Directive*. (June, 2010). Retrieved from Machinery Directive

- Kaya, E. Ç., Ölmezoğlu, N. İ., & Takaoğlu, Z. B. (2018). Risk Değerlendirmesi Ne Kadar Önemli? "İşveren Bakış Açısı". *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 7(7), 10-18.
- Kayabaşı, R. (2019). İşyeri İş Sağlığı ve Güvenliği Politikalarının Çalışanların Örgütsel Bağlılığına Etkisi. *Mesleki Bilimler Dergisi*, 8(2), 133-143.
- Keçeci, Ş. (2017). *Hata türü etkileri analizi yöntemi ile bir asansörün yapıya tesis edilmesinde risk analiz çalışması*. İstanbul: Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Khan, F., & Abbassi, R. (2013). A review of machine risk assessment methods. *Safety Science*, 55, 276-283.
- Koçak, A. (2019). *Uygulama atölyelerinin iş sağlığı ve güvenliği açısından incelenmesi ve risk analiz uygulaması*. Ankara : Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Korkmaz, G. (2020). *L tipi (5X5 Matris) risk analiz yöntemi ve Fine Kinney yöntemi ile yapı makinalarında risk değerlendirilmesi*. Ankara: Çankaya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Levallois, S., et al. (2019). Machine risk assessment in the European machinery sector. *Safety Science*, 113, 297-310.
- Maç, B. (2021). Makine tasarımında koruyucuların bulunmaması, ayrı parça olarak satışı ve iptal edilmeleri durumunda iş kazalarına ve giderlere etkisi. *İş Sağlığı ve Güvenliği Akademi Dergisi*, 4(3), s. 48-70.
- Oral, T., ve Bayhun, S. (2021). Gıda paketleme makinelerinin kullanım risklerinin HRNS metodu ve FMEA yöntemi ile karşılaştırılması. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 4(4), s. 168-178.
- Özsayan, S., ve Barlas, B. (2023). Tersanelerde Vinç ile Yük Elleçleme Operasyonları ve FRAM Yöntemi Kullanılarak Risk Analizi. *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi* (223), s. 13-28.
- Palaniappan, A., et al. (2020). Machine risk assessment: An engineering approach. *Safety Science*, 121, 476-484
- Potts, I., & Bovenzi, F. (2019). Machine risk assessment: An industry review. *Safety Science*, 111, 18-30.
- Soylu, M. (2022). *3T risk değerlendirme tekniği üzerinden Kars DSİ atölyeleri risk analiz ve değerlendirilmesi*. Kars: Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tekin, P., & Erol, R. (2016). Risk Analizi: Bir Otomotiv Fabrikasında Gerçekleştirilen X Tipi Karar Matrisi Uygulaması. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 91-98.

Mühendislikte Güncel Yaklaşımlar

- Topaloğlu, G., Koç, A., ve Öztürk, N. A. (2015). Yüksek fırınların işletilmesinde risk değerlendirilmesinin yapılması ve geliştirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 56(661), s. 55-63.
- TMMOB. (2014). *İş Sağlığı ve Güvenliği Oda Raporu*. Retrieved from Makina Mühendisleri Odası
- Türer, N. (2013). *Makine Emniyeti Risk Değerlendirmesi*. Retrieved from
- Uçum, M. (2020). *CNC VE freze tezgahlarında Fine Kinney ve FMEA yöntemleriyle risk analiz uygulamaları ve karşılaştırılması* . İstanbul: İstanbul Esenyurt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bölüm 10

**Betonarme Binalarda Zemin Sınıfının
Yapısal Davranışa Etkisi**

İbrahim Baran KARAŞİN¹

¹ Dicle Üniversitesi, Diyarbakır Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Teknolojisi Bölümü,
baran.karasin@dicle.edu.tr

ÖZET

Türkiye'de sıklıkla meydana gelen orta ve büyük ölçekli depremler, bina ve can güvenliği konularını acil ve öncelikli hale getirmektedir. Ülke genelindeki yapıların büyük bir kısmı betonarme yapı olara inşa edildiğinden, bu tür yapıların depreme karşı dayanıklılığının araştırılması ve sismik güvenliği etkileyen parametrelerin ayrıntılı bir şekilde analiz edilmesi kaçınılmazdır. Yapı güvenliğini belirleyen temel faktörlerden biri, deprem etkilerinin nasıl sönümlendiğidir. Bu nedenle, betonarme yapıların deprem davranışının ve güvenliğinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi, deprem mühendisliği alanında önde gelen bir araştırma alanı haline gelmiştir.

Bununla birlikte, yapı güvenliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olan bir başka faktör de yerel zemin koşullarıdır. Yerel zemin koşulları, sismik hareketlerin doğasını doğrudan etkileyebilir ve bu tür zeminler üzerine inşa edilen mevcut yapılar üzerinde ciddi hasarlara neden olabilir. Bu çalışma, farklı zemin sınıflarının yüksek süneklik düzeyine sahip betonarme yapılar üzerindeki etkisini incelemeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, betonarme bir bina örnek olarak seçilmiş ve analizler için statik adaptif pushover analiz yöntemi kullanılmıştır. İncelenen zemin tipleri olarak ZA ve ZE zemin sınıfları tercih edilmiştir. Ayrıca analiz sonuçları EuroCode8 hasar sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, aynı tipteki yapıların farklı zemin tipleri üzerinde farklı performanslar sergileyebileceğini açıkça göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Yapı güvenliği, Süneklik, Betonarme, Zemin sınıfı, Deprem davranışı

Giriş

Türkiye'nin yaklaşık %92'lik kısmı deprem kuşağında yer almaktadır. Depremler süresi ve bırakacağı etki önceden tahmin edilemeyen felaketlerdir. Bu belirsizliğin var olması sebebiyle yapılar projelendirilirken deprem etkileri göz önünde bulundurularak yapıların bu etkiden göreceği hasarları önlemek veya oluşacak olan hasarın en aza indirgenmesi göz önünde bulundurulmaktadır. Yıllardır depremin yapılara bırakacağı etkilerini azaltma konusunda çeşitli önlemler alınmış ve çalışmalar uygulanmıştır. Gerek nüfus artış hızı gerekse mevcut konutların iyileştirilmesi ve depremler nedenlerinden dolayı güvenli yapılara yönelik yoğun talep beklenmektedir. Bu talepler doğrultusunda birçok akademik çalışma mevcut olup bu çalışmalardan bazıları örnek olarak aşağıda sunulmuştur.

Öztürk (Öztürk M.T., 2009) tarafından yürütülen çalışmada, Türkiye'deki deprem yönetmelikleri DBYBHY2007'ye kadar incelenmiştir. Bu çalışmanın sayısal analizlerinde, öncelikle DBYBHY2007 yönetmeliğine göre tasarlanmış ve sonuçları karşılanmış olan bir binanın performans analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, deprem kuvvetlerinin farklı yönetmeliklere göre değiştiğini ve bu değişikliğe paralel olarak kesitlerin büyüdüğünü göstermektedir.

Taşan (Taşan, Z.A., 2012) tarafından yürütülen çalışmada, son iki Türkiye deprem yönetmeliğinin genel tasarım kuralları ve sayısal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada genellikle yapıların düzensizlikleri üzerinde yoğunlaşmış ve sonuçların bu iki yönetmelik için benzer olduğu görülmüştür.

Darılmaz (Darılmaz K., 2018) tarafından yürütülen çalışmada, TBDY2018'in örneklerle açıklanmış ve önceki yönetmelik olan DBYBHY2007 ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu çalışma, yeni yönetmeliğin anlaşılmasına katkı sağlamayı, etkin bir şekilde kullanılmasını ve getirdiği yeniliklerin incelenmesini amaçlamaktadır.

Yapı tasarımı esnasında, yapı temeli ile temel zemininin mümkün olduğunca uyumlu olması büyük bir önem taşır. Zira bu uyum, yapı ve zemin arasındaki etkileşimi sağlamak adına kritik bir rol oynar. Bu husus, sadece geoteknik değil, aynı zamanda yapısal tasarım kriterlerinin de karşılanmasını amaçlar. Yapı-zemin etkileşimi, yalnızca yapı temelini çözümüne indirgenmemelidir (Kutanis, 2001). Yapı-zemin etkileşiminin doğru bir şekilde tespit edilmediği durumlarda, yüklerin doğru bir şekilde aktarılamayacağı unutulmamalıdır. Bu bağlamda, yapıların desteklendiği zemin yapısı, en kritik ana unsurlardan biridir. Üst yapıdan kaynaklanan tüm yükler, yapı temelleri aracılığıyla zemine iletilir, bu nedenle temel zemin özelliklerinin farklı olabileceği zeminle ilgili çalışmaları öne çıkarır. Değişen zemin özellikleri, doğrudan yapısal tasarımı etkiler. Bu

bağlamda, yerel zemin koşulları büyük bir öneme sahiptir ve yapı tasarımı ile değerlendirmesini doğrudan etkiler (Işık vd, 2016).

Depremın neden olduğu hasarlar ve yıkılmalar üzerine yapılan araştırmalar, bu olguların pek çok farklı faktöre dayandığını göstermektedir. Genel olarak, bu hasarların temel nedenleri arasında bilgi eksikliği, gerekli zemin incelemelerinin yapılmaması, bina geometrisinin ve taşıyıcı sisteminin yetersiz veya eksik olması gibi nedenler bulunmaktadır. Ayrıca, yapıları etkileyebilecek deprem kuvvetleri, zemin türüne, bölgesel deprem ivmelerine ve yapı tipine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir (Tuncer, 2008).

Deprem hasarlarının azaltılmasına yönelik olarak yığma olarak inşaa edilmiş tarihi yapılar ile betonarme karkas binalar için yapısal modelleme ve analizler ile ilgili birçok çalışma literatürde yer almaktadır (Karasin A. ve Öncü, 2009; Doğangün ve Sezen, 2012; Işık vd., 2017; HadzimaNyarko et al., 2017; Akdoğan ve Karaşin, 2017; Uğurlu et al., 2017; Özbek et al., 2017; Hadzima-Nyarko et al., 2016; 2018; Erdil et al., 2018; Işık vd., 2020; Dilek ve Karaşin, 2021; Avcil vd., 2022; Karasin İ.B. ve Öncü, 2022; Karaşin 2017). Çoğunlukla sonlu elemanlar yöntemi tercih edilen modellemeler neticesinde, analizleri gerçekleştirilen yığma ve betonarme yapılar için durum tespitleri, yorum ve çözüm öneriler yapılmıştır.

Yerel zemin koşulları, tasarım spektrumunu değiştireceği bilinmektedir. Bu değişen tasarım spektrumu, bina performansını daha gerçekçi bir şekilde hesaplanmasına olanak tanıyacaktır. Bu bağlamda, yer değiştirme gereksinimlerinin önemli ölçüde etkileneceği açıktır. Yer değiştirme taleplerinin daha yüksek olduğu durumlarda, karşılanmayan bu talepler, hasar tahminlerini ve bina performansını gerçek değerlerden uzaklaştırabilir (Işık vd., 2016a; Işık ve Kutanis, 2015; Kutanis vd., 2018).

Bu çalışmada farklı zemin sınıflarının süneklik düzeyi yüksek betonarme yapılarda nasıl etkiler doğurduğunu ortaya koymak adına yapı performans hesaplamaları yapılmıştır.

Bu amaç çerçevesinde örnek olarak seçilen 6 katlı, X doğrultusunda 3, Y doğrultusunda 6 açıklıklı betonarme bir bina seçilmiştir. Seçilen bu yapının performansını hesaplanması sırasında statik adaptif pushover analiz metodu kullanılmıştır. Bu hesaplar neticesinde zemin sınıflarının ve yapı davranış katsayılarının yapı performansına etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Yöntem

apıların tasarımında, temel zemini ve bu zeminin özellikleri, depreme karşı dayanıklılığı belirlemek için büyük öneme sahiptir. Bu bağlamda yerel jeolojik zemin koşulları, sismik hareketlerin karakterlerini etkileyen ve değiştiren önemli faktörler arasında yer almaktadır (Yön vd., 2015). Bir deprem sırasında meydana

gelen zemin titreşimleri, deprem kaynağından uzaklaştıkça genellikle azalır, ancak yerel zemin koşulları bu etkiyi değiştirebilir. Bu nedenle, yerel zemin koşulları, yapıların deprem etkisine nasıl yanıt vereceğini etkileyebilir. Türkiye'deki Deprem Yönetmeliği(TBDY-2018), yerel zemin koşullarını ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF olmak üzere altı sınıfa ayırmıştır ve 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Zemin sınıfları ile ilgili detaylar Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Yerel zemin sınıfları (TDBDY, 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşulların sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (svulaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Deprem etkisi altındaki bina taşıyıcı sistemlerinin performansı, genellikle dört farklı düzeyde değerlendirilir. Bu performans düzeyleri, bina taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelen yapısal hasarın derecesine dayalı olarak tanımlanmıştır.

Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi: Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında herhangi bir yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın çok küçük olduğu bir durumu ifade eder. Bu durum, bina kullanıcılarının günlük yaşamlarına kesintisiz olarak devam edebileceği anlamına gelir.

Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi: Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği bir durumu ifade eder. Hasar, doğrusal olmayan davranışın sınırlı olduğu bir düzeydedir ve genellikle onarılabilecek türdendir.

Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi: Bu performans düzeyi, can güvenliğini koruma amacıyla bina taşıyıcı sistem elemanlarında ağır olmayan ve

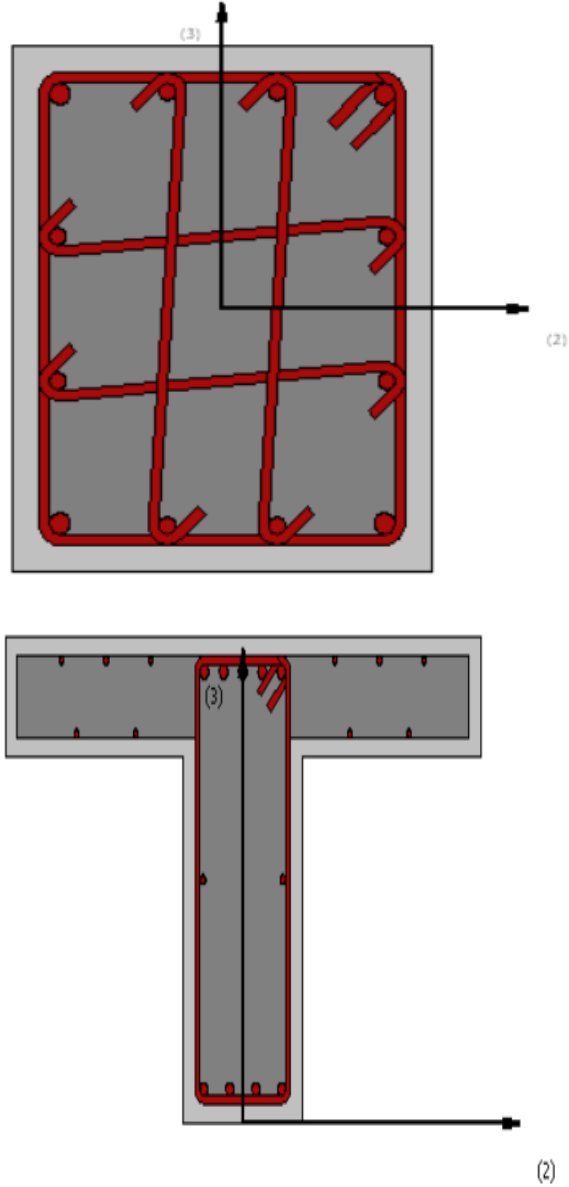
değerlerini belirlemek için temel bir rol oynar. Bununla birlikte, R değeri kullanılmadan da yapı tasarlanabilir. Bu çalışmada seçilen örnek yapıda olduğu gibi, bina taşıyıcı sistemlerinin tamamının çerçevelerle taşındığı yüksek süneklik derecesine sahip betonarme binalar için R değeri, 8 olarak kabul edilmiştir.

Adaptif itme analizi (Adaptive Pushover Analysis), yapının deformasyonunu ve tanımlanan yer hareketinin frekans içeriğinin yapının dinamik davranış özelliklerine olan etkilerini tam anlamıyla dikkate alarak, yapının yatay taşıma kapasitesini tahmin etmek için kullanılan bir yöntemdir. Adaptif itme analizi yaklaşımında, yatay yük dağılımı sabit bir değer olarak kabul edilmek yerine, analiz süresince her adımda gerçekleştirilen öz değer analizleri (eigen value analysis) sonucu elde edilen mod şekilleri ve katılım faktörleri göz önünde bulundurularak güncellenir. Bu yöntem tamamen çok modlu bir yaklaşımdır ve yapının elastik davranışı, periyodun değişmesi, spektral amplifikasyonun etkisi gibi faktörleri tam anlamıyla hesaba katar. Adaptif itme analizi, yük dağılımlarının yanı sıra şekil değiştirme profillerini de etkin bir şekilde elde edebilir. Yatay yük dağılımlarının sürekli olarak değişen sistem modal özelliklerine dayalı olarak güncellenebilme yeteneği, sabit dağılımlı deplasman itmenin inherent zayıflığını aşmak için kullanılır. Özellikle mukavemet ve rijitlik düzensizlikleri bulunan veya yüksek mod etkilerinin dinamik davranışta önemli bir rol oynadığı yapılarda, bu yöntem geleneksel yöntemlere kıyasla daha doğru davranış tahminleri sağlayarak yapı değerlendirmesi için daha hassas ve performans odaklı bir araç sunar (Antoniou ve Pinho, 2003). azılım programında uygulanan adaptif algoritma oldukça esnek bir yapıya sahiptir ve her bir özel projenin özgün gereksinimlerine uyacak şekilde farklı parametrelerin tanımlanmasına izin verir. Ayrıca, kullanıcılar her adımda uygulanacak yük artışını veya işlem sırasında mevcut yüklerin güncellenmesini istedikleri şekilde seçebilirler. Bu çalışma, dinamik davranış özelliklerini dikkate alan statik adaptif itme analizini içeren Seismostruct yazılımı sayesinde gerçekleştirilmiştir (Seismostruct User Manual, 2020).

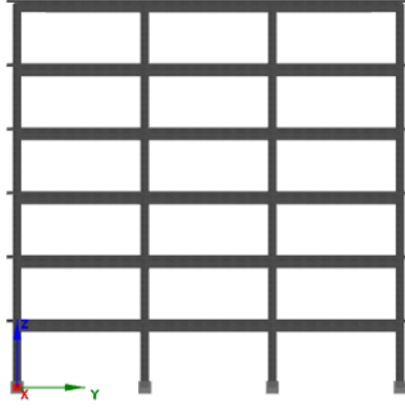
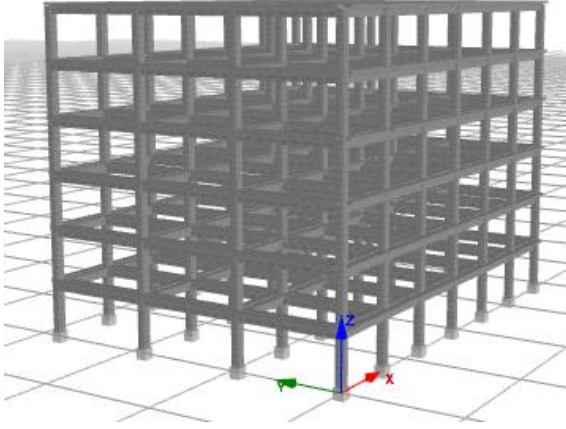
Bulgular

Çalışmaya ve analizlere konu olan örnek olarak seçilen betonarme yapı, Türkiye'nin herhangi bir yerinde bulunabilecek bir yapıdır. Y doğrultusunda 3 açıklık, X doğrultusunda ise 6 açıklık olacak şekilde tasarlanmıştır. Plan boyutları Y doğrultusunda her açıklık için sabit 6metre toplamda 18 metre iken, X doğrultusunda her açıklık sabit 4 metre ve toplamda 24 metredir. Yapıda kullanılan malzemeler beton için 25MPa basınç dayanımına sahip C25 beton sınıfı seçilmiştir. Donatı olarak 420MPa dayanıma sahip S420 donatı çeliği seçilmiştir. Yapıda tasarlanan kolonlar tek tip olup, kolon ölçüleri 40cm*50cm

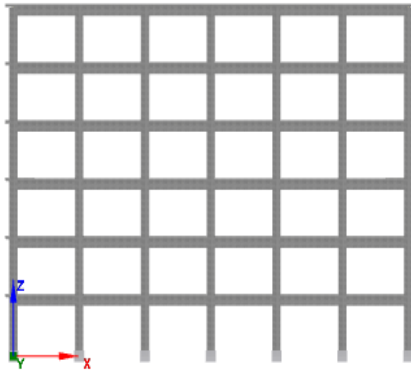
olarak kullanılmıştır. Kullanılan kirişler ise 25cm*60cm olarak boyutlandırılmıştır. Kolon ve Kirişlere ait kesitler sırasıyla Şekil 1'de verildiği gibidir.



Şekil 1. Kolon ve Kiriş enkesitleri

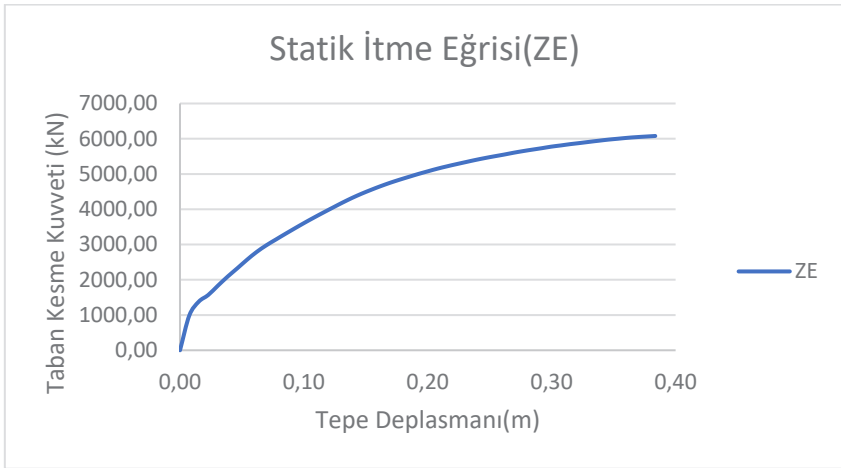


Şekil 2. Tasarlanan yapının 3 boyutlu görüntüsü

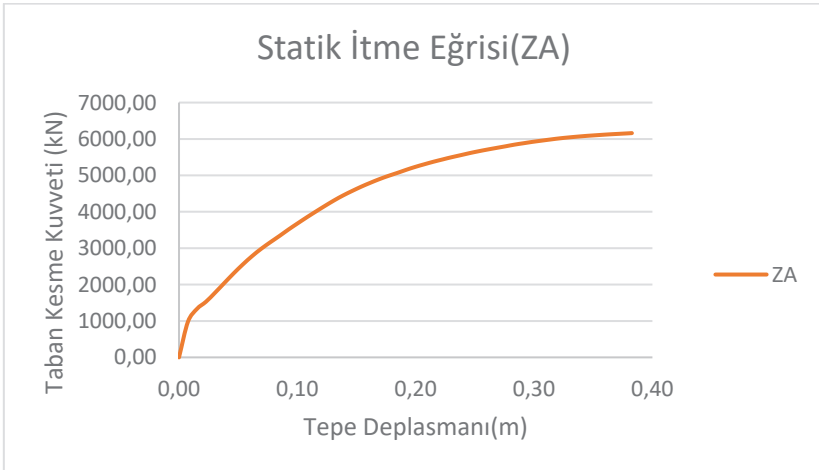


Şekil 3. Tasarlanan Yapının 2 boyutlu X ve Y doğrultularında görüntüleri

Yapılan analizler sonucunda, söz konusu binanın farklı zemin sınıflarında farklı kesit tesirlerine maruz kaldığı saptanmıştır. Yapılan değerlendirmeler, taşıma kapasitesi düşük olan zemin türlerinde taban kesme kuvvetlerinde azalma olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, farklı zemin sınıflarının yapıların deprem performansına olan etkilerini incelemiş ve kullanılan yazılım aracılığıyla elde edilen sonuçlar, ilk hasarın genellikle zemin kat kolonlarında meydana geldiğini göstermektedir. Elde edilen Puhover eğrileri ZE zemin sınıfı için Şekil 4, ZA zemin sınıfı için elde edilen Pushover eğrisi Şekil 5’te verilmiştir.



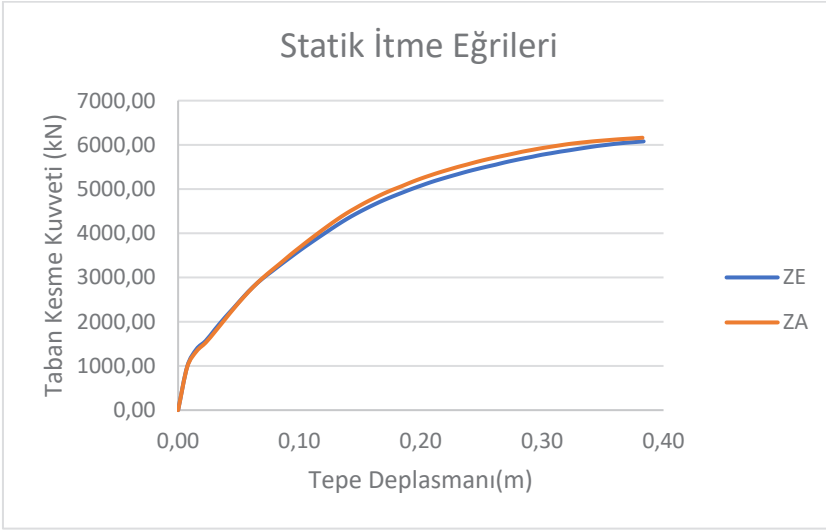
Şekil 4. ZE zemin sınıfı için elde edilen Pushover Eğrisi



Şekil 5. ZA zemin sınıfı için elde edilen Pushover Eğrisi

Elde edilen bu eğriler karşılaştırılmalı olarak Şekil 6’da verilmiştir. Taşıma gücü yüksek olan zemin sınıfının taşıma gücü düşük olan zemin sınıfına kıyasla

daha iyi performans gösterdiği ve daha yüksek taban kesme kuvvetini karşıladığı görülmektedir.



Hasar limitleri, bir yapının uygulanan yükleri ne ölçüde taşıyabileceğini gösteren kritik noktaları temsil eder. Bu hasar limitleri, deprem sırasında binaların performansının değerlendirilmesinde kritik bir rol oynar. Bu bağlamda, hasar tahmini için dünya genelinde kabul görmüş olan Eurocode-8'de tanımlanan sınır durumlar çalışma kapsamında dikkate alınmıştır. Bu limit durumların ayrıntılı açıklamaları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Hasar Sınırları (Eurocode 8 Part-3)

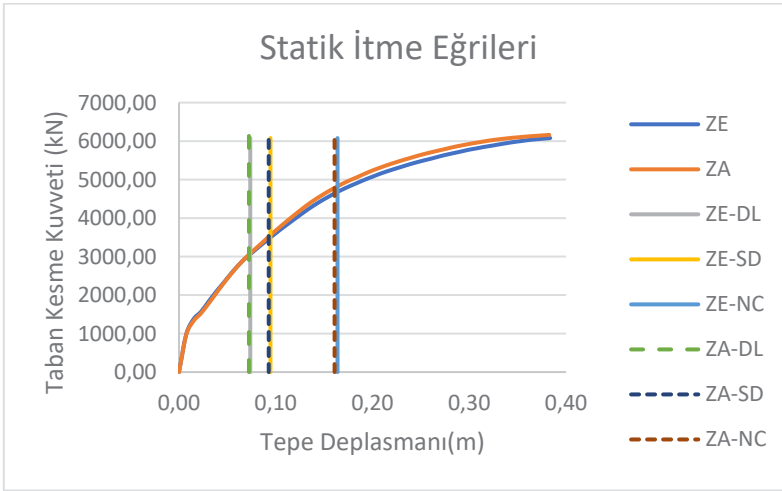
Hasar Sınırı	Açıklama	Tekrarlanma Periyodu (Yıl)
Sınırlı Hasar (DL)	Sadece hafif hasarlı, yapısal olmayan bileşenlerdeki hasar ekonomik olarak onarılabilir	225
Belirgin Hasar (SD)	Önemli ölçüde hasarlı, onarımı ekonomik değildir.	475
Göçme Öncesi (NC)	Büyük ölçüde hasar görmüş, çok düşük rezidüel mukavemet ve rijitlik, büyük kalıcı ötelenme ancak yapı hala ayakta	2475

EuroCode8 hasar sınırları söz konusu yapıya uygulanan Pushover analizleri neticesinde elde edilmiş olup Tablo 4'te gösterildiği gibidir.

Tablo 4. Zemin Sınıfları ve Hasar Sınır Değerleri

	ZE	ZA
DL (m)	0.073647	0.072284
SD (m)	0.094476	0.092729
NC (m)	0.163788	0.160759

Tablo 4’te gösterilen hasar sınır değerleri Pushover eğrileri üzerinde karşılaştırmalı olarak Şekil 7’de gösterilmiştir. Zemin taşıma kapasitesi artıkça hasar sınır değerlerinde azalma gözlenmektedir.



Şekil 7. Hasar sınırları ile karşılaştırmalı Pushover grafiği

Sonuç ve Tartışma

Yapı-zemin etkileşimi, bir yapının temel zeminiyle olan etkileşimini ifade eder. Bu etkileşim, zemin özelliklerinin yapının taşıyıcı sistemine ve üst yapısının yüklerine olan etkilerini içerir. Özellikle deprem gibi dinamik yükler altında, zemin yapının davranışını etkilerken, yapı da zemini dinamik hareketleri ile etkiler. Bu çalışma, farklı zemin sınıflarının örnek bir betonarme bir yapı üzerindeki farklı etkilerini inceleyerek, yapı ve zemin arasındaki bu etkileşime incelemiştir.

Örnek bir betonarme yapının farklı zemin sınıflarında farklı kesit tesirleri ile karşılaştığı belirlenmiştir. Daha yüksek taşıma kapasitesine sahip zeminler üzerindeki yapıların daha yüksek taban kesme kuvveti karşılayabildikleri görülmüştür. Yapı-zemin etkileşimi hesaplamalarının doğru bir şekilde yapılabilmesi için, kullanılan zemin sınıflarının doğru ve güvenilir bir şekilde belirlenmesi gereklidir. Bu değerlerin doğru bir şekilde tespiti, yapı hesaplamalarını ve güvenliğini doğrudan etkileyebilmektedir. Dolayısıyla, zemin

Mühendislikte Güncel Yaklaşımlar

sınıflarının doğru tespiti yapı-zemin etkileşimi yazılım programlarında en uygun yaklaşımın seçilmesi ve hesaplamaların doğru bir şekilde yapılabilmesi için hayati bir öneme sahiptir.

Kaynaklar

- Antoniou, S., Pinho, R., (2003). Seismostruct–seismic analysis program by seismosoft. Technical manual and user manual.
- Akdoğan, R., & Karaşin, A. (2017). Effects of near-fault and far-fault ground motions on seismic performance of 5-story r/c building. *European Journal of Technique (EJT)*, 7(1), 60-68.
- Avçıl, F., Işık, E., & Büyüksaraç, A. (2022). The effect of local soil conditions on structure target displacements in different seismic zones. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1000-1011.
- Celep, Z., (2003). Seismic safety of the regional school building of Bingöl, <http://web.itu.edu.tr/celep/files/18.pdf> (Erişim tarihi : 20.10.2016)
- DBYYHY 2007, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Dilek, Y., & Karasin, A. (2021). Examination of Structures Built with Tunnel Formwork in Terms of Strength and Cost according to the Earthquake Regulations of 2007 and 2018. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1-19.
- Erdil, B., Tapan, M., Akkaya, İ., Korkut, F., (2018). Effects of structural parameters on seismic behaviour of historical masonry minaret, *Periodica Polytechnica. Civil Engineering*, 62(1):148-161.
- Hadzima-Nyarko, M., Mišetić, V., Morić, D., (2017). Seismic vulnerability assessment of an old historical masonry building in Osijek, Croatia, using Damage Index. *Journal of Cultural Heritage*, 28:140-150.
- Hadzima-Nyarko, M., Pavić, G., Lešić, M., (2016). Seismic vulnerability of old confined masonry buildings in Osijek, Croatia. *Earthquakes and Structures*, 11(4):629-648.
- Işık, E., Kutanis, M. (2015). Determination of local site-specific spectra using probabilistic seismic hazard analysis for Bitlis Province, Turkey. *Earth Sciences Research Journal*, 19(2), 129-134.
- Işık E., Kutanis M., Bal İ. E., (2016a). Displacement of the buildings according to site-specific earthquake spectra. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 60(1), 37-43.
- Işık, E., Büyüksaraç, A., & Aydın, M. C. (2016). Effects of local soil conditions on earthquake damages. The 2nd CEPPIS International Scientific Conference on Civil Engineering: Bydgoszcz, Poland.
- Işık, E., Antep, B., Karaşin, I.B. (2018). Structural Analysis of Ahlat Emir Bayındır Bridge. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 8(1), 11-18.

- Işık, E., Karaşin, İ. B., & Ulu, A. E. (2020). Eğimli Zeminlerde İnşa Edilen Betonarme Binaların Deprem Davranışlarının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 162-170.
- Karaşin, A., & Öncü, M. E. (2009). Çok katlı yığma binaların deprem güvenliklerinin değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 63-67.
- Karaşin, İ.B., (2017) Farklı yapı davranış katsayıları için zemin koşullarının yapı performansına etkisi. Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Karaşin, İ. B. & Öncü, M. E. (2022). Farklı Dolgu Tipleri için Çerçevelerin İtme Analizi ile Kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (39), 91-96.
- Kutunis, M., (2001). Yapı - zemin dinamik etkileşimi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Kutunis, M., Ulutaş, H., Işık, E. (2018). PSHA of Van province for performance assessment using spectrally matched strong ground motion records. *Journal of Earth System Science*, 127(7), 99.
- Seismo Struct v7.0, (2014). A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures, SeismoSoft. Çevirim içi erişim: <http://www.seismosoft.com> (Erişim Tarihi : 08.08.2016).
- TBDY, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara.
- Tuncer Ö, (2008). Betonarme yapıların deprem performansının doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.
- Uğurlu, M.A., Günaslan, S.E., Karaşin, A.H., (2017). Modelling and structural analysis of the Fourlegged minaret. *DUMF Journal of Engineering*, 8(2):413-421.
- User Manual S. 2014. Version 7.0. 1. Pavia, Italy. Seismo-Soft Inc. Supporting Services.
- Yön, B., Öncü, M.E., Calayır, Y., (2015), Effects of seismic zones and site conditions on response of RC buildings., *Gradevinar*, 67 (6), 585-596.

Bölüm 11

Metal Yüzeyini Pirinç Kabuğu Külü Kullanılarak Üretilen Sodyum Borosilikatlar ile Kaplama Çalışmaları

İlker ÖZKAN¹, Esra DOKUMACI ALKAN²

¹ Doç. Dr.; Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu Endüstriyel Cam ve Seramik Programı.
ilker.ozkan@deu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-7506-5795

² Doç. Dr.; Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Bölümü.
esra.dokumaci@deu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-3886-3963

ÖZET

Dünyada kıt olan hammadde kaynakları aşırı tüketim nedeniyle hızla azalmaktadır. Ülkelerin ekonomileri, enerji ihtiyaçları ve çevreleri açısından bakıldığında, bu sorunları ortadan kaldırmanın tek yolu atıkların yeniden değerlendirilmesidir. Bu konuda her sektör atık kullanımını artırma arayışındadır. Bu çalışmanın amacı pirinç kabuğu külü kullanarak sodyum borosilikat camlar üretmek ve üretilen bu camları metal kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliğini incelemektir. Bu amaçla pirinç kabuğu külü ilk olarak X-ışını kırınımı (XRD), SEM ve kimyasal analizler ile karakterize edilmiştir. Sodyum borosilikat üretimi genellikle hassas bir şekilde tartılmış sodyum oksit, bor oksit ve silisyum dioksit içeren hammaddelerin doğrudan füzyonu ile üretilir. Bu çalışmada SiO_2 kaynağı olarak pirinç kabuğu külü kullanılmıştır. Farklı reçeteler hazırlanmış ve $\text{Na}_2\text{O}.2\text{B}_2\text{O}_3.n\text{SiO}_2$ oranlarında farklı sodyum borosilikat cam üretme denemeleri yapılmıştır. Üretilen numuneler X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile değerlendirilmiştir. Cam numuneler daha sonra öğütülüp su ile karıştırılarak metal altlıklara uygulanmıştır. Uygulama yapılan numuneler 900 ve 950°C’de ısıtılarak tabii tutulmuşlardır. Sonuçlar, pirinç kabuğu külü kullanılarak üretilen sodyum borosilikatların metal kaplama malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Sodyum borosilikat, pirinç kabuğu külü, metal kaplama, karakterizasyon.

GİRİŞ

Pirinç, dünya genelinde en çok tüketilen ikinci gıda maddesidir. 2017 yılında pirinç çeltik üretimi yaklaşık 758 milyon metrik ton olarak kaydedilmiştir ve bu rakam dünya nüfusunun öngörülen talebi nedeniyle giderek artacaktır (Lane, 2017). Çin ve Hindistan, pirinç çeltik üretiminde önde gelen ülkelerdir ve toplam pirinç çeltik üretim hacminin yaklaşık ağırlıkça %48,87'sini oluşturmaktadır. Pirinç kabuğu, çeltik tanesinin ağırlığının yaklaşık %20'sini oluşturur ve pirinç değirmeni endüstrisi ile ilişkili ana atıktır. Pirinç kabuğu genellikle %80'e yakın organik madde içerir: 35 selüloz, %25 hemiselüloz ve yaklaşık %20 lignin. Başta silika olmak üzere inorganik fraksiyon, kabuk kütesinin yaklaşık %20'sini oluşturur. Bu nedenle, pirinç kabuğu genellikle enerji üretmek için yakıldığında, büyük miktarlarda kül üretilir (Parillo vd., 2021; Sarangi vd., 2009).

Pirinç kabuğu külü, pirinç tanelerinin öğütme işlemi sırasında tanelerden ayrılan sert koruyucu örtüsü olan pirinç kabuğunun yakılmasıyla elde edilen bir üründür. Pirinç kabuğu külü ilk kabuk ağırlığının yaklaşık %25'i kadar ağırlığındadır (Kishore, 2011). Bu nedenle, 1000 kg çeltik tanesi yaklaşık 200 kg (%20) pirinç kabuğu üretir ve enerji üretmek için yakıldığında, yaklaşık 45 kg (%85-95) amorf silika içeren bir hacim olan yaklaşık 50 kg (%25) pirinç kabuğu külü oluşur. Pirinç kabuğu külü esas olarak silikatlardan oluşur, daha az miktarda selüloz, lignin ve nem içerir. Pirinç kabuğu külünün özellikleri pirinç kabuğunun bileşimine, yanma sıcaklığına ve yanma süresine bağlıdır. Pirinç kabuğu külü amorf formda yüksek silika içeriğine sahiptir (Hossain vd., 2018).

Pirinç kabuğu külü çeşitli endüstrilerde birçok potansiyel uygulamaya sahiptir. İnşaat sektöründe, beton üretiminde çimentonun kısmi ikamesi olarak kullanılabilir ve bu da betonun mekanik özelliklerini iyileştirebilir. Pirinç kabuğu külü ayrıca asfalt betonunda dolgu malzemesi olarak kullanılabilir ve bu da dayanıklılığını ve deformasyona karşı direncini artırabilir. Tarım endüstrisinde, toprak verimliliğini ve mahsul verimini artırmak için toprak iyileştirici olarak kullanılabilir. Ayrıca pirinç kabuğu külü, atık suyun arıtılması ve ağır metallerin kirlenmiş topraktan uzaklaştırılması gibi çevresel iyileştirmede potansiyel uygulamalara sahiptir (Hossain vd., 2018).

Bugün tüm dünya, bakir kaynakların yok olması ve aşırı atık üretimi gibi iki tür sorunla karşı karşıyadır. Hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerin ekonomileri, enerji ihtiyaçları ve çevreleri açısından bakıldığında, bu sorunları ortadan kaldırmanın tek yolu bu atıkların üretimin ana akışlarında değerlendirilmesidir. Bu farkındalık doğrultusunda, her üretim sektörü atıkları ürünlerinde bir kaynak olarak kullanarak gelirini artırma arayışındadır. Benzer şekilde, seramik endüstrisi de üretimlerinde atıklardan yararlanma arayışındadır.

Seramik endüstrisinin bu hedefine ulaşmak için son birkaç on yılda çok sayıda araştırma yapılmıştır. Sonuç olarak, uçucu kül, taban külü, cam atıkları petrol atıkları, cilalı karo atıkları, kağıt işleme kalıntıları ve petrol üretim atıkları gibi bazı atıklar seramik üretiminde kullanılabilir potansiyel bileşenler olarak tanımlanmıştır (Hossain vd., 2018; Zhu vd., 2016; Luo, 2018; Carrasco-Hurtado vd., 2014; Hossain, Mathur, Majhi ve Roy, 2018; Pinheiro ve Holanda, 2013; Ke vd., 2016; Geraldo vd., 2017; Bories vd., 2015).

Bu çalışmanın amacı silika kaynağı olarak pirinç kabuğu külü kullanılarak sodyum borosilikat camlar üretmek ve üretilen bu camları metal yüzeyini kaplama malzemesi olarak kullanmaktır. Bu çalışma aynı zamanda pirinç kabuğu külünün kullanımına alternatif bir çözüm de sunacaktır.

MALZEME VE METOD

Bu araştırmada kullanılan boraks Eti Maden A.Ş.'den temin edilmiştir ve %36,47 - 38,50 B₂O₃ ve %16,24 - 17,14 Na₂O içermektedir. Pirinç kabuğu külü ticari olarak Erdoğanlar Gıda Şirketi'nden temin edilmiştir (Tablo 1). Kuvars ticari olarak MATEL Hammaddeleri Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'nden temin edilmiştir. Firmadan alınan verilere göre kuvars % 99,20 – 99,70 SiO₂ içermektedir ve tane boyutu 75 mikrometrenin altındadır.

Pirinç kabuğu külü numunesinin kimyasal bileşimi Kanada'daki Bureau Veritas Mineral Laboratuvarlarında İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ile analiz edilmiştir. Pirinç kabuğu külü numunesi öğütülmüş ve 63 µm elekten elenmiştir. ICP-MS analizi için lityum borat füzyon yöntemi kullanılmıştır. Majör ve minör oksitler (Al₂O₃, SiO₂, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, Fe₂O₃, MnO) belirlenmiştir. Örneklerde bulunan fazlar, monokromatik Cu K α radyasyonlu Thermo Scientific ARL X'TRA model difraktometre kullanılarak X-ışını kırınımı (XRD) ile tanımlanmıştır. XRD desenleri, gonyometre hızı 2°/dakika olacak şekilde 10 ila 60° taranarak elde edilmiştir. Numunelerin morfolojik olarak karakterizasyonu için bir taramalı elektron mikroskobu (SEM, COXEM EM-30 Plus) kullanılmıştır. Numuneler polyester kalıba alınmış ve iletkenlik elde etmek için altın parçacıkları ile kaplanmıştır. SEM, 20 kV hızlandırma voltaj seviyesi ile ikincil elektron (SE) modunda çalıştırılmıştır.

Numunelerin hazırlanması, üretimi ve test edilmesi laboratuvar ölçeğinde gerçekleştirilmiştir. Borosilikat cam üretiminde hammadde olarak boraks ve silisyum dioksit kaynağı olarak pirinç kabuğu külü ve kuvars tozları kullanılmıştır. Bileşimlerinde farklı mol oranlarında silisyum dioksit içeren Na₂O.2B₂O₃.nSiO₂ (n:1, 2 ve 3) karışımlar hazırlanmıştır. Burada artan mol oranlarında silisyum dioksit kullanılmış, boraksın mol oranı sabit tutulmuştur.

Dolayısıyla, deneyler sonucunda farklı SiO₂ mol oranlarına sahip sodyum borosilikat fazlarının elde edilebilmesi tasarlanmıştır.

Toz karışımları bir krozeze yerleştirilmiş ve bir laboratuvar fırını (Nabertherm LH 15/14) kullanılarak 1000°C ve 1100°C'de 2 saat süreyle ayrı ayrı pişirilmiştir. Bu sıcaklıkta eriyik haline gelen numuneler fırından çıkartılarak katılaşmaları için içi su dolu bir kaba dökülmüştür. Nihai ürünlerin karakterizasyonu SEM ve XRD analizleri kullanılarak yapılmıştır.

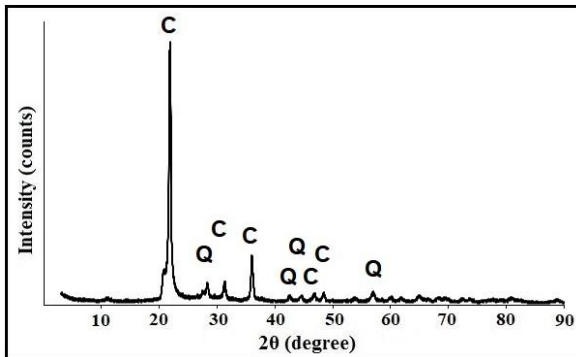
Deneyler sonucunda üretilen sodyum borosilikat camlar 304 paslanmaz çelik plakalar üzerine uygulanmak suretiyle metal yüzeyi kaplama çalışmaları yapılmıştır. Kaplama yapılmadan önce üretilmiş olan camlar öğütücü kullanarak öğütülmüştür. Öğütülerek toz haline getirilmiş camlar bir havan içerisinde yeteri miktarda su ile karıştırılmak suretiyle kaplama solüsyonu hazırlanmıştır. Bu solüsyonlar metal altlıklar üzerine uygulanmıştır. Kaplama uygulanan numuneler laboratuvar şartlarında, 900°C ve 950°C sıcaklıkta olmak üzere iki ayrı grup olarak ısıtılma işlemine tabii tutulmuşlardır.

DENEYSEL SONUÇLAR

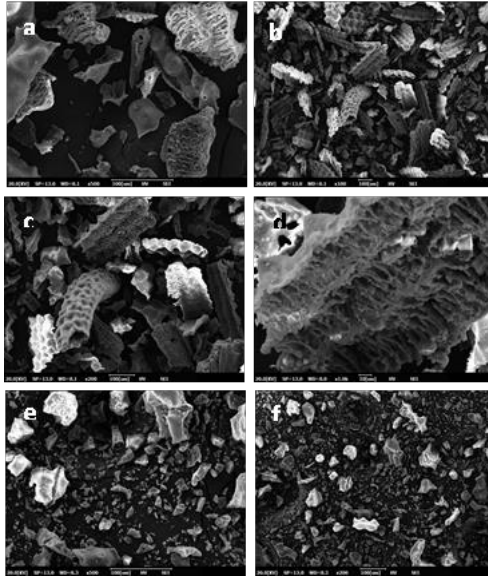
Pirinç kabuğu külünün kimyasal analiz sonuçları yüksek SiO₂ içeriğine ve ayrıca %3,85 K₂O'ya sahip olduğunu göstermektedir (Tablo 1). Alkali ve toprak alkali gibi diğer oksitlerin hepsi ağırlıkça %1'den düşüktür, Fe₂O₃ ise sadece eser miktarda gözlenmiştir. Şekil 2'de pirinç kabuğu külü tozunun XRD analizi gösterilmektedir. XRD analizinin sonucu kimyasal analizi desteklemektedir. Pirinç kabuğu külünün XRD spektrumu, kuvars ve kristobalitin ana kristal fazlar olduğunu göstermektedir.

Tablo 1: Pirinç kabuğu külü numunesinin kimyasal analiz sonucu.

Oksit (ağ.%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	A.Z.
Pirinç Kabuğu Külü	90.55	0.49	0.34	0.60	0.88	0.23	3.85	0.11	2.10



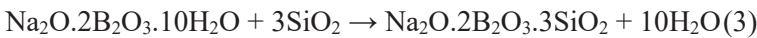
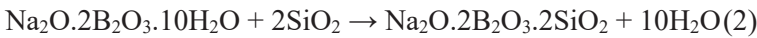
Şekil 1: Pirinç kabuğu külü numunesinin XRD grafiği (C: kristobalit, Q: kuvars).



Şekil 2: İşlem görmemiş (a-d) ve öğütme sonrası (e-f) pirinç kabuğu külü numunelerinin SEM görüntüleri.

Pirinç kabuğu külü numunesinin hiçbir işlem uygulanmamış halinin SEM görüntülerini Şekil 2 (a-d)' de görülmektedir. SEM analizi pirinç kabuğu külü tanelerinin farklı geometrik şekillere sahip gözenekli yapıda olduğunu göstermektedir. Pirinç kabuğu külünün öğütülmesi sonrasında oluşan küçük boyutlardaki taneler Şekil 2. (e-f)'de verilmiştir.

Boraks ve silisyum dioksit kaynağı olarak kullanılan pirinç kabuğu külü ve kuvars tozları sodyum borosilikat camları üretmek için kullanılmıştır. Reçeteler aşağıda verilen denklemler ile farklı SiO_2 mol oranlarına sahip olacak şekilde hazırlanmıştır:



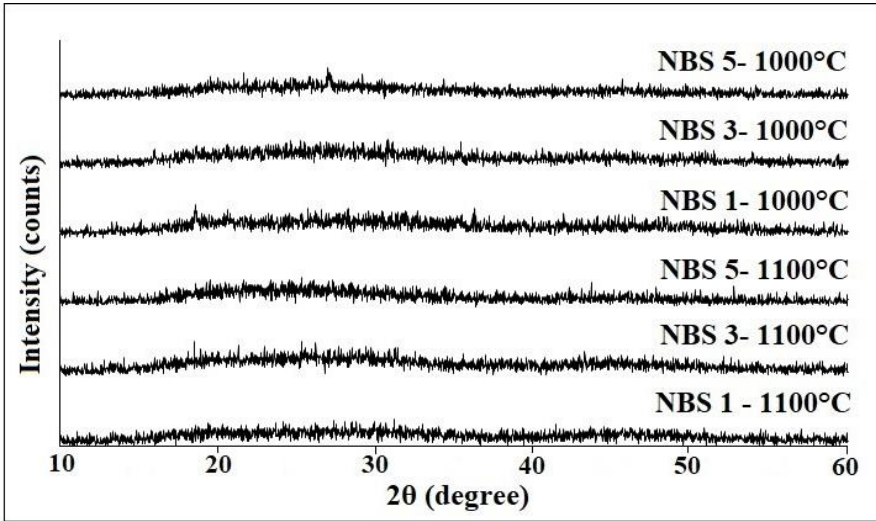
Tablo 2, yukarıdaki verilen denklemler (1-3) kullanılarak hazırlanmış sodyum borosilikat cam bileşimlerini göstermektedir. Bu bileşimlere göre harmanlanmış toz karışımları farklı potalara yerleştirilmiş, daha sonra 1000°C ve 1100°C sıcaklıklarda 2 saat ısıl işlem uygulanmıştır. Bu sıcaklıklarda potaların içerisinde eriyik hale gelmiş karışımlar fırından alınarak oda sıcaklığındaki su dolu hazneye dökülmüştür. Bu denemeler sırasındaki gözlemler sonucu reçetelerin bileşimi ile uygulanan sıcaklığın oluşan sodyum borosilikat eriyiklerin viskozitelerinde büyük rol oynadığını görülmüştür. Harman reçetelerinde kuvars veya pirinç kabuğu külünün miktarları arttıkça

eriyik viskozitesi artmıştır. Elde edilen ürünlerin karakterizasyonu SEM ve XRD analizi kullanılarak yapılmıştır.

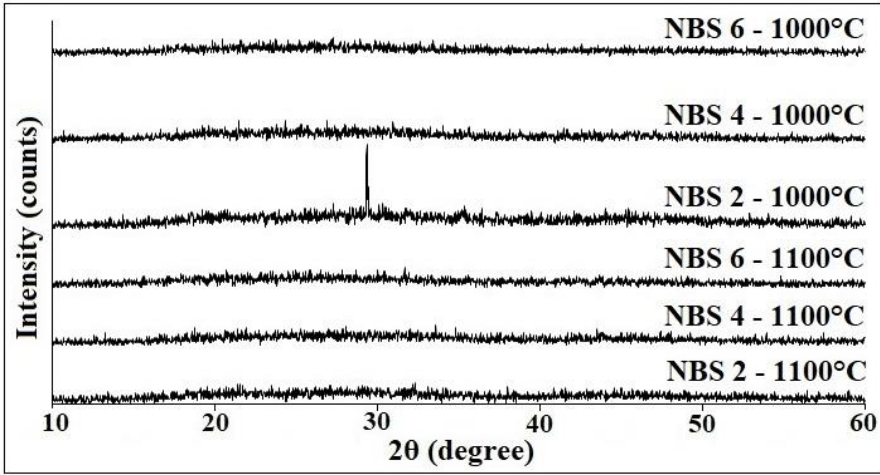
Tablo 2: Ağırlıkça yüzde cinsinden sodyum borosilikat camı reçeteleri.

Hammaddeler (%)	NBS1	NBS2	NBS3	NBS4	NBS5	NBS6
Boraks	86.42	86.42	76.10	76.10	67.97	67.97
Kuvars	13.58	-	23.90	-	32.03	-
Pirinç kabuğu külü	-	13.58	-	23.90	-	32.03

XRD karakterizasyonu (Şekil 3 ve 4) numunelerin amorf yapıda malzemeler olduğunu göstermiştir. Ayrıca, bazı numunelerde artık kristal hammaddelerden gelen kristal fazlar da gözlenmiştir. SiO_2 'nin yüksek erime sıcaklığı nedeniyle, kuvars veya pirinç kabuğu külünün bir kısmının çözeltide çözünmeden kaldığı düşünülmektedir. Numunelerin desenlerinde zayıf kırınım pikleri görülmektedir. Isıl işlemin son sıcaklığının kristobalit çökmesi üzerinde güçlü bir etkisi vardır (Lima ve Monteiro, 2001). Yüksek sıcaklıklarda kuvarsin kristobalit fazına dönüşmesi nedeniyle, eritilen numunelerde kuvars ve kristobalit fazları tespit edilmiştir.

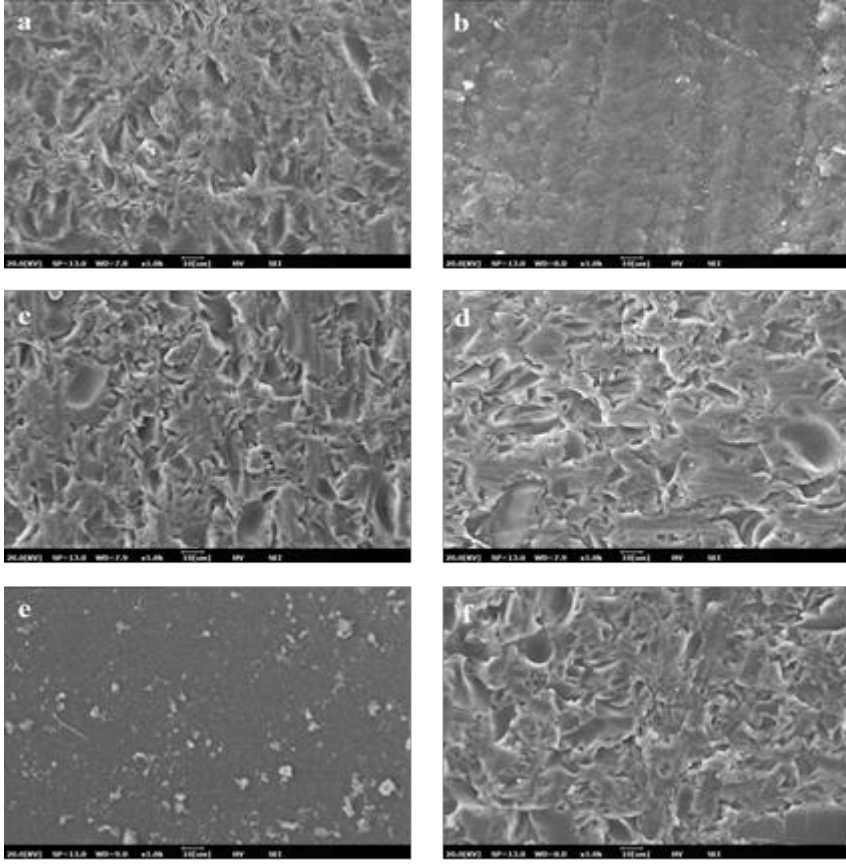


Şekil 3: 1000°C ve 1100°C'de eritilen kuvars içerikli numunelerin XRD grafikleri.



Şekil 4: 1000°C ve 1100°C’de eritilen pirinç kabuğu külü içerikli numunelerin XRD grafikleri.

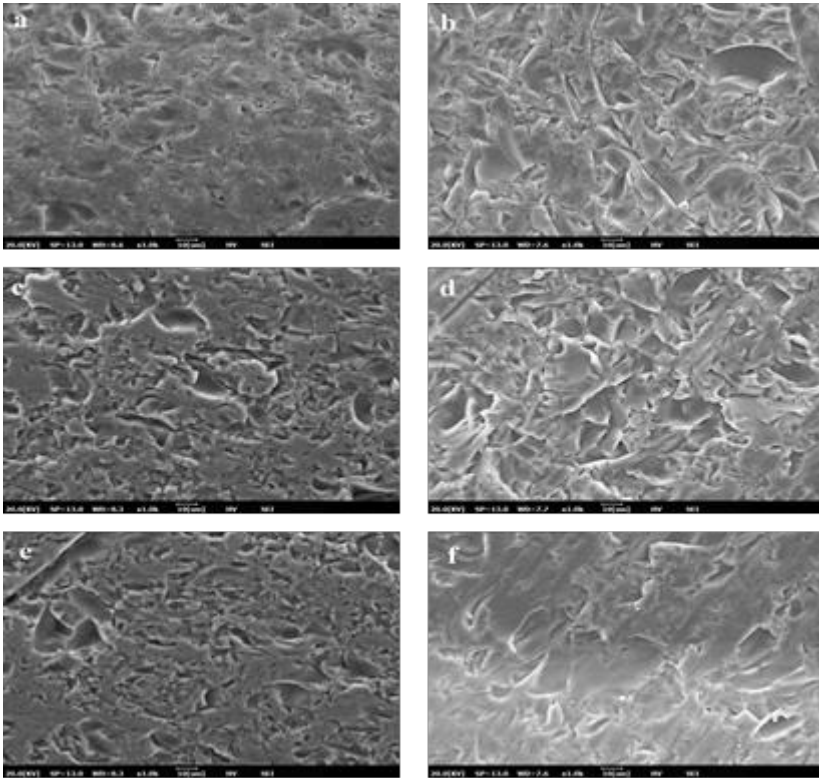
Şekil 5 (a-f) 1000°C’de eritilerek elde edilen numunelerin SEM görüntülerini sunmaktadır. Tüm numuneler için bazı boşluklar içeren amorf bir yapı gözlemlenmiştir. 1000°C’de eritilen numuneler için NBS2 ve NBS5’te cam matris boşluksuz ve daha homojen bir durumdadır. Ayrıca, NBS5 numunesinin yüzeyinde kristallerin dairesel şekilli oldukları gözlemlenmiştir. Görülen bu yapıların artık kristal hammaddeler oldukları ve kuvars ve kristobalit fazları oldukları düşünülmektedir.



Şekil 5: 1000°C’de eritilmiş numunelerin SEM görüntüleri (a) NBS1, (b) NBS2, (c) NBS3, (d) NBS4, (e) NBS5 ve (f) NBS6.

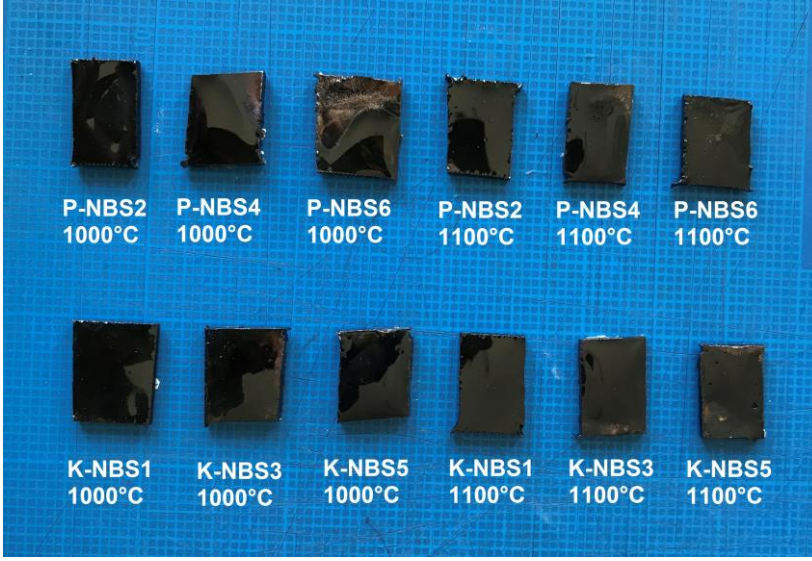
1100°C’de erilmek suretiyle elde edilen sodyum borosilikat camların mikroyapıları Şekil 6’de (a-f) görülebilir. Şekil 5 ve 6 arasında yapılan karşılaştırma, numunelerin yapısındaki boşluk oranında bir artış olduğunu göstermektedir. Parthasarathy ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada literatürdeki deneysel verileri kullanarak bazı borürler için bir oksidasyon modeli önermişlerdir (Parthasarathy vd., 2007). Bu modele göre, 1000°C’nin altındaki sıcaklıklarda bor oksitin sıvı fazda bulunduğu öne sürülmüştür. 1000°C’nin üzerinde bor oksitin buharlaşması meydana gelir ve 1800°C’nin üzerindeki sıcaklıklarda bor oksitin buharlaşması sona erer. Bu buharlaşma, çalışmamızdaki boşluk oluşumunu da açıklamaktadır. Boşluk oranındaki artışın nedeninin bor oksidin buharlaşmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Reçetesinde pirinç kabuğu külü içeren numunelerin SEM görüntülerinin karşılaştırılması sonucu aynı erime sıcaklığında kuvars içeren numunelere göre daha yoğun olduklarını göstermiştir. En iyi sonuçlar 1000°C’de eritilen NBS2

ve NBS5 numuneleri için elde edilmiştir. Numunelerin mikro yapıları sıcaklık ve pirinç kabuğu külü içeriğinin artışıyla değiştiği gözlenmiştir.



Şekil 6: 1100°C’de eritilmiş numunelerin SEM görüntüleri (a) NBS1, (b) NBS2, (c) NBS3, (d) NBS4, (e) NBS5 ve (f) NBS6.

Pirinç kabuğu külü kullanılarak üretilen sodyum borosilikatlar ile metal yüzeyi kaplama çalışmalarında 304 paslanmaz çelik numuneleri plakalar halinde kesilerek kaplama deneyleri için kullanılmıştır. Üstte üretimi anlatılan sodyum borosilikat camlar öğütülerek toz haline getirilmiştir. Öğütülmüş cam tozları su ile karıştırılarak kaplama solüsyonu elde edilmiştir. Bu karışım 304 paslanmaz çelik altlıklar üzerine kaplanmıştır. Numuneler kurutma sonrasında 900°C ve 950°C’de iki ayrı grup olarak ısıtılma işlemine tabii tutulmuşlardır. Fırından çıkan numunelerin görüntüleri Şekil 7 ve Şekil 8’de görülmektedir. Gözlemler sonucunda numune yüzeylerinin çoğunun düzgün bir kaplama olduğu söylenebilir. P-NBS6 1000°C kodlu numunede 900°C’de ısıtılma işlemi sonrası yüzeyinde bulunan kaplamada toplanma gözlenmiştir. Ayrıca K-NBS5 1100°C kodlu numune yüzeyindeki kaplama incelendiğinde gözeneklerin oluştuğu görülmüştür.



Şekil 7: 900°C'de pişirilen metal kaplama numuneleri.



Şekil 8: 950°C'de pişirilen metal kaplama numuneleri.

950°C'de ısıl işlem gören numunelerin yüzeyleri incelendiğinde kaplama içinde demir oksit kristalleri pırıltılı şekilde görülmektedir. Seramik sırlarından olan aventurin sırlarda da ışığa tutulduğunda bu görüntü oluşmaktadır. Bu sırlar B_2O_3 , Na_2O ve SiO_2 içerikli bir sıra Fe_2O_3 ilavesi ile elde edilir. Metal kaplamada da benzer görünümün ortaya çıkması, 304 paslanmaz çelikten gelen

demirin oksitlenerek demir (III) oksit haline geldiğini ve yüzeydeki camsı yapının içine dağıldığını ve yüzeyde görünen pırlıtlı yapının oluştuğunu göstermektedir. Bunun dışında numunelerin kaplama yüzeylerinde herhangi bir gözenek oluşumu gözlenmemiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada pirinç kabuğu kullanılarak üretilen sodyum borosilikat camların 304 paslanmaz çelik altlık yüzeyine kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

Çalışmada incelenen pirinç kabuğu külünün yüksek miktarda SiO_2 içerdiği ve amorf bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. Pirinç kabuğu külü kullanılarak farklı kompozisyonlara sahip reçeteler oluşturularak sodyum borosilikat cam numuneleri üretilmiştir. Reçetelerde pirinç kabuğu külü miktarı arttıkça ısıtma işlemi esnasında oluşan eriyin viskozitesinin de arttığı gözlemlenmiştir. Oluşturulan sodyum borosilikatlar öğütülmüş, su ile karıştırılmış ve metal yüzeylere uygulanmış ısıtma işlemi tabii tutulmuşlardır. Isıtma işlemi sonrası kaplama yapılan yüzeyler incelendiğinde, camsı yapının metal yüzeyinde oldukça iyi tutunduğu görülmüştür.

Bu çalışma pirinç kabuğu külünün alternatif bir hammadde olarak metal yüzeyi kaplama malzemelerinde kullanılabileceğini göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2018.KB.FEN.022 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

REFERANSLAR

- Bories, C., Aouba, L., Vedrenne, E. ve Vilarem, Gerard. (2015). Fired clay bricks using agricultural biomass wastes: study and characterization. *Construction and Building Materials*, 91, 158–163.
- Carrasco-Hurtado B, Corpas-Iglesias FA, Cruz-Pérez N, Terrados-Cepeda, J. v Pérez-Villarejo, L. (2014) Addition of bottom ash from biomass in calcium silicate masonry units for use as construction material with thermal insulating properties. *Construction and Building Materials*, 52, 155–165.
- Geraldo, R.H., Fernandes, L.F.R. ve Camarini, G. (2017). Water treatment sludge and rice husk ash to sustainable geopolymer production. *Journal of Cleaner Production*, 149, 146–155.
- Hossain SK, S., Mathur, L. Ve Roy, P.K. (2018). Rice husk/rice husk ash as an alternative source of silica in ceramics: A review, *Journal of Asian Ceramic Societies*, 6(4), 299-313.
- Hossain, SS., Mathur, L., Majhi M.R. ve Roy, P.K. (2018). Manufacturing of green building bricks: utilization of different wastes for construction purpose. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21, 281–292.
- Ke, S., Wang Y., Pan Z., Ning C. ve Zheng, S. (2016). Recycling of polished tile waste as a main raw material in porcelain tiles. *Journal of Cleaner Production*, 115, 238–244.
- Kishore, R., Bhikshma, V. ve Prakash, P. (2011). Study on strength characteristics of high strength rice husk ash concrete. *Procedia Engineering*, 14, 2666–2672.
- Lane, J. (2017) Rising from the Ashes: renewable Silica from Rice Husk Ash. <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2017/09/06/rising-from-the-ashes-renewable-silica-from-rice-husk-ash/> adresinden 2 Ekim 2023 tarihinde alınmıştır.
- Lima, M.M. ve Monteiro, R. (2001) Characterisation and thermal behavior of a borosilicate glass. *Thermochima Acta*, 373, 69–74.
- Luo, Y., Zheng, S., Ma S, Liu, C., Ding J., ve Wan, X. (2018). Novel two-step process for synthesising β -SiC whiskers from coal fly ash and water glass. *Ceramics International*, 44(9), 10585-10595.
- Parrillo, A., Sánchez, G. ve Alles, A.B. (2021). α -Si₃N₄ and Si₂N₂O whiskers from rice husk and industrial rice husk ash. *SN Applied Sciences*, 3, 268.
- Parthasarathy, T.A., Rapp, R.A., Opeka, M. ve Kerans, R.J. (2007) A model for the oxidation of ZrB₂, HfB₂ and TiB₂. *Acta Mater.* 5, 5799–6010.

- Pinheiro, B.C.A. ve Holanda, J.N.F. (2013). Reuse of solid petroleum waste in the manufacture of porcelain stoneware tile. *Journal of Environmental Management*, 118, 205–210.
- Sarangi, M., Bhattacharyya, S. ve Behera, R.C. (2009). Effect of temperature on morphology and phase transformations of Nano crystalline silica obtained from rice husk. *Phase Transitions*, 82(5), 377–386.
- Zhu, M., Ji, Ru., Li, Z., Wang ,H., Liu, L. ve Zuotai, Z. (2016). Preparation of glass ceramic foams for thermal insulation applications from coal fly ash and waste glass. *Construction and Building Materials*, 112, 398–405.

Bölüm 12

Üretken Çekişmeli Ağ (ÜÇA) Modelleri ile Metin Tabanlı Görüntü Sentezleme

İsa ATAŞ¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi; Dicle Üniversitesi Diyarbakır Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
Bilgisayar Teknolojileri Bölümü
isa_atas@dicle.edu.tr ORCID No: 0000-0003-4094-9598

ÖZET

Metinden görüntüye sentezleme, anahtar formatındaki insan tarafından eklenmiş metinsel açıklamaları metne benzer anlamsal görüntülere çevirme işlemidir. Son zamanlarda doğal dilden görüntü üretme konsepti yapay zekanın öncelikli uygulamalarından biri haline gelmiştir. Bu çalışmada, Üretken Çekişmeli Ağ (ÜÇA) modellerinin potansiyelinden yararlanılarak metin tabanlı görüntü sentezlemenin karmaşık yapısını anlamak için nazik bir giriş sunulmuş ayrıca ÜÇA ve derin evrişimli kodlayıcı-kod çözücü sinir ağları gibi temel kavramlar ele alınmıştır. Bununla birlikte ÜÇA tabanlı metin-görüntü sentezini kategorilere ayırarak özetlenmiştir. Derin öğrenme tekniklerinin bir birleşimi olan ÜÇA modelleri, metinsel açıklamalara dayalı gerçekçi görsel içerik oluşturacak şekilde özelleştirilebilir. Metin, sağlanan açıklamalarla uyumlu, tutarlı ve anlamlı görsel çıktılar oluşturmayı amaçlayan model eğitiminde temel bir rol oynar. Bu kapsamda metin tabanlı görüntü üretme; bilgisayar destekli tasarım, sanal gerçeklik, yeni nesil video oyunlarının geliştirilmesi için oyun motorları ve resimli sanat eserleri gibi yapay zekâ uygulamaları olan bir konu haline gelmiştir. Metin tabanlı görüntü sentezi alanında önemli bir ilerleme olan bu çalışmalar, metinsel ve görsel bilgiler arasındaki ilişkiye dair içgörüler sunmaktadır. Dönüştürücü potansiyeliyle bu teknoloji, daha fazla iyileştirmenin ve daha geniş erişilebilirliğin yolunu açıyor. Daha derin araştırmalar ve pratik uygulamalar şüphesiz metin ve görüntü arasındaki sinerjiyi artıracak ve ÜÇA modelleriyle metin tabanlı görüntü sentezini yapay zekâ ve bilgisayarlı görmede heyecan verici bir öncü haline getirecektir.

Anahtar Kelimeler: Derin Öğrenme, Görüntü Sentezi, Metin Açıklamaları, Metin Sentezleme Teknikleri, Üretken Çekişmeli Ağlar.

GİRİŞ

"(ÜÇA'lar) bana göre makine öğreniminde son 10 yılın en ilginç fikri."

(Yann LeCun, 2016)

Metinden görüntüye sentezleme, bilgisayarların metin verilerini inceleyerek bu metinleri anlayabilmeleri ve ardından bu anlayışı görsel olarak ifade edebilmeleri anlamına gelir. Bu teknoloji, yapay zekâ ve derin öğrenme yöntemleriyle birleşerek, metin tabanlı bilgileri gerçek dünya görsellerine dönüştürme yeteneği sunar. Metinden görüntüye sentezleme, bir metin açıklaması verildiğinde ("*bir sincap ağaca çıkıyor*") bu açıklamaya uygun bir görüntünün sentezlenmesini hedefleyen bir derin öğrenme problemidir. Metinden görüntüye sentezleme Üretken Çekişmeli Ağlar (ÜÇA) (Goodfellow vd., 2014:8) tabanlı yaklaşımlar kullanılarak gerçekleştirilir. Bu alanda yapılan araştırmalar, bilgisayarların metin anlama yeteneklerini kullanarak gerçekçi ve anlamlı görüntüler üretebilme kabiliyetini geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, bilgisayar destekli tasarım (Chen vd., 2018:9), görüntü (Yan vd., 2016:15), yeni nesil video oyunlarının geliştirilmesi için oyun motorları (Isola vd., 2018:9) ve resimli sanat nesli (Elgammal vd., 2017:22; Ataş, 2023:10) gibi yapay zeka uygulamaları olan bir konu haline gelmiştir. Bu teknoloji, metin tabanlı bilgilerin daha erişilebilir ve anlaşılır hale gelmesine yardımcı olurken, aynı zamanda üretken ve etkili görsel içeriklerin oluşumuna olanak tanımaktadır.

Aşağıda, üretken çekişmeli ağ modelleri ile metinden görüntüye sentezleme için bir taksonomi verilmiştir:

Veri Toplama: Metinden görüntüye sentezleme için uygun bir veri seti oluşturmak gereklidir. Bu veri seti, gerçek görüntüler ve bu görüntülere ilişkin metin açıklamalarını içermelidir. Veri seti, çeşitli kaynaklardan toplanabilir veya mevcut veri setlerinden oluşturulabilir.

Veri Ön İşleme: Veri seti üzerinde çeşitli ön işleme adımları gerçekleştirilir. Bu adımlar arasında metin temizleme (noktalama işaretlerinin kaldırılması, küçük harfe dönüştürme vb.), görüntü boyutlandırma, normalizasyon ve veri bölme (eğitim, doğrulama, test setlerine ayırma) gibi işlemler yer alır.

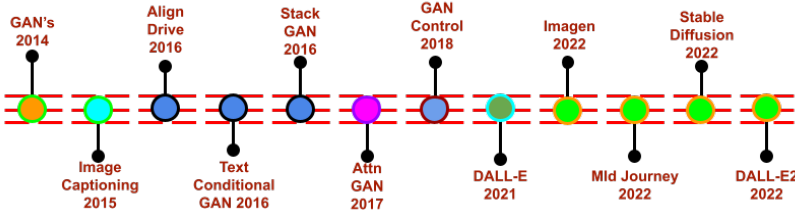
ÜÇA Modeli: Metinden görüntüye sentez yapmak için bir ÜÇA modeli tasarlanır. Bu model, bir üreteç ve bir ayırmacı içerir. Üreteç, metin açıklamalarını giriş olarak alır ve bunlara uygun görüntüleri sentezler. Ayırmacı ise sentezlenen görüntüleri gerçek görüntülerden ayırt etmeye çalışır.

Gömme (Embedding) Katmanları: Metinler ve görüntüler farklı biçimlerde temsil edilir. Metinleri ve görüntüleri ortak bir özellik uzayında birleştirmek için gömme katmanları kullanılır. Bu katmanlar, metin açıklamalarını bir vektör uzayına dönüştürerek, metinleri görüntülerle aynı uzayda temsil etmeyi sağlar.

Eğitim: ÜÇA modeli, eğitim veri kümesi üzerinde eğitilir. Eğitim sırasında, üretç ve ayırmacı birbiriyle rekabet eder. Üreteç, metin girdilerine dayanarak gerçekçi görüntüler sentezlemeye çalışırken, ayırmacı, sentezlenen görüntüleri gerçek görüntülerden ayırt etmeye çalışır. Bu rekabet, ÜÇA modelinin metinden görüntüye sentezleme yeteneğini geliştirir.

Sentezleme: Eğitim tamamlandıktan sonra, ÜÇA modeli metin girdilerine dayanarak yeni görüntüler sentezleyebilir. Metin açıklaması verildiğinde, üretç bu açıklamaya uygun bir görüntü sentezler ve çıktı olarak sunar.

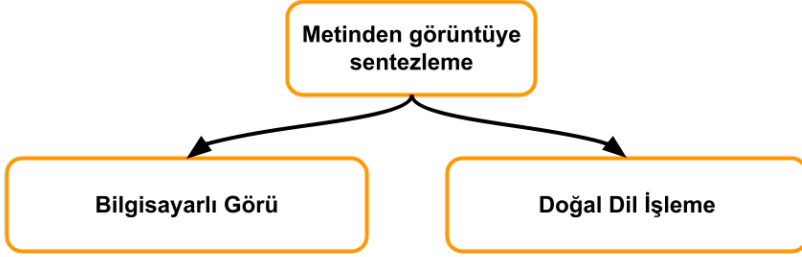
Bu taksonomi, metinden görüntüye sentezleme sürecini genel bir şekilde açıklar. ÜÇA tabanlı metinden görüntüye sentezleme, bu temel adımları içeren genel bir çerçeve sunar. Metinden görüntü sentezleme evriminin zaman dilimi Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1: Metinden görüntü sentezlemede zaman dilimi.

1.1. Metinden Görüntüye Sentezleme Problemi

Metinden görüntüye sentezleme problemi, verilen bir metin açıklamasına dayanarak gerçekçi bir görüntü oluşturma zorluğudur. Metinden görüntüye sentezleme, bilgisayarlı görü ve doğal dil işleme alanlarının kesişiminde yer alır. Şekil 2’de metinden görüntüye sentezleme bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 2: Metinden görüntüye sentezleme bileşenleri.

Metinden görüntüye sentezleme, geleneksel ve ÜÇA tabanlı yaklaşımlar ile açıklanabilir. Geleneksel yaklaşım, önceden belirlenmiş kurallar ve şablonlar kullanarak metin tabanlı verileri görsel içeriklere dönüştürme yöntemlerini ifade eder (Zhu vd., 2007:6). Bu yaklaşım, metin ile görsel arasındaki ilişkiyi manuel olarak tanımlar ve genellikle sınırlı esneklik sunar. Örnek olarak, bir metinde geçen bir kuş tanımı, geleneksel yaklaşımlarla genellikle kuşa benzer bir temel çizim veya sembol kullanılarak temsil edilebilir. Ancak bu yöntemler, karmaşık ve gerçekçi görseller üretmede sınırlıdır ve genellikle insan müdahalesini gerektirir. Metinden görüntüye sentezlemede, geleneksel yöntemlerin sınırları aşarak, ÜÇA tabanlı yaklaşımlar ile daha gerçekçi ve etkileyici görseller üretme yeteneği kazanmıştır (Odena vd., 2017:10 ; Reed vd., 2016:10 ; Wu vd., 2017:5). ÜÇA, Çekişmeli Ağ Modelleri bölümünde detaylı anlatılacaktır.

1.2. Metin Kodlaması

Metinden görüntüye sentezleme probleminde, verilen metin açıklamalarını işlemek için bir metin kodlama yöntemi kullanılır. Bu kodlama yöntemleri, metinleri sayısal bir temsil şekline dönüştürür. En yaygın kullanılan metin kodlama yöntemleri şunlardır:

Sıcak (One-Hot) Kodlama

One-hot kodlama, metindeki her kelimeyi benzersiz bir vektörle temsil etme yöntemidir. Her kelimeye bir indeks atanır ve kelimenin indeksine karşılık gelen vektörde sadece o indeksteki eleman 1, diğer elemanlar ise 0 olur. Bu kodlama yöntemi, kelime düzeyinde temsil sağlar.

Gömme (Embedding)

Gömme yöntemi, metindeki her kelimeyi bir düzlemde yoğun bir vektörle temsil etme yöntemidir. Kelimelerin anlamsal benzerliklerini koruyarak, kelimeler arasındaki ilişkileri yakalamayı hedefler. Gömme yöntemi, bir

kelimenin anlamını temsil eden öznitelikleri içeren bir vektör elde etmek için derin öğrenme modelleri kullanır.

1.3. Görüntü Sentezleme için Model Mimarileri

Metinden görüntüye sentezleme probleminde, çeşitli model mimarileri kullanılır. Bu modeller, metin açıklamalarını temel alarak gerçekçi görüntüler üretmek için derin öğrenme tekniklerini kullanır.

Göster ve Anlat (Show and Tell) Modeli

Show and Tell modeli, metin açıklamalarını kullanarak bir sinir ağı modeli eğitir. Bu model, metin açıklamasını bir öğrenme ağırlığına dönüştürür ve ardından bu ağırlığı görüntü oluşturma sürecinde kullanır. Model, önceden eğitilmiş bir evrişimli sinir ağı ve bir tekrarlayan sinir ağı kullanarak metinden görüntü sentezleme yapar.

Göster, Dikkat Et ve Anlat (Show, Attend and Tell) Modeli

Show, Attend and Tell modeli, metin açıklamalarını dikkat mekanizması kullanarak işler. Bu model, metin açıklamalarının farklı kısımlarına odaklanmayı öğrenir ve dikkat dağılımını kullanarak ilgili kısımlara daha fazla ağırlık verir. Bu şekilde, daha gerçekçi ve ayrıntılı görüntüler üretilebilir.

Dönüştürücü (Transformer) Tabanlı Modeller

Dönüştürücü tabanlı sentezleme modelleri, son zamanlarda metinden görüntü sentezlemesi alanında önemli bir ilerleme kaydetmiştir. Dönüştürücü mimarisi, metin kodlaması ve görüntü oluşturma süreçlerini daha iyi bir şekilde birleştirir. Bu modeller, büyük veri setleri üzerinde eğitildiklerinde son derece gerçekçi görüntüler üretebilir.

1.4. Eğitim Verisi ve Veri Ön İşleme

Metinden görüntüye sentezleme modellerini eğitmek için geniş bir veri setine ihtiyaç vardır. Eğitim verisi, gerçek görüntüler ve bunlara karşılık gelen metin açıklamalarından oluşur. Veri ön işleme adımları arasında metin temizleme, kelime dağarcığı oluşturma, görüntü boyutlandırma ve normalizasyon gibi işlemler yer alır.

1.5. Kayıp Fonksiyonları ve Optimizasyon

Metinden görüntüye sentezleme modellerinin eğitimi sırasında kayıp fonksiyonları kullanılır. Kayıp fonksiyonları, üretilen görüntülerin gerçek görüntülerle ne kadar iyi eşleştiğini ölçer. Optimizasyon algoritmaları, kayıp

fonksiyonunu minimize ederek modelin sentezleme performansını iyileştirmeye çalışır.

1.6. Sonuçların Değerlendirilmesi

Metinden görüntüye sentezleme modellerinin performansını değerlendirmek için çeşitli metrikler kullanılır. Bu metrikler arasında BLEU (Papineni vd., 2002:7) skoru, METEOR (Banerjee vd., 2005:7) skoru ve insan değerlendirmesi yer alır. Bu metrikler, üretilen görüntülerin kalitesini, doğruluğunu ve anlamsal uygunluğunu ölçmek için kullanılır.

2. ÇEKİŞMELİ AĞ MODELLERİ

Bu bölümde, ilk olarak ÜÇA'lar hakkında ön bilgileri verilecektir. Daha sonra, basit ve gelişmiş ÜÇA çerçeve yapılarını detaylı açıklamalar getirerek kapsamlı olarak incelenecektir.

2.1. Üretken Çekişmeli Ağlar (ÜÇA)

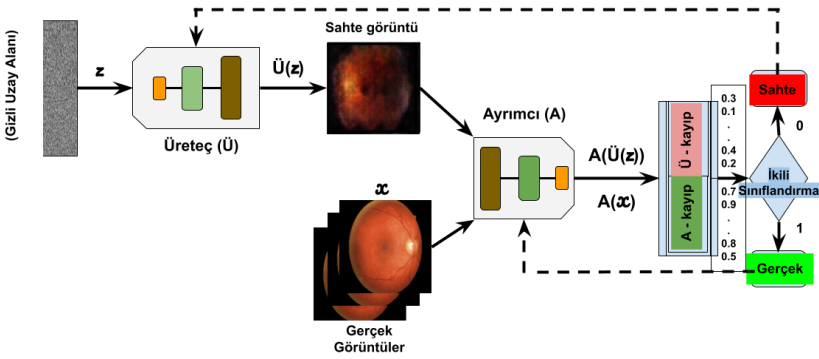
ÜÇA, belirli bir amaç fonksiyonunu en üst düzeye çıkarmaya çalışan bir üretici ağ ile aynı amaç işlevini en aza indirmeye çalışan bir ayırmacı ağ arasında bir minimaks sorgusu üzerinde eğitilmiş derin bir üretken modeldir. Bu, her iki ağın da kendi hedeflerine ulaşmak için optimize edildiği anlamına gelir: G-Üreteç (Generator) gerçekçi örnekler oluşturmalı ve D-Ayırmacı (Discriminator), Üreteç örneklerini reddetme ve gerçek örnekleri kabul etme konusunda deneyimli olmalıdır. Üreteç, çıktılarının (yani sahte verilerin) "gerçek" olarak tanınması olasılığını maksimuma çıkarmaya çalışırken, Ayırmacı aynı değeri en aza indirmeye çalışır (Goodfellow vd., 2020:5). Üreteç, \mathbf{z} 'yi (gizli bir alan verisi) χ 'e (gerçek bir görüntü verisi) eşitlerken Ayırmacı, üretilen çıktının gerçek mi yoksa sahte mi olduğunu tanımlar. Denklem (1)'de verilen amaç fonksiyonu $V(A, \tilde{U})$ olan bu iki sinir ağı, hem Ayırmacı hem de Üreteç eğitim sırasında zıt kayıp fonksiyonlarını optimize etmeye çalıştıklarından iki rakip olarak düşünülebilir.

$$\min_{\tilde{U}} \max_A V_{\text{ÜÇA}}(A, \tilde{U}) = \mathbb{E}_{\chi \sim P_{\text{data}}}[\log A(\chi)] + \mathbb{E}_{\mathbf{z} \sim P_z}[\log(1 - A(\tilde{U}(\mathbf{z})))] \quad (1)$$

Amaç fonksiyonunda verilen χ , $P_{\text{data}}(\chi)$ verilerinin dağılımından örneklenen gerçek verilerdir. \mathbf{z} , P_z üreticinin dağılımından örneklenen rastgele bir gürültüdür. ÜÇA'nın işleyişindeki temel fikir, gerçek verilerden oluşan bir veri kümesine girildiğinde bu veri kümesindekilere benzer veriler elde etmektir.

$A(\chi)$ ve $\hat{U}(\mathbf{z})$ sırasıyla ayırıcı ve üreteç ağlarıdır. Hedef fonksiyonunu tanımlayan ve mevcut çalışmayla ilişkilendirilen vanilya ÜÇA mimarisi, Şekil 3'te gösterilmektedir. ÜÇA mimarisi, Üreteç ve Ayırıcıyı aynı anda eğitir. Üreteç, rastgele bir gürültü vektörü (gizli uzay \mathbf{z}) kullanarak gerçekçi sözde veriler üretir. Ancak ayırıcı, verilerin ne kadar karşılaştırılabilir olduğunu değerlendirir. Değerlendirme aşamasında gerçek ve sahte verileri ayırt etmek için hem gerçek hem de sahte verileri işler ve 0 ile 1 arasında değişen kayıp olasılıklarını tanımlar; burada 1 gerçek verileri, 0 ise sahte verileri belirtir. İki yönlü bir geri bildirim sunar (Cheng vd., 2020:7).

Ü kaybı ve A kaybı sırasıyla üreteç ve ayırıcının kaybını temsil eder. Ayırıcı hem sahte hem de gerçek veriler için iki kez çalışırken, üreteç yalnızca bir kez çalışır. ÜÇA'lar diğer üretken modellere göre daha kaliteli örnekler (daha net ve keskin görüntüler) üretebilir. ÜÇA'ların performansını artırmak için ÜÇA metodolojisinin çok sayıda çeşidi mevcuttur (Gonog, 2019:5).



Şekil 3: ÜÇA Mimarisi. (Ataş, 2023)

2.2. Basit Çerçeve: Koşullu ÜÇA (kÜÇA)

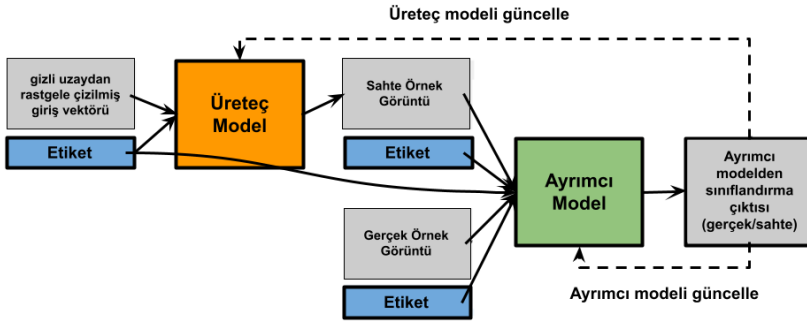
Koşullu üretken çekişmeli ağlar (kÜÇA), (Mirza vd., 2014:4) tarafından tasarlanmıştır. kÜÇA'nın amaç fonksiyonu Denklem (2)'de tanımlanmıştır, Denklem (1)'deki ÜÇA amaç fonksiyonuna çok benzerdir, tek fark, hem ayırıcıya hem de üreteçe yönelik girişlerin bir sınıf etiketi y tarafından koşullandırılmasıdır.

$$\min_{\hat{U}} \max_A V_{\text{ÜÇA}}(A, \hat{U}) = \mathbb{E}_{\chi \sim P_{\text{data}}} [\log A(\chi|y)] + \mathbb{E}_{\mathbf{z} \sim P_z} [\log(1 - A(\hat{U}(\mathbf{z})|y))] \quad (2)$$

kÜÇA, metinden görüntüye sentezlemede girdi metnini gizli bir temsile dönüştüren bir dil modelini ve bu temsile göre koşullandırılmış bir görüntü üreten üretken bir görüntü modeline birleştirme işlemini gerçekleştirir. kÜÇA'lar, metin açıklamalarını girdi olarak alır ve bu açıklamaları temel alarak gerçekçi görüntüler üretir. Bu model, metinden görüntü sentezleme için daha doğru sonuçlar elde etmek için metin açıklamalarının kullanımını sağlar.

Basit ÜÇA çerçeve yapısı olarak geliştirilmiş modelin çalışma mantığı da basittir. Hem üretçi hem de ayırmacı bir sınıf etiketi ile beslenir ve Şekil 4'te gösterildiği gibi koşullandırılır. Diğer tüm bileşenler, tam olarak ÜÇA çerçevesinde görülen bileşenlerdir, buradaki yapılan değişiklik daha çok bir mimari yöndendir.

kÜÇA eğitimi sırasında Üreteç, eğitim veri setindeki her bir etiket için gerçekçi örnekler öğrenmek ve üretmek üzere koşullandırılır. Ayırmacı, etiket bilgisi verildiğinde sahte ve gerçek numuneleri ayırt etmeyi öğrenir. Modelin çekişme durumu değişmez. Üreteç ve Ayırmacı görevlerinde koşullu yardımcı bilgilerle görüntüleri oluşturmaya ve sınıflandırarak ayırmaya devam ederler.



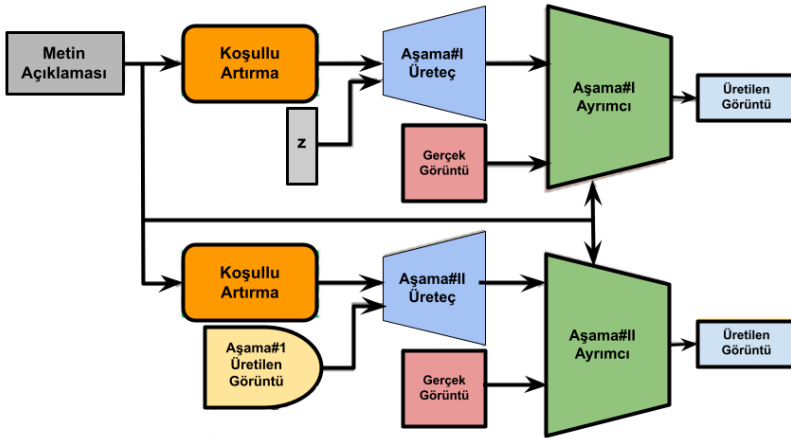
Şekil 4: kÜÇA Mimarisi. (Mirza vd., 2014)

2.3. Gelişmiş Çerçeve: Yığılmış ÜÇA

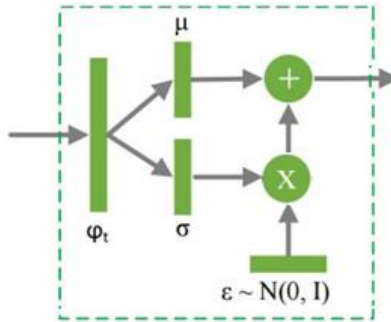
Yığılmış ÜÇA (Zhang vd., 2017:8) tarafından önerilmiştir. Girişte sadece metin açıklamalarını kullanarak metinden görüntü sentezlemesi yapabilen bir modeldir. Model, metin açıklamalarının farklı düzeylerini (örneğin, kelime düzeyi, cümle düzeyi) ele alır ve bu düzeylere göre aşamalı olarak daha yüksek çözünürlüklü görüntüler üretir. Bu aşamalı üretim süreci, daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için farklı özellikleri aşamalı olarak ekler. Bu modelin yeniliği, yüksek kaliteli görüntüler üretme, karmaşık problemini daha iyi kontrol edilen bazı alt problemlere ayrıştırmasıdır. Yığılmış ÜÇA iki aşamalı yapıdan oluşur. Aşama#1 ÜÇA, girdi olarak bir metin açıklamasını alır, metin açıklamasını birkaç koşullandırma değişkeni içeren bir metin yerleştirmeye dönüştürür ve hesaplanan koşullandırma değişkenlerine dayalı olarak kaba şekil

ve renklere sahip düşük kaliteli 64x64 görüntü oluşturur. Aşama#II ÜÇA da daha sonra bu düşük kaliteli Aşama#I görüntüsünün yanı sıra aynı metin yerleştirmeyi alır ve Aşama#I sonucunu düzeltmek ve daha fazla ayrıntı eklemek için koşullandırma değişkenlerini kullanır. Aşama# II çıktı olarak, metin açıklamasına etkileyici bir doğrulukla benzeyen, 256x256 fotogerçekçi bir görüntü üretir. Şekil 5'te genel yığılmışÜÇA modeli gösterilmiştir.

YığılmışÜÇA modelinde kullanılan Koşullu Artırma bileşenin ayrıntılı yapısı Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5: Genel yığılmışÜÇA modeli. (Zhang vd., 2017)



Şekil 6: Koşullu Artırma Modeli. (Zhang vd., 2017)

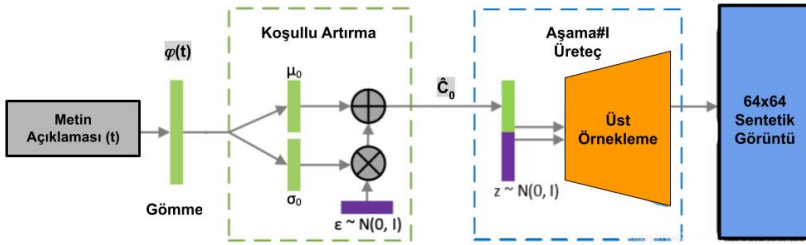
YığılmışÜÇA'nın model mimarisi temel olarak.

Gömmе: Giriş değişken metni, sabit uzunluklu bir vektöre dönüştürür $\varphi(t)$.

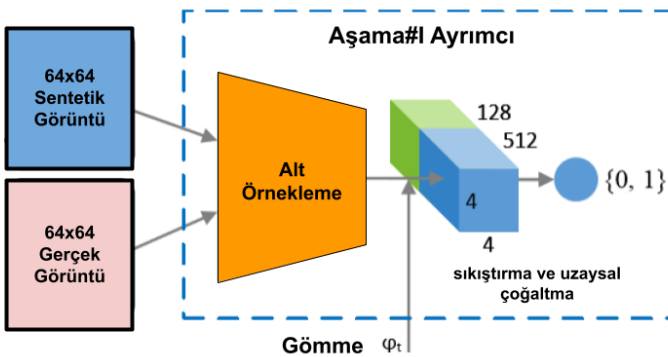
Koşullu Artırma: Yığılmış ÜÇA modelinin çıktılarının çeşitliliğini artırarak daha çeşitli ve gerçekçi sonuçlar üretmesine olanak tanır. Bu, daha zengin ve etkileyici görsel sonuçlar elde etmek için önemli bir teknik olarak kabul edilir.

Aşama#I Üreteç: Düşük çözünürlüklü (64x64) görüntüler oluşturur. Şekil 7, Aşama#I Üreteç Ağını göstermektedir.

Aşama#I Ayrımcı: Bu aşamada, üretilen ve gerçek (64x64) görüntüler giriş bölümünde alt örnekleme katmanına bağlanır. Ayrıca metin gömme $\varphi(t)$ başlangıçta sıkıştırılarak metin tensörüne dönüştürülür. Bu görüntü filtresi haritası ve metin tensörü, birleştirilerek görüntü ve metin özelliklerini öğrenmek için 1x1 evrişim katmanı ile beslenir ve özellik tensörü elde edilir. Bu ayrımcının kararı, bir düğüm ile tamamen bağlantılı bir katman tarafından yapılır. Üretilen düşük çözünürlüklü görüntünün gerçek/sahte olasılığı bulunur. Şekil 8'de Aşama#I Ayrımcı Ağı gösterilmiştir.



Şekil 7: Aşama#I Üreteç Ağı. (Zhang vd., 2017)

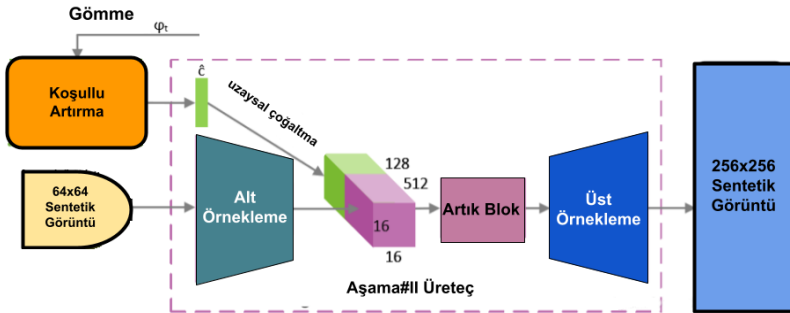


Şekil 8: Aşama#I Ayrımcı Ağı. (Zhang vd., 2017)

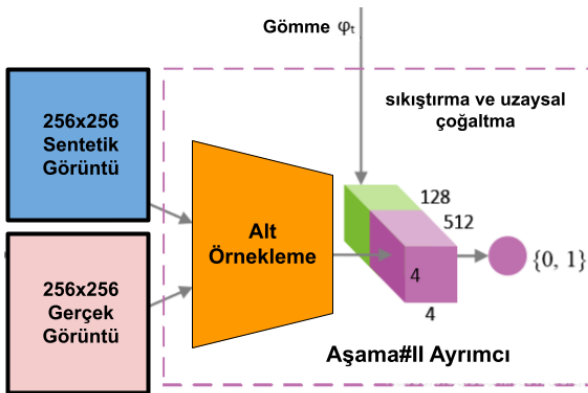
Aşama#II ÜÇA, Aşama#I ÜÇA tarafından tespit edilip yakalanmayan metin bilgilerini algılamak ve görüntü nesnesinin daha ayrıntılı piksellerini üretmek için kullanılır.

Aşama#II Üreteç: Gömme ve koşullu artırma adımları sonrası uzamsal olarak çoğaltılan şartlandırma vektörü \hat{c} oluşturulur. Aynı zamanda, Aşama#I'deki benzer sonuçları oluşturmak için ek olarak alt örnekleme katmanı kullanılır. Bu metin özellikleri ile kodlanmış görüntü özellikleri birleştirilir ve artık bloklara beslenir. Son olarak, 256 x 256 yüksek çözünürlüklü görüntü oluşturmak için üst örnekleme katmanı kullanılır. Sonuç olarak yüksek çözünürlüklü (256x256) sentetik görüntüler oluşturur. Şekil 9'da Aşama#2 Üreteç Ağı gösterilmiştir.

Aşama#II Ayrımcı: Bu aşamada girişte üretilen ve gerçek görüntü boyutu büyük olduğundan, Aşama#I Ayrımcıya benzer şekilde işlemler uygulanır. Üretilen yüksek çözünürlüklü görüntünün gerçek/sahte olasılığı bulunur. Şekil 10'da Aşama#2 Ayrımcı Ağı gösterilmiştir.



Şekil 9: Aşama#II Üreteç Ağı. (Zhang vd., 2017)



Şekil 10: Aşama#II Ayrımcı Ağı. (Zhang vd., 2017)

YığılmışÜÇA modelinin Aşama#I ile Aşama#II de elde edilen sentetik görüntüler Şekil 11’de gösterilmiştir.

SONUÇ

Metinden görüntüye sentez araştırmalarındaki gelişmeler, birçok ilgi çekici yöntem ve mimarilere kapı açıyor. Metinden görüntüye sentezin temel amacı kelime veya sözcük etiketlerinden görüntüler oluşturmak ve daha sonra doğal dillere ölçeklendirmektir. Bu yazıda, metin tabanlı doğal dilden görsel açıdan zengin ve fotogerçekçi görüntüleri üreten vanilya ÜÇA, kÜÇA ve yığılmışÜÇA yöntemlerinin etkinliği, metin girdileri, uygulama alanlarını inceledik. Sonuç olarak bu çalışma, ÜÇA modelleri kullanarak metin tabanlı görüntü sentezlemenin önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Gelecekte bu alandaki çalışmalar, daha iyi sonuçlar elde etmek ve metin tabanlı görüntü sentezini daha da geliştirmek için önemli bir role sahip olacaktır.

The small bird has a red head with feathers that fade from red to gray from head to tail



This bird is black with green and has a very short beak



This bird is light brown, gray, and yellow in color, with a light colored beak



This bird has wings that are black and has a white belly



Şekil 11: YığılmışÜÇA modelinin Aşama#I ile Aşama#II de elde edilen sentetik görüntüler. (Zhang vd., 2017)

REFERANSLAR

- Ataş, İ. (2023). Comparison of deep convolution and least squares GANs for diabetic retinopathy image synthesis. *Neural Comput. & Applic.* 35, 14431–14448.
- Ataş, İ. (2023). Singan: Sanatsal Görüntü Üretiminde Çift Dokunuşla Evrendeki Gezegenimizi Yeniden Tanımlamak, *1st Bilsel International Efes Scientific Research and Innovation Congress*, (pp. 107 – 116.) ISBN: 978-625-99040-4-7.
- Banerjee, S. and Lavie, A. (2005). METEOR: An automatic metric for MT evaluation with improved correlation with human judgments. In *Proc. ACL Workshop on Intrinsic and Extrinsic Evaluation Measures for Machine Translation and/or Summarization*, 65-72.
- Cheng K, Tahir R, Eric LK, Li M (2020) An analysis of generative adversarial networks and variants for image synthesis on MNIST dataset. *Springer, Berlin*, (pp. 13725–13752).
- Chen, J., Shen, Y., Gao, J., Liu, J., and Liu, X. (2018). Language-based image editing with recurrent attentive models. *In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, (pp. 8721–8729.) Salt Lake City, UT: IEEE Computer Society.
- Elgammal, A., Liu, B., Elhoseiny, M., and Mazzone, M. (2017). Can: Creative adversarial networks generating “art” by learning about styles and deviating from style norms. *CoRR*, arXiv:1706.07068v1.
- Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Bengio, Y. (2014) Generative adversarial nets. *In Proceedings of the 27th international conference on neural information processing systems, Montreal, Canada*, (pp. 2672–2680.) Red Hook, NY: Curran Associates, Inc.
- Goodfellow I, Pouget-Abadie J, Mirza M, Xu B, Warde-Farley D, Ozair S, Courville A, Bengio Y (2020) Generative adversarial networks. *Commun ACM* 63(11):139–144.
- Gonog L, Zhou Y (2019) A review: generative adversarial networks. *In: 2019 14th IEEE conference on industrial electronics and applications (ICIEA)*, (pp. 505–510.) IEEE
- Isola, P., Zhu, J.-Y., Zhou, T., and Efros, A. A. (2018). Image-to-image translation with conditional adversarial networks. *In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, (pp. 1125–1134.) Honolulu, HI: IEEE Computer Society.
- Mirza, M., and Osindero, S. (2014). Conditional generative adversarial nets. *arXiv preprint arXiv:1411.1784*.

- Odena, A., Olah, C., and Shlens, J. (2017). Conditional image synthesis with auxiliary classifier gans. *In Proceedings of the 34th international conference on machine learning*, (pp. 2642–2651.) Sydney, NSW, Australia. Retrieved from JMLR.org
- Papineni, K. Roukos, S. Ward, T. and Zhu, W.J. (2002). Bleu: a method for automatic evaluation of machine translation. In Proc. 40th Annu. Meeting Association Computational Linguistics, 311–318.
- Reed, S., Akata, Z., Yan, X., Logeswaran, L., Schiele, B., and Lee, H. (2016). Generative adversarial text to image synthesis. *In Proceedings of the 33rd international conference on international conference on machine learning* (pp. 1060–1069). New York, NY. Retrieved from JMLR.org
- Yan, Z., Zhang, H., Wang, B., Paris, S., and Yu, Y. (2016). Automatic photo adjustment using deep neural networks. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*,35(2), 11:1–11:15.
- Wu, X., Xu, K., and Hall, P. (2017). A survey of image synthesis and editing with generative adversarial networks. *Tsinghua Science and Technology*, 22(6), 660–674.
- Zhang, Z., Xie, Y., and Yang, L. (2018). Photographic text-to-image synthesis with a hierarchically nested adversarial network, Salt Lake City, UT, USA. *In 2018 IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 6199–6208). IEEE Computer Society.
- Zhu, X., Goldberg, A. B., Eldawy, M., Dyer, C. R., and Strock, B. (2007). A text-to-picture synthesis system for augmenting communication. *In Proceedings of the 22nd national conference on artificial intelligence* (pp. 1590–1595). Vancouver, British Columbia, Canada: AAAI Press.

Bölüm 13

**Kötü Amaçlı Yazılım Tespit Çalışmalarının
Bibliyometrik Analizi**

Mahmut TOKMAK¹

*¹ Dr.Öğretim Üyesi.; Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi,
Bucak Zeliha Tolunay Uygulamalı Teknoloji ve İşletmecilik Yüksekokulu, Yönetim Bilişim Sistemleri.
mahmuttokmak@mehmetakif.edu.tr ORCID No: 0000-0003-0632-4308*

ÖZET

Kötü amaçlı yazılımlar dijital sistemlerin güvenliği için önemli bir tehdit oluşturmakta, bu da etkili kötü amaçlı yazılım tespit tekniklerinin geliştirilmesini siber güvenlik alanında kritik bir araştırma alanı haline getirmektedir. Kötü amaçlı yazılım çalışmalarının çoğu, kötü amaçlı yazılım tehditlerini önleme, tespit etme ve bunlara yanıt verme konusunda yeni yaklaşımları araştırmayı amaçlamaktadır. Ancak araştırma faaliyetlerini desteklemek amacıyla yayınlanan araştırmaların yanı sıra, araştırma eğilimlerini ortaya koyan ve daha sonra bu alanda çalışacak araştırmacılara yön verecek bibliyometrik çalışmalara da ihtiyaç vardır. Bu nedenle bu çalışma, kötü amaçlı yazılım tespiti ile ilgili araştırmaların kapsamlı bir değerlendirmesini sunarak bu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmada, kötü amaçlı yazılım tespitiyle ilgili bir bibliyometrik bir analiz yapılmıştır. Web of Science veri tabanında sistematik arama stratejileri kullanarak, 2004-2022 yılları arasında yayımlanan 4000' e yakın eserden oluşan, geniş bir akademik yayın külliyatı toplanmış ve analiz edilmiştir. VOSviewer yazılımı kullanılarak yapılan analizler ile yayımlanan makale sayıları, alıntılar, ülkeler, anahtar kelimeler, kurumlar, terimler ve yazarlarla ilgili elde edilen sonuçlar ve bunlardan bazıları arasındaki bağlantılar ortaya konulmuştur.

Yapılan bibliyometrik analiz sonucunda kötü amaçlı yazılımların tespitine yönelik yayın çalışmalarının en çok yapıldığı ülkelerin başında Çin sonrasında ABD ve Hindistan geldiği görülmüştür. Eserlerin analizinde Android kötü amaçlı yazılım tespiti, Derin Öğrenme ve veri madenciliği başlıklarını ihtiva eden eserlerin yoğunlukta olduğu görülmüştür. Benzer sonuçların görüldüğü anahtar kelime analizi sonucunda, doğal olarak “malware detection” kelime grubunun en sık kullanıldığı bunu takiben Makine Öğrenmesi, Derin Öğrenme ve Android kelime gruplarının sık kullanıldığı ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Siber güvenlik, Kötü amaçlı yazılım tespiti, Makine öğrenmesi, Bibliyometrik analiz, VOSviewer

GİRİŞ

Günümüzün birbirine bağlı dijital ortamında, kötü amaçlı yazılım tehditlerinin her yerde bulunması, bireyler, kuruluşlar ve genel olarak toplum için ciddi riskler oluşturarak daha önce görülmemiş seviyelere yükselmiştir. Bunun yanında internet tabanlı uygulamaların kullanımının artması, kötü amaçlı yazılım tehdidi açısından, masaüstü bilgisayarlar, akıllı telefonlar, yerel sunucular ve uzak sunucular gibi bilgi işlem cihazları için ciddi bir sorun haline gelmiştir (Maniriho vd., 2023).

Kötü amaçlı yazılım veya zararlı yazılım, bilgisayar sistemlerine, ağlara ve verilere sızmak, zarar vermek veya bunları tehlikeye atmak için özel olarak tasarlanmış çok çeşitli yazılım programlarını kapsar. Bu tehditler geleneksel virüsler ve solucanlardan fidye yazılımları, casus yazılımlar ve gelişmiş kalıcı tehditler (APT) gibi daha sofistike kötü amaçlı yazılım biçimlerine kadar çeşitlilik gösterebilir (Kumar ve Panda, 2023; Maniriho vd., 2022).

Kötü amaçlı yazılımın özelliklerini ve ana işlevlerini anlamak için bir kötü amaçlı yazılım analiz süreci yürütülmelidir. Analiz yaklaşımlarında üç ana yöntem öne çıkmaktadır. Bunlar statik analiz, dinamik analiz ve hibrit analiz olarak kategorize edilmektedir. Statik analiz, bir programı çalıştırmadan değerlendirmek anlamına gelir. Statik analizden farklı olarak dinamik analiz, yürütülebilir dosyanın çalıştırılarak davranışının kontrol edilmesi anlamına gelir. Her iki analiz türünün üstünlükleri ve kısıtlamaları birbirini tamamlar niteliktedir. Statik analizler daha hızlıdır, ancak kötü amaçlı yazılım gizleme teknikleri veya şifreleme stratejileri kullanılarak iyi gizlenmişse tespit edilmekten kaçınılabilir. Gizlenmiş kodlar ve dinamik kötü amaçlı yazılımlar, programın çalışma zamanı boyunca izlenip ve incelendiğinden dinamik analizden kaçamazlar (Aboaoja vd., 2022; Maniriho vd., 2022; Tokmak, 2021; Tokmak vd., 2021).

Analiz yaklaşımlarıyla elde edilen, kötü amaçlı yazılım özneliklerini girdi olarak alan ve büyük miktarda veriyi işleyebilen makine öğrenimi (ML) yöntemleri ile oluşturulan tespit sistemleri, literatürde sıklıkla kullanılmakta ve ML yöntemleri ile başarılı sonuçlar elde edilmektedir (Li vd., 2022). ML teknikleri siber güvenlik alanı da dahil farklı birçok alanda aktif olarak kullanılmaktadır (Metlek, 2022, 2023). Modelleme ve yüksek tespit başarımları elde etmek amacıyla, Destek Vektör Makinesi (SVM), Naive Bayes (NB), Karar Ağaçları (DT), Derin Öğrenme (Deep Learning) gibi ML teknikleri kötü amaçlı yazılımları tespit sistemlerinde kullanılmış ve halen kullanılmaya devam etmektedir (Herron vd., 2021; Kumar ve Panda, 2023).

Etkili kötü amaçlı yazılım tespit tekniklerine yönelik bu arayış, çok sayıda akademik araştırma ve bilimsel yayın ortaya çıkarmıştır. Hem araştırmacılar

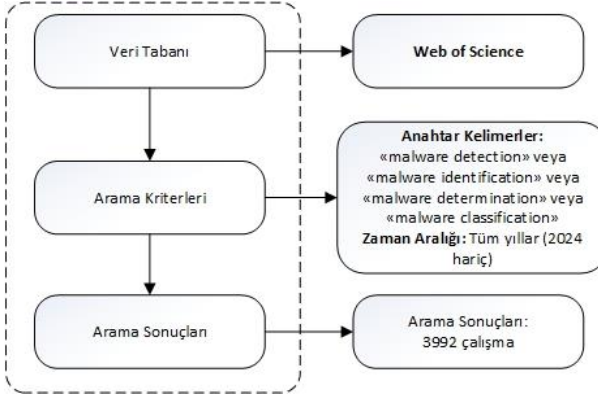
hem de uygulayıcılar, sürekli gelişen kötü amaçlı yazılım ortamıyla mücadele etmek için yeni stratejiler, algoritmalar ve araçlar geliştirmek için çaba sarf etmişlerdir. Bununla birlikte, tarihsel gelişimi, coğrafi dağılımı ve tematik odak alanları da dahil olmak üzere bu araştırma çabasının daha geniş bağlamını anlamak, alanı ilerletmek için çok önemli ve zorunludur. Bu zorunluluk ışığında, kötü amaçlı yazılım tespit araştırmalarının hatlarını aydınlatmayı amaçlayan kapsamlı bibliyometrik analiz çalışmalarına ihtiyaç vardır.

Bibliyometri, bilimsel çalışmaları sayısal analizler ve istatistikler kullanarak analiz etme sürecini ifade eder. Bu analizler, yayınlanan araştırmaların tanımlanması, değerlendirilmesi ve izlenmesi için nicel bir yaklaşım sunar (Ab Razak vd., 2016; Öztürk ve Kurutkan, 2020). Aynı zamanda, bibliyometrik analizler, ülkeleri, araştırmacıları, araştırma gruplarını, kurumları ve dergileri değerlendirmek için hem niteliksel hem de niceliksel analiz yöntemleri sağlar (Dirik vd., 2023; Mat vd., 2021). Bu yöntemler, araştırmacılara literatürü keşfetmeden önce en etkili çalışmaları bulma ve araştırmalarını yönlendirme fırsatı sunar (Gürbüz vd., 2021). Ayrıca, bibliyometrik analiz yöntemleri, araştırmacılara ait bulguları, benzer bilim alanında çalışan diğer araştırmacıların ortaya koyduğu bibliyografik verilere dayandırma ve düşüncelerini atıf yaparak, işbirliği yaparak ve yazılarla ifade etmelerine yardımcı olur (Ab Razak vd., 2016; Kıymık, 2022; Mat vd., 2021; Şeref ve Karagöz, 2019).

Bu çalışma, dergi makaleleri, konferans bildirileri, kitaplar ve daha fazlasını kapsayan geniş bir akademik yayın koleksiyonunu incelemektedir. Bu geniş literatür külliyatından iç görüleri damıtmak ve araştırma ortamının panoramik bir görünümünü sunmak hedeflenmektedir. Temel yayın eğilimlerini belirleyerek, etkili yazarları, kurumları vurgulamak ve temaları ortaya çıkararak gelecekteki araştırmalara yön verebilmek, kötü amaçlı yazılım tehditlerine karşı yapılacak çalışma perspektiflerine katkıda bulunmak amaçlanmıştır ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır.

YÖNTEM

Bu çalışmada, kaynakça verileri önde gelen akademik veri tabanı olan Web of Science'tan (WoS) toplanmıştır (Muhammad vd., 2020). Veriler Haziran 2023'te Şekil 1'de gösterilen akış şeması adımları izlenerek elde edilmiştir.



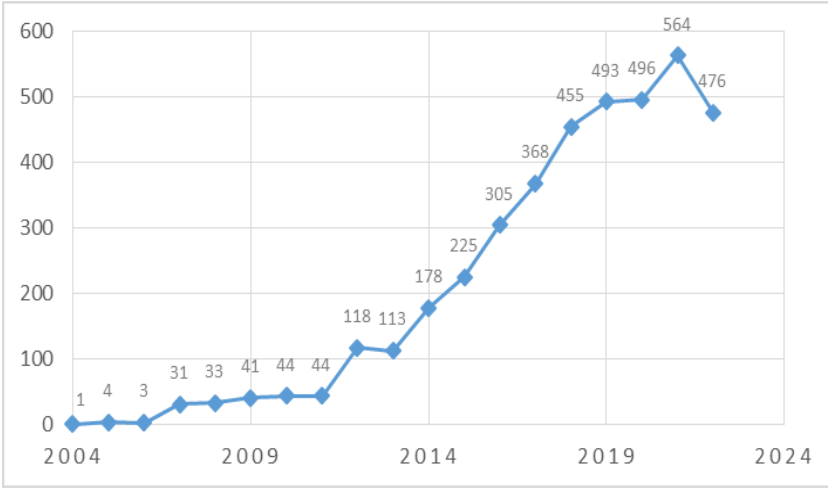
Şekil 1: Çalışma yöntemi

WoS veritabanında “malware detection”, “malware identification”, “malware determination”, “malware classification” anahtar kelimeleri VEYA (OR) bağlacı kullanılarak tarama yapılmıştır. Taramaya erken görünümde olan yayınlar ve içinde bulunduğumuz 2023 yılı, tamamlanmadığından dolayı dahil edilmemiştir. Sonuçta, herhangi bir başlangıç tarihi belirlemeden, 2004-2022 yılları arasındaki 1960 yayın organında yayımlanan ve toplam 8302 yazar tarafından kaleme alınan, kötü amaçlı yazılımların tespit edilmesine yönelik 3992 eserlik veri seti oluşturulmuştur.

Çalışmada yapılan analizlerde kullanılan araç VOSviewer yazılımıdır. VOSviewer, bilimsel bibliyometrik haritaları oluşturmak, görselleştirmek ve keşfetmek amacıyla tasarlanmış, ücretsiz olarak erişilebilen bir bilgisayar yazılımı olarak kullanılmaktadır. (Van Eck ve Waltman, 2010). VOSviewer, bilimsel bibliyometrik ağ verilerini analiz etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu veriler arasında yayınlar, kaynaklar arasındaki alıntı bağlantıları, yazarlar arasındaki işbirliği bağlantıları ve bilimsel terimler arasındaki eş-oluşum bağlantıları gibi çeşitli bağlantılar bulunmaktadır (Ab Razak vd., 2016; Arslan, 2022; Dorti ve Akdemir, 2021).

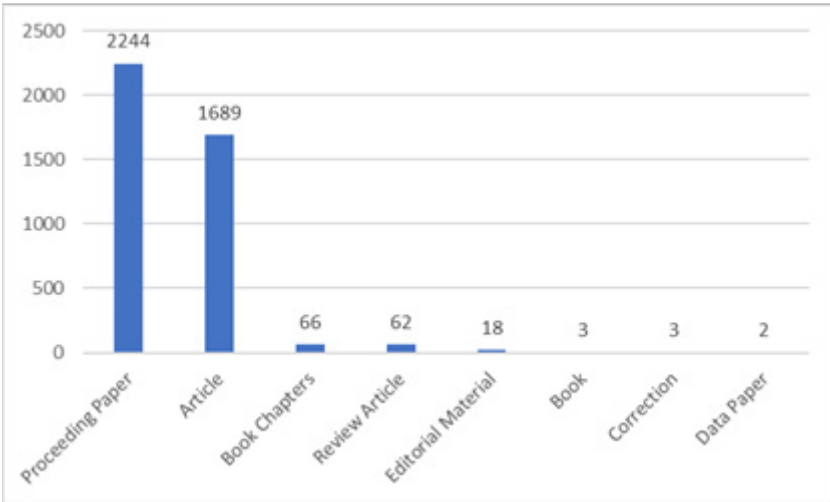
BİBLİYOMETRİK ANALİZ VE BULGULAR

Çıkarılan verilerdeki eserlerin kronolojik dağılımı Şekil 2'de gösterilmektedir. Yapılan sorgulama sonucunda elde edilen "Kötü amaçlı yazılım tespiti" ile ilgili ilk çalışma 2004 yılında yayımlanan bir konferans bildirisidir. Bu bildiri, öznitelik seçimi ve saldırı tespit sorunları üzerinde durmuş, Sung ve Mukkamala (2004) tarafından yazılmıştır. 2004 yılından itibaren yayın sayıları artmıştır. Yayın sayısındaki doğrusal artış, özellikle 2013 yılından sonra farkedilir derecede gözlemlenmektedir. 564 yayınlı en çok 2021 yılında yayın yapıldığı görülmekte ve günümüzde de halen devam etmektedir.



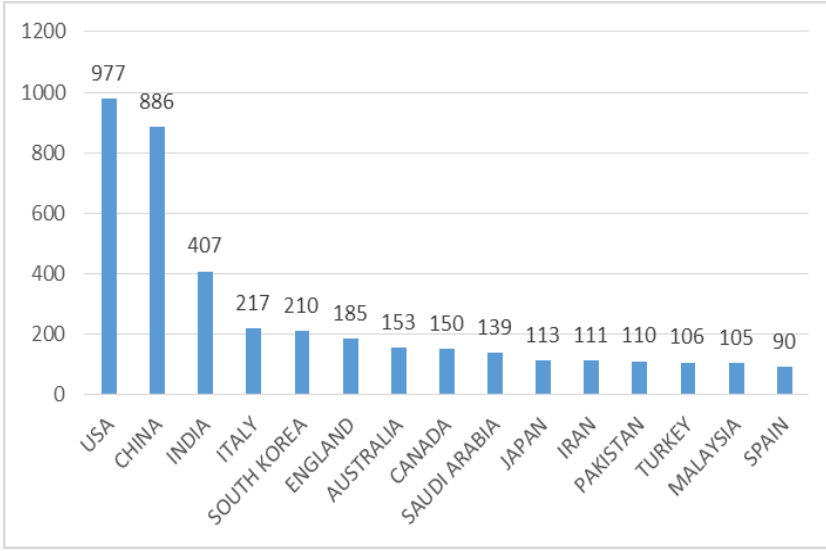
Şekil 2: WoS'ta Yayımlanan Eserlerin Yıllara Göre Dağılımı

Yayınların %56'sı Konferans bildirisi, %42'si makale kalan %4'lük dilim ise kitap bölümü, derleme makale ve diğer yayın türlerinden oluşmaktadır. Yayın sayıları ve türleri Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3: WoS'ta Yayımlanan Eser Türlerinin Sayıları

Ülkelere göre yayın sayılarına bakıldığında Amerika, Çin ve Hindistan ilk üç sırayı almaktadır. Şekil 4'te yayın sayısı bağlamında en çok yayın üreten ilk 15 ülke verilmiştir.



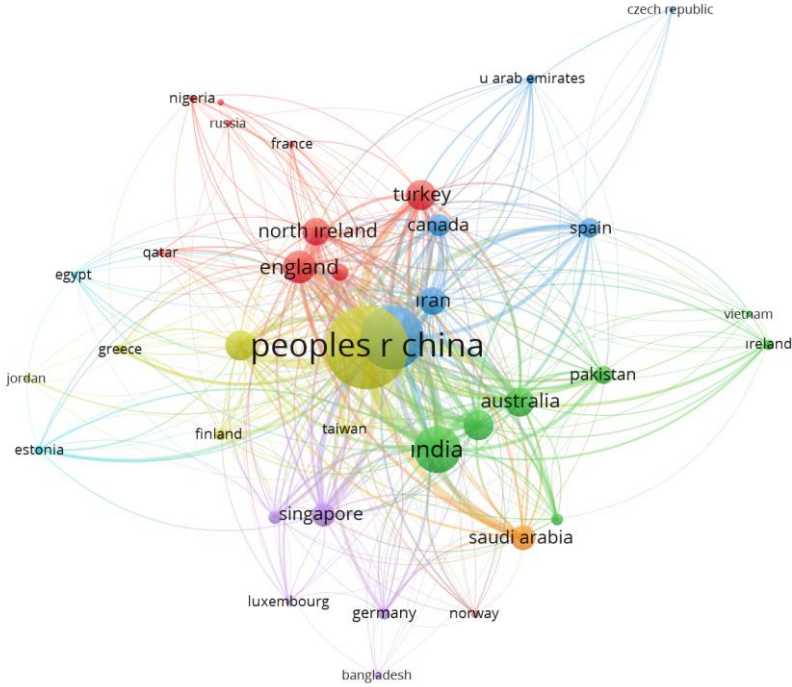
Şekil 4: WoS'ta Yayımlanan Eserlerin Ülkelerine Göre Sayıları

En çok atıf alan 10 eser ve yazarlar incelendiğinde, Christodorescu vd, Zhang vd ve Ye vd'lerine ait yayınlarının en çok atıf alan üç eser olduğu görülmektedir. Tablo 1'de görüldüğü gibi listelenen eserlerin 200'ün üstünde atıf aldığı gözlemlenmektedir.

Tablo 1: En çok atıf alan 10 eser ve yazarlar

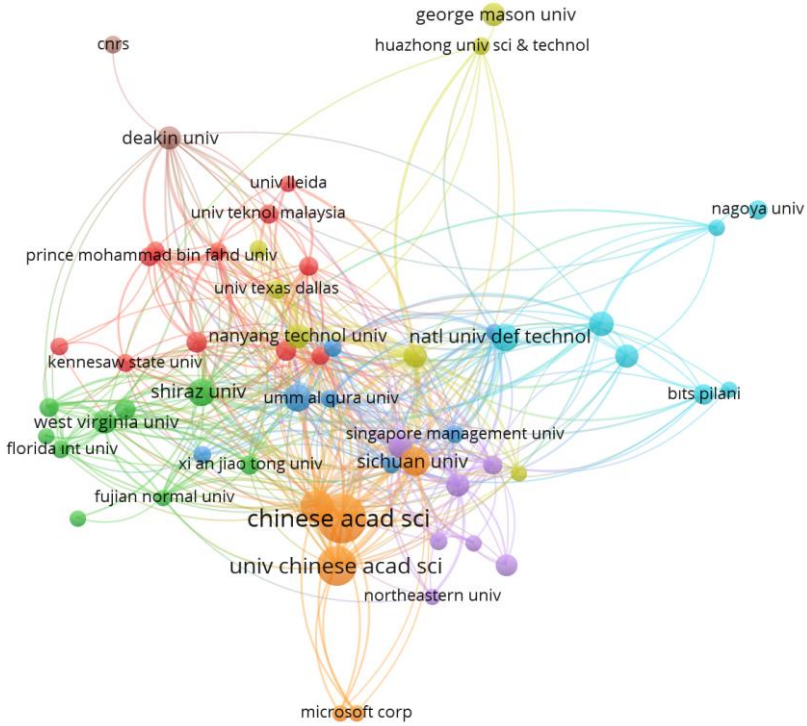
Yazar Adı	Yayın Adı	Atıf Sayısı
Christodorescu vd.(2005)	Semantics-aware malware detection	305
Zhang vd. (2014)	Semantics-Aware Android Malware Classification Using Weighted Contextual API Dependency Graphs	289
Ye vd. (2017)	A Survey on Malware Detection Using Data Mining Techniques	276
McLaughlin vd. (2017)	Deep Android Malware Detection	251
Yuan vd. (2014)	Droid-Sec: deep learning in android malware detection	245
Santos I. (2013)	Opcode sequences as representation of executables for data-mining-based unknown malware detection	232
Narudin vd. (2016)	Evaluation of machine learning classifiers for mobile malware detection	213
Kim vd. (2018)	A Multimodal Deep Learning Method for Android Malware Detection Using Various Features	206
Grosse vd. (2017)	Adversarial Examples for Malware Detection	206
Dahl vd. (2013)	Large-Scale Malware Classification Using Random Projections And Neural Networks	204

Şekil 5'te kötü amaçlı yazılım ile ilgili çalışma üretilen ülkelere ait atıf bağlantıları gösterilmektedir. Bir ülkeye ait üretilen minimum eser sayısı "5" ve minimum alıntılanma sayısı da "5" seçilerek veriler elde edilmiştir. 74 ülkeye ait eserlerin 37 tanesi bu kriterleri karşılamaktadır. Kötü amaçlı yazılım konusunda en çok çalışma yapılan ülkeler sırasıyla Çin, ABD, Hindistan olarak gözlemlenmiştir. Atıf sayıları ve toplam bağlantı gücü sıralaması da aynı şekilde oluşmuştur. Analiz sonucu ülkeler arası bağlantılarda 8 küme, 380 bağlantı ve 3783 toplam bağlantı gücü verileri elde edilmiştir.



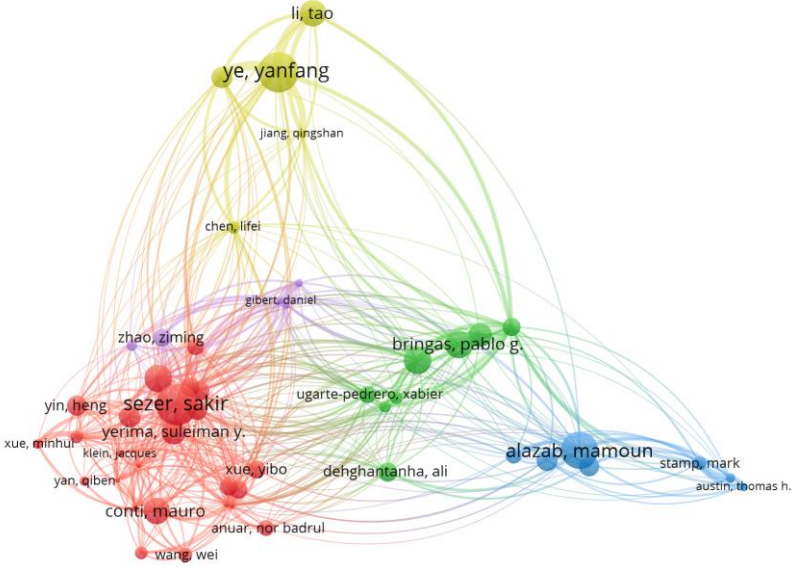
Şekil 5: Ülkeler Arası Bağlantı Haritası

Kötü amaçlı yazılım ile ilgili yapılan araştırmalarda kurumlar arası bağlantı haritası Şekil 6'da gösterilmiştir. Kurumun yayımladığı eser sayısının koşulu olarak en az 5, eserlerin aldığı en az atıf sayısı da 5 olarak belirlenmiş; aralarında bağlantı bulunan 56 kuruma ulaşılmıştır. Analiz sonucunda toplamda 8 küme, 420 bağlantı ve 817 toplam bağlantı gücü tespit edilmiştir. Buna göre eserleri en çok atıf alan kurumlar sıralamasında; Queen's Belfast Üniversitesi yayımlanan 10 eser ve 851 atıf ile ilk sırada , Tsinghua Üniversitesi 14 eser ve 813 atıf ile ikinci sırada, West Virginia Üniversitesi 10 eser ve 610 atıf ile üçüncü sırada yer almıştır. Toplam bağlantı gücüne göre ise Queen's Belfast Üniversitesi 128 toplam bağlantı gücü ile ilk sırada , Çin Bilimler Akademisi 85 toplam bağlantı gücü ile ikinci sırada, Shiraz Üniversitesi 68 toplam bağlantı gücü ile üçüncü sırada yer almıştır.



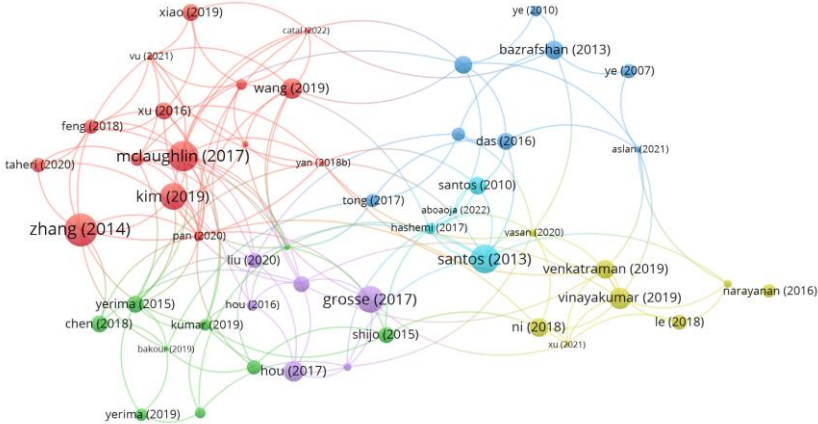
Şekil 6: Kurumlar Arası Bağlantı Haritası

Kötü amaçlı yazılım ile ilgili yapılan araştırmalarda yazarlar arasındaki bağlantı haritası Şekil 7’de gösterilmiştir. Harita, bir yazarın minimum eser sayısı “1” ve bir yazarın eserine en az atıf sayısı “5” olacak şekilde belirlenerek oluşturulmuştur. 9332 yazardan 1655’i bu kriterleri karşılamaktadır. Yazar sayısı çok olduğundan, 1665 yazar içinden en çok atıf alan ilk 50 sıradaki yazar filtrelenerek haritalamaya devam edilmiştir. Yazarlar 5 kümede toplanmış ve harita elde edilmiştir. En çok atıf alan yazarların Sezer, Ye, Alazab olduğu, toplam bağlantı gücü bağlamında sıralandığında ise Sezer, Ye, Hamzeh isimlerinin öne çıktığı görülmektedir.



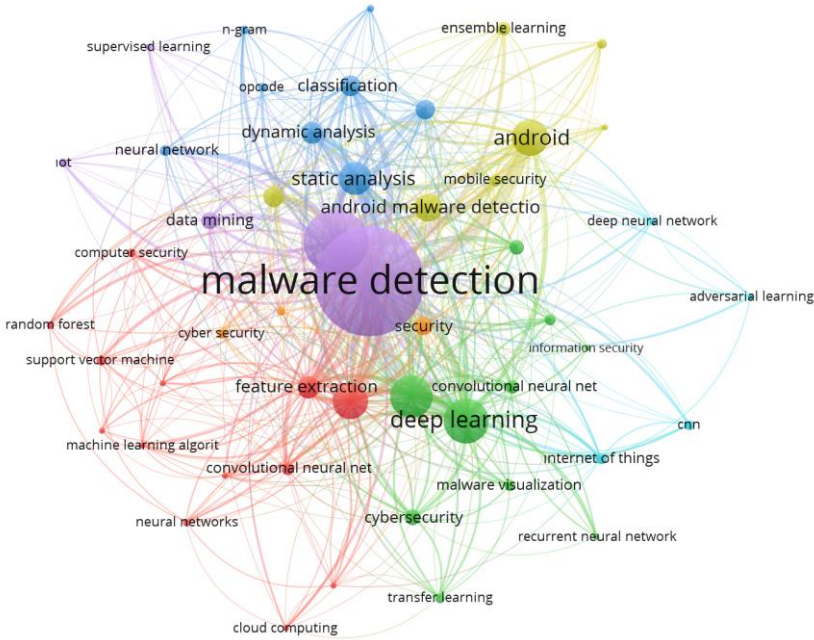
Şekil 7: Yazarlar Arası Bağlantı Haritası

Şekil 8’deki görselde üzerinde gösterilen yazarlara ait eserler, minimum atıf alma sayısı “5” olacak şekilde filtrelenmiş ve 3992 adet eser belirlenen şarta uygun olduğu ortaya çıkmıştır. 534 eser içinden en çok sayıda atıf bağlantısı olan 50 adet eser filtrelenmiş ve analiz edilmiştir. En çok atıf alan eserler sırasıyla; Zhang vd. (2014) ait Android kötü amaçlı yazılım tespiti konulu eser, Mclaughlin vd. (2017) ait Derin Öğrenme tabanlı Android kötü amaçlı yazılım tespiti konulu eser, Santos vd. (2013) ait Veri madenciliği bağlamında kötü amaçlı yazılım tespiti konulu eser olmuştur.



Şekil 8: Eser Bağlantı Haritası

Şekil 9’da anahtar kelimeler arasındaki bağlantı haritası gösterilmiştir. En az 5 defa görülme kriteri ile filtreleme sonucunda, belirlenen şarta uygun bağlantı bulunan, 1716 kelime grubundan 94 kelime grubu elde edilmiştir. Bu 94 gözlem grubundan 50 tanesi seçilerek sonuçlar alınmıştır. Toplam 7 küme, 527 bağlantı ve 2678 toplam bağlantı gücü tespit edilmiştir. Kötü amaçlı yazılım tespiti ile ilgili yayınlarda en çok kullanılan anahtar kelimelere bakıldığında 587 tekrar ile “malware detection” (kötü amaçlı yazılım tespiti), 263 tekrar ile “machine learning” (makine öğrenmesi), 153 tekrar ile “deep learning” (derin öğrenme), 137 tekrar ile “malware classification” (kötü amaçlı yazılım sınıflandırma), 112 tekrar ile “android” ve 107 tekrar ile “malware” (kötü amaçlı yazılım) ifadeleri öne çıkmaktadır. Toplam bağlantı gücü açısından değerlendirildiğinde öne çıkan ifadeler ise “malware detection”, “machine learning”, “deep learning” olmuştur.



Şekil 9: Anahtar Kelime Bağlantı Haritası

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bilgisayarların ve mobil cihazların popüleritesi yeni kötü amaçlı yazılımların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. İnternet, kötü amaçlı yazılımları kullanıcının cihazlarına sıklıkla yayan faktörlerden biridir. Kötü amaçlı yazılımların tespitine ilişkin araştırmacılara ışık tutacak öngörülere sahip olmak için bütüncül bir yaklaşımın ortaya konulması çok önemlidir. Bu doğrultuda,

yapılan çalışmada bibliyometrik analiz yöntemi kullanılarak kötü amaçlı yazılım tespiti çalışmalarının kapsamlı bir incelemesi yapılmıştır.

WoS'tan 2004-2022 yılları arasında elde edilen, 8302 yazar tarafından kaleme alınan, kötü amaçlı yazılımların tespit edilmesine yönelik 3992 çalışmanın bibliyografyası ortaya konulmuştur. Bulgular, 2004'te başlayan çalışmaların, 2014'ten sonra eser sayısı bağlamında yükselen bir ivme ile arttığını, son yıllarda da artan bir ilgi olduğunu göstermektedir. Kötü amaçlı yazılımların tespitine yönelik çalışmaların en çok yapıldığı ülkelerin başında Çin sonrasında ABD ve Hindistan geldiği görülmüştür. Kurumların yayınlarının aldığı atıf ve toplam bağlantı gücü açısından değerlendirildiğinde Queen's Belfast Üniversitesi, Tsinghua Üniversitesi, West Virginia Üniversitesi Çin Bilimler Akademisi, Shiraz Üniversitesi'nin öne çıktığı gözlemlenmiştir. Yazarlarda öne çıkan isimler ise Sezer, Ye, Alazab ve Hamzeh olmuştur.

Kötü amaçlı yazılım tespit araştırmalarının gelişen temalarına ve trendlerine açılan bir pencere olan eserlerin analizinde Android kötü amaçlı yazılım tespiti, son yıllarda bir çok alanda çalışılan Derin Öğrenme (Deep Learning) ve veri madenciliği başlıklarını ihtiva eden eserlerin yoğunlukta olduğu görülmüştür. Benzer sonuçların görüldüğü anahtar kelime analizi sonucunda, doğal olarak "malware detection" kelime grubunun en sık kullanıldığı görülmüştür. Bunu takiben Makine Öğrenmesi (Machine Learning), Derin Öğrenme ve Android kelime gruplarının sık kullanıldığı görülmüştür. Kötü amaçlı yazılım tespit yöntemleri incelendiğinde yıllar bazında elde edilen sonuçların, kullanılan yöntemler bakımından paralellik oluşturduğu görülmektedir. Buradan; makine öğrenmesinin klasik diye tabir edilen yöntemleri yerine, ilginin Derin Öğrenme metotlarına yoğunlaştığı, Android işletim sistemini kullanan cihazların kötü amaçlı yazılımların tehdidi altında olduğu çıkarılabilmektedir.

Sonuç olarak, bu bibliyometrik analiz çalışması, bu alandaki mevcut durumu ve eğilimleri ortaya koymuştur. Kötü amaçlı yazılım tehdidi ve çeşidi artsa da bu tehditleri önlemeye yönelik çalışmaların sayısı ve yöntem çeşitliliğinin de artacağı açık olarak görülmektedir.

REFERANSLAR

- Ab Razak, M. F., Anuar, N. B., Salleh, R. ve Firdaus, A. (2016). The rise of “malware”: Bibliometric analysis of malware study. *Journal of Network and Computer Applications*, 75, 58-76.
- Aboaoja, F. A., Zainal, A., Ghaleb, F. A., Al-rimy, B. A. S., Eisa, T. A. E. ve Elnour, A. A. H. (2022). Malware detection issues, challenges, and future directions: A survey. *Applied Sciences*, 12(17), 8482.
- Arslan, E. (2022). Sosyal bilim araştırmalarında VOSviewer ile bibliyometrik haritalama ve örnek bir uygulama. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(Özel Sayı 2), 33-56.
- Christodorescu, M., Jha, S., Seshia, S. A., Song, D. ve Bryant, R. E. (2005). Semantics-aware malware detection. *2005 IEEE symposium on security and privacy (S&P'05)* (pp. 32-46). IEEE.
- Dahl, G. E., Stokes, J. W., Deng, L. ve Yu, D. (2013). Large-scale malware classification using random projections and neural networks. *2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing* (pp. 3422-3426). IEEE.
- Dirik, D., Eryılmaz, İ. ve Erhan, T. (2023). Post-Truth Kavramı Üzerine Yapılan Çalışmaların VOSviewer ile Bibliyometrik Analizi. *Sosyal Mucit Academic Review*, 4(2), 164-188.
- Dorti, A. ve Akdemir, Ö. (2021). Tracking Business Intelligence Research Trends: A Bibliometric Approach. *The Online Journal of Science and Technology*, 11(2), 82.
- Grosse, K., Papernot, N., Manoharan, P., Backes, M. ve McDaniel, P. (2017). Adversarial Examples for Malware Detection. S. N. Foley, D. Gollmann ve E. Snekkenes (Editör), *Computer Security – ESORICS 2017*, Lecture Notes in Computer Science (C. 10493, pp. 62-79). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-66399-9_4
- Gürbüz, C., Kıymık, H. ve Bitlisli, F. (2021). Türkiye’de muhasebe eğitimi konusunda yapılan akademik çalışmaların bibliyometrik analizi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 24(1), 173-186.
- Herron, N., Glisson, W. B., McDonald, J. T. ve Benton, R. K. (2021). Machine learning-based android malware detection using manifest permissions (pp. 6976-6985). Proceedings of the 54th Hawaii International Conference on System Sciences, Kongresine Sunulmuş Bildiri, Maui HI USA.
- Kıymık, H. (2022). Devlet Muhasebesi Alanında Yapılan Akademik Çalışmaların Bibliyometrik Analizi. D. Keleş (Editör), *İşletmecilik*

Alanındaki Çalışmaların Bibliyometrik Analizi (pp. 29-52). Ankara: Gazi Kitabevi.

- Kim, T., Kang, B., Rho, M., Sezer, S. ve Im, E. G. (2018). A multimodal deep learning method for android malware detection using various features. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 14(3), 773-788.
- Kumar, S. ve Panda, K. (2023). SDIF-CNN: Stacking deep image features using fine-tuned convolution neural network models for real-world malware detection and classification. *Applied Soft Computing*, 146, 110676. doi:10.1016/j.asoc.2023.110676
- Li, C., Lv, Q., Li, N., Wang, Y., Sun, D. ve Qiao, Y. (2022). A novel deep framework for dynamic malware detection based on API sequence intrinsic features. *Computers & Security*, 116, 102686.
- Maniriho, P., Mahmood, A. N. ve Chowdhury, M. J. M. (2022). A study on malicious software behaviour analysis and detection techniques: Taxonomy, current trends and challenges. *Future Generation Computer Systems*, 130, 1-18.
- Maniriho, P., Mahmood, A. N. ve Chowdhury, M. J. M. (2023). API-MalDetect: Automated malware detection framework for windows based on API calls and deep learning techniques. *Journal of Network and Computer Applications*, 218, 103704. doi:10.1016/j.jnca.2023.103704
- Mat, S. R. T., Ab Razak, M. F., Kahar, M. N. M., Arif, J. M., Mohamad, S. ve Firdaus, A. (2021). Towards a systematic description of the field using bibliometric analysis: Malware evolution. *Scientometrics*, 126(3), 2013-2055. doi:10.1007/s11192-020-03834-6
- McLaughlin, N., Martinez Del Rincon, J., Kang, B., Yerima, S., Miller, P., Sezer, S., Safaei, Y., ... Joon Ahn, G. (2017). Deep Android Malware Detection. *Proceedings of the Seventh ACM on Conference on Data and Application Security and Privacy* (pp. 301-308). CODASPY '17: Seventh ACM Conference on Data and Application Security and Privacy, Kongresine Sunulmuş Bildiri, Scottsdale Arizona USA: ACM. doi:10.1145/3029806.3029823
- Metlek, S. (2022). Forecasting of Dow Jones Sukuk Index Prices Using Artificial Intelligence Systems. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 56(1).
- Metlek, S. (2023). A new proposal for the prediction of an aircraft engine fuel consumption: A novel CNN-BiLSTM deep neural network model. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 95(5), 838-848. doi:10.1108/AEAT-05-2022-0132

- Muhammad, A., Ali, M. A. H. ve Shanono, I. H. (2020). ANSYS – A bibliometric study. *Materials Today: Proceedings*, 10th International Conference of Materials Processing and Characterization, 26, 1005-1009. doi:10.1016/j.matpr.2020.01.192
- Narudin, F. A., Feizollah, A., Anuar, N. B. ve Gani, A. (2016). Evaluation of machine learning classifiers for mobile malware detection. *Soft Computing*, 20(1), 343-357. doi:10.1007/s00500-014-1511-6
- Öztürk, N. ve Kurutkan, M. N. (2020). Kalite yönetiminin bibliyometrik analiz yöntemi ile incelenmesi. *Journal of Innovative Healthcare Practices*, 1(1), 1-13.
- Santos, I., Brezo, F., Ugarte-Pedrero, X. ve Bringas, P. G. (2013). Opcode sequences as representation of executables for data-mining-based unknown malware detection. *Information Sciences*, Data Mining for Information Security, 231, 64-82. doi:10.1016/j.ins.2011.08.020
- Sung, A. H. ve Mukkamala, S. (2004). The Feature Selection and Intrusion Detection Problems. M. J. Maher (Editör), *Advances in Computer Science—ASIAN 2004. Higher-Level Decision Making*, Lecture Notes in Computer Science (C. 3321, pp. 468-482). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-540-30502-6_34
- Şeref, İ. ve Karagöz, B. (2019). Türkçe Eğitimi Akademik Alanına İlişkin Bir Değerlendirme: Web of Science Veri Tabanına Dayalı Bibliyometrik İnceleme. *Dil Eğitimi ve Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 213-231. doi:10.31464/jlere.578224
- Tokmak, M. (2021). Android Zararlı Yazılımlarının Derin Öğrenme ile Kategorilerine ve Ailelerine Göre Sınıflandırılması. *Teknik Bilimler Dergisi*, 11(2), 41-46.
- Tokmak, M., Küçükşille, E. U. ve Utku, K. (2021). Deep Learning Based Malware Detection Tool Development for Android Operating System. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 12(4), 28-56.
- Van Eck, N. ve Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538.
- Ye, Y., Li, T., Adjeroh, D. ve Iyengar, S. S. (2017). A survey on malware detection using data mining techniques. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 50(3), 1-40.
- Yuan, Z., Lu, Y., Wang, Z. ve Xue, Y. (2014). Droid-Sec: Deep learning in android malware detection. *Proceedings of the 2014 ACM conference on SIGCOMM* (pp. 371-372). SIGCOMM'14: ACM SIGCOMM 2014

Conference, Kongresine Sunulmuş Bildiri, Chicago Illinois USA: ACM.
doi:10.1145/2619239.2631434

Zhang, M., Duan, Y., Yin, H. ve Zhao, Z. (2014). Semantics-Aware Android Malware Classification Using Weighted Contextual API Dependency Graphs. *Proceedings of the 2014 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security* (pp. 1105-1116). CCS'14: 2014 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security, Kongresine Sunulmuş Bildiri, Scottsdale Arizona USA: ACM.
doi:10.1145/2660267.2660359

Bölüm 14

**Isı Yalıtım Sıvası Tasarımı,
Fiziko-Mekanik ve Termal Özelliklerinin
Belirlenmesi Üzerine
Deneysel Bir Çalışma**

Metin DAVRAZ¹

¹ Prof. Dr.; Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü.
metindavraz@isparta.edu.tr ORCID No: 0000-0002-6069-7802

ÖZET

Perlit nispeten yüksek su içeriğine sahip bir tür doğal volkanik camdır. Perlit kayacı ısı ileme, ilk hacminin 15-20 katına kadar genişerek çok hafif ve düşük ısı iletkenliğe sahip genişmiş perlit agregası elde edilir. Ülkemiz dünya perlit rezervinin yaklaşık olarak %70'ne sahiptir. Genleştirilmiş perlitli ısı yalıtım sıvaları geleneksel sıvalara göre yaklaşık on kata kadar daha iyi ısı yalıtımı sağlayabilmektedir.

Bu çalışmada ısı yalıtım sıvalarında bileşenlerin fiziksel, mekanik ve termal özelliklerine etkilerini incelemek amacıyla tasarımları farklı hafif sıva numuneleri üretilmiş ve yürürlükteki standartlara uygunlukları araştırılmıştır. Hafif sıva numunelerinin fiziksel (birim hacim kütle, kapiler su emme), mekanik (basınç ve eğilme dayanımı) ve termal (ısı iletkenlik katsayısı) özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Tüm numuneler içerisinde en elverişli tasarımın özellikleri basınç dayanımı 0.52 MPa, kılcal su emmesi 0.22 kg/m².dak^{0.5} ve ısı iletkenlik katsayısı 0.064 W/mK'dir. Ayrıca, ısı yalıtım sıvalı duvar kesitindeki enerji kaybı, geleneksel sıvalı (yalıtımsız) ve taşıyünü mantolamalı duvar kesiti ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, uygun özelliğe sahip geliştirilmiş perlit esaslı ısı yalıtım sıvası kullanılarak binalarda enerji kaybının %50'ye ulaşan önemli oranda azaltılabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Genleşmiş perlit, ısı yalıtım sıvası, enerji tasarrufu, basınç dayanımı, ısı iletkenlik, kapiler su emme

ABSTRACT

Perlite is a type of natural volcanic glass with a relatively high-water content. Perlite rock expands up to 15-20 times its initial volume by heat treatment, resulting in expanded perlite aggregate, which is very light and has low thermal conductivity. Turkey has an estimated 70% of the world's perlite reserves. Thermal insulation plasters with expanded perlite can provide up to ten times better thermal insulation than conventional plasters.

In this study, lightweight plaster samples with different designs were produced in order to investigate the effects of the components on the physical, mechanical and thermal properties of thermal insulation plasters and their compliance with the standards in force was investigated. The physical (unit volume mass, capillary water absorption), mechanical (compressive and flexural strength) and thermal (coefficient of thermal conductivity) properties of the lightweight plaster specimens were investigated experimentally. The properties of the most favorable design among all samples are compressive strength 0.52 MPa capillary water absorption 0.22 kg/m².min^{0.5} and thermal conductivity coefficient 0.064 W/mK. In addition, the energy loss in the thermal

insulation plastered wall section was compared with the conventional plastered (uninsulated) and rockwool sheathed wall section. As a result, the findings revealed that by using expanded perlite-based thermal insulation plaster with appropriate properties. energy loss in buildings can be reduced by up to 50% by using completely domestic resources.

Keywords: Expanded perlite. thermal insulation plaster. energy saving. compressive strength. thermal conductivity. capillary water absorption.

GİRİŞ

Ülkemizde bulunan yeraltı kaynaklarının en önemlilerinden biri, dünya rezervinin büyük bir bölümüne sahip olduğumuz perlit kayacıdır. Perlit, yüksek sıcaklıkta genleşme özelliği olan, genişletildiğinde camsı tanelerden oluşan köpük agregasına dönüşen, ilk hacminin 20 katına kadar genleşebilen, oldukça hafif, ısı ve ses yalıtımı sağlayan bir kayacıdır (Breese vd., 1994:15). Genleşmiş perlit tarım, inşaat, gıda, kimya, ilaç gibi farklı sanayi sektörlerinde kullanılabilir. Genleştirilmiş perlit üstün ısı ve ses yalıtım özellikleri nedeniyle, az yoğun yapı malzemesi olarak en çok inşaat sektöründe kullanılmaktadır (Bolen, 2000:2).

Türkiye dünya üzerindeki olası perlit rezervinin yaklaşık %70'ine sahiptir. Dünya ve Türkiye'de, en yaygın perlit kullanımı inşaat sektöründe görülmektedir. Bu sebeple, dünya perlit tüketimi de inşaat sektöründeki dalgalanmalardan oldukça etkilenmektedir. Perlitin volkanik faaliyetlerin yaygın olduğu Anadolu'da önemli yataklar halinde olduğu eskiden beri bilinmektedir (Mobbs, 2004:8). Ancak, perlit endüstrisi Türkiye'de gelişmekte olan bir endüstridir. Türkiye'de perlit üzerindeki çalışmaların tarihçesi 15 yılı aşmamaktadır. 1960 yılı başlarında ilk üretim ve yurtdışına ihracat 700 ton'luk bir miktarda yapılmıştır. 1968-1970 yıllarında özellikle Batı Anadolu bölgesi perlitleri üzerinde jeolojik ve çok sınırlı olarak da teknolojik değerlendirme çalışmaları sürdürülmüştür. 1971'den beri ise bu konudaki çalışmaları Etibank yürütmektedir (Ulus, 2007:128). Isı yalıtımı, ses yalıtımı ve depreme dayanıklılık avantajları açısından önemli üstünlükleri olan perlitin, inşaat sektöründe değerlendirilmesi ülke ekonomisine önemli katkılar sağlamaktadır (Chandra ve Berntsson, 2003:35).

Perlit kimyasal bileşimi bakımından silisli ve alüminyumlu bileşikler içermesi nedeniyle kalsiyum esaslı bağlayıcılar ile kimyasal reaksiyona girerek puzolanik aktivite gösterdikleri için inşaat sektöründe geniş çapta kullanılmaktadır (Gökçe, 2010:58). Bu kullanımlar çimentodan ekonomi sağladığı gibi dayanıklılık da kazandırmaktadır. Etkin bir yalıtımın yanı sıra, hafif olması nedeniyle yapının statik yüklerinde azalma oluşturur. Bu sayede

taşıyıcı eleman kesitleri azaltılabilir ve önemli ölçüde maliyetten tasarruf sağlanabilir (Babu vd., 2005:6)

Yapı dış kabuğunun atmosferden gelen nem ve suyu engellemesi yani suyu dışarı verebilme yeteneği, yapının güvenliği ve uzun süre kullanılabilirliği açısından son derece önemlidir. Bu konuda bilinen en eski çözümlerden birisi, yapı duvarlarının sıvanmasıdır. Sıva, yapıda iç ve dış duvar yüzeyleri ile tavanlara belirli kalınlıkta uygulanan harç esaslı sürekli kaplamadır (Aşkar, 2010:77). Yapılarda sıva olarak uygun olmayan malzemelerin kullanılması, beklenen verimin düşmesine, yapı ağırlığının ve ısı kayıplarının artmasına, dolayısıyla enerji maliyetlerinde beklenen tasarrufun sağlanamamasına neden olmaktadır (Çolakoğlu, 2004:143).

Enerjinin etkin kullanılması, ısı yalıtımı ile sağlanabilir. Türkiye enerjide ~%75 oranında dışa bağımlıdır. Enerji ithalatı yıllık 55 milyar \$'ı bulmaktadır. Binaların ısıtma, soğutma ve havalandırmaya harcadığı enerji 17 milyar \$ seviyelerindedir. Almanya'da bir binayı ısıtmak ve soğutmak için yıllık enerji ihtiyacı 30-60 kWh/m² iken Türkiye'de 250-350 kWh/m²'dir. Türkiye, daha soğuk bir iklime sahip Almanya'dan binaları ısıtmak veya soğutmak için neredeyse 10 kat daha fazla enerji tüketmektedir. Doğru bir ısı yalıtımı yapıldığında %50 enerji verimi elde edilmesiyle yaklaşık 8.5 milyar \$ enerji tasarrufu yapılabilir (Yaman vd., 2015).

Avrupa standartlarında, ısı iletkenlik katsayısı (λ_{10}) 0.065 W/mK'nin altında olan malzemeler ısı yalıtım malzemeleri, üstünde olanlar ise yapı malzemeleri olarak tanımlanır. Bir malzemenin ısı iletkenlik katsayısı (λ) ne kadar küçükse, yalıtımı o kadar iyi demektir. Ancak bu değer tek başına bir şey ifade etmez. Isı iletkenlik katsayısı (λ) ile malzemenin kalınlığı beraber değerlendirildiğinde, o malzemenin yalıtım özelliği ile ilgili bir sonuca ulaşılabilir. Bir malzemenin ısı iletkenlik değeri düşük olsa bile, yeterli kalınlığa ulaşamıyorsa bu malzemeyle ısı yalıtımı yapılamaz.

Isı yalıtım malzemesi seçiminde bir diğer belirleyici özellik de malzemenin yangın sınıfıdır. Temmuz 2015 tarih ve 29411 sayılı "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik"e göre yüksekliği 28.5 m'den fazla olan binaların dış cephelerinin en az zor yanıcı (A1, A2), diğer binalarında en az zor alevlenici (C) malzemenin olması gereklidir.

Ülkemizde en geniş pazar hacmine sahip yalıtım malzemeleri geliştirilmiş polistren (EPS) ve ekstrüde polistren (XPS) iken, yangın yönetmeliğinin getirdiği değişiklikler, talebi sıkıştırılmış camyünü ve taşıyünü lehine değiştirmeye, kalsiyum silikat esaslı yalıtım plakaları da son birkaç yıldır ısı yalıtım pazarında yer almaya başlamıştır (Yaman vd., 2015).

Geleneksel ısı yalıtım malzemeleri arasında en düşük birim fiyata sahip malzeme EPS'dir. Binaların dış cephelerinde meydana gelen yangınlar, özellikle alevlenici özellikteki yapı malzemeleri yardımı ile cephenin büyük bir bölümünü hızla etkisi altına almaktadır. İtfaiyenin ulaşamayacağı yüksekliğe eriştikten sonra yangına müdahale zorlaşmakta ve dışarıdan söndürme çabaları yangını kontrol altına almayı güçleştirmektedir. 2017 yılı Haziran ayında Londra'da meydana gelen Grenfell Tower yangını bu tip bir yangına örnektir. Yangın 2. kattan itibaren tüm binayı çok kısa bir sürede etkisi altına alarak, tüm cepheye hızla yayılmış ve 79 insan hayatını kaybetmiştir. İtfaiyenin yangına müdahalesi ve yangının söndürülebilmesi yaklaşık 24 saat sürmüştür (Özdemir vd., 2017:253).

Yüksekliği 28.50 m'den fazla olan binalarda dış cephede hiç yanmaz ya da zor yanıcı malzeme (A1, A2) ve diğer binalarda ise en az zor alevlenici malzeme (C) kullanılmalıdır. Dış cephesi zor alevlenici malzeme veya sistemden oluşan, yüksekliği 28.50 m'den az olan binalarda, zemin kotu üzerindeki 1.5 m mesafe hiç yanmaz malzeme ile kaplanmalı, bina yüksekliği 6.50 m'den fazla olan binalarda pencere ve benzeri boşluklarının yan kenarları en az 15 cm ve üst kenarı en az 30 cm eninde hiç yanmaz malzeme ile yangın bariyerleri oluşturulmalıdır. Hiç yanmaz ısı yalıtım malzemeleri bina yüksekliğinden bağımsız tüm cephelerde kullanılabilmekte, alevlerin bir kattan diğerine geçişini engellemek için iki katın pencere gibi korumasız boşlukları arasında ayrıca bir önlem alınmasına gerek bulunmamaktadır (Özdemir vd., 2017:254).

Geleneksel ısı yalıtım levhalarının cephe montajında ve sonrasında;

- ✓Isı yalıtımı yapılacak duvar yüzeyinin düzgün olmaması, tekniğine uygun hazırlanmaması,
- ✓Dübel montajlarının yanlış yapılması yada kalitesiz dübel kullanılması,
- ✓Bina rüzgar yüklerinin dikkate alınmaması ve eksik dübel kullanımına bağlı levhaların cepheden sökülmesi,
- ✓Isı yalıtım levhalarının şaşırtmalı olarak yerleştirilmemesi,
- ✓Isı yalıtım levhalarının arasında kalan boşlukların sıva/harçla doldurulması sonucu ısı köprüleri oluşması,
- ✓Yapıştırma harcının gereğinden az/fazla kullanılması yada kalitesiz yapıştırma harcı seçimi,
- ✓Donatı filelerinin alkali dirençli olmaması, file bini paylarına dikkat edilmemesi,
- ✓Su yalıtımı ile ısı yalıtımı detaylarının iyi çözülmemesi, yağmur oluklarının sistem içerisine gömülmesi,

- ✓Sıva tutucu empenye bir sistemi olmayan cam yünü/taşyünü levha kullanımı,
 - ✓Balkon ve çıkma detaylarında eksik/yanlış çözümlere bağlı ısı köprülerinin oluşması,
 - ✓Düşük dansiteli ve/veya hasarlı yalıtım levhalarının kullanımı,
 - ✓Yangın dayanım sınıfı uygun olmayan malzemelerin kullanılması,
- Gibi nedenlerden kaynaklanan sorunlarla sıklıkla karşılaşmaktadır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nca yayınlanan “Isı Yalıtım Yol Yardım Haritası” belgesinde ısı yalıtım sıvaları ile yalıtım yapılamayacağı belirtilmiştir. Bu yaklaşım TS EN 998-1 standardını göz ardı etmektedir. Bununla birlikte ısı yalıtım sıvalarının yalıtım malzemesi olarak adlandırılabilmesinin en temel koşulu da $\lambda_{10} \leq 0.065$ W/mK değerini sağlamasıdır. Ülkemizde “ısı yalıtım sıvası” üreticisi 50'den fazla firma olduğu tahmin edilmektedir.

Isı yalıtım sıvalarında (IYS) ön plana çıkan 4 temel özellik; Sertleşmiş harcın kuru yoğunluğu, ısı iletkenlik katsayısı, basınç dayanımı ve kılcal su emmesidir. Kuru birim hacim kütlesi ≤ 300 kg/m³, ısı iletkenlik katsayısı ≤ 0.065 W/mK, basınç dayanımı ≥ 400 kPa, kapiler su emme katsayısı ≤ 0.40 kg/m².dak^{0.5} olmalıdır.

IYS'lerinin geleneksel ısı yalıtım levhalarından farklı olarak; uygulama yapılacak yüzeyde ilave bir hazırlık işlemi gerektirmemesi, duvar-döşeme ya da taşıyıcı sistemin delinmemesi, ısı köprüsü oluşturmaması, bakım ve tamiratının kolay olması, file haricinde yardımcı malzeme gerektirmemesi, rijit bir levha olmaması nedeniyle esnek tasarımlara olanak sağlaması, malzeme kaybı ve atık oluşturmaması gibi önemli avantajları vardır.

Hazır IYS'ları uygulayıcıya kraft torbalar içerisinde kuru karışım olarak sunulan ürünlerdir. Şantiyede üreticinin tavsiye ettiği su/katı oranında karışıma su ilave edilerek hazırlanır. Mala yada makine ile uygulanır. Ülkemizde üretilen IYS'lerinin (önemli bir kısmının) en büyük dezavantajı beyan edilen ısı iletkenlik değerlerinin ölçülen değerler ile tutarlı olmayışıdır. Bunun haricinde daha az sıklıkla kapiler su emme ve mekanik dayanım problemleriyle de karşılaşmaktadır.

IYS üzerine ülkemizde yürütülen çok az sayıdaki bilimsel çalışmadan birisi Akbulut (2018) tarafından yapılmıştır. Çalışmada yaygın kullanılan ve tamamı TS EN 998-1 standardına göre üretilen 5 farklı firmaya ait hazır ısı yalıtım sıvası ürününden numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin basınç ve eğilme dayanımı gibi mekanik özellikleri yanı sıra birim hacim kütle, kapiler su emme ve ısı iletkenlik katsayısı gibi fiziksel özellikleri incelenmiştir. Çalışmada, 5 örnekten tamamının TS EN 998-1 standardı basınç dayanımı kriterini sağladığı (CS1 yada CS2), kılcal su emme kriterini ise sadece 2 örneğin

karşılayabildiği, ısı iletkenlik kriterini sadece 2'sinin TS 998-1 standardına göre T2 sınıfını ($\lambda_{10} > 0.10$ W/mK) ancak sağlayabildiği, diğer 3 örneğin T1 sınıfında ($\lambda_{10} \leq 0.10$ W/mK) yer aldığı, ancak hiçbirisinin $\lambda_{10} \leq 0.065$ W/mK temel koşulunu sağlayamadığı belirlenmiştir. Bir kısım üretici firma ürününde ısı iletkenlik beyan değerleri ile gerçek değerlerinin uyuşmadığı da vurgulanmıştır.

IYS'ları dış ve iç duvar sistemleri de dahil olmak üzere birçok uygulamada kullanılabilir. Yeni tadilat yöntemlerine sahip olmak için aerojel içerikli yüksek performanslı yalıtım sıvası geliştirilmiş ve kısa sürede ticari bir çözüm haline gelmiştir. Mineral esaslı yeni sıva, orijinal tarihi yapı malzemelerine çok benzer ve eski binalarda iç ve dış yüzeylerde kullanım için idealdir. Yeni malzeme, tarihi binaları yenilemek ve görünüşlerini değiştirmeden enerji tasarrufu sağlamak için ideal bir çözüm sunmaktadır (Buratti vd., 2014). Avrupa'da özel projeler için Fixit 222 markasıyla özel bir mineral sıva kullanımı giderek yaygın biçimde kullanılmaya başlamıştır. Bu malzeme hafif agrega olarak granül aerojel içeren, beyaz çimento + kireç bağlayıcılı yüksek performanslı mineral yalıtım sıvasıdır. Fixit 222 özellikle tarihi ve koruma altındaki binaların iç ve dış duvarlarının, iç ve dış nişlerin, boşlukların ve pencere kemerlerinin yalıtılmasında başarıyla uygulanmaktadır. Üretici firma sıvanın ısı iletkenlik katsayısını ($\lambda_{23,80}$) ≤ 0.028 W/mK, kapiler su emme katsayısını ≤ 0.40 kg/m².dak^{0.5} ve su buharı difüzyon direncini ~4-5 olarak beyan etmiştir (Fixit 222 and 244; Aerogel, 2022). Bununla birlikte, arojelin yüksek maliyetine bağlı olarak sıva birim satış fiyatı da (28.5 €/kg) oldukça yüksektir (Hasit, 2022).

Bu çalışmada, temel hammadde olarak genişmiş perlit agregası kullanılmıştır. Ayrıca ekonomik ve dayanıklı sıva üretimini sağlamak için baca külü (BK) ve amorf silika hafif agregaları da bazı karışımlara ilave edilmiş, sıva numunelerinin eğilme dayanımı artırmak ve işlenebilirliği iyileştirmek amacıyla bileşime (selülozik) elyaf katılmıştır. Bütün karışım gruplarında, bağlayıcı olarak CEM-I 42.5 sınıfı Portland çimentosu kullanılmıştır. Sertleşmiş sıva numunelerinin basınç dayanımı, eğilme dayanımı gibi mekanik özellikleri yanı sıra birim hacim kütle, kapiler su emme ve ısı iletkenlik katsayısı gibi fiziksel özellikleri de incelenmiştir.

MALZEME ve YÖNTEM

Hammaddeler

Çalışma kapsamında hafif agrega olarak inşaat perlit, baca külü (BK) ve Isparta Keçiborlu yöresine ait amorf silika (AS) kullanılmıştır. Genleştirilmiş

perlit ve selülozik elyaf yurtiçi tedarikçi firmalardan temin edilmiştir. Baca külü ve amorf silika agregaları ise Isparta’da yer alan HSD Madencilikten sağlamıştır. Bağlayıcı madde olarak Göлтаş Çimento Fabrikası’ndan temin edilen CEM-I 42.5 R tipi Portland çimentosu seçilmiş, ayrıca sıva harcı üretiminde hava sürükleyici, kıvam artırıcı ve su itici toz polimerler de kullanılmıştır. Sıva harcı yapımında kullanılan karışım suyu, Süleyman Demirel Üniversitesi içme suyu şebekesinden temin edilmiştir.

Hammaddelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi

Agregalar başlangıçta polietilen kap içerisinde doğal rutubetli halde muhafaza edilmiş, 1000 g numune 0.5 g hassasiyetli terazi ile tartılmış, 110°C’de değişmez kütleye kadar etüvde kurutulmuş ve kurutulan agrega tekrar tartılmıştır. Daha sonra doğal rutubetleri;

$$\% R_d = (m_1 - m_2) / m_1 \quad (1)$$

Eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Burada,

R_d : Agreganın doğal rutubeti, %

m_1 : Agreganın doğal rutubetli haldeki kütlesi, kg

m_2 : Agreganın etüv kurusu kütlesidir, kg

Hafif agregaların gevşek yığın yoğunlukları TS EN 1097-3 standardına; özkütleleri TS 699 standardına, tane yoğunluğu ve su emme oranları TS EN 1097-6 standardına göre belirlenmiştir.

Hafif agregaların görünür ve gerçek porozite, toplam porozite, görünür ve gerçek kompasite, kapalı gözenek oranı değerleri;

$$\eta_1 = [1 - (\rho_{rd} / \rho)] \cdot 100 \quad (2)$$

$$\eta_0 = [1 - (\rho_{rd} / \rho_a)] \cdot 100 = (1 - k_0) \quad (3)$$

$$k_0 = (\rho_{rd} / \rho_a) \cdot 100 = (1 - \eta_0) \quad (4)$$

$$k_g = (100 - \eta_1) \cdot 100 \quad (5)$$

$$\eta_k = \eta_1 - \eta_0 = k_0 - k_g \quad (6)$$

Eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Burada,

η_1 : Toplam (gerçek) porozite, %

η_0 : Görünür porozite, %

k_0 : Görünür kompasite, %

k_g : Gerçek kompasitedir, %.

Laboratuvarda 4mm, 2mm, 1mm, 0.30mm ve 0.100 mm’lik eleklerden elenmek suretiyle “elek üstü kalan miktarları” belirlenen ve daha sonra “yığışımli geçen miktarları” % olarak hesaplanan hafif agregaların tane boyut

dağılımları belirlenmiştir. Hafif agregaların ve $\phi 60 \times 25$ mm boyutlu silindirik sertleşmiş sıva numunelerinin ısı iletkenlik katsayıları, Süleyman Demirel Üniversitesi Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde Lasercomp Fox 50 cihazı ile ısı akısı (heat flow meter) yöntemine göre ölçülmüştür. Bu işlem için hafif agregalar ve sıva numuneleri %100 kuru duruma getirilmiştir. Agregalar 60 mm çaplı ve 25 mm yüksekliğinde polietilen plastik halka içerisinde yerleştirilmiş ve her bir agrega grubundan iki adet örnek hazırlanarak ısı iletkenlik katsayıları ölçümlenmiştir. Agregaların kimyasal bileşenleri GÖLTAŞ Kalite ve Kontrol Laboratuvarı'nda XRF cihazı ile tayin edilmiştir.

Sıva numunelerinin hazırlanması, kalıplanması ve kürlenmesi

Öncelikle sıva harcı bileşen türlerine göre karışım oranları hesaplanmıştır. Hesaplama;

$$1000 = (W_c/\rho_c) + (W_p/\rho_p) + (W_{as}/\rho_{as}) + (W_{bk}/\rho_{bk}) + (W_{se}/\rho_{se}) + (W_{hs}/\rho_{hs}) + (W_{ts}/\rho_{ts}) + (W_{slz}/\rho_{slz}) + W_{su} + V_{hava} \quad (7)$$

Eşitliği kullanılmıştır. Burada,

ρ_c : Çimentonun özgül kütlesi, g/cm^3

ρ_p : Perlitin etüv kuru tane yoğunluğu, g/cm^3

ρ_{as} : Amorf silikanın etüv kuru tane yoğunluğu, g/cm^3

ρ_{bk} : Baca külünün etüv kuru tane yoğunluğu, g/cm^3

ρ_{se} : Elyafın özkütlesi, g/cm^3

ρ_{hs} : Hava sürükleyicinin özkütlesi, g/cm^3

ρ_{ts} : Su iticinin özkütlesi, g/cm^3

ρ_{slz} : Kıvam artırıcının özkütlesi, g/cm^3

W : Karışıma giren bileşenlerin kütlesi, g

V_{hava} : Karışıma sürüklenen havanın hacmi, cm^3 , tür.

Hesaplamalar tamamlandıktan sonra, karışım oranlarına göre hafif agrega, çimento ve su 0.5 g hassasiyetli, elyaf ve polimerler ise 0.001 g hassasiyetli elektronik terazi ile tartılmış ve 5 L'lik mikserle sabit devir ve sürede karıştırılmıştır. Hazırlanan taze harç numuneleri 40x40x160 mm prizmatik numune kalıplarına dökülmüş, sarsma tablasında sabit sürede 60 kez sarsılmak suretiyle kalıplara yerleştirilmiştir. Yerleştirme işlemi sonrası kalıplar polietilen örtü içerisine alınarak, numuneler oda sıcaklığında 3 gün kalıpta kürlenmiştir. 3 gün sonrasında kalıptan çıkarılan numuneler iklim kabinine yerleştirilmek suretiyle %80 bağıl nem (RH) ortamında ve 23°C'de deney süresine kadar (~25 gün) küre devam edilmiştir.

Sertleşmiş sıva numunelerinin fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi

28 günlük kür süresini tamamlayan 40x40x160 mm sıva örnekleri, hava dolaşımli etüvde 70°C’de değişmez kütleyle kadar kurutulmuş, boyutları 1/100 mm hassasiyetli elektronik kumpasla ölçülmek suretiyle hacimleri hesaplanmış, 0.5 g hassasiyetli elektronik terazi ile tartılmış ve boşluklu kuru birim hacim kütleleri TS EN 1015-10 standardına uygun olarak hesaplanmıştır. Birim hacim kütleleri belirlenen sıva örneklerinin TS EN 1015-18 standardına uygun olarak kapiler su emme katsayıları (c) belirlenmiştir. Başlangıçta kuru kütleleri belirlenmiş olan sıva numuneleri, yatay düzeçlenmiş tabanı düz metal bir tepsi içerisine dik olarak dizilmiştir. Metal kaba, numunelerin alt yüzeylerinden 3-5 mm’si temas edecek şekilde su ilave edilmiş, 10 dak ve 90 dak sürelerle kütleleri tartılmış ve kapiler su emme katsayıları (c) TS EN 1015-18 standardına uygun olarak hesaplanmıştır.

Kapiler su emme katsayıları belirlenen numuneler hava dolaşımli etüvde 70°C’de değişmez kütleyle kadar tekrar kurutulmuştur. Sonrasında 20 tonluk bilgisayar kontrollü test presi ile eğilme ve basınç dayanımları test edilmiştir. Eğilme testi TS EN 1015-11 standardına uygun olarak yapılmış;

$$f_{cf} = (F \cdot L) / (d_1 \cdot d_2^2) \quad (8)$$

Bağıntısı kullanılarak eğilme dayanımları (f_{cf}) hesaplanmıştır. Burada,

f_{cf} : Eğilme dayanımı, MPa

F : En büyük yük, N

L : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, mm

d_1, d_2 : Numune en kesit boyutları, mm’dir.

Eğilme dayanımı testi sonrasında elde edilen iki parça üzerinde basınç dayanımı testleri yürütülmüş ve TS EN 1015-11 standardına uygun olarak numunelerin basınç dayanımları (f_c);

$$f_c = F / A \quad (9)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır. Burada,

f_c : Numunelerin basınç dayanımı, MPa

F : En büyük yük, N

A : Kuvvet etki eden numune yüzey alanıdır, (1600) mm².

BULGULAR

Hammaddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

IYS üretiminde kullanılan perlit, baca külü ve doğal amorf silikaya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 1’de verilmiştir. Ayrıca, hafif agregaların tane boyut dağılımları da analiz edilmiştir. Perlit ve BK’nün tane boyut dağılımları Tablo 2 ve Tablo 3’de, amorf silikaya ait tane boyut dağılımı Tablo 4’de sunulmuştur. Çalışmada bağlayıcı olarak kullanılan çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 1: Hammaddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fiziksel Özellikleri			
	Genleşmiş Perlit	Baca Külü	Amorf Silika
Renk	Beyaz. gri ve tonları	Gri. Koyu gri. Kahverengi	Krem. açık krem
Özgül kütle (g/cm ³)	2.33	2.59	2.24
Serbest nem (%. Ağırlıkça)	≤ 0.5	≤ 0.1	≤ 0.5
Gevşek yoğunluk (kg/m ³)	80-95	570	230
Ağırlıkça su emme (%)	111	35	94
Görünür Porozite (%)	68.78	39.64	64.88
Gerçek Porozite (%)	86.89	51.43	65.13
Isı iletkenlik katsayısı (W/m.K)	0.045	0.11	0.080
Kimyasal Özellikleri			
Bileşenler	%	%	%
SiO ₂	73.32	42.01	92.48
Al ₂ O ₃	13.86	17.34	2.60
Fe ₂ O ₃	0.98	8.43	0.09
CaO	0.65	8.43	0.31
MgO	0.32	4.34	0.00
Na ₂ O	2.72	0.32	1.08
K ₂ O	5.74	2.51	0.04
SO ₃	0.005	0.99	0.09
Kızdırma Kaybı	1.34	4.03	1.85

Tablo 2: İnşaat perlitinin tane boyut dağılımı

Elek Aralığı (mm)	Elek Üstünde Kalan (%)	Yığılımlı Kalan (%)	Yığılımlı Geçen (%)
2	0.00	0.00	100.00
1	10.49	10.49	89.51
0.30	41.28	51.78	48.22
0.10	36.42	88.19	11.81
Pan	11.81	100.00	0.00

Tablo 3: BK'nün tane boyut dağılımı

Elek Aralığı (mm)	Elek Üstünde Kalan (%)	Yığılımlı Kalan (%)	Yığılımlı Geçen (%)
2	0.05	0.05	99.95
1	8.33	8.58	91.62
0.50	21.21	29.59	70.41
0.30	23.97	53.56	46.44
0.10	34.30	87.86	12.14
Pan	12.14	100	0.00

Tablo 4: Amorf silika tane boyut dağılımı

(Mikronize) Amorf Silika							
Boyut	% Üstü	Boyut	% Üstü	Boyut	% Üstü	Boyut	% Üstü
1.00	91.87	20.00	23.12	75.00	16.82	500.0	13.23
2.00	81.34	25.00	20.33	90.00	16.55	600.0	12.72
3.00	73.98	30.00	18.65	125.0	15.41	700.0	10.85
4.00	66.98	35.00	17.66	150.0	14.68	800.0	6.54
5.00	60.41	40.00	17.13	200.0	13.82	D ₁₀	1.13 µm
10.00	38.06	45.00	16.89	300.0	13.56	D ₅₀	6.86 µm
15.00	28.03	60.00	16.84	400.0	13.49	D ₉₀	728.76 µm

Karışım ve sertleşmiş numunelere ait bulgular

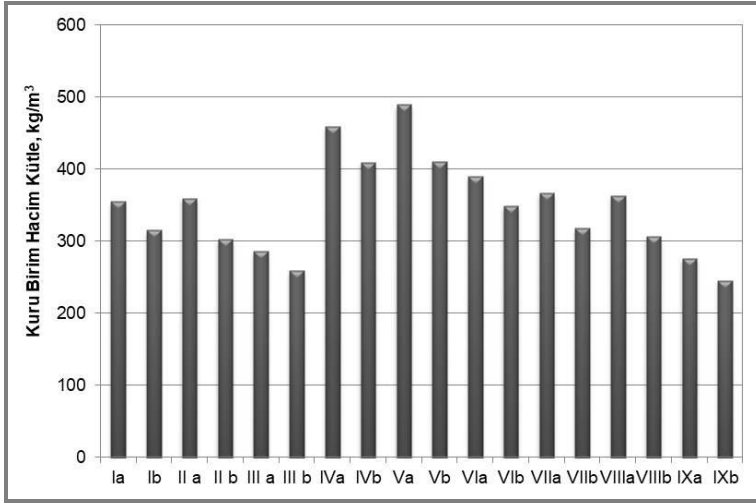
IYS'nda bazı bileşenlerin numune özelliklerine etkisini araştırmak amacıyla 9 grupta toplam 18 numune takımı hazırlanmıştır. Karışım bileşenleri Tablo 6'da verilmiştir. Karışımlarda etkin karışım suyu oranı, toplam katı malzeme miktarına eşittir. Etkin karışım suyuna, kullanılan hafif agregaların su emme oranları dahil edilmemiştir. Karışımların tamamında çimento kütlelerinin %0.1 oranında selüloz (CMC), %0.05'i oranında hava sürükleyici (Hostapur) ve %1'i oranında su itici katkı (toz silikon) kullanılmıştır. 28 günlük priz süresini tamamlayarak etüv kurusu duruma getirilen sıva numunelerinin kuru birim hacim kütleleri ve kılcal su emme deney sonuçları sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 5: Çimentonun özellikleri

Kimyasal Bileşenler (%)	Fiziksel Özellikler
SiO ₂	Hacimsel Genleşme (mm) 1
Al ₂ O ₃	İncelik (90µ) 0.1
Fe ₂ O ₃	İncelik (200µ) 1.1
CaO	Özgül Yüzey Alanı (cm ² /g) 3340
MgO	Priz Başlangıcı (dak.) 185
SO ₃	Priz Sonu (dak.) 240
Na ₂ O+K ₂ O	Özgül Ağırlık (g/cm ³) 3.12
B ₂ O ₃	Eğilme Dayanımı (2 günlük) 4.5
CaO (Free)	Eğilme Dayanımı (7 günlük) 5.8
L.O.I.	Eğilme Dayanımı (28 günlük) 7.2
Klinker Fazı (%)	Basınç Dayanımı (2 günlük) 11.7
C ₃ S	Basınç Dayanımı (7 günlük) 39.3
C ₂ S	Basınç Dayanımı (28 günlük) 51.0
C ₃ A	Diğer Özellikler
C ₄ AF	Cl ⁻ 0.000

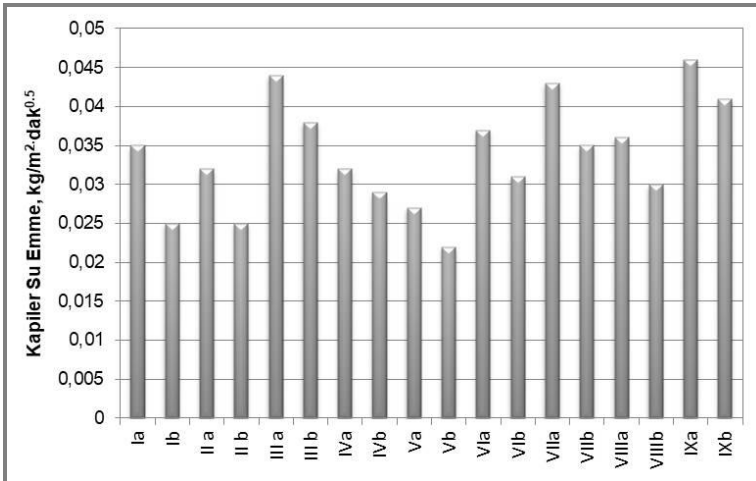
Tablo 6: IYS gruplarına ait karışım tasarımları

N. Kodu	Çimento (%)	Perlit (%)	Kül (%)	Amorf Silika (%)	Elyaf (%)	
I	a	60.00	35.00	0.00	5.00	0.00
	b	60.00	30.00	0.00	5.00	5.00
II	a	65.00	30.00	0.00	5.00	0.00
	b	65.00	25.00	0.00	5.00	5.00
III	a	55.00	40.00	0.00	5.00	0.00
	b	55.00	35.00	0.00	5.00	5.00
IV	a	60.00	25.00	10.00	5.00	0.00
	b	60.00	20.00	10.00	5.00	5.00
V	a	65.00	20.00	10.00	5.00	0.00
	b	65.00	15.00	10.00	5.00	5.00
VI	a	55.00	25.00	15.00	5.00	0.00
	b	55.00	20.00	15.00	5.00	5.00
VII	a	60.00	40.00	0.00	0.00	0.00
	b	60.00	35.00	0.00	0.00	5.00
VIII	a	65.00	35.00	0.00	0.00	0.00
	b	65.00	30.00	0.00	0.00	5.00
IX	a	55.00	45.00	0.00	0.00	0.00
	b	55.00	40.00	0.00	0.00	5.00



Şekil 1: Sıva numunelerinin kuru birim hacim kütlesi

Selülozik elyaf sıva karışımlarının KBHK'sini %10-15 oranında azaltmıştır. Perlit yerine BK kullanılan numunelerde BK oranı artışına bağlı olarak KBHK %30-35 oranı da artmıştır.



Şekil 2: Sıva numunelerinin kapiler su emme katsayıları

Karışım tasarımına bağlı olarak selülozik elyaf kapiler su emme katsayısını %10 – %40 oranında artırmıştır (Şekil 3).



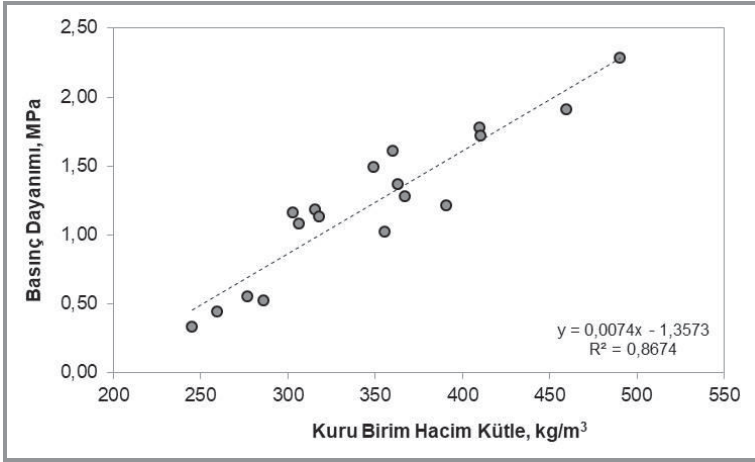
Şekil 3: Kapiler su emme deneyi

28 günlük kür süresini tamamlayan sıva numunelerinin eğilme ve basınç dayanımı deney sonuçları Tablo 7’de verilmiştir.

Sıva numunelerinin basınç dayanımı çimento artışına bağlı olarak artan KBHK ile ilişkili olarak yükselmiştir. Selülozik elyaf kullanımı KBHK de azalmaya neden olduğu için basınç dayanımında da %10’a varan oranda azalmaya neden olurken, eğilme dayanımını ortalama %20 oranında artırmıştır. Amorf silikanın mekanik özellikler üzerinde anlamlı bir değişim etkisi belirlenmemiştir (Şekil 4).

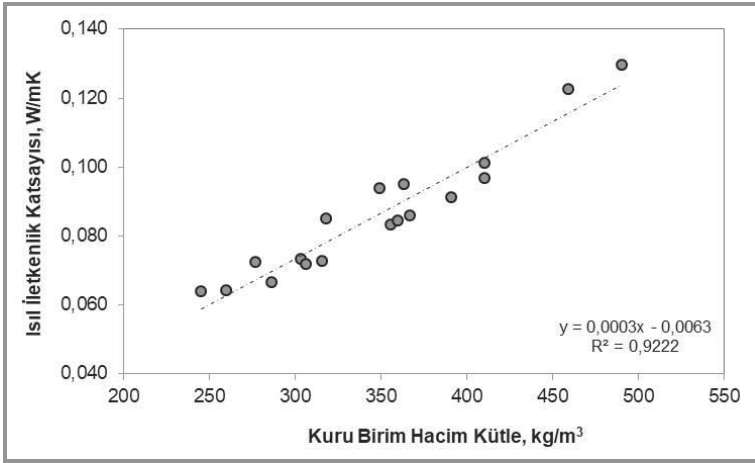
Tablo 7: Sıva numunelerinin eğilme ve basınç dayanımları

Numune No	Eğilme Dayanımı f_{ct} (MPa)	Basınç Dayanımı f_c (MPa)
I a	0.36	1.02
I b	0.58	1.18
II a	0.42	1.61
II b	0.48	1.16
III a	0.19	0.52
III b	0.22	0.44
IV a	0.55	1.91
IV b	0.66	1.78
V a	0.65	2.28
V b	0.62	1.72
VI a	0.48	1.21
VI b	0.62	1.49
VII a	0.46	1.28
VII b	0.55	1.13
VIII a	0.51	1.37
VIII b	0.58	1.08
IX a	0.2	0.55
IX b	0.21	0.33



Şekil 4: Sıva numunelerinde kuru birim hacim kütle- basınç dayanımı ilişkisi

Sıva numunelerinin ısı iletkenlik katsayıları TS EN 12667 standardına göre Fox 50 cihazı ile ölçülmüş, deney bulguları grafiksel olarak Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5: Sıva numunelerinde kuru birim hacim kütle - ısıl iletkenlik katsayısı ilişkisi

Sıva numunelerinde ısıl iletkenlik katsayıları tamamen KBHK ile ilişkilidir. Şekil 1’de verilen KBHK - λ_{10} arasında korelasyon katsayısının yüksekliği bu durumu ($R^2 = 0,92$) desteklemektedir. IXb numunesi tüm sıva numuneleri içerisinde en düşük ısıl iletkenlik katsayısına sahiptir.

Tablo 8’de ısı yalıtım sıvalarının basınç dayanımı, kapiler su emme ve ısıl iletkenlik özellikleri açısından sınıflaması verilmiştir. Bu çalışmada IXB

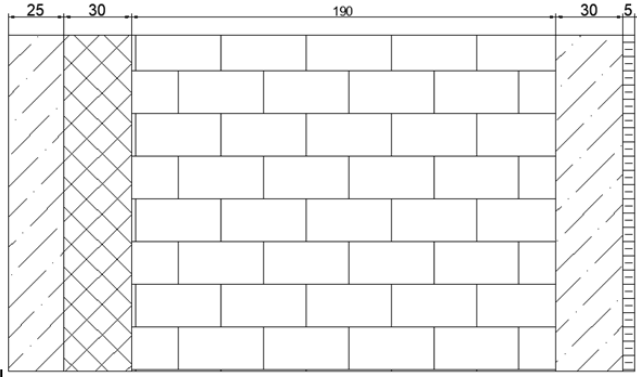
haricinde bütün sıva numuneleri en az CSI basınç dayanımı sınıfını, 4 numune haricinde (IIIa, VIIa, IXa-b) en az W1 sınıfını, 2 numune hariç (Va ve Vb) en az T1 ısı iletkenlik sınıfını sağlamıştır. Ancak bir malzemenin ısı yalıtım malzemesi kategorisinde yer almasının temel koşulunun $\lambda \leq 0.065$ W/mK olması da gözetildiğinde, CSI, W1, T1 sınıflarında olup bu özelliği de sağlayabilen tek numune IIIb (0.0641 W/mK) dir.

Tablo 8: TS EN 998 standardında belirtilen sertleşmiş sıvaların sınıflandırılması

Özellikler	Sınıflar	Değerler
28 günlük basınç dayanım	CS I	0.4-2.5 N/mm ²
	CS II	1.5-5.0 N/mm ²
	CS III	3.5-7.5 N/mm ²
	CS IV	> 6 N/mm ²
Kılcal (kapiler) su emme	W 0	Belirlenmiş değer yoktur
	W 1	$c < 0.40 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$
	W 2	$c < 0.20 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0.5}$
Isıl İletkenlik	T 1	< 0.10 W/m.K
	T 2	< 0.20 W/m.K

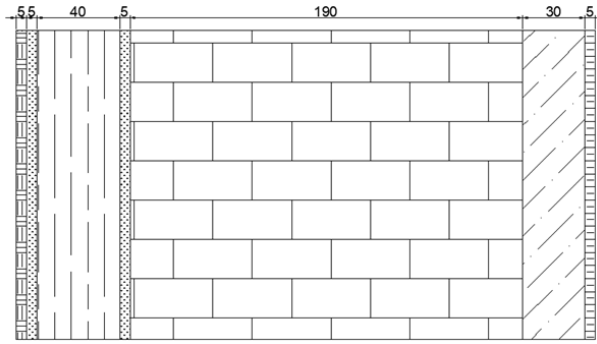
Enerji Kaybı Hesaplamaları

Enerji kaybı hesaplarında üç tip duvar kesiti seçilmiştir. İlk olarak yalnızca geleneksel sıva, ikinci olarak 4 cm kalınlıkta sıkıştırılmış taş yünü (TY, λ : 0.040 W/mK) ve üçüncü olarak da çalışma kapsamında elde edilen IYS (IIIb) uygulanmış dış duvar kesitleri dikkate alınmıştır. Geleneksel sıva uygulanmış duvar kesiti Şekil 6'da, taşyünü mantolama yapılmış duvar kesiti Şekil 7'de ve IYS uygulanmış duvar kesiti ise Şekil 8'de verilmiştir. Dış duvarların tamamında toplam kesit kalınlığı 28 cm seçilmiştir (19 cm yatay delikli tuğla ve içte 0.5 cm alçı sıva). Tüm duvar kesitleri için enerji kaybı hesaplamaları yapılmış ve hesap detayları Tablo 9, 10, 11'de verilmiştir.



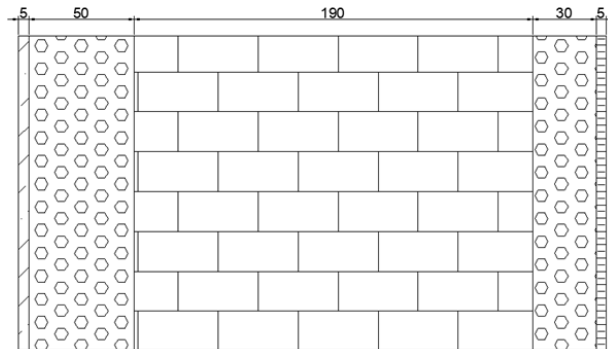
İnce sıva / Kaba sıva / Yatay Delikli Tuğla Duvar/ Kaba sıva / Alçı sıva (28 cm)

Şekil 6: Geleneksel sıva uygulanmış duvar kesiti



Dekoratif sıva /Yapıştırıcı/Taş Yünü/Yapıştırıcı/Yatay Delikli Tuğla Duvar/ Kaba sıva / Alçı sıva (28 cm)

Şekil 7: TAŞ yünü mantolama yapılmış duvar kesiti



Dekoratif sıva / IYS / Yatay Delikli Tuğla Duvar/ Kaba sıva / Alçı sıva (28 cm)

Şekil 8: Isı Yalıtım sıvası uygulanmış duvar kesiti

Tablo 9: Geleneksel sıvalı (yalıtımsız) duvarın enerji kaybı hesabı

Kesitteki Yapı Bileşenleri	Yapı	Isıl İletk.	Isıl Geçir.		Isı Kaybedilen Yüzey	Isı Kaybı X U	A
	Elem Kalınlığı	Hesap Değeri	d/λ	Katsayı			
	d (m)	λ_h (W/mK)	m^2K/W	(W/m^2K)	A (m ²)	W / K	
	$1/\alpha_1$	-	0.				
	1	-	130				
	Sıva		0.				
	2	0.030	030				
	Y.D.Tuğ		0.				
	la ³	0.190	594				
Duvar Yüzeyleeri	Isı Y. Mal ⁴	0.000	000				
	Sıva		0.				
	2	0.055	055				
	Alçı		0.				
	5	0.005	007				
	$1/\alpha_d$	-	0.				
	1	-	040				
Toplam			0.	1.16			
			856	8	1.00	1.17	
$T_d = 0^\circ C$ (273 K) $T_i = 22^\circ C$ (295 K)			$\Delta T = 22$ K				
Enerji Kaybı ($P = A \times U \times \Delta T$) (W/m ²)						25.70	

Tablo 10: Sıkıştırılmış taşıyıcı mantolamalı duvarın enerji kaybı hesabı

Kesitteki Yapı Bileşenleri	Yapı Elem. Kalınlığı	Isıl İletk. Hesap Değeri	d/ λ 1/ α	Isıl Geçir. Kats ayısı	Isı Kaybedilen Yüzey	Isı Kaybı A X U
	d (m)	λ_h (W/mK)	m^2K/W	U (W/m ² K)	A (m ²)	W / K
			0.1			
1	-	-	30			
Sıva			0.0			
2	0.03	1.00	3			
Y.D.Tuğl			0.5			
a ³	0.190	0.32	94			
Duvar Isı Y. Yüzeyle ri			1.1			
Mal ⁴	0.045	0.04	25			
Sıva			0.0			
2	0.010	1.00	10			
Alçı			0.0			
5	0.005	0.70	07			
1/ α_d			0.0			
1	-	-	40			
Toplam			1.9	0.517	1.00	0.52
$T_d = 0^\circ C$ (273 K)	$T_i = 22^\circ C$ (295 K)				$\Delta T = 22$ K	
Enerji Kaybı (P= A x U x ΔT) (W/m²)						11.36

¹ Yüzeysel ısı iletim direnci (iç. dış) ²Çimento-kireç bağlayıcılı sıva/ yapıştırıcı. Dekoratif sıva ³Yatay Delikli Tuğla (19x19x13.5 cm) ⁴Isı Yalıtım Malzemesi (TY)

Tablo 11: Isı yalıtım sıvalı duvarın enerji kaybı hesabı

Kesitteki Yapı Bileşenleri	Yapı Elem. Kalınlığı	Isıl İletk. Hesap Değeri	Isıl Geçir. Katsayısı	Isı Kaybedilen Yüzey	Isı Kaybı X U	A
	1	λ_h	d/λ $1/\alpha$			
	d (m)	(W/mK)	m^2K/W	(W/m^2K)	A (m^2)	W / K
	$1/\alpha_1$	-	-	0.130		
Duvar Yüzeyleri	Sıva	0.005	1.00	0.005		
	Y.D.Tuğla	0.190	0.32	0.593		
	Isı Y. Mal	0.080	0.04	1.231		
	Sıva	0.000	1.00	0.000		
	Alçı	0.005	0.70	0.007		
	$1/\alpha_d$	-	-	0.040		
	Toplam			2.007	0.498	1.00
$T_d = 0^\circ C (273 K)$		$T_i = 22^\circ C (295 K)$		$\Delta T = 22 K$		
Enerji Kaybı (P= A x U x ΔT) (W/m^2)						10.96

¹ Yüzeysel ısı iletim direnci (iç. dış) ²Çimento-kireç bağlayıcılı sıva/yapıştırıcı. dekoratif sıva ³Yatay Delikli Tuğla (19x19x13.5 cm) ⁴Isı Yalıtım Malzemesi (IYS)

Üç tip dış duvara göre hesaplanan ısıl geçirgenlik katsayısı (U_d), enerji kaybı ve geleneksel sıvalı duvara göre sağlanan tasarruf değerleri hesaplanmış, bulgular Tablo 12’de verilmiştir. Tablo 12’de görüldüğü gibi, IYS (IIIb) uygulanan duvar kesitinin ısıl geçirgenlik direnci, 4 cm TY uygulanan duvarla aynıdır.

Tablo 12: Duvar kesitlerinin enerji kaybı değerleri ve geleneksel sıvalı duvarlara göre sağlanan tasarruf oranları

Malzeme Türü	Isıl Geçir. Katsayısı	Enerji Kaybı	~Tasarruf (%)
Geleneksel sıvalı	1.17	25.70	0
TY Mantolamalı	0.55	11.36	56
III-Elyafsız Sıvalı	0.50	11.00	57

SONUÇLAR

Bu çalışma geliştirilmiş perlit esaslı ısı yalıtım sıvalarının tasarımı, fiziksel, mekanik ve termal özelliklerinin belirlenmesi üzerine yürütülmüştür. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar özetle aşağıda değerlendirilmiştir:

Araştırmada elde edilen sıva örneklerinin tamamının KBHK'si 500 kg/m^3 den daha düşüktür. Geleneksel sıva malzemelerine göre en az 4 kat hafif olması nedeniyle, ısı yalıtım sıvalarının bina statik yükünü önemli oranda azaltacağı açıktır.

Amorf silika mineral katkısı, üretilen sıva örneklerinin önemli bir kısmında birim hacim kütle, basınç ve eğilme dayanımlarında önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Ancak bu katkının yaş harcın aderansını artırarak uygulamada kolaylık sağladığı gözlenmiştir. Selülozik elyaf kullanımı ise KHK'yi %15'e kadar azaltırken, özellikle hacimsel büzölmeleri önlemiş ve harcın işlenebilirliğini iyileştirmiştir.

Sıva örnekleri 28 günlük basınç dayanımlarına göre değerlendirildiğinde; IVa,b ve V a,b örnekleri TS EN 998-1 de belirtilen CS II ($1.5\text{-}5.0 \text{ N/mm}^2$), IXb örneği haricinde diğer sıva örneklerinin tamamı ise CS I dayanım sınıfı koşullarını ($0.4\text{-}2.5 \text{ N/mm}^2$) sağlamıştır.

Kılcal su emme katsayısı (c) verileri değerlendirildiğinde; IIa, VIIa, IXa, b numuneleri hariç tüm sıva örnekleri TS EN 998-1 de belirtilen W1 sınıfı koşullarını ($\leq 0.4 \text{ kg/m}^2\text{dak}^{0.5}$) sağlamıştır.

CSI, W1, T1 sınıflarında olup $\lambda \leq 0.065 \text{ W/mK}$ koşulunu sağlayabilen tek sıva numunesi IIIb (0.0641 W/mK)'dir. Aynı duvar kesitinde 4 cm'lik TY ile dış mantolamanın yaptığı enerji tasarrufunu IYS (IIIb) da sağlamıştır.

Belirli termal, mekanik ve fiziksel özellikleri sağlamak koşuluyla; ısı yalıtım sıvaları geleneksel ısı yalıtım malzemelerine alternatif malzemelerdir. Bununla beraber üretici firmalar yanıltıcı beyan değerlerinden kaçınılmalıdır. Isı yalıtım sıvası üreticileri kalite kontrol deneylerine önem vermeli, yetkili kuruluşlarca sıklıkla denetlenmelidir. Ayrıca, ısı yalıtım sıvaları üzerine bilimsel araştırma, proje ve Araştırma – Geliştirme çalışmaları artan bir ivmeyle sürdürülmeli, perlit üreticileri, çimento üreticileri gibi kurumlardan ve özellikle ilgili bakanlık ve kamu kuruluşlarından yeterli desteği alabilmelidir.

REFERANSLAR

- Akbulut M.A., (2018). Hazır ısı yalıtım sıvalarının mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve uygunluk değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ FBE, Isparta.
- Aşkar, R. (2010). Dış cephe ısı yalıtım sistemlerindeki yüzey Sıcaklığının yalıtım levhaları birleşim Düzleminde meydana gelen sıva çatlakları Oluşumuna etkisi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Babu, D.S., BabU, K.G., Wee, T.H. (2005). Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash, *Cement and Concrete Research*, 35, 1218-1223.
- Buratti, C. Moretti, E. Belloni, E. Agosti, F. (2014). Development of innovative aerogel based plasters: preliminary thermal and acoustic performance evaluation, *Sustainability*, 6 (9), 5839-5852.
- Breese, Richard O.Y., Barker, J.M. (1994). *Perlite Industrial Minerals and Rocks*, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Littleton, Colorado.
- Bolen, P.W. (2000). *Mineral Commodity Summaries*, Annual, USGS
- Chandra, S. ve Berntsson, L. (2003). *Lightweight Aggregate Concrete*. Noyes Publications. U.S.A
- Çolakoğlu, A. (2004). Binalarda ısı yalıtımlı dış sıva yapılabirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Fixit 222 and 244 Aerogel, <https://archello.com/product/fixit-222-and-244-aerogel> Son erişim tarihi:08 Eylül 2022.
- Gökçe, H.S. (2010). Hafif beton üretiminde ham ve genişletilmiş perlitin kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hasit Fixit 222 Aerogel Hochleistungsdaemmputz K 0-1,4 mm, <https://www.theis-wdvs.de/putze/daemmputze/4652/hasit-fixit-222-aerogel-hochleistungsdaemmputz-k-0-1-4-mm> Son erişim tarihi:08 Eylül 2022.
- Mobbs, P.M. (2004). *The Mineral Industry of Turkey*, U.S. Geological Survey Minerals Yearbook.
- Özdemir, A.G. Uğurlu, K. Beker, M. (2017). Gazbeton ısı yalıtım levhaları ile yalıtılan bina dış cephelerinin“binaların yangından korunması hakkında yönetmelik” ile uyumu. *TÜYAK 2017 Uluslararası Yangın ve Güvenlik Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, (pp.251-258).

- Ulus, İ. (2007). Ham perlit agregası kullanılarak yüksek dayanımlı hafif beton üretilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2015). Binaların yangından korunması hakkında yönetmelikte değişiklik yapılmasına dair yönetmelik, Temmuz 2015.
- TS 699 (2009). Doğal yapı taşları - inceleme ve laboratuvar deney yöntemleri, TSE, Ankara.
- TS EN 998. 2011. Kâgir harcı - özellikler - Bölüm 1: kaba ve ince sıva harcı, TSE, Ankara.
- TS EN 1015-10 (2001). Kâgir harcı-deney metotları- Bölüm 10: sertleşmiş harcın boşluklu kuru birim hacim kütlelerinin tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 1015-11 (2000). Kâgir harcı - deney metotları - Bölüm 11: sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 1015-18 (2004). Kâgir harcı - deney metotları - Bölüm 18: sertleşmiş harcın kapiler etkiler esnasında su emme katsayısının tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 1097-3 (1999). Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler Bölüm 3: gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 1097-6 (2002). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler Bölüm 6: tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, TSE, Ankara.
- Yaman, Ö. Şengül, Ö. Selçuk, H. Çalikuş, O. Kara, İ. Erdem, Ş. Özgür, D. (2015). (İMO Yapı Malzemeleri Komisyonu), Türkiye Mühendislik Haberleri, 60-487.

Bölüm 15

**Yabancı Ot Tespitinde Görüntü İşleme
Tabanlı Yaklaşımlar**

Musa ATAŞ¹, Bashar ALHAJAHMAD²

¹ Doç. Dr.; Siirt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. musa.atas@siirt.edu.tr
ORCID No: 0000-0002-1214-3127

² Dr. Öğr. Üyesi.; Siirt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. bashar.ahmad@siirt.edu.tr ORCID No: 0009-0009-3455-7206

ÖZET

Tarımsal üretimde otomatik yabancı ot tespiti, mahsul verimini optimize etmede kilit bir rol oynamaktadır. Ayrıca, çiftçilerin maliyet yükünü azaltmada önemli katkılar sunmaktadır. Otomatik yabancı ot tespiti, yabancı otlarla mücadele için kullanılan kimyasal tabanlı herbisit gibi ilaçların tüm tarımsal alana kontrolsüz atılması yerine hassas bir biçimde ve minimal düzeyde sadece zararlı yabancı otlara uygulandığı için ekolojik ve sürdürülebilir tarım açısından da son derece önemlidir. Özellikle görüntü işleme tabanlı makine öğrenmesinde yaşanan gelişmeler yabancı ot tespiti ve sınıflandırılmasında etkili olmuştur. Bu derleme, tarımsal görüntülerde yabancı ot tespiti için literatürde sıklıkla rastlanılan görüntü işleme tabanlı yöntemlerin ayrıntılı bir analizini sunmaktadır. Yabancı ot tespiti, özellikle yer aracına konumlandırılmış dijital kameralar aracılığıyla çekilen RGB veya multi/hiper-spektral görüntülerin toplanması işlemi ile başlar. Birçok araştırmada RGB görüntüler kullanılmıştır, ancak bazı çalışmalarda multi-spektral ve hiper-spektral görüntülerin de kullanıldığı görülmektedir. Spektral görüntüler özellikle içiçe geçmiş, karışmış ve birbirinin üstünü kapatan bitkilerin ayırt edilmesinde çözüme katkı sunabilir. Çekilen görüntülerden bitki türünün tespiti için sınıflandırıcılar kullanılır. İlgili bitkinin görüntüdeki konumunun da istenmesi durumunda segmentasyon tabanlı nesne tespitinin yapılması gerekir. Eğer sınıflandırma modeli kullanılacaksa aynı türdeki yabancı otlar ilgili klasörde toplanarak veri kümesi üretilir. Görüntü işleme tabanlı nesne tespiti için eşik değere bağlı segmentasyon yöntemi veya morfolojik özellik temelli bir sınıflandırma yapılması gerekmektedir. Segmentasyon ve morfolojik yaklaşımlar özellikle içiçe geçmiş bitkilerin tespit edilmesinde, maske oluşturulmasında ve ilgili yabancı otun kitlesel yoğunluğunun tespit edilmesinde katkı sunabilir. Model eğitiminde veri-kümesi hazırlama kritik bir adımdır ve boyutlandırma, gürültü giderme ve zenginleştirme gibi bir dizi görüntü işleme tekniklerini içerir.

Anahtar Kelimeler – Görüntü İşleme, Yapay Zeka, Yabancı Ot Tespiti, Sınıflandırma, Segmentasyon, Hassas Tarım, Herbisit Kullanımı

GİRİŞ

Dünyamızda artan küresel nüfus, beraberinde (istatistikler ortalama %1.1 nüfus artış hızıyla dünya nüfusunun 2050 yılında 9 milyara ulaşacağını tahmin etmektedir), gıda, yem, lif ve yakıt gibi temel ihtiyaçlara olan talebi arttırmaktadır (Cheng ve Matson, 2015; Sing vd., 2016; Wang vd., 2019). Bu talebi karşılamak için tarım endüstrisi, verimliliği önemli ölçüde arttırmanın yollarını aramaktadır. Ancak sürdürülebilir tarımsal üretim, iklim değişikliği, arazi/su kıtlığı, hastalıklar, zararlılar ve yabancı otlar gibi sorunlarla karşı karşıyadır (Lee vd., 2010). Yabancı otlar, tarımsal üretim alanlarının herhangi bir yerinde ortaya çıkarak kültür bitkileriyle su, besin ve güneş ışığı için rekabet ederler. Bundan dolayı, yabancı otlarla etkili bir şekilde mücadele edilmediği zaman, ürün verimi ve kalitesinde önemli ölçüde kayıplar yaşanabilmektedir. Yapılan birçok araştırma, ürün verimi kaybı ile yabancı ot rekabeti arasında güçlü bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur (Berge vd., 2008; Hamuda vd., 2016). Dahası bazı araştırmalar yabancı ot kaynaklı ürün kaybının %34 lere ulaşabildiğini bildirmiştir (McCarthy vd., 2010; Gao vd., 2018).

Yabancı otlar, tarımsal üretimde önemli bir sorundur ve dünya genelinde yabancı otların neden olduğu ürün kayıplarının yılda yaklaşık %13 civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu, yaklaşık 75.6 milyar dolarlık bir zarara denk gelir. Avustralya, Amerika Birleşik Devletleri ve Hindistan gibi ülkelerde, yabancı otlardan kaynaklanan ürün kayıpları diğer ülkelere göre daha yüksektir. Avustralya'da bu kayıplar yılda ortalama 2.5-2.7 milyar dolar, Amerika Birleşik Devletleri'nde 5 milyar dolar ve Hindistan'da 11 milyar dolardır (Jabran vd., 2015; Gharde vd., 2018). Dahası, yabancı otlarla mücadele edilmediği durumlarda ürün kayıpları %100'e kadar çıkabilmektedir. Gerekli mücadele yapılsa bile, eksik ve yanlış uygulamalar nedeniyle tahıllarda %20 civarında ürün kayıpları yaşandığı bildirilmiştir (Chauhan, 2020; Sin ve Kadioğlu, 2021). Ayrıca, özellikle küçük işletmelerde yabancı otlarla mücadele için %40 oranında bir iş gücü ve kaynak ayrıldığı rapor edilmiştir (Gündüz vd., 2006). Şekil-1 (a), yabancı otlarla etkin bir biçimde mücadele edilememiş potansiyel olarak ürün kaybının yaşanabileceği bir buğday tarlasını göstermektedir. Buğday ekim alanlarının yabancı otlarla istila edildiği açıkça gözlemlenmektedir. Diğer taraftan Şekil-1 b'de örnek bir buğday tarlası görülmektedir. Söz konusu tarlada yabancı ot mücadelesinin etkin bir biçimde yapıldığı anlaşılmaktadır.



(a) (b)

Şekil 1: (a) Buğday tarlasını istila eden yabancı otlar, (b) yabancı ottan arındırılmış buğday tarlası.

Yabancı otlar, kültür bitkileriyle aynı alanı paylaşarak ve ihtiyaç duydukları kaynakları daha verimli bir şekilde kullanarak verim kaybına neden olurlar (Çolak vd., 2021). Bu nedenle, tarımsal üreticiler, verimi korumak için yabancı otlarla mücadele etmek zorundadır. Yabancı otlarla mücadelenin tarihi, elle yapılan mücadeleyle başlamış ve günümüzde mekanik, fiziksel, kimyasal ve biyolojik mücadele gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Mekanik yöntemler, toprak ve çevreye zarar vermemeleri nedeniyle tercih edilse de, zaman kaybı ve etkinliği düşük olması nedeniyle günümüzde yaygın olarak kullanılmamaktadır (Raja vd., 2020; Slaughter vd., 2008). Kimyasal mücadele, en yaygın kullanılan yöntem olmakla birlikte, herbisitlerin hedef dışı alanlara da zarar vermesi ve çevreye olumsuz etkileri nedeniyle son yıllarda kullanımı azaltılmaya çalışılmaktadır. Ek olarak, herbisit seçeneklerinin sınırlı olması, büyük ölçekli üretim sistemlerinde korumalı tarımı zorlaştırmakta ve alternatif yöntemler geliştirilmesi ihtiyacını artırmaktadır (Coleman vd., 2019; Coleman vd., 2021). Robotik ve yapay zeka alanındaki gelişmelerle birlikte yabancı ot mücadelesinde yeni bir döneme girilmiştir. Yapay zekâ, günümüzde birçok alanda devrim niteliğinde bir potansiyele sahiptir. Yapay zeka; tarım ve gıda (Ataş vd., 2012, Ataş vd, 2011, Ahmad, 2023), meteorolojik tahminler (Tekeli vd., 2016), sağlık (Özdemir vd., 2022) eğitim (Kökner, 2015; Bıkmaz vd., 2016), güvenlik (Khalifa vd., 2019; Ataş, 2017; Özdemir, 2013), endüstri uygulamaları (Fadhel vf., 2017, Doğan vd., 2015, Özbek vd., 2010), robotik (Doğan vd., 2014), otonom araçlar ve akıllı şehirler (Çelebi vd., 2022; Ataş, 2023) gibi birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır. Yapay zeka destekli robotların hassas konumlanma yetenekleri ve tekrar eden görevler için uygun yapıları, hassas tarımın yanı sıra özellikle tarımda yapay zeka kullanımıyla

yabancı ot mücadelesinde etkin bir rol üstlenmelerine olanak sağlamaktadır. Robotlar, yabancı otları hedef alarak kimyasal mücadele yöntemlerinin çevresel etkilerini ve iş gücünü azaltarak sürdürülebilir tarım için önemli fırsatlar sunmaktadırlar.

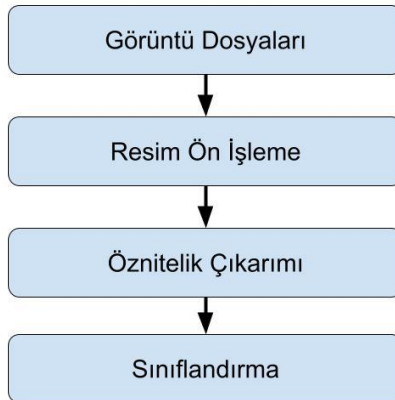
Yabancı ot mücadelesi için geliştirilen robotik sistemlerde ilk başlarda çok hassas GPS+RTK (Real Time Kinematics) gibi sistemlerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Ancak bu sistemin çalışabilmesi için ekilen kültür bitkisi tohumlarının ekim anında yerinin doğru olarak (yaklaşık 1 veya 1.5 cm uzamsal hata payı) GPS+RTK sistemi ile etiketlenmesi gerekmektedir. Söz konusu GPS tabanlı yaklaşımda kamera bulunmadığından işlemler kör olarak devam ettiği için, kültür bitkileri mekanik ve fiziksel etkilere maruz kalacağı için ürün kayıpları kaçınılmazdır (Cordill ve Grift, 2011; Nørremark vd., 2008; Tillett vd., 2008). Yabancı otlarla mücadelede, robotların yabancı otları başarılı bir şekilde tespit etmesine yardımcı olmak için çeşitli algılama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında, makine görüşü algoritmaları, görünür (Visible) ve yakın-kızıl-ötesi (NIR) spektroskopisi, farklı dalga boylarındaki ışığı kullanan multi/hiperspektral görüntüleme, belirli bir dalga boyundaki ışığı emdikten sonra farklı bir dalga boyundaki ışığı yayan floresans teknikleri bulunmaktadır (García-Santillán ve Pajares, 2018; Shapira vd., 2013; Zwiggelaar, 1998; Huang vd., 2016; Reiser vd., 2017). Söz konusu yöntemler, hava ve kara görüntüleme olarak iki ana kategoriye ayrılabilir. Uçak veya dronlarla çekilen hava fotoğraflarının çözünürlüğü, tek tek bitkileri ayırt edemeyecek kadar düşüktür. Bu nedenle, yabancı otları tespit etmek için spektral bilgiler kullanılır. Spektral bilgiler, bitkilerin farklı dalga boylarındaki ışığa nasıl tepki verdiğini analiz yardımıyla elde edilir. Bu bilgiler, yabancı otları kültür bitkilerinden ayırt etmek için kullanılabilir. (López ve Granados, 2011). Bilgisayarlı görü alanındaki gelişmelerden sonra karasal tarım robotlarına eklenen RGB dijital kameralar yardımıyla yabancı ot mücadelesi başka bir boyut kazanmıştır (Haug vd., 2014).

Yabancı otları etkin ve verimli bir biçimde tespit etmek için geleneksel dijital görüntü işleme ve derin öğrenme tabanlı nesne tespit yaklaşımları, en etkili yöntemlerdendir. Söz konusu yöntemlerin performansı; yabancı ot yoğunluğu, alan içindeki dağılımı, ışık koşulları, bitki örtüsünün yapısı ve yabancı otun olgunluğu gibi faktörlere bağlıdır. Bu faktörler, verimli ve güvenilir bir yabancı ot algılama yöntemi geliştirmeyi zorlaştırır. Geçtiğimiz on yılda, araştırmacılar bu zorlukların üstesinden gelmek için kayda değer ilerlemeler kazanmıştır. Bu ilerlemeler, yabancı ot algılama verimliliğini ve güvenilirliğini artırmıştır. Bu çalışma, literatürde sıkça karşılaşılan güncel

yaklaşımları gözden geçirmek ve daha uygulanabilir ve güvenilir yöntemler geliştirmek için araştırmacılara kapsamlı bilgiler sağlamak amacıyla yazılmıştır.

Görüntü İşleme Tabanlı Yaklaşımlar

Evrişimli Sinir Ağlarından (LeCun vd., 2015) önce ve günümüzde araştırmalarda genellikle Şekil 2’de gösterilen klasik makine öğrenmesi iş akışı kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda kamera veya diğer sensörler yardımıyla yakalanan imgelere resim ön işleme basamağında, yeniden boyutlandırma, renk-uzay dönüşümü, normalizasyon, kontrast iyileştirme, gürültü giderme, filtre gibi birtakım işlemler uygulanmaktadır. Ardından imgelerden ayrımsallık gücü yüksek öznelikler/özellikler çıkarılmaya çalışılır. Klasik makine öğrenmesinde, sınıflandırıcıların giriş boyutlarının fazla olması, model karmaşıklığını artırarak boyutsallık lanetine (curse of dimensionality) neden olmaktadır. Bu yüzden, giriş boyutları genellikle model karmaşıklığını azaltmak için kısıtlanmaktadır (Köppen, 2000). Örnek olması açısından; yapay sinir ağ modelinin sınıflandırıcı olarak kullanılması durumunda, yüksek çözünürlüklü görüntü dosyasınının girdi katmanına doğrudan iletilmesi, çok yüksek sayıda giriş-gizli katman bağlantı sayısına sebep olduğundan ve bundan dolayı model karmaşıklığı üssel (exponential) olarak artacağı için modelin genelleme yeteneğini negatif yönde etkileyecektir. Modelin karmaşıklığının aşırı artmasını önlemek ve düzenlemek (regularization) için, sifıra yaklaşan bağlantı ağırlıkları kaldırılabılır (pruning) veya rastgele olarak belirli bir oranda bağlantı ağırlıkları silinebilir (drop-out). Diğer taraftan, öğrenme veri setindeki görüntülerin sayısının artırılması aşırı benzetme (overfitting) durumuna karşı kullanılarak modelin genelleme yeteneğine katkı sunmaktadır (Santoz vd., 2022; Tian ve Zhang, 2022).



Şekil 2: Geleneksel görüntü işleme tabanlı sınıflandırma iş akışı.

Problemin türüne göre bazen renk uzayını değiştirmek daha başarılı sonuçlar üretmektedir. En yaygın kullanılan renk-uzayları RGB, XYZ, HSV, GRAY, YUV ve L*a*b* formatlarıdır. Varsayılan olarak renkli kamera görüntüleri RGB formundadır. Tablo 1, varsayılan RGB renk uzayından diğer renk uzaylarına geçisi sağlamak için kullanılan formüllerin bir özetini sunmaktadır.

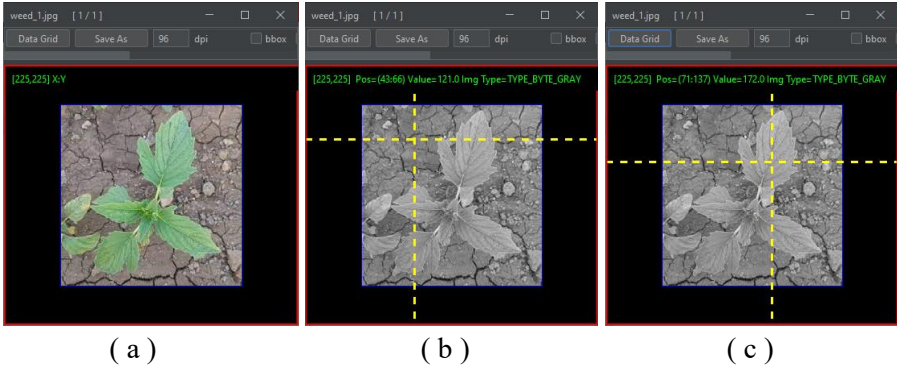
Tablo 1: Renk-Uzayı çevriminde kullanılan parametreler ve formülleri (Garcia vd., 2015; Wang vd., 2019).

Renk Modeli	Çevrim formülü (Garcia vd., 2015; Wang vd., 2019)
RGB	$r = R/(R + G + B)$
	$g = G/(R + G + B)$
	$b = B/(R + G + B)$
XYZ	$X = 0.607R + 0.174G + 0.200B$
	$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$
	$Z = 0.066G + 1.116B$
HSV	$V = M; \text{ with } M = \max\{R,G,B\}; m = \min\{R,G,B\}; p = 60 m/M$
	$S = (M-m)/M$
	$H = \{p(G-B) \text{ if } M = R; 120 + p(B-R) \text{ if } M = G; 240 + p(R-G) \text{ if } M = B\}$
YUV	$U = -0.14713R - 0.28886G + 0.436B$
	$V = 0.615R - 0.51499G - 0.10001B$
GRAY	Standart Gray = $(R+G+B)/3$
	NTSC Gray = $0.299R + 0.587G + 0.114B$
L*a*b*	$L^* = \{116Y/3 \text{ if } Y > k; 903.3Y \text{ if } Y \leq k\}$ with $k = 0.008856$
	$a^* = 500(f(X)-f(Y))$ with $f(t) = \{t/3 \text{ if } t > k; 7.787 t + 0.1379 \text{ if } t \leq k\}$
	$b^* = 200(f(Y)-f(Z))$

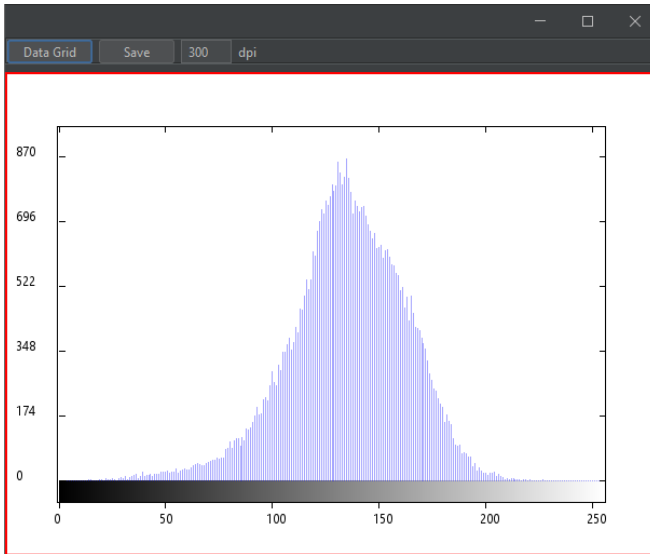
Görüntülerden çıkarılmaya çalışılan özellikler genellikle istatistikselidir. Bunun için görüntü matrisindeki piksel değerlerinden ortalama, standart sapma, kurtosis, skewness, histogram, entropy ve enerji değerleri hesaplanır (Ataş, 2012; Ramola vd., 2020). Bununla birlikte GLCM (gray level co-occurrence matrix), LBP (local binary pattern), PCA (principal component analysis), Fourier ve ayrık dalgacık dönüşümü (DWT) gibi özellikler de çok sık kullanılmaktadır (Ramola vd., 2020).

Üzerinde çalışılan bitki ve arkaplanı olan toprak tamamen farklı yapılarda olduğu için yabancı otları arkaplandan ayırabilmek için renk tabanlı eşikleme yöntemlerine de rastlamaktayız. Bu aşamada RGB görüntülerin renk-uzaylarındaki kanallar özelinde işlemler yapılır. Örnek vermek gerekirse, GRAY formatına çevrimi yapılmış bir görüntü tek kanallıdır. Görüntüdeki

pikseller grinin 0 ile 255 arasındaki değerleri ile temsil edilirler. Şekil 3'te OJL (Ataş, 2016) aracı kullanılarak görselleştirilen bir yabancı ot bitkisi görülmektedir. Şekil 3 (a) orjinal RGB görüntüyü, (b) gri formatındaki görüntünün arkaplanı mouse ile seçildiğinde elde edilen 121 pixel değerini, (c) yaprak üzerindeki bir bölgedeki 172 pixel değerini göstermektedir. Ek olarak, Şekil 4, gri formatındaki imgenin histogramını göstermektedir.



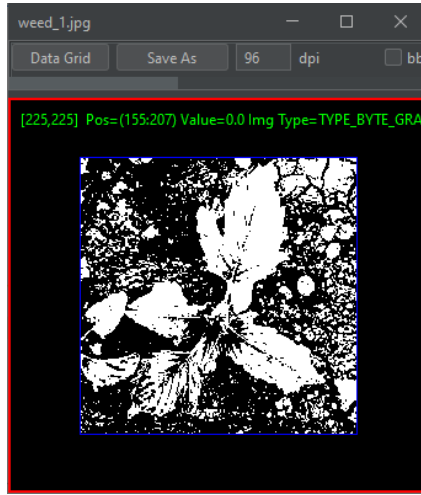
Şekil 3: Yabancı ot imgesinin gri formundaki görüntüsü üzerinde farklı iki noktanın gri değerlerinin 121 (b) ve 172 (c) değişimi.



Şekil 4: Yabancı ot imgesinin gri formundaki görüntüsünün histogram grafiği.

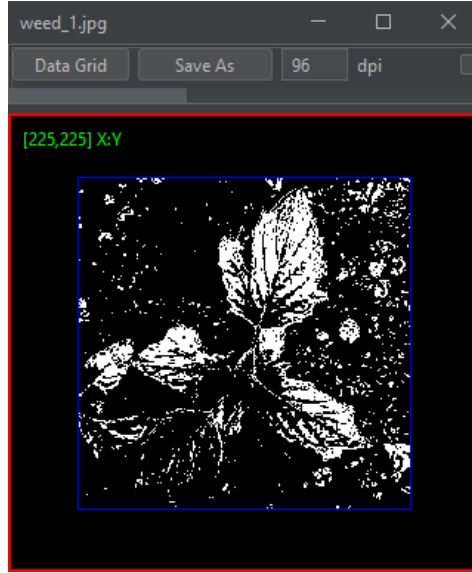
Görüntü dikkatlice incelendiğinde genellikle bitkiye ait piksellerin daha açık olduğu (140'tan yüksek olduğu) görülecektir. Toprak bitkiye göre daha koyu

olduğu 140 gri değerinin altındaki pikselleri toprak olarak tanımlamamız mümkündür. En basit ifadeyle, 140 gri değeri üzerinde yapacağımız bir eşikleme ile pikseller farklı iki sınıfa (toprak, bitki) atanabilir. Burada kullandığımız eşikleme yaklaşımı çok basit olduğundan gerçek problemi ihata etmede zorlanacaktır. Çünkü gerçek problem farklı ışık durumlarını, farklı bitki ve farklı toprak türlerini kapsadığı için global bir eşikleme yeterli gelmeyecektir. Söz konusu problem Şekil 5'te gösterilmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi, bitkiye ait pikseller ile toprağa ait pikseller tam olarak birbirinden ayırt edilememiştir. Yine de eşikleme yaklaşımı çok kontrollü ve basit problemler için başarılı sonuçlar üretebilir bu yüzden bazı durumlar için kısa ve basit bir yaklaşım sunduğu için araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir. Eşikleme yaklaşımının diğer bir avantajı derin öğrenme modellerine göre çok daha hızlı çalışabiliyor olmasıdır. Özellikle gerçek zamanlı robotik sistemlerde modelin çıkarım hızı önemli bir parametredir.



Şekil 5: Yabancı ot imgesinin gri formundaki görüntüsünün 140 eşik değerine göre filtrenmesi.

Tek değer üzerindeki eşikleme, kullanıcının resimdeki pikselleri analiz etmesi ve sonucunda eşik değeri bulması nedeniyle basit ve kontrollü durumlar dışındaki uygulamalarda tercih edilmez. Bunun yerine eşik değerinin otomatik olarak bir algoritma yardımıyla bulunduğu Otsu eşikleme yöntemi geliştirilmiştir (Nobuyuki Otsu, 1979). Ek olarak, bitkiye ait piksellerin alt ve üst eşik değerlerini kullanarak daha uyumlu ve başarılı eşikleme de yapılabilir. Bu tür yaklaşımlar Şekil 6'dan da anlaşılacağı gibi tek değer eşiklemeye göre daha başarılı sonuçlar üretebilirler (Bradley ve Roth, 2007).



Şekil 6: Yabancı ot imgesinin gri formundaki görüntüsünün 140 -190 gri değerleri arası adaptif eşiklenmesi.

Renk tabanlı öznelikler gri tabanlı yaklaşıma göre daha fazla bilgi içerdiği için birçok çalışmada kullanılmıştır. Renk tabanlı öznelikler çıkarılırken bazen RGB imgeden çıkarılan kırmızı, yeşil ve mavi kanalları doğrudan formülasyonda kullanılır. Diğer bir yaklaşım ise HSV, L*a*b* gibi dönüşümlerin kullanılmasıdır. Son olarak ta görünür ve yakın-kızıl-ötesi (NIR) spektral bantların kullanımı söz konusudur (Wang vd., 2019). Tablo 2, renk tabanlı özneliklerden en çok kullanılan; NDI (Woebbecke vd., 1993), NDVI (Haug vd., 2014), NGRDI (Hunt vd., 2005), ExG (Guerrero vd., 2012), CIVE (Guerrero vd., 2012), VEG (Hague vd., 2006), NEG (Jeon vd., 2011), COM (Guijarro vd., 2011) yöntemlerini listelemektedir.

Tablo 2: Araştırmalarda sıklıkla kullanılan renk tabanlı indisler

Renk indisi	Formül	Açıklama
NDI	$NDI = 128 * ((G-R)/(G+R)+1)$	Normalized Difference Index
NDVI	$NDVI = (NIR+R)/(NIR-R)$	Normalized Difference Vegetation Index
NGRDI	$NGRDI = (G-R)/(G+R)$	Normalized Green-Red Difference Index
ExG	$ExG=2g-r-b$	Excess Green Index
CIVE	$CIVE=0.441R-0.811G+0.38B+18.787$	Color Index of Vegetation Extraction
VEG	$VEG = G / (R^{0.667} * B^{0.333})$	Vegetation Index
NEG	$NEG = 2.8G - R - B$	Normalized Excessive Green
COM	$COM = ExG + CIVE + ExGr + VEG$	Combined Indices

Ayrıca, morfolojik özniteliklerin de araştırmalarda çok sık kullanıldığı anlaşılmaktadır (Wang vd., 2019; Herrera vd., 2014; Mathanker vd., 2010). Örnek olması açısından Siirt fıstığı imgelerinden morfolojik özelliklerin çıkarıldığı çalışmada, elde edilen fıstık görüntüleri gri formatına dönüştürüldükten sonra kenar tespit algoritması ile kenar bilgilerinin bulunduğu siyah-beyaz görüntüler elde edilmiştir. Ardından kenar bilgilerini kullanarak morfolojik temelli, fıstık alanı, kısa ve uzun çaplar ile dönme açısı gibi öznitelikler geliştirilen görüntü işleme tabanlı algoritma yardımıyla hesaplanmıştır. Bununla birlikte kenarların uzunluğu da hesaplanarak bir veri seti oluşturulmuş ve sınıflandırıcı ile eğitime tabi tutulmuştur (Ataş, 2016). Test sonuçları incelendiğinde morfolojik özelliklerin, istatistiksel özelliklere göre daha başarılı oldukları gözlemlenmiştir.

SONUÇ

Bu makale, tarım robotları ile görüntü tabanlı yabancı ot tespiti konusundaki son gelişmeleri özetlemektedir. Makalenin sonuç bölümünde, görüntü işleme ve derin öğrenme tabanlı yaklaşımların avantajları ve dezavantajları tartışılmaktadır. Ayrıca, yabancı ot algılamada karşılaşılan zorluklar ve bu zorlukların üstesinden gelmek için geliştirilen çözümler de değerlendirilmektedir.

Yabancı ot tespiti, tarım robotları yardımıyla yabancı ot kontrolü için önemli bir adımdır. Görüntü işleme ve derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar, bu alandaki en yaygın kullanılan yöntemlerdendir. Görüntü işleme tabanlı yaklaşımlar, genellikle resim ön işleme, özellik çıkarma ve sınıflandırma olmak üzere üç temel aşamadan oluşur. Resim ön işleme aşamasında, görüntünün gürültüsü giderilir, kontrastı iyileştirilir ve renk uzayında farklı bir forma dönüştürülür. Özellik ıkarma aşamasında, görüntüden ayrımsallık gücü yüksek ayırt edici özellikler elde edilir. Bu kısımda segmentasyon için eşikleme yaklaşımları veya morfolojik özellikler ön plana çıkmaktadır. Sınıflandırma aşamasında ise, elde edilen özellikler kullanılarak görüntüler sınıflandırılır. Görüntü işleme tabanlı yaklaşımlar, derin öğrenme tabanlı yaklaşımlara göre çok daha hızlıdır. Ancak, genellikle daha düşük doğruluk elde ederler. Kontrollü ve sabit sistemler için görüntü tabanlı yaklaşımlar önerilebilir. Derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar, genellikle makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak geliştirilir ve dinamik çevre şartlarına daha iyi uyum sağırlar. Yapay sinir ağları, derin öğrenme tabanlı yaklaşımlarda en yaygın kullanılan algoritmalarıdır. Yapay sinir ağları, görüntülerden karmaşık özellikler öğrenerek daha yüksek doğruluk elde edebilir. Yabancı ot tespitinde karşılaşılan zorluklar arasında, farklı ışık koşulları, farklı bitki ve toprak türleri, yabancı otların çeşitliliği ve

görüntülerdeki gürültü yer almaktadır. Bu zorlukları aşmak için, araştırmacılar yeni yöntem ve teknikler geliştirmeye devam etmektedir.

REFERANSLAR

- Ahmad, B. 2023. “*Iot Based Solar Powered Smart Garden Irrigation System*”. 5. International Anatolian Scientific Research Congress, Hakkari.
- Ataş, M. Said, 2023. “*Farklı Otonom Sürüş Seviyeleri Ve Şerit Tespiti Arasındaki İlişkilerin Araştırılması*”. 5. International Anatolian Scientific Research Congress, Hakkari.
- Ataş, M., 2017. “*Hand tremor based biometric recognition using leap motion device*”. IEEE Access, 5, 23320-23326.
- Ataş, M., Yardımcı, Y., & Temizel, A., 2012. “*A new approach to aflatoxin detection in chili pepper by machine vision*”. Computers and electronics in agriculture, 87, 129-141.
- Atas, M., Yardimci, Y., & Temizel, A., 2011. “*Aflatoxin contaminated chili pepper detection by hyperspectral imaging and machine learning*”. In Sensing for Agriculture and Food Quality and Safety III (Vol. 8027, pp. 108-119). SPIE.
- Ataş, M. 2016. “*Open Cezeri Library: A novel java based matrix and computer vision framework*”. Computer Applications in Engineering Education, 24(5), 736-743.
- Ataş, M., 2016. “*Fıstık sınıflandırma sistemi için Siirt fıstığı imgelerinden gürbüz özneliklerin çıkarılması*”. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7(1), 93-102.
- Ataş, M., Tekeli, A. E., Dönmez, S., & Fouli, H. 2016. “*Use of interactive multisensor snow and ice mapping system snow cover maps (IMS) and artificial neural networks for simulating river discharges in Eastern Turkey*”. Arabian Journal of Geosciences, 9, 1-17.
- Berge, T. W., Aastveit, A. H., & Fykse, H., 2008. “*Evaluation of an algorithm for automatic detection of broad-leaved weeds in spring cereals*”. Precision Agriculture, 9, 391-405.
- Bıkmaz, İ., İşler, V., Kahyaoğlu, M., Akyüz, D., & Ataş, M. (2016). “*KARMA: Karma Gerçeklik Teknolojisi (Mixed Reality) ile Öğretmenlerin Eğitilmesi*”, Tübitak 1003, proje no:113040 .
- Bradley, D., & Roth, G., 2007. “*Adaptive thresholding using the integral image*”. Journal of graphics tools, 12(2), 13-21.
- Chauhan, B., 2020. “*Grand challenges in weed management*”. Front. Agron., Cilt 1:3.
- Cheng, B., Matson, E.T., 2015. “*A Feature-Based Machine Learning Agent for Automatic Rice and Weed Discrimination*”. Springer, Cham, pp. 517–527.

- Coleman, G. R. Y., Stead, A., Rigter, M. P., Xu, Z., Johnson, D., Brooker, G. M., et al. 2019. “Using energy requirements to compare the suitability of alternative methods for broadcast and site-specific weed control”. *Weed Technol.* 33, 633–650.
- Coleman, G., Betters, C., Squires, C., Leon-Saval, S., & Walsh, M. 2021. “Low energy laser treatments control annual ryegrass (*Lolium rigidum*)”. *Frontiers in Agronomy*, 2, 601542.
- Cordill, C., Grift, T.E., 2011. “Design and testing of an intra-row mechanical weeding machine for corn”. *Biosyst. Eng.* 110, 247–252.
- Çelebi, S., & Ataş, M., 2022. “Otonom Araçlar İçin Java Tabanlı Yazılım Mimarisi Önerisi”. III Siirt scientific research congress, Siirt.
- Çolak, E. Ş., Işık, D. 2021. “Yabancı Otlar ile Mücadelede Güncel Yöntem: Robotikler”. *Turkish Journal of Weed Science*, 24(2), 166-176.
- Dogan, Y., Atas, M., & Özdemir, C., 2014. “A new approach for plotting raster based image files”. In 2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1027-1030). IEEE.
- Doğan, Y., & Ataş, M., 2015. “Prediction of adaptive exposure time in hyperspectral bands for industrial cameras”. In 2015 23rd signal processing and communications applications conference (SIU) (pp. 657-660). IEEE.
- Fadhel, Y. A., Ataş, M., & Abdulkhakim, R. M., 2017. “Miniaturization Of A Planar Strip-Shaped Monopole Antenna For Wlan Application”. *Journal of Duhok University*, 77-89.
- Gao, J., Liao, W., Nuyttens, D., Lootens, P., Vangeyte, J., Pižurica, A., et al., 2018. “Fusion of pixel and object-based features for weed mapping using unmanned aerial vehicle imagery”. *Int. J. Appl. Earth observation. geoinformation.* 67, 43–53.
- García-Mateos, G., Hernández-Hernández, J.L., Escarabajal-Henarejos, D., Jaén-Terrones, S., Molina-Martínez, J.M., 2015. “Study and comparison of color models for automatic image analysis in irrigation management applications”. *Agric. Water Manag.* 151, 158–166.
- Guerrero, J.M., Pajares, G., Montalvo, M., Romeo, J., Guijarro, M., 2012. “Support Vector Machines for crop/weeds identification in maize fields”. *Expert Syst. Appl.* 39, 11149–11155.
- Guijarro, M., Pajares, G., Riomoros, I., Herrera, P.J., Burgos-Artizzu, X.P., Ribeiro, A., 2011. “Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images”. *Comput. Electron. Agric.* 75, 75–83.

- Hamuda, E., Glavin, M., & Jones, E., 2016. “*A survey of image processing techniques for plant extraction and segmentation in the field*”. *Computers and electronics in agriculture*, 125, 184-199.
- Haug, S., Michaels, A., Biber, P., Ostermann, J., 2014. “*Plant classification system for crop/weed discrimination without segmentation*”. In: 2014 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV). IEEE, pp. 1142–1149.
- Hague, T., Tillett, N.D., Wheeler, H., 2006. “*Automated crop and weed monitoring in widely spaced cereals*”. *Precis. Agric.* 7, 21–32.
- Herrera, P., Dorado, J., Ribeiro, A., 2014. “*A novel approach for weed type classification based on shape descriptors and a fuzzy decision-making method*”. *Sensors* 14, 15304–15324
- Huang, Y., Lee, M.A., Thomson, S.J., Reddy, K.N., 2016. “*Ground-based hyperspectral remote sensing for weed management in crop production*”. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 9, 98–109.
- Hunt, E.R., Cavigelli, M., Daughtry, C.S.T., McMurtrey, J.E., Walthall, C.L., 2005. “*Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status*”. *Precis. Agric.* 6, 359–378.
- García-Santillán, I., Guerrero, J.M., Montalvo, M., Pajares, G., 2018. “*Curved and straight crop row detection by accumulation of green pixels from images in maize fields*”. *Precis. Agric.* 19, 18–41.
- Gharde, Y., Singh, P. K., Dubey, R. P., Gupta, P. K., 2018. “*Assessment of yield and economic losses in agriculture due to weeds in India*”. *Crop Prot.*, Issue 107, p. 12–18.
- Gündüz, Ş., Kersting, U., & Kahramanoğlu, İ. 2006. “*Turunçgil bahçelerindeki yabancı otlar ve entegre mücadele yöntemleri*”, Akdeniz ihracatçı birlikleri Mersin, Türkiye.
- Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V., Chauhan, B., 2015. “*Allelopathy for weed control in agricultural systems*”. *Crop Prot.*, Issue 72, pp. 57-65.
- Jeon, H.Y., Tian, L.F., Zhu, H., 2011. “*Robust crop and weed segmentation under uncontrolled outdoor illumination*”. *Sensors* 11, 6270–6283.
- Khalifa, I. A., Zeebaree, S. R., Ataş, M., & Khalifa, F. M., 2019. “*Image steganalysis in frequency domain using co-occurrence matrix and Bpnn*”. *Science Journal of University of Zakho*, 7(1), 27-32.
- Köknar, C., 2015. “*Modeling student behaviours in a virtual classroom with in corporation of social learning theory into belief-desire-intention model*” (Master's thesis, Middle East Technical University).

- Köppen, M., 2000. “*The curse of dimensionality*”. In 5th online world conference on soft computing in industrial applications (WSC5) (Vol. 1, pp. 4-8).
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. 2015. “*Deep learning*”. *nature*, 521(7553), 436-444.
- Lee, W. S., Alchanatis, V., Yang, C., Hirafuji, M., Moshou, D., & Li, C., 2010. “*Sensing technologies for precision specialty crop production*”. *Computers and electronics in agriculture*, 74(1), 2-33.
- Longchamps, L., Panneton, B., Samson, G., Leroux, G. D., & Thériault, R. 2010. “*Discrimination of corn, grasses and dicot weeds by their UV-induced fluorescence spectral signature*”. *Precision Agriculture*, 11, 181-197.
- López-Granados, F., 2011. “*Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches*”. *Weed Res.* 51, 1–11.
- Mathanker, S.K., Weckler, P.R., Taylor, R.K., Fan, G., 2010. “*Adaboost and Support Vector Machine Classifiers for Automatic Weed Control: Canola and Wheat*”. In: 2010 Pittsburgh, Pennsylvania, June 20 - June 23, 2010. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI, p. 1
- McCarthy, C., Rees, S., and Baillie, C., 2010. “*Machine vision-based weed spot spraying: a review and where next for sugarcane?*,” in Proceedings of the 32nd Annual Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists (ASSCT 2010). (Bundaberg, Australia), 424–432.
- Nørremark, M., Griepentrog, H.W., Nielsen, J., Søgaard, H.T., 2008. “*The development and assessment of the accuracy of an autonomous GPS-based system for intra-row mechanical weed control in row crops*”. *Biosyst. Eng.* 101, 396–410.
- Nobuyuki O., 1979. “*A threshold selection method from gray-level histograms*”. *IEEE Trans. Sys., Man., Cyber.* 9 (1): 62–66.
- Özbek, M. E., Kara, A., & Ataş, M., 2010. “*Software technologies, architectures and interoperability in remote laboratories*”. In 2010 9th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET) (pp. 402-406). IEEE.
- Özdemir, C., Doğan, Y., & Ataş, M., 2022. “*CNN Mimarisi ile MR Görüntülerinden Beyin Tümörlerinin Sınıflandırılması*”. III Siirt scientific research congress, Siirt.
- Özdemir, C., Ataş, M., & Özer, A. B., 2013. “*Classification of Turkish spam e-mails with artificial immune system*”. In 2013 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.

- Raja R., Nguyen, T. T., Slaughter, D. C., & Fennimore, S. A., 2020. “*Real-time weed-crop classification and localisation technique for robotic weed control in lettuce*”. *Biosystems engineering*, 192, 257-274.
- Ramola, A., Shakya, A. K., & Van Pham, D., 2020. “*Study of statistical methods for texture analysis and their modern evolutions*”. *Engineering Reports*, 2(4), e12149.
- Reiser, D., Martín-López, J., Memic, E., Vázquez-Arellano, M., Brandner, S., Griepentrog, H., 2017. “*3D imaging with a sonar sensor and an automated 3-axes frame for selective spraying in controlled conditions*”. *J. Imag.* 3, 9.
- Santos, C. F. G. D., & Papa, J. P., 2022. “*Avoiding overfitting: A survey on regularization methods for convolutional neural networks*.” *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 54(10s), 1-25.
- Sin, B. & Kadioglu, İ., 2021. “*Trp-574-Leu mutation in wild mustard (Sinapis arvensis L.) as a result of als inhibiting herbicide applications*”. *PeerJ* 9:e11385.
- Slaughter D. C., Giles, D. K., & Downey, D. 2008. “*Autonomous robotic weed control systems: A review*”. *Computers and electronics in agriculture*, 61(1), 63-78.
- Shapira, U., Herrmann, I., Karnieli, A., Bonfil, D.J., 2013. “*Field spectroscopy for weed detection in wheat and chickpea fields*”. *Int. J. Remote Sens.* 34, 6094–6108.
- Singh, A., Ganapathysubramanian, B., Singh, A.K., Sarkar, S., 2016. “*Machine learning for high-throughput stress phenotyping in plants*”. *Trends Plant Sci.*
- Tian, Y., & Zhang, Y. 2022. “*A comprehensive survey on regularization strategies in machine learning*”. *Information Fusion*, 80, 146-166.
- Tillett, N.D., Hague, T., Grundy, A.C., Dedousis, A.P., 2008. “*Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision*”. *Biosyst. Eng.* 99, 171–178.
- Wang, A., Zhang, W., & Wei, X., 2019. “*A review on weed detection using ground-based machine vision and image processing techniques*”. *Computers and electronics in agriculture*, 158, 226-240.
- Woebbecke, D.M., Meyer, G.E., Von Bargen, K., Mortensen, D.A., 1993. “*Plant Species Identification, Size, and Enumeration Using Machine Vision Techniques on NearBinary Images*”. In: DeShazer, J.A., Meyer, G.E. (Eds.), *International Society for Optics and Photonics*, pp. 208–219

Zwiggelaar, R. 1998. “*A review of spectral properties of plants and their potential use for crop/weed discrimination in row-crops*”. *Crop protection*, 17(3), 189-206.

Bölüm 16

Bor Tuzları ve Kullanım Alanları

Nevin KONAKCI¹

*¹Arş.Gör.Dr., Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Bölümü.
nevinozturk@firat.edu.tr ORCID No: 0000- 0002-0163-0966*

ÖZET

Bor (B), atom numarası 5 olan, IIIA grubunda metaloid bir element olup doğada çok az bulunur. Yerkabuğunda ortalama 10 ppm' den azdır. Genel olarak bor içeren doğal minerallere boratlar denir ve boratların çok yaygın kullanım alanları mevcuttur. Bor mineralleri, yapılarında farklı oranlarda bor oksit (B_2O_3) içeren doğal bileşiklerdir. 50' den fazla bor minerali bulunmakla birlikte, 230'dan fazla mineralin de yapısında yer almaktadır. En yaygın bor mineralleri boraks, kolemanit, üleksit, kernit, pandermite ve hidroborasittir.

Cam sanayiinden nükleer teknolojisine kadar çok çeşitli alanlarda kullanılan bor, sanayii alanında çok önemlidir. Sağlıkta gübreye, elektronikte uzay sanayiine kadar pek çok alanda hammadde olarak kullanılmaktadır. Dünyada ham madde kaynaklarının hızla tükenmesi ve sanayinin birçok dalında kullanılması sebebiyle borun, her geçen gün önemi artmaktadır.

Anahtar kelimeler: Bor, Boraks, Kolemanit, Üleksit, Kernit, Pandermite, Hidroborasit

GİRİŞ

Bor (B), atom numarası 5 olan, IIIA grubunda metaloid bir element olup kimyasal bileşimi karbon ve silisyum elementlerine daha fazla benzemektedir (DeFrancesco ve diğ., 2016:25). Bor elementi kayalarda, toprak ve suda yaygın olarak bulunmaktadır. Yerkabuğu 10 ppm' den daha az bor içerir (Woods, 1994:7).

Yerkabuğunda bolluk bakımından 51. yaygın element olarak bulunan bor elementi, yaklaşık 3 mg/kg'lık konsantrasyon düzeyindedir. Rengi koyu kahverengiden sarımsı kahverengiye kadar değişen bor elementinin ergime noktası yaklaşık 2300 °C, sertliği 2.5 ve özgül ağırlığı ise 1.96 gr/cm³' tür (Eti Maden, 2022:32).

Bor bileşikleri tabiatta sulu bor tuzları şeklinde bulunur. Ekonomik olanlarını sodyum, kalsiyum ve sodyum-kalsiyum tuzları oluşturur. Sodyumlu olan minerallere boraks veya diğer adıyla tinkal, kalsiyumlu olan minerallere kolemanit, Sodyum-kalsiyumlu olan minerallere ise üleksit adı verilmektedir. Bunların haricinde kernit, pandemit ve hidroborasit mineralleri de işletilmekte veya diğer minerallerin yanında kazanılmaktadır. Boraks diğer minerallere göre daha yaygın olup, kullanım alanı açısından da daha geniş olduğu için "bor tuzu" veya "borat" anlamında "boraks" terimi kullanılmaktadır. Tablo 1' de ticari anlamda önemli bor minerallerinin kimyasal formülleri ve B₂O₃ içerikleri verilmektedir (Eti Maden, 2022:32).

Yerkabuğunda borun ¹⁰B ve ¹¹B olmak üzere iki adet duraylı izotopu ve ayrıca bilinen 14 radyoaktif izotopu bulunmaktadır (Günther, 2013). ¹⁰B' un izotopik bolluğu % 19,10-20,31; ¹¹B' nin ise % 79,69-80,90' dır. (Özkan ve diğ., 1997:5; Tombal ve diğ., 2016:10).

Tablo 1. Ticari öneme sahip bor mineralleri ve bileşikleri.

Mineral/bileşik adı	Kimyasal formül	B ₂ O ₃ içeriği, %
Mineraller		
Tinkal	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10 H ₂ O	36.5
Tinkalkonit	Na ₂ B ₄ O ₇ · 5 H ₂ O	48.8
Kernit	Na ₂ B ₄ O ₇ · 4 H ₂ O	51.0
Kolemanit	Ca ₄ B ₆ O ₁₁ · 5 H ₂ O	50.8
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ · 8 H ₂ O	43.0
Probertit	NaCaB ₅ O ₉ · 5 H ₂ O	49.6
Bileşikler		
Boraks dekahidrat	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10 H ₂ O	36.5
Boraks pentahidrat	Na ₂ B ₄ O ₇ · 5 H ₂ O	48.8
Susuz Boraks	Na ₂ B ₄ O ₇	69.12
Borik Asit	H ₃ BO ₃	56.4
Sodyum Perborat tetrahidrat	NaBO ₃ · 4H ₂ O	23.45
Sodyum Perborat monohidrat	NaBO ₃ · H ₂ O	34.88
Bor Oksit	B ₂ O ₃	100.00

Kaynak: Tombal ve diğ., 2016:10.

Bor elementi birincil olarak, daha çok pegmatitlerde ve metamorfik kayaçlarda veya hidrotermal evre ürünü şeklinde dağılım gösteren turmalin, dumortiyerit, aksinit gibi silikat minerallerine bağlı olarak bulunmaktadır. Esas olarak bor, volkanik evrede gaz veya sıvı fazda atmosfer veya hidrosfere karışmakta, atmosfere katılan bor bileşikleri de kısa sürede yoğunlaşarak yüzey sularına karışmaktadır. Bor tuzu yataklarının oluşumu kapalı havzalardaki evaporasyonla ilişkilidir. Ayrıca evaporasyon ortamlarına volkanik püskürmelerle gelen borik asitin sularındaki Ca, Mg ve Na ile reaksiyonları sonucu bor tuzları çökerek volkano-sedimanter yataklara geçiş gösteren bor tuzu yatakları da bulunmaktadır (İnan, 1975:4; Temur, 2007:412).

Kayaçlarda bulunan eser miktarlardaki bor tuzları, yüzey ayrışmasının etkisiyle eriyerek sulara katılmakta ve yüksek çözünürlükleri sebebiyle sedimentasyon havzalarına kadar taşınmaktadır. Daha sonra evaporasyonun etkisiyle diğer tuzlarla birlikte bor tuzları da çökelmektedir. Bor çökeli mi daha çok göl ve lagün ortamlarında gelişmektedir. Dünyadaki büyük bor tuzu yatakları genellikle Neojen göllerindeki evaporasyonla ilişkilidir. Neojen göl sularına post-

volkanik evrede bor bakımından zengin gaz, buhar ve hidrotermal çözeltilerin katılması göl sularının bor konsantrasyonunu oldukça yükseltmiştir. Ayrıca bu göllerin çevresinde yüzeyleyen magmatik kayalardaki bor bileşiklerinin yüzey suları ile çözülüp göllere taşınması ortamdaki bor zenginleşmesine yardımcı olmuştur. Sıcak iklim şartlarında göl sularının buharlaşması ile bor doymuş hale gelerek çökelmiştir. Benzer özelliklere sahip günümüz göllerinde diğer tuzlarla birlikte boratların çökelişi devam etmektedir. Bu tip göllerde suların damıtılması ile bor tuzu işletmeciliği de yapılmaktadır (Temur, 2007:412). Dünya bor tuzu üretiminin %95' i bor tuzu yataklarından, kalanı ise göl sularından veya işletilen diğer tuzların yan ürünü olarak elde edilmektedir.

2-BOR MİNERALLERİ

Doğada en az 200 bor minerali olmasına rağmen sadece birkaçı ticari öneme sahiptir. Bunlar boraks (tinkal), kolemanit, üleksit, kernit ve pandermittir (Parks ve Edwards, 2007:33). Bor minerallerinin kimyasal bileşimi 3 e ayrılır: borosilikat mineralleri, boroalimünyum-silikat mineralleri ve borat mineralleridir (Zhu ve Wang, 2007:8).

2.1. Boraks (Tinkal):

$\text{Na}_2\text{B}_6\text{O}_{10}\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ bileşimindedir. Boraks olarak da bilinen tinkal, monoklinik sistemde, kısa prizmalar şeklinde kristaller verir. Sertliği 2-2.3, özgül ağırlığı 1.72 gr/cm^3 ' tür. Kırılgan, taze yüzeyleri camsı ve saydamdır. Kısa sürede tebeşirimsi beyaz bir renk alır. Suda kolay çözünür. Bu özelliği ile diğer bor minerallerinden en ayırt edici özelliğidir. Yataklarda tek başına seviyeler oluşturur veya kil, tinkalkonit ve üleksit ile birlikte bulunur (Temur, 2007:412).

2.2. Kolemanit:

$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ bileşimindedir. Bor mineralleri içerisinde en yaygın bulunan kolemanit, monoklinik sistemde, genellikle ince ve parlak kristaller halinde bulunur. Kütle halinde bulunduğu zaman masif tabakalar veya tane yığılımları şeklinde ortaya çıkar. Işınsal kristal büyümeleri, nodüllerin etrafını saran lifsi kabuklar, killere ardalanmalı, bazen breşleşmiş ince tabakalar ve boşluk dolgusu yapıları çok yaygındır. Beyaz, gri veya sarımsı gri renklidir. Sertliği 4-5, özgül ağırlığı 2.42 gr/cm^3 ' tür. Su içinde yavaş, asitte kolaylıkla çözülür. Isıtıldığı zaman çatırdayarak toz haline dönüşür. Alevi yeşile boyar. Kolemanit mineralinin birçok kullanım alanı vardır. En yaygın kullanım alanı cam ve seramik sanayiidir. Ayrıca metalürji, cam elyafı, gübre, deterjan ve kozmetik sektöründe de kullanılmaktadır (Eti Maden, 2019:32).

2.3. Üleksit:

$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ bileşiminde olan üleksit, monoklinik sistemde kristallenir. $\text{NaCaB}_5\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$ bileşimindedir. Triklirik sistemde kristalleşir. Tek tek büyük kristallere oranla ipek görünümlü lif demetleri daha yaygındır. İri kristalleri saydamdır. Killi kısımlarda biriken üleksit kümeleri pamuk yumağına benzediğinden pamuk topu denilmektedir (Kistler ve Helvacı, 1994:15).

Birbirine geçmiş, çapraz lifler halinde damarlar oluşturur. Karnabahara benzer nodülleri çok bulunur. Üleksit minerali ısı ve ses yalıtımında, cam, seramik ve gübre endüstrisinde borik asit ve boraks üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Üleksit minerali Türkiye'de Emet, Kırka ve Bigadiç' de, dünyada ise Arjantin'de bulunmaktadır (Eti Maden, 2019:32).

2.4. Kernit:

$\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ bileşimindedir. Monoklinik sistemde kristalleşir. Dilimleri boyunca parçalandığından öz şekilleri çabuk bozulur ve kolayca ufalanarak ince liflere ayrılır. Hava ile temasta üzeri beyaz toz haline dönüşür. Sertliği 2.5-3, özgül ağırlığı 1.91 gr/cm^3 tür. Beyaz renkli ve inci parlaklığındadır. Suda borakstan daha az erir (Kistler ve Helvacı, 1994:15; Ediz ve Özday, 2001:18).

2.5. Pandermit:

$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{10} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ bileşiminde olan pandermit minerali romboedrik sistemde kristalleşir. Rengi beyaz olup, sertliği 3,5; özgül ağırlığı $2,4 \text{ gr/cm}^3$, B_2O_3 içeriği ise %50. 5'tir. Lifsi bir dokusu vardır (Yenialaca, 2009:35).

2.6. Hidroborasit:

$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ bileşimindedir. Ca' un yerine bir miktar Mg geçebilir. Işınsal ve iğne şeklindeki kristaller şeklinde bulunur. Sertliği 5-6 olup, 5-30 cm çapında yumrular şeklinde bulunur. Yumrular, rastgele dağılmış, iğne şekilli kristallerden oluşur. Beyaz renkte, bazen arsenik içeriğine göre sarı ve kırmızımsı renklerde de görülür (Yiğitbaşıoğlu, 2004:12).

3. BOR REZERVLERİ

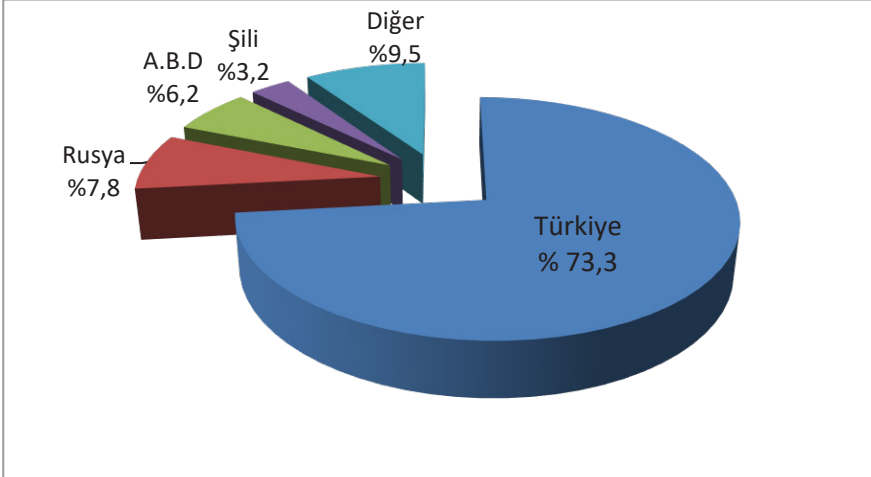
Toplam rezervin %73,3' ü ile ilk sırayı Türkiye alırken, bunu %7,8 ile Rusya, %6,2 ile ABD ve %3,2 ile Şili takip etmektedir (Eti Maden, 2022:32). Bor üretiminin ülkelere göre dağılımı Şekil 3.1'de görülmektedir. Türkiye'deki önemli bor maden yatakları Kırka (Eskişehir), Emet (Kütahya), Kestelek (Bursa) ve Bigadiç (Balıkesir) civarlarında bulunmaktadır. Türkiye'de üretilen başlıca bor madenleri tinkal, kolemanit ve üleksittir.

4. KULLANIM ALANLARI

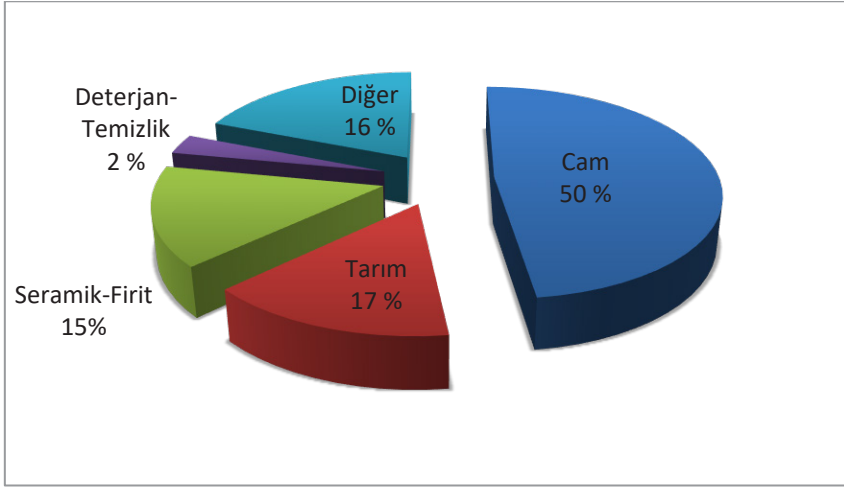
Borun dünya çapında birçok kullanım alanı vardır. Diş macunundan roket yakıtına, kaplamacılıktan radyoaktif sığınaklara kadar çok geniş kullanım alanı bulunmaktadır (Parks ve Edwards, 2007:33). Bor tüketiminin en yoğun olduğu cam, seramik, tarım ve birçok kullanım alanları (Şekil 4.1) aşağıda verilmektedir:

4.1. Cam Sanayi:

Bor tuzlarının en yaygın kullanım alanı cam sanayiidir. Bor, mekanik özelliklerinden dolayı cam elyafı ve cam sanayinde kullanılmaktadır. Bor oksit, camdaki genişleme katsayısını düşürür ve bu nedenle camın darbe direnci artar. Bor ayrıca cama daha fazla mekanik mukavemet ve daha yüksek çekme kalitesi sağlar; bu da özellikle fiberglas üretiminde faydalıdır (Woods, 1994:7; Parks ve Edwards, 2007:33).



Şekil 3.1. Dünya Bor Rezervleri (2021), (Eti Maden, 2022:32)



Şekil 4.1. Bor bileşiklerinin başlıca endüstriyel kullanımları (Eti Maden, 2022.32)

4.2. Deterjan

Deterjan ve sabun üretiminde gittikçe önemi artan bor tuzları, nüfus artışına paralel olarak, bu sektörde yakın gelecekte çok aranan bir hammadde olma yolundadır (Temur, 2007:412). Sodyum perborat formundaki bor, ağartma maddesi olarak deterjanlara eklenmektedir. Sodyum perboratın hidrolizi hidroperoksit iyonunu oluşturur. Bu, bir aktivatör bulunmadığı sürece yalnızca 60°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda etkilidir. Ayrıca, amonyak oluşumunu önlediğinden kokuyu azaltmak için bebek bezi kovalarına ve hayvan çöplerine de eklenmiştir (Woods, 1994:7; Parks ve Edwards, 2007:33).

4.3. Seramik

Bor, seramik malzemelerin çizilmeye karşı korunması için sırlanmasında çok kullanılan bir katkı malzemesidir. Seramik sanayiinde bor, %3-24 miktarında kolemanit halinde sırlara katılmaktadır (Shishonok ve diğ., 2007:8).

4.4. Tarım

Tarım sektöründe bor, bitki gelişimi için (çiçek açma, polen döllemesi vb.) gübre üretiminde kullanılmaktadır. Doğada tüm bitkilerin gelişimi için bor gereklidir. Toprakta bu miktarın fazla olması (2-4 ppm) toksik etki ederken, az olması da (0.5-1 ppm) bitkide eksiklik yaratmaktadır (Tolun, 1988:65; Ediz ve diğ., 2001:18). Bor mineralleri yabancı otların yok edilmesi veya toprakta bitki yetişmesi için hazır hale gelmesinde de kullanılmaktadır. Bor eksikliği görülen bitkilere gübre olarak verilmektedir (Demirtaş, 2004:5).

4.5. Uzay sanayii:

Bor lifleri ve bor karbürler dayanımlarının yüksek ve yoğunluklarının düşük olması sebebiyle uçak, roket, ve uzay araçlarının gövde parçalarının ve devrelerinin yapımında kullanılmaktadır (Temur, 2007:412).

4.6. Elektronik ve Bilgisayar endüstrisi:

Gelecekte bilgisayar ağlarında ve iletişim sanayiinde kullanılan borun önemi daha da artacaktır. Mikrodalga tüpleri, LCD ekranları, CD sürücüler, bataryalar, piller, laser printer tonerleri vb. birçok malzemede kullanılmaktadır (Tombal ve diğ., 2016:10).

4.7. Nükleer Sanayi

Bor izotopları nükleer reaksiyonların denetlenmesine yardımcı olur, çünkü ¹⁰B ve ¹¹B izotopunun radyoaktif parçacıklara karşı yalıtım özelliği vardır. Bu yüzden nükleer enerji üretimi proseslerinde nükleer kalkan oluşturan denetim çubukları için borlu çelikler, bor karbürler ve titan-bor alaşımları kullanılır (Bilgiç ve Dayık, 2013:10).

4.8. Sağlık

Bor tuzları antiseptik özelliklerinden dolayı sağlık sektöründe önemli miktarda kullanılmaktadır. MR (Manyetik Rezonans) görüntüleme uygulamalarında, kemik erimesi ve damar sertleşmesi etkilerinin giderilmesinde önemli bir bileşendir. Kozmetik sanayiinde de birçok krem ve tozun dolgu maddesidir (Temur, 2007:412). Bor ayrıca, Bor Nötron Yakalama Terapisi (BNCT) ile kanser tedavisinde de kullanılmaktadır (Sah ve Brown, 1997:19).

Bunlardan başka bor tuzları ve bunlardan üretilen bor bileşikleri **kaya** gazı (şeyl gazı), otomobil endüstrisi, kimya endüstrisi: kesici-aşındırıcı, yakıt, inşaat, koruyucu malzeme, enerji, savunma, spor malzemeleri, kağıt endüstrisinde, antifriz üretiminde, radyo ve televizyon lambalarının yapımında, boya sanayiinde, organik madde üretiminde, gaz tribünlerinde ve jet motorlarında kullanılmaktadır. Yangın söndürücülerde, atık temizlemelerde önemli miktarda bor tuzu tüketilmektedir (Temur, 2007:412).

SONUÇLAR

Bor doğada tüm canlıların yaşamlarını sürdürmesi için önemli elementlerden birisidir. Bor mineralleri günümüzde cam sanayinden, deterjan sanayine, sağlık, elektronik, metalurji, tarım ve nükleer uygulamalara kadar yaygın ve gün geçtikçe artan uygulamalara sahiptir. Bor rezervlerinin dünyanın sadece birkaç bölgesinde toplanmış olması, tüketim oranı ve alanlarının çok hızlı bir şekilde artması, başka bir hammaddenin yerine kullanılamaması gibi etkenler, bor minerallerine büyük bir stratejik önem kazandırmaktadır.

KAYNAKLAR

- Bilgiç, M. ve Dayık, M. (2013). Borun özellikleri ve tekstil endüstrisinde kullanımıyla sağladığı avantajlar. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7, (2), 27-37.
- DeFrancesco, H., Dudley, J. ve Coca, A. (2016). Boron chemistry: an overview. In *Boron Reagents in Synthesis* (ed. A. Coca). American Chemical Society, Washington D.C., *ACS Symposium Series*, 1236, 1–25.
- Demirtaş, A. (2006). Bor Bileşikleri ve Tarımda Kullanımı. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 37 (1), 111-115.
- Ediz, N. ve Özday, H. (2001). Bor Mineralleri ve Ekonomisi, *D.P.Ü. F.B.E. Dergisi*, Sayı 2, Kütahya, 133-151.
- Eti Maden Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, (2019). *Bor Sektör Raporu*, 32 s.
- Eti Maden Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, (2022). *Bor Sektör Raporu*, 32 s.
- Günther, H. (2013). *NMR Spectroscopy: Basic Principles, Concepts and Applications in Chemistry*; John Wiley & Sons: New York.
- İnan, K. (1975). Sulu bor mineral yataklarının oluşum modeli. *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*, 18, 165-168.
- Kistler, R.B. ve Helvacı, C., (1994). Boron and borates. *Industrial Minerals and Rocks*, 6, 171–186.
- Özkan Ş.G., Çebi H., Delice S. ve Doğan M. (1997). Bor minerallerinin özellikleri ve madenciligi. 2. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 224-228.
- Parks, J. ve Edwards, M. (2007). Boron in the environment. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 35, 81–114.
- Sah, R.N. ve Brown, P.H. (1997). Boron determination-a review of analytical methods. *Microchemical Journal*, 56, 285–304.
- Shishonok, E.M., Leonchik, S.V. ve Steeds, J.W. (2007). Luminescence from Europium, Europium–chromium, Erbium, Samarium and Terbium-activated Powder, Ceramic and Polycrystalline Cubic Boron Nitride, *Physica Status Solidi*, 244, (6), 2172-2179.
- Temur, S., (2007). *Endüstriyel Hammaddeler*. Konya: Çizgi Kitapevi Yayınları.
- Tolun, R., (1988). Anorganik bor bileşikleri ve üretim teknolojisi. Tübitak-Mae. *Kimya Araştırma Bölümü Yayını*, 65 s.
- Tombal, T.D., Özkan, Ş.G., Ünver, İ.K. ve Osmanlıoğlu, A.E. (2016). Bor bileşiklerinin özellikleri, üretimi, kullanımı ve nükleer reaktör teknolojisinde önemi. *Journal of Boron*, 1(2), 86-95.

- Woods. W.G., 1994. An introduction to boron: history, sources, uses, and chemistry. *Environ Health Perspect.* 102 (7), 5–11.
- Yenialaca, Ç. (2009). Bor ve Kullanım Alanları. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 35s.
- Yiğitbaşıoğlu, H. (2004). Türkiye için önemli bir maden: Bor. Ankara Üniversitesi, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 2 (2), 13-25.
- Zhu, E. ve Wang, E. (2007). Boron environmental geochemistry and its environmental response. *Advances in Plant and Animal Boron Nutrition*, Springer, London, 383-391.

ÖZET

Bor (B), atom numarası 5 olan, IIIA grubunda metaloid bir element olup doğada çok az bulunur. Yerkabuğunda ortalama 10 ppm' den azdır. Genel olarak bor içeren doğal minerallere boratlar denir ve boratların çok yaygın kullanım alanları mevcuttur. Bor mineralleri, yapılarında farklı oranlarda bor oksit (B_2O_3) içeren doğal bileşiklerdir. 50' den fazla bor minerali bulunmakla birlikte, 230' dan fazla mineralin de yapısında yer almaktadır. En yaygın bor mineralleri boraks, kolemanit, üleksit, kernit, pandermite ve hidroborasittir.

Cam sanayiinden nükleer teknolojisine kadar çok çeşitli alanlarda kullanılan bor, sanayii alanında çok önemlidir. Sağlıkta gübreye, elektronikte uzay sanayiine kadar pek çok alanda hammadde olarak kullanılmaktadır. Dünyada ham madde kaynaklarının hızla tükenmesi ve sanayinin birçok dalında kullanılması sebebiyle borun, her geçen gün önemi artmaktadır.

Anahtar kelimeler: Bor, Boraks, Kolemanit, Üleksit, Kernit, Pandermite, Hidroborasit

Bölüm 17

**Nikel Esaslı Süper Alaşımların Kaynak
Edilebilirliği**

Ömer KARABEY¹, Ahmet AKKUŞ²

¹*Arş. Gör. Dr.; Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü.
okarabey@beu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5726-9284*

²*Doç. Dr.; Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü.
aakkus@cumhuriyet.edu.tr ORCID No: 0000-0002-6881-9333*

GİRİŞ

Günümüz endüstrisinde teknoloji hızla gelişmektedir. Bu gelişmelerle birlikte yeni ihtiyaçlar ve talepler oluşmaktadır. Teknolojideki bu hızlı ilerlemeler, endüstriyel sektörlerin daha verimli, çevre dostu ve rekabetçi olma yolunda gelişmesini gerektirmektedir. Özellikle malzeme bilimi ve mühendislik alanında yapılan büyük ilerlemeler, endüstrinin sınırlarını genişletmektedir. Geliştirilen yeni malzemeler, dayanıklılık, hafiflik, mukavemet, iletkenlik ve diğer birçok özellik açısından yeni kapılar açmaktadır. Örneğin, karbon fiber kompozitler havacılık endüstrisinde daha hafif ve yakıt verimli uçaklar üretmeye yardımcı olurken, nanoteknoloji ile üretilen malzemeler, elektronik cihazların daha küçük ve güçlü olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, 3D baskı teknolojileri ile tasarlanan özelleştirilmiş malzemeler, endüstrinin üretim süreçlerini daha esnek ve verimli hale getirmektedir. Bu yeni malzemeler, endüstrinin daha sürdürülebilir ve yenilikçi bir geleceğe doğru ilerlemesine katkı sağlamaktadır.

Olağanüstü yüksek sıcaklık dayanımı, korozyon direnci ve mekanik özellikleriyle tanınan gelişmiş malzeme sınıfı olan süper alaşımlar, çok çeşitli endüstriyel uygulamalarda vazgeçilmez bileşenler olarak ortaya çıkmıştır. Bu olağanüstü alaşımlar, aşırı çalışma koşullarına dayanabilme yetenekleri nedeniyle havacılık, enerji üretimi ve kimyasal işleme gibi alanlarda büyük ilgi görmüş ve onları çağdaş mühendislik uygulamalarında verimlilik, güvenilirlik ve sürdürülebilirlik arayışında temel taş haline getirmiştir. Gaz türbin motor parçalarındaki yüksek sıcaklık, korozyon ve gerilme dayanımı ihtiyaçları doğrultusunda süper alaşımlar geliştirilmeye başlanmıştır. İlk olarak 1918 yılında süper alaşımların başlangıcı sayılabilecek olan Ni-20Cr (Nichrome) için İngiliz patenti verilmiştir (Donachie ve Donachie, 2002). Bu alaşım hala günümüzde piyasada bulunabilir ve kullanılabilir durumdadır. Bu alaşımdan sonra 1929 yılında Bedford, Pilling ve Merica daha fazla mukavemet için Nichrome 'a (Nimonic 80) az miktarda titanyum ve alüminyum eklenmesinin patentini almıştır. Süper alaşımların yüksek mukavemetine neden olan şeyin γ' (Ni_3Al) fazının çökmesi olduğu, elektron mikroskopunun icadından (1931) sonra Taylor ve Floyd tarafından rapor edilmiştir. Bu rapor 1951 yılında Bedford, Pilling ve Merica patentine konu olmuştur (Donachie ve Donachie, 2002; Geddes vd., 2010). Bunun sonrasında ise yine gaz türbin motorlarında kullanılmak üzere süper alaşımlı paslanmaz çelik olarak adlandırılan dövme Rex-78 kullanılmaya başlanmıştır (Badger, 1958).

Ni esaslı süper alaşımlara ekstra bir alternatif olan Co esaslı süper alaşımlarda 1900' lü yılların başında geliştirilmiştir. Makine parçaları, çatal bıçak takımları ve aşınmaya dayanıklı yüzey gerektiren uygulamalar için Co-Cr ve Co-Cr-W sistemleri için patentler alınmıştır (Sims vd., 1987). Co esaslı alaşımlardan ilk

olarak diş implantları için tasarlanmış döküm bir alaşım olan Haynes Stellite 21, ABD tarafından 1943 yılında uçak gaz türbin motorunda türbin kanat malzemesi olarak kullanılmıştır (Geddes vd., 2010).

Yukarıda bahsedilen süper alaşımların ilk geliştirilmeye başlaması görüldüğü üzere Ni, Fe ve Co esaslı alaşımların karbür dağılımları ile güçlendirmesine dayanmaktadır. Ancak bu güçlendirme çökelme sertleştirilmesiyle Nimonic 80 alaşımında γ' -Ni₃Al fazının oluşmasıyla sağlanmıştır. Yine Ni esaslı süper alaşım olan Alloy 718, yaklaşık 1950' lerde Eiselstein' ın tarafından γ'' -Ni₃Nb çökeltisi ile güçlendirilmiş bir süper alaşım olarak tanıtılmıştır (Donachie ve Donachie, 2002; Karabey, 2022; Tao vd., 2022).

Yaklaşık olarak 1950' lere kadar üretilen süper alaşımlar döküm yöntemiyle üretilmekteydi. Bu da alaşım oranlarının artırılmasını kısıtlamaktaydı. 1952 yılında Falih N. Damara vakum ergitme teknolojisini tanıtmış ve bu yöntem ile yaklaşık olarak 1955 yılında süper alaşımlar üretilmeye başlanmıştır. Vakum indüksiyon ergitme yöntemi manganez, bor ve silikon gibi faydalı elementlerin alaşımlarda eser miktarda deoksidant olarak daha etkili kullanılmasını sağlamıştır. Bu da süneklik olmak üzere yüksek sıcaklık özelliklerinin iyileştirilmesinde kolaylık sağlamıştır. Aynı zamanda bu yöntemle Nikel esaslı γ' -Ni₃Al fazının çökmesiyle sertleştirebilen süper alaşımlar için Al ve Ti oranının daha da artırılabilmesiyle Ni esaslı süper alaşımlar daha da gelişmiştir (Geddes vd., 2010; Holt ve Wallace, 1976). Ayrıca vakum indüksiyon ergitme yöntemi sonrasında oksit dağılımıyla güçlendirme, mekanik olarak alaşımlama ve yönlü katılaştırarak alaşımın yöntemleri de geliştirilmiştir (García-Rodríguez vd., 2014). 1979 yılında ise yönlü katılaştırma ve toz metalürjisi ile termo mekanik yorulma direnci daha iyi süper alaşımlar üretilmiştir. Bu yöntemle ilk ticari tek kristalli PWA-1480 süper alaşımı üretilmiştir (Geddes vd., 2010).

Temel olarak nikel, demir ve kobaltdan oluşan süper alaşımlar, hepsi olağanüstü özelliklerine katkıda bulunan çökeltileri, tane sınırlarını ve fazları içeren karmaşık bir mikro yapı sergiler. Bu da süper alaşımların kaynak edilebilirliğini etkilemektedir. Süper alaşımların birbirleriyle veya farklı bir malzeme ile birleştirilmesinde doğru kaynak yönteminin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, süper alaşımların çok yönlü dünyasına girmeyi, onların benzersiz özelliklerini, kullanım alanlarını ve olağanüstü performanslarını belirleyen temel metalürjik ilkeleri keşfetmeyi ve modern teknolojik gelişmelerdeki önemli rollerine ışık tutmayı amaçlamaktadır. Özelliklerinin, birleştirme yöntemlerinin ve gerçek dünya uygulamalarının derinlemesine incelenmesi yoluyla bu çalışma, malzeme bilimi alanında süper alaşımların öneminin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu alaşımların farklı

alaşımlarla birlikte kullanılabilmesi için kaynak edilebilirliği ve hangi kaynak yöntemlerinin uygulanabileceği detaylı olarak araştırılıp sunulmuştur.

SÜPER ALAŞIMLAR

Süper alaşımlar temel olarak Fe, Ni ve Co esaslı olmak üzere üç ana başlığa ayrılmaktadır. Buradaki husus alaşımın kimyasal kompozisyonundaki ana alaşım elementi oranıdır.

Nikel-Demir Esaslı Süper Alaşımlar

Nikel-demir esaslı süper alaşımlar yüksek tokluk ve süneklik özellikleriyle öne çıkmaktadır. Bu alaşımlarda ana element demir olup, buna ilave olarak önemli miktarda nikel, krom ve eser miktarda da tungsten veya molibden içermektedir. Ni-Fe esaslı süper alaşımlar 3 grupta incelenmektedir (Donachie ve Donachie, 2002).

- * Çökelme ile sertleştirilen alaşımlar,
- * Düşük ısıl genleşme katsayılı alaşımlar,
- * Katı çözümlü sertleşmesi ve küçük karbür çökmesi ile modifiye edilmiş paslanmaz çelikler.

Çökelme yoluyla sertleştirilebilen alaşımlar yüzey merkezli kübik (YMK) matris yapısında γ' -Ni₃(Al,Ti) ve/veya γ'' -Ni₃Nb çökeltileri ile mukavemetlendirilir. γ' çökeltilme yoluyla güçlendirilen alaşımlar arasında V-57, A-286, Inconel 718 ve Nimonic 901 örnek olarak gösterilebilir. γ'' -Ni₃Nb çökmesi niyobyum içeren alaşımlarda oluşur. Bu faz gövde(hacim) merkezli tetragonal yapıdadır. En yaygın olarak kullanılan Inconel 718 süper alaşımıdır. Inconel 706, 709, 718 ve 901 süper alaşımları gibi bileşiminde bulunan alüminyum, titanyum ve niyobyum elementleri nedeniyle γ' ve γ'' fazlarının ikisiyle birlikte mukavemetlendirilebilir. Bu üç alaşım nikel bazlı olarak kabul edilebilir, ancak nikel-demir bazlı süper alaşımlar olarak sınıflandırılmak için yeterince yüksek demir oranına sahiptirler (Çay ve Ozan, 2005; Donachie ve Donachie, 2002; Geddes vd., 2010; Manriquez vd., 1992).

Düşük ısıl genleşme katsayılı alaşımlar özellikle dönen parçalarda bileşenler arasında küçük boşluklara izin verir. Ayrıca sıcaklık artışıyla genleşme katsayısındaki değişim oranı bu alaşımlarda oldukça azdır (Sims vd., 1987). Örneğin Inconel 783, Thermospan, Incoloy 903, 907 ve 909 alaşımları düşük genleşme katsayılı süper alaşımlardır (Geddes vd., 2010). Ni-Fe-Co bazlı düşük genleşme katsayılı süper alaşımlar, alüminyum, titanyum ve niyobyum ilavesiyle yaşanmayla sertleştirilebilir. Artan alüminyum oranı alaşımlarda sürünme direnci ve yüksek sıcaklık kararlılığını artırmaktadır (HECK vd., 1998). Örnek olarak Inconel 783, genel oksidasyonu ve tane sınırı oksidasyonunu en aza

indirmek için geliştirilmiş düşük genleşmeli bir süper alaşımdır. Inconel 783 süper alaşımında, γ' fazına ek olarak bir β -alüminit fazının (Hacim merkezli kübik (HMK)-(Ni,Fe)Al) çökmesine neden olan yüksek alüminyum seviyeleri (ağırlıkça yüzde beşin üzerinde) içerir. Bu alaşım iyi oksidasyon direnci ve gerilim kırılma özelliklerine sahiptir (Xu vd., 2022).

19-9DL (hafif krom ve nikel ayarlamaları, ek çözelti sertleştiricileri ve daha yüksek karbonlu 18-8 paslanmaz çelik) ve Inconel-800H (bir miktar γ' fazı üreten küçük titanyum ve alüminyum ilaveleri ile %21 Cr ve yüksek nikel) gibi esas olarak katı çözelti sertleşmesi ve küçük karbür çökmesi ile güçlendirilmiş yani modifiye edilmiş paslanmaz çeliklerde bu grupta sayılmaktadır (Donachie ve Donachie, 2002).

Ni-Fe esaslı süper alaşımlardan bazıları aşağıda verilmiştir (Bahadır, 2010).

*INCOLOY (800, 801, 802, 807, 825, 903, 907, 909)

* A-286

*ALLOY 901

*DISCALOY

*HAYNES 536

*H-155

*V-57

Kobalt Esaslı Süper Alaşımlar

Kobalt esaslı süper alaşımlar orta ve yüksek sıcaklık çalışma ortamlarında Ni esaslı süper alaşımlara göre düşük gerilmeler altında ve en önemlisi bu sıcaklıklarda korozyonun istenmediği uygulamalarda kullanılır. Kobalt oda sıcaklığında hekzagonal sıkı paket (HSP) kristal yapısında iken 417 °C' de YMK yapıya dönüşür (Davis, 1997). Gaz türbin motorlarında özellikle vanalar ve diğer sabit bileşenlerin imalatında kullanılır. Düşük gerilmelerde kanatçık imalatında kullanılabilir. Kobalt esaslı süper alaşımların dayanımını artıran mikro yapılarındaki YMK yapılı γ fazıdır. Bu alaşımların dayanımının artırılması katı-eriyik ve karbür fazları ile gerçekleştirilmektedir (J-1570 kobalt esaslı süper alaşımında Ni_3Ti çökeltisi ile bir miktar dayanımın artırıldığı istisnadır.) (Donachie ve Donachie, 2002; Geddes vd., 2010).

Kobalt esaslı süper alaşımlardan bazıları aşağıda verilmiştir (Bahadır, 2010; Çay ve Ozan, 2005; Geddes vd., 2010).

- Haynes 25 (L-605), Haynes 188
- S-816
- Stellite 6B
- WI-52
- MAR-M 302, MARM509

- UMCo-50
- MP-35N, MP-159
- X-40

Nikel Esaslı Süper Alaşımlar

Nikel esaslı süper alaşımlar 700 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda yüksek mukavemet ve tokluk özelliklerinin yanında yüksek sıcaklıklardaki sürünme ve yorulma direnci nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Reed, 2006). Temel formda nikel, oda sıcaklığında YMK yapısına sahip süper alaşım ana metalidir. Böylelikle atomlar arası bağın oluşturduğu artan kohezif enerjiyle birlikte süneklilik ve tokluk sağlar. Ayrıca nikel YMK yapısını ergime sıcaklığına kadar koruduğu için, yani faz dönüşümünün olmamasıyla yüksek sıcaklık malzemelerinin bileşenidir. Ni, gibi YMK yapıları metallerde difüzyon hızı düşük olduğundan yüksek sıcaklıklarda mikroyapısal kararlıdır (Donachie ve Donachie, 2002; İnanır, 2012; Reed, 2006).

Nikel esaslı süper alaşımlar, tüm döküm ve dövme süper alaşımlar arasında en yüksek sıcaklık/mukavemet kombinasyonuna ulaşarak türbin kanatları gibi en zorlu uygulamalar için ideal malzemedir. Dövme nikel esaslı süper alaşımlar genellikle türbin diskleri ve dövme kanatlar gibi yüksek tokluğun gerekli olduğu yerlerde kullanılır. İşlenmiş alaşımlara örnek olarak, Waspaloy, N-901, Rene 41, Udimet 700 ve Udimet 630 verilebilir. Dökümler ise, hassas döküm türbin kanatları ve tekerlekleri gibi yüksek sıcaklık uygulamalarında yüksek mukavemet ve sürünme direnci için tercih edilir ve Inconel alaşımları 100, 713, 738 ve 792, MAR-M 200 ve B-1900 ve tek kristalli döküm alaşımları CMSX- 4, PWA1483, PWA1484 ve Rene N6 gibi alaşımlarla temsil edilir (Geddes vd., 2010; Holt ve Wallace, 1976; Yılmaz, 2019).

Nikel esaslı süper alaşımlar üç ana kategoride incelenir:

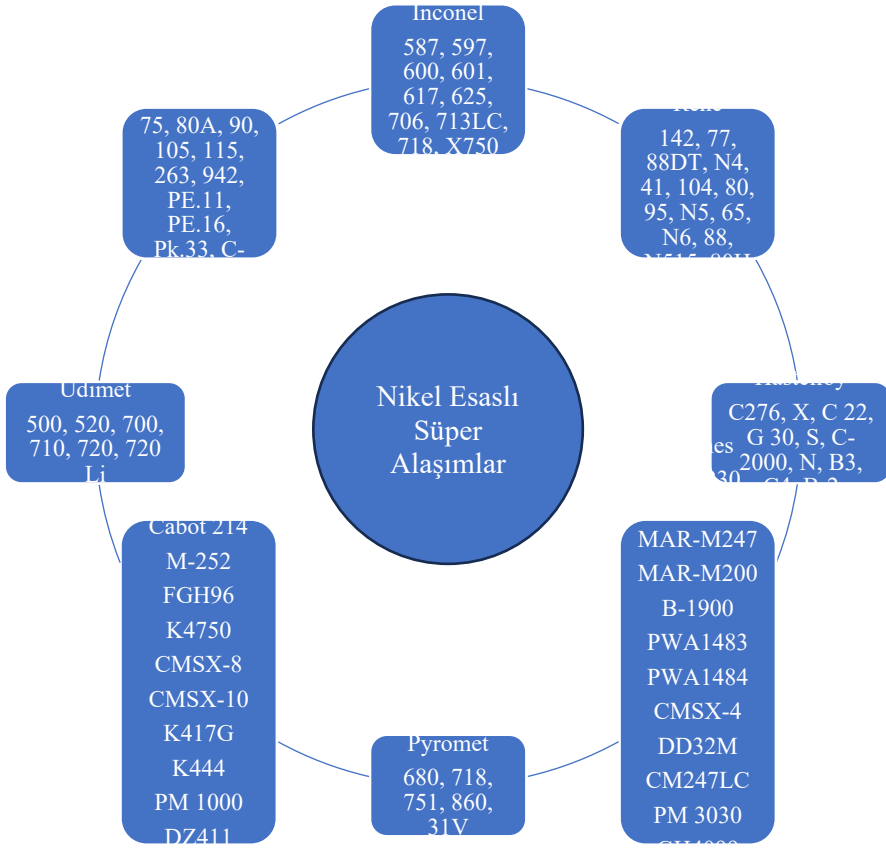
- Katı eriyik sertleştirici elementlerle mukavetlendirilmiş olanlar,
- Çökelti ile sertleştirilenler,
- Oksit-dağılım ile mukavetlendirilmiş (ODS).

Katı eriyik alaşımlar, genellikle alüminyum (Al), titanyum (Ti) ve niyobyum (Nb) gibi elementleri hiç veya çok küçük miktarlarda içerirler. Diğer yandan çökelti ile sertleştirilen nikel esaslı süper alaşımların yüksek sıcaklık dayanım kabiliyeti, alaşımın içeriğindeki alüminyum, titanyum bileşenlerinin oluşturduğu γ' -Ni₃ (Al,Ti) fazından kaynaklanmaktadır (Reed, 2006). Ayrıca alaşımdaki niyobyum (Nb) elementi de çökeltme sertleşmesini sağlamaktadır. Örneğin Inconel 718 süper alaşımındaki Nb ile γ'' Ni₃Nb fazı çökeltmeyle oluşarak dayanımı artırır (Çay ve Ozan, 2005). γ' fazı; Udimet 700, Udimet 720, Astroloy,

Waspaloy gibi dövülebilir alaşımlarda, MAR-M 247, Rene 80, Inconel 713 gibi döküm alaşımlarda, yönlü katılaşmış alaşımlarda ve tek kristalli süper alaşımlarda ana mukavemetlendirici fazdır. Hastelloy X ve Alloy 625 gibi Ni esaslı süper alaşımlarda ise dayanım artırma katı çözelti sertleştirme yöntemiyle yapılmaktadır. Ayrıca bu alaşımlar da ayrıca karbür ve intermetalik bileşiklerin çökmesi yöntemleriyle de bir miktar dayanım artırımı elde edilir. ODS alaşımlarda ise küçük bir miktar ince oksit partiküller bulunmakta ve toz metalürjisi yöntemiyle üretilmektedirler. (Donachie ve Donachie, 2002; Geddes vd., 2010; İnanır, 2012).

Ni esaslı süper alaşımların bazıları da mekanik olarak alaşımlandırılır. Bu süper alaşımlarda γ' fazı ve ODS' nin birleşik etkisiyle ergime noktasının yaklaşık olarak %90 sıcaklığına kadar mukavemetlerini korurlar. ODS ile güçlendirilmiş süper alaşımlar genellikle MA ön ekini alarak adlandırılırlar. Örnek olarak MA-754 and MA-6000E gibi süper alaşımlar verilebilir (Geddes vd., 2010; Suryanarayana, 2008).

Piyasada kullanılan ve literatürde çalışmalarda kullanılan Ni esaslı süper alaşımların birçoğu Şekil 1' de gösterilmiştir.



Şekil 1: Nikel Esaslı Süper Alaşımlar

Nİ ESASLI SÜPER ALAŞIMLARDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

Nikel esaslı alaşımlarda kristalleşmede ısıl gerilme çatlaması veya enine yönde mikro çatlaklar görülebilirken, Nikel esaslı süper alaşımlarda çatlama direnci yüksek olduğundan bu tip sorunlar görülmeden kaynak edilebilmesi mümkündür. Bu süper alaşımların kullanım yerleri zor koşullar olduğundan karbon, oksijen veya kükürt gibi kaynak bölgesinde istenmeyen malzemelerin kaynak bölgesinden uzaklaştırılarak kaynakların hatasız olması gerekmektedir. Dolgu malzemesinin kullanılması gereken işlemlerde genellikle benzer kimyasal özelliklerde dolgu malzemesi kullanılmalıdır. Nikel, düşük alaşımlı çelikler ve östenitik paslanmaz çeliklere göre yüksek ısıl genişleme katsayısına sahip olduğundan farklı malzemeler ile kaynağında artık gerilmeler ve gerinimler daha az olmaktadır. Bu süper alaşımlar için ergitme kaynak yöntemleri ve özellikle

dolgu malzemesi kullanılacaksa yüzeyi temizlemek için bir çözücü kullanılmalıdır. Seçilen kaynak yöntemi kaynaklı bağlantının mekanik mukavemetini ve metalürjik kalitesini artırmalıdır (Winowlin Jappes vd., 2022).

Bir önceki bölümde Ni esaslı süper alaşımlardan birçoğunu Şekil 1’ de verilmiştir. Bu alaşımlar literatürde tarandığında birbirleri veya farklı bir malzeme ile birleştirilmesi için elektrik ark, TIG, gaz metal ark (MIG), Lazer ışın, Elektron ışın, Sürtünme ve plazma ark kaynak yöntemleri kullanılmıştır (Choudhury ve Chandrasekaran, 2017). Bu yöntemlerle kaynak edilen Nikel esaslı süper alaşımlar kaynak edilme yöntemine göre sınıflandırılarak ayrı ayrı aşağıda incelenmiştir.

Elektrik Ark Kaynak Yöntemi

Elektrik ark kaynağı, en yaygın kullanılan kaynak yöntemlerinden biridir. Basit ekipman ve esnek çalışma gerektirdiğinden, boşlukta farklı konumlarda ve farklı ek yerlerinden oluşan kaynaklara kolayca kaynak yapılabilir. Bu nedenle, hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kaynak yönteminde en önemli olan dolgu metalinin yani elektrodun doğru seçilmesidir. Kaynak yapılacak yüzeyler temizlenmelidir. Demir ve alaşımları için piyasada kullanılan ve kolay erişilebilir bir kaynak yöntemidir. Paslanmaz çelikler, alüminyum, bakır, Ni alaşımları ve alaşımlı çelikler için uygun elektrot seçildiğinde kaynak yapılabilir. Ni esaslı süper alaşımlar için elektrik ark kaynak yönteminin kullanıldığı literatürdeki çalışmalardan bazıları Tablo 1’ de verilmiştir. Ni esaslı süper alaşımlar için elektrik ark kaynak yöntemi uygulama zorluğu ve kaynak sonrası istenmeyen durumlardan (çatlaklar, ITAB genişliği, gözenek...) dolayı diğer kaynak yöntemlerine göre tercih edilmeyen bir yöntemdir.

Tablo 1: Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Bazı Ni Esaslı Süper Alaşımlar

Malzeme 1	Malzeme Türü	Malzeme 2	Malzeme Türü	Dolgu Malzemesi	Referans
Inconel 740H	Ni esaslı süper alaşım	P92	Ferritik/Martenzitik Çelik	Inconel 82 – Inconel 182	(Shin vd., 2018)
Inconel 657	Ni esaslı süper alaşım	AISI 310	Östenitik paslanmaz çelik	Inconel 82, Inconel A, Inconel 617, AISI 310	(Naffakh vd., 2009)
Inconel 617	Ni esaslı süper alaşım	P92	Ferritik/Martenzitik Çelik	Inconel 617, Inconel 625, Inconel 82	(Kumar vd., 2023)
Inconel 625	Ni esaslı süper alaşım	AISI 316L	Östenitik paslanmaz çelik	ERNiCrMo-3, ERSS316L	(Kourdani ve Derakhshandeh-Haghighi, 2018)
Inconel 625	Ni esaslı süper alaşım	Inconel 625	Ni esaslı süper alaşım	ER NiCrMo-3	(Vacchi vd., 2021)

TIG kaynak yöntemi

TIG kayağı, Tungsten Inert Gaz kaynağının kısaltmasıdır. Gaz altı kaynak yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde, tungsten elektrot ile iş parçası arasında oluşan elektrik arki, inert bir gaz (argon veya helyum) ile korunarak kaynak yapılır. TIG kaynağı, tüm metallerin kaynaklanmasında kullanılabilir, ancak özellikle paslanmaz çelik, alüminyum ve nikel alaşımları için idealdir. Ayrıca bu kaynak yöntemi literatürde Gaz Tungsten Ark Kaynağı olarak geçmektedir. Ni esaslı süper alaşımlar için bu yöntemin kullanıldığı bazı çalışmalar Tablo 2’de verilmiştir. Yapılan çalışmalara bakıldığında TIG kaynağında dolgu malzeme cinsinin etkisinin dayanıma ve mikroyapıya etkisi incelenmiştir. Ayrıca TIG kaynağı parametrelerinin de etkileri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak TIG kaynağının Ni esaslı süper alaşımlar için doğru kaynak parametreleri ve doğru dolgu metali ile kullanılabilirliği görülmüştür.

Tablo 2: Tıg Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Bazı Ni Esaslı Süper Alaşımlar

Malzeme 1	Malzeme Türü	Malzeme 2	Malzeme Türü	Dolgu Malzemesi	Referans
Inconel 738LC	Ni esaslı süper alaşım	Inconel 738LC	Ni esaslı süper alaşım	Inconel 738	(Ojo vd., 2004)
G27	Ni esaslı süper alaşım	G27	Ni esaslı süper alaşım	---	(Ariasetta, Khan, vd., 2023)
Inconel 625	Ni esaslı süper alaşım	Inconel 625	Ni esaslı süper alaşım	---	(Sivakumar ve Nanda Naik, 2020)
VDM Alloy 780	Ni esaslı süper alaşım	VDM Alloy 780	Ni esaslı süper alaşım	---	(Ariasetta, Sadeghinia, vd., 2023)
Alloy 617	Ni esaslı süper alaşım	Alloy 617	Ni esaslı süper alaşım	Alloy 617 ve Tissen 617	(Park vd., 2011)
CMSX-4	Ni esaslı süper alaşım	CMSX-4	Ni esaslı süper alaşım	Polymet 972	(J. Chen vd., 2020)
GTD-111	Ni esaslı süper alaşım	GTD-111	Ni esaslı süper alaşım	Inconel 625	(Athiroj ve Wangyao, 2015)
Inconel 625	Ni esaslı süper alaşım	A106	Karbon çeliği	ER-625	(Seddighi vd., 2019)
Inconel 718	Ni esaslı süper alaşım	AISI 430	Ferritik paslanmaz çelik	ERNiCrMo-4	(Yelamasetti vd., 2023)

Gaz Metal Ark Kaynak Yöntemi

Gaz altı kaynak yöntemlerinden biri olan gaz metal ark kaynağı, MIG (Metal İnert Gaz) ve MAG (Metal Aktif Gaz) olarak anılır. MIG ve MAG farkı kaynak edilecek malzemelere göre koruyucu gazın farklı olmasıdır. Demir dışı metallerde ve yüksek alaşımlı çeliklerde MIG kaynağı kullanılırken koruyucu gaz olarak Argon ve bazen de Helyum kullanılır. Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde ise MAG kaynak yöntemi kullanılır ve koruyucu gaz olarak karbondioksit, oksijen, karbondioksit – argon karışımı veya oksijen – karbondioksit karışımı kullanılır. Bu kaynak yönteminde dolgu malzemesi rulo halinde bir tel elektrot ile sağlanır. Elektrot kaynak esnasında sürekli olarak beslenebildiğinden otomasyona uygun bir yöntemdir (Anık, 1991).

Ni esaslı süper alaşımlar için MIG kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Literatürde Gas Metal Arc Welding (GMAW) olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntem ile yapılan bazı çalışmalar Tablo 3’ de verilmiştir.

Tablo 3: Gaz Metal Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Bazı Ni Esaslı Süper Alaşımlar

Malzeme 1	Malzeme Türü	Malzeme 2	Malzeme Türü	Dolgu Malzemesi	Referans
Inconel 625	Ni esaslı süper alaşım	UNS S32205	Dubleks Paslanmaz Çelik	ER2209	(Tumer vd., 2020)
Inconel 686	Ni esaslı süper alaşım	ASME SA516-Gr.70	Düşük karbonlu çelik	ER-NiCrMo-14	(Tabaie vd., 2023)
Inconel 718	Ni esaslı süper alaşım	Inconel 718	Ni esaslı süper alaşım	Inconel 718	(Benoit vd., 2011)
Alloy 59	Ni esaslı süper alaşım	S355J2W+N steel	Yüksek kalite çelik	NiCr23Mo16, G19-9NbSi	(Szcucka-Lasota vd., 2023)

Lazer Işın Kaynak Yöntemi

Lazer ışın kaynağı (LIK), yüksek esneklik, yüksek kaynak verimliliği ve iyi kaynak oluşumları nedeniyle en potansiyel birleştirme yöntemlerinden biridir. Lazer teknolojisinin gelişmesiyle birlikte LIK, nikel bazlı alaşımların yapılarının ana birleştirme yöntemlerinden biri haline gelmiştir [6,7]. Nikel bazlı süper alaşımların lazer kaynağı, gelecekteki üst düzey imalat endüstrisi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Kashaev vd., 2018; Wang vd., 2020). Lazer ışın kaynak yöntemi, lazer teknolojisinin kullanıldığı ve yoğunlaştırılmış ışınların malzemeye odaklandığı bir kaynak yöntemidir. Lazer kaynağı, çeşitli endüstriyel uygulamalarda, metal birleştirme, kesme, delme ve yüzey işleme gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Lazer ışın kaynağı kaynak kalitesi bakımından Ni esaslı süper alaşımlar uygun bir yöntem olup literatürdeki bazı uygulamaları Tablo 4’ de verilmiştir.

Tablo 4: Lazer Işın Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Bazı Ni Esaslı Süper Alaşımlar

Malzeme 1	Malzeme Türü	Malzeme 2	Malzeme Türü	Referans
Inconel 718	Ni esaslı süper alaşım	Inconel 718	Ni esaslı süper alaşım	(Wang vd., 2020)
Rene 77	Ni esaslı süper alaşım	Rene 77	Ni esaslı süper alaşım	(Janicki, 2013, s. 77)
K418	Ni esaslı süper alaşım	K418	Ni esaslı süper alaşım	(Pang vd., 2008)
Inconel 617	Ni esaslı süper alaşım	Inconel 617	Ni esaslı süper alaşım	(Cheng vd., 2021)
K418	Ni esaslı süper alaşım	42CrMo	Orta karbonlu alaşımlı çelik	(Liu vd., 2007)
Inconel 718	Ni esaslı süper alaşım	Ti6Al4V	Titanyum alaşımı	(Singh vd., 2020)
Inconel 625	Ni esaslı süper alaşım	AISI 316L	Östenitik paslanmaz çelik	(Ebrahimi vd., 2016)
Inconel 713	Ni esaslı süper alaşım	AISI 4140	Alaşımlı ıslah çeliği	(Mirak vd., 2022)

Elektron Işın Kaynak Yöntemi

Elektron ışını kaynak, yüksek enerjili elektronların kullanıldığı bir kaynak yöntemidir. Bu yöntem, metalleri veya alaşımları birleştirmek için kullanılır. Elektron ışını kaynağında, bir elektron tüpü veya elektron tabancası kullanılır. Bu tabanca, yüksek enerjili elektronları hedeflenen kaynak yüzeyine yoğun bir şekilde odaklar. Elektronlar, hızlı bir şekilde kaynak yüzeyine çarptıklarında, kinetik enerjilerini ısı enerjisine dönüştürürler. Bu yüksek ısı, kaynak yüzeyinde erime ve birleşme işlemini başlatır. Elektron ışını kaynak yöntemi, diğer kaynak yöntemlerine göre daha yoğun ve hassas bir ısı kontrolü sağlar, bu da dar toleranslı kaynak işlemlerinde kullanışlıdır (Schultz, 1993; Węglowski vd., 2016).

Elektron ışını kaynağı, yüksek vakum ortamında gerçekleşir, çünkü elektronların atmosferde dağılmasını engellemek önemlidir. Bu nedenle, işlem genellikle vakum odalarında veya vakumlu kameralarda yapılır. Elektron ışını kaynağı, yüksek hassasiyet gerektiren endüstriyel uygulamalarda kullanılır, özellikle havacılık, uzay endüstrisi ve elektronik üretim gibi alanlarda tercih edilir. Bu yöntem, ince levha malzemeleri, hassas parçalar ve yüksek mukavemetli alaşımlar gibi özel gereksinimleri olan uygulamalarda başarılı bir şekilde kullanılabilir (Cihan, 1998; Węglowski vd., 2016).

Elektron ışın kaynak yönteminin kullanıldığı literatürdeki çalışmalardan bazıları Tablo 5’ de verilmiştir.

Tablo 5: Elektron Işın Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Bazı Ni Esaslı Süper Alaşımlar

Malzeme 1	Malzeme Türü	Malzeme 2	Malzeme Türü	Referans
K465	Ni esaslı süper alaşım	K465	Ni esaslı süper alaşım	(Han vd., 2018)
Inconel 718	Ni esaslı süper alaşım	Inconel 718	Ni esaslı süper alaşım	(Böyükler, 2019)
Inconel 625	Ni esaslı süper alaşım	Inconel 625	Ni esaslı süper alaşım	(Murr vd., 2011)
Alloy 686	Ni esaslı süper alaşım	Alloy 686	Ni esaslı süper alaşım	(ARULMURUGAN vd., 2018)
GH4169	Ni esaslı süper alaşım	GH4169	Ni esaslı süper alaşım	(G. Chen vd., 2013)
Inconel 625	Ni esaslı süper alaşım	SS 304L	Paslanmaz çelik	(Shakil vd., 2014)
Inconel 625	Ni esaslı süper alaşım	UNS 32205	Dubleks paslanmaz çelik	(Devendranath Ramkumar vd., 2015)
Inconel 713LC	Ni esaslı süper alaşım	AISI 4140	Alaşımlı ıslah çeliği	(Baxevanis vd., 2023)

Sürtünme Kaynak Yöntemi

Sürtünme kaynak yöntemi, malzemeleri eritmeksizin birleştirmek amacıyla sürtünme enerjisinin kullanıldığı bir kaynak tekniğidir. Bu yöntemde, iki malzeme parçası birbirine sürtünme ve basınç ile temas ettirilir ve bu süreçte sürtünmeyle ısınır. Malzemelerin ısınması sonucu plastik hale gelir ve basınç ile birleştirilmeleri sağlanır. Özellikle yüksek mukavemetli kaynaklar elde etmek, hassas malzemeleri korumak veya malzemelerin erimesini engellemek gerektiğinde tercih edilir. Sürtünme kaynak yöntemi, ana grup olarak sürtünme ve sürtünme karıştırma kaynak yöntemi olarak kullanılır. Bunların yanında piyasada daha az kullanılan türleri de mevcuttur. Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Bu yöntemler, otomotiv, havacılık, gemi yapımı ve metal işleme gibi birçok sektörde kaliteli ve dayanıklı kaynaklar oluşturmak için önemlidir (Karabey, 2022).

Sürtünme kaynak yönteminde ergime olmadığından malzemelerde kaynak esnasında istenmeyen içyapı değişiklikleri oldukça minimize edilmektedir. Böylelikle malzemenin metalürjik ve mekanik özelliklerinin istenmeyen yönde değişmemesi sağlanır. Sürtünme kaynak yöntemi özellikle alaşımların kendileriyle veya farklı malzemelerle birleştirilmesinde önemli bir yöntemdir. Sürtünme kaynak yöntemi veya sürtünme karıştırma kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen Ni esaslı süper alaşımlardan literatürdeki bazı çalışmalar Tablo 6' da verilmiştir.

Tablo 6: Sürtünme veya Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş Bazı Ni Esaslı Süper Alaşımlar

Malzeme 1	Malzeme Türü	Malzeme 2	Malzeme Türü	Referans
Inconel 718	Ni esaslı süper alaşım	AISI 316L	Östenitik paslanmaz çelik	(Karabey ve Akkus, 2022)
Inconel 718	Ni esaslı süper alaşım	EN24	Karbon çeliği	(Gaikwad vd., 2021)
Alloy 720Li	Ni esaslı süper alaşım	Inconel 718	Ni esaslı süper alaşım	(Huang vd., 2007)
Inconel 713C	Ni esaslı süper alaşım	AISI 4140	Alaşımli ıslah çeliği	(Çavuşoğlu, 2022)
AD730	Ni esaslı süper alaşım	AD730	Ni esaslı süper alaşım	(Masoumi vd., 2019)
Inconel 718	Ni esaslı süper alaşım	Inconel 600	Ni esaslı süper alaşım	(Rehman vd., 2021, s. 600)
Inconel 718	Ni esaslı süper alaşım	Ti6Al4V	Titanyum alaşımı	(Wanjara vd., 2017)
Inconel 718	Ni esaslı süper alaşım	AISI 304	Östenitik paslanmaz çelik	(Ajay vd., 2023, s. 718)

SONUÇ

Bu çalışmada ilk olarak süper alaşımların çeşitleri, özellikleri, uygulama alanları detaylı olarak verilmiştir. Özellikle Ni esaslı süper alaşımlar için kaynak edilebilirlik araştırılmış ve kaynak yöntemleri literatürdeki örnekleri ile verilmiştir. Ayrıca kullanılan her bir kaynak yönteminin uygulamasından kısaca bahsedilmiştir. Elektrik ark, TIG, gaz metal ark (MIG) ve sürtünme kaynağı gibi çeşitli geleneksel kaynak işlemlerinin yanı sıra lazer ışın kaynağı ve elektron ışın kaynağı gibi yüksek enerji yoğunluklu ışın kaynak işlemleri de bu alaşımlarda kaynak yöntemi olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda zayıf penetrasyon, ısıdan etkilenen bölgede (ITAB) mikro çatlaklar, ITAB' da mukavemet kaybı ve kaynak füzyon bölgesinde mekanik kayıplar, çeşitli kaynak işlemleri sırasında karşılaşılan zorluklardan bazılarıdır. Bu çalışmada Ni esaslı süper alaşımların yukarıda belirtilen kaynak yöntemleriyle kaynak edilebilirliği görülmüş fakat elektron ışın kaynağı ve lazer ışın kaynağı yöntemlerinde diğer kaynak yöntemlerine göre düşük ısı girişi, yüksek kaynak derinlik ve genişlik oranı, daha dar bir ITAB, azaltılmış distorsiyon ve mükemmel mekanik özellikler sunmaktadır. Fakat bu iki yöntemin hem karmaşık hem de ekipman maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı diğer kaynak yöntemlerine göre uygulaması daha azdır.

REFERANSLAR

- Ajay, V., Naveen Kumar, M., Kishore Babu, N., Mahesh Kumar, T., Vamshi Krishna, K., ve Madhusudan Reddy, G. (2023). Rotary friction welding of Inconel 718 – AISI 304 stainless steel dissimilar joint. *Materials Science and Technology*, 0(0), 1-11. <https://doi.org/10.1080/02670836.2023.2187146>
- Ank, S. (1991). *Kaynak Tekniği El Kitabı*. Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü.
- Ariasetta, A., Khan, A. K., Andersson, J., ve Ojo, O. (2023). Microstructural study of keyhole TIG welded nickel-based superalloy G27. *Materials Characterization*, 204, 113178. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2023.113178>
- Ariasetta, A., Sadeghinia, N., Andersson, J., ve Ojo, O. (2023). Keyhole TIG welding of newly developed nickel-based superalloy VDM Alloy 780. *Welding in the World*, 67(1), 209-222. <https://doi.org/10.1007/s40194-022-01425-y>
- Arulmurugan, B., Agılan, M., Jerome, S., Arivarasu, M., Manikandan, M., Srikanth, A., ve Arivazhagan, N. (2018). Investigation of metallurgical and mechanical properties of 21st century nickel-based superalloy 686 by electron beam welding technique. *Sādhanā*, 43(8), 117. <https://doi.org/10.1007/s12046-018-0850-x>
- Athiroj, A., ve Wangyao, P. (2015). Effect of tig welding parameters on strain-age cracking in joining nickel-based superalloy, GTD-111 with Inconel 625. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 25(2), Article 2. <https://www.jmmm.material.chula.ac.th/index.php/jmmm/article/view/136>
- Badger, F. S. (1958). High-temperature alloys: 1900–1958. *JOM*, 10(8), 512-516. <https://doi.org/10.1007/BF03398238>
- Bahadır, B. (2010). *Süper Alaşımların Açık ve Kontrollü Atmosferde Dökümü* [Yüksek Lisans]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Baxevanis, G., Siokos, F., Kaldellis, A., Ioannidou, D., Stergiou, V., Skarvelis, P., ve Tsakiridis, P. E. (2023). Effect of Post-Weld Heat Treatment on Hardness and Corrosion Resistance of Dissimilar Electron Beam Welded Joints of Inconel 713LC and AISI 4140 Steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*. <https://doi.org/10.1007/s11665-023-07968-5>
- Benoit, A., Jobez, S., Paillard, P., Klosek, V., ve Baudin, T. (2011). Study of Inconel 718 weldability using MIG CMT process. *Science and Technology of Welding and Joining*, 16(6), 477-482.

<https://doi.org/10.1179/1362171811Y.0000000031>

Böyüker, B. (2019). *Elektron ışın kaynağı yöntemi ile kaynatılan inconel 718 malzemesi üzerinde seçili değişkenlerin etkisinin incelenmesi* [Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi]. <http://hdl.handle.net/11527/19440>

Chen, G., Zhang, B., Lü, T., ve Feng, J. (2013). Causes and control of welding cracks in electron-beam-welded superalloy GH4169 joints. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23(7), 1971-1976.

[https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(13\)62685-0](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(13)62685-0)

Chen, J., Salvati, E., Uzun, F., Papadaki, C., Wang, Z., Everaerts, J., ve Korsunsky, A. M. (2020). An experimental and numerical analysis of residual stresses in a TIG weldment of a single crystal nickel-base superalloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 53, 190-200.

<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.02.007>

Cheng, H., Kang, L., Pang, J., Xue, B., Du, D., ve Chang, B. (2021). Effect of the welding position on weld quality when laser welding Inconel 617 Ni-based superalloy. *Optics ve Laser Technology*, 139, 106962. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2021.106962>

Choudhury, B., ve Chandrasekaran, M. (2017). Investigation on welding characteristics of aerospace materials – A review. *Materials Today: Proceedings*, 4(8), 7519-7526. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.083>

Cihan, E. (1998). *Elektron Işın Kaynağı Ve Otomotiv Endüstrisindeki Uygulamaları* [Fen Bilimleri Enstitüsü]. <http://hdl.handle.net/11527/17298>

Çavuşoğlu, N. (2022). Effect of Friction Welding Parameters on the Mechanical and Microstructural Properties of Dissimilar IN713C-AISI 4140 Joints. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 31(5), 4035-4048. <https://doi.org/10.1007/s11665-021-06474-w>

Çay, V. V., ve Ozan, S. (2005). Süperalaşım ve Uygulama Alanları. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 3(2), Article 2.

Davis, J. R. (1997). *ASM Specialty Handbook: Heat Resistant Materials*. ASM International.

Devendranath Ramkumar, K., Sridhar, R., Periwal, S., Oza, S., Saxena, V., Hidad, P., ve Arivazhagan, N. (2015). Investigations on the structure – Property relationships of electron beam welded Inconel 625 and UNS 32205. *Materials & Design*, 68, 158-166.

<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.12.032>

Donachie, M. J., ve Donachie, S. J. (2002). *Superalloys: A Technical Guide, 2nd Edition*. ASM International.

<https://books.google.com.ec/books?id=vjCJ5pI1QpkC>

- Ebrahimi, A. N., Arab, N. B. M., ve Gollo, M. H. (2016). Thermal analysis of laser beam welding of nickel-based super alloy Inconel 625 to AISI 316L, using Gaussian optics theory in keyhole. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 38(4), 1199-1206. <https://doi.org/10.1007/s40430-015-0422-5>
- Gaikwad, V. T., Mishra, M. K., Hiwarkar, V. D., ve Singh, R. K. P. (2021). Microstructure and mechanical properties of friction welded carbon steel (EN24) and nickel-based superalloy (IN718). *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 28(1), 111-119. <https://doi.org/10.1007/s12613-020-2008-1>
- García-Rodríguez, N., Campos, M., Torralba, J., Berger, M.-H., ve Bienvenu, Y. (2014). Capability of mechanical alloying and SPS technique to develop nanostructured high Cr, Al alloyed ODS steels. *Materials Science and Technology*, 30, 1676-1684. <https://doi.org/10.1179/1743284714Y.0000000595>
- Geddes, B., Leon, H., ve Huang, X. (2010). *Superalloys: Alloying and Performance*. ASM International.
- Han, K., Wang, H., Shen, L., ve Zhang, B. (2018). Analysis of cracks in the electron beam welded joint of K465 nickel-base superalloy. *Vacuum*, 157, 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2018.08.011>
- HECK, K. A., Smith, J. S., ve Smith, R. (1998). INCONEL® alloy 783: An oxidation-resistant, low expansion superalloy for gas turbine applications. *INCONEL® alloy 783 : An oxidation-resistant, low expansion superalloy for gas turbine applications*, 120(2), 363-369.
- Holt, R. T., ve Wallace, W. (1976). Impurities and trace elements in nickel-base superalloys. *International Metals Reviews*, 21(1), 1-24. <https://doi.org/10.1179/imtr.1976.21.1.1>
- Huang, Z. W., Li, H. Y., Preuss, M., Karadge, M., Bowen, P., Bray, S., ve Baxter, G. (2007). Inertia Friction Welding Dissimilar Nickel-Based Superalloys Alloy 720Li to IN718. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 38(7), 1608-1620. <https://doi.org/10.1007/s11661-007-9194-6>
- İnanır, Z. (2012). *Yüksek Çalışma Sıcaklıklarının Inconel 718 Alaşımının Yapısal ve Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi* [Yüksek Lisans]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Janicki, D. M. (2013). Fiber laser welding of nickel based superalloy Rene 77. *Laser Technology 2012: Applications of Lasers*, 8703, 198-204. <https://doi.org/10.1117/12.2013428>

- Karabey, Ö. (2022). *Inconel 718 süper alaşımı ve AISI 316l paslanmaz çeliğinin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi ve karakterizasyonu* [Doktora, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi].
- Karabey, Ö., ve Akkus, A. (2022). Effect of Welding Parameters on Axial Shortening in Continuous Friction Welded Inconel 718 Superalloy and AISI 316L Stainless Steel. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi(EJOSAT)*, 34(34), 311-316. <https://doi.org/10.31590/EJOSAT.1081747>
- Kashaev, N., Ventzke, V., ve Çam, G. (2018). Prospects of laser beam welding and friction stir welding processes for aluminum airframe structural applications. *Journal of Manufacturing Processes*, 36, 571-600. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.10.005>
- Kourdani, A., ve Derakhshandeh-Haghighi, R. (2018). Evaluating the Properties of Dissimilar Metal Welding Between Inconel 625 and 316L Stainless Steel by Applying Different Welding Methods and Consumables. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 49(4),1231-1243. <https://doi.org/10.1007/s11661-018-4469-7>
- Kumar, A., Bhattacharyya, A., ve Pandey, C. (2023). Structural Integrity Assessment of Inconel 617/P92 Steel Dissimilar Welds Produced Using the Shielded Metal Arc Welding Process. *Journal of Materials Engineering and Performance*. <https://doi.org/10.1007/s11665-023-08363-w>
- Liu, X.-B., Pang, M., Zhang, Z.-G., Ning, W.-J., Zheng, C.-Y., ve Yu, G. (2007). Characteristics of deep penetration laser welding of dissimilar metal Ni-based cast superalloy K418 and alloy steel 42CrMo. *Optics and Lasers in Engineering*,45(9),929-934. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2007.03.004>
- Manriquez, J. A., Bretz, P. L., Radenberg, L., ve Tien, J. K. (1992). The High Temperature Stability of IN718 Derivative Alloys. *Superalloys 1992 (Seventh International Symposium)*, 507-516. https://doi.org/10.7449/1992/Superalloys_1992_507_516
- Masoumi, F., Shahriari, D., Monajati, H., Cormier, J., Flipo, B. C. D., Devaux, A., ve Jahazi, M. (2019). Linear friction welding of AD730TM Ni-base superalloy: Process-microstructure-property interactions. *Materials & Design*, 183, 108117. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108117>
- Mirak, A., Shams, B., ve Bakhshi, S. (2022). Dissimilar welding of Inconel 713 superalloy and AISI 4140 steel using Nd:YAG pulse laser: An investigation on the microstructure and mechanical properties. *Optics ve Laser Technology*, 152, 108143. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.108143>
- Murr, L. E., Martinez, E., Gaytan, S. M., Ramirez, D. A., Machado, B. I., Shindo, P. W., Martinez, J. L., Medina, F., Wooten, J., Ciscel, D., Ackelid, U., ve

- Wicker, R. B. (2011). Microstructural Architecture, Microstructures, and Mechanical Properties for a Nickel-Base Superalloy Fabricated by Electron Beam Melting. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 42(11), 3491-3508. <https://doi.org/10.1007/s11661-011-0748-2>
- Naffakh, H., Shamanian, M., ve Ashrafizadeh, F. (2009). Dissimilar welding of AISI 310 austenitic stainless steel to nickel-based alloy Inconel 657. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(7), 3628-3639. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.08.019>
- Ojo, O. A., Richards, N. L., ve Chaturvedi, M. C. (2004). Microstructural study of weld fusion zone of TIG welded IN 738LC nickel-based superalloy. *Scripta Materialia*, 51(7), 683-688. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2004.06.013>
- Pang, M., Yu, G., Wang, H.-H., ve Zheng, C.-Y. (2008). Microstructure study of laser welding cast nickel-based superalloy K418. *Journal of Materials Processing Technology*, 207(1), 271-275. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.12.091>
- Park, Y. S., Ham, H. S., Cho, S. M., ve Bae, D. H. (2011). An assessment of the mechanical characteristics and optimum welding condition of Ni-based super alloy. *Procedia Engineering*, 10, 2645-2650. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.441>
- Reed, R. C. (2006). *The Superalloys: Fundamentals and Applications*. Cambridge University.
- Rehman, A. U., Usmani, Y., Al-Samhan, A. M., ve Anwar, S. (2021). Rotary Friction Welding of Inconel 718 to Inconel 600. *Metals*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/met11020244>
- Schultz, H. (1993). *Electron Beam Welding*. Woodhead Publishing.
- Seddighi, S., Ostovan, F., Shafiei, E., ve Toozandehjani, M. (2019). A study on the effect of stress relief heat treatment on the microstructure and mechanical properties of dissimilar GTAW weld joints of Inconel 625 and A106 carbon steel. *Materials Research Express*, 6(8), 086582. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab1fcb>
- Shakil, M., Ahmad, M., Tariq, N. H., Hasan, B. A., Akhter, J. I., Ahmed, E., Mehmood, M., Choudhry, M. A., ve Iqbal, M. (2014). Microstructure and hardness studies of electron beam welded Inconel 625 and stainless steel 304L. *Vacuum*, 110, 121-126. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2014.08.016>
- Shin, K.-Y., Lee, J.-W., Han, J.-M., Lee, K.-W., Kong, B.-O., ve Hong, H.-U. (2018). Transition of creep damage region in dissimilar welds between Inconel 740H Ni-based superalloy and P92 ferritic/martensitic steel.

- Materials Characterization*, 139, 144-152.
<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2018.02.039>
- Sims, C. T., Stoloff, N. S., ve Hagel, W. C. (1987). *Superalloys II: High-Temperature Materials for Aerospace and Industrial Power*. Wiley.
<http://books.google.com/books?id=kqZTAAAAMAAJ>
- Singh, A. K., Bal, K. S., Sharma, S., Harbajanka, A., Prasad, M., Dey, D., ve Roy Choudhury, A. (2020). Effect of Beam Offset on Dissimilar Laser Beam Welding of Ti6Al4V and Inconel 718 Superalloy. İçinde M. S. Shunmugam ve M. Kanthababu (Ed.), *Advances in Additive Manufacturing and Joining* (ss. 533-544). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9433-2_46
- Sivakumar, J., ve Nanda Naik, K. (2020). Optimization of weldment in bead on plate welding of nickel based superalloy using Activated flux tungsten inert gas welding (A-TIG). *Materials Today: Proceedings*, 27, 2718-2723.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.327>
- Suryanarayana, C. (2008). Recent Developments in Mechanical Alloying. *Reviews on Advanced Materials Science*, 18, 203-211.
- Szczucka-Lasota, B., Szymczak, T., Węgrzyn, T., ve Tarasiuk, W. (2023). Superalloy—Steel Joint in Microstructural and Mechanical Characterisation for Manufacturing Rotor Components. *Materials*, 16(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/ma16072862>
- Tabaie, S., Greene, T., ve Benoit, M. J. (2023). Optimization of GMAW process parameters for weld overlay of Inconel 686 superalloy on low-carbon steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 127(9), 4769-4788. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11798-z>
- Tao, X., Kavanagh, J., Li, X., Dong, H., Matthews, A., ve Leyland, A. (2022). An investigation of precipitation strengthened Inconel 718 superalloy after triode plasma nitriding. *Surface and Coatings Technology*, 442, 128401. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128401>
- Tumer, M., Karahan, T., ve Mert, T. (2020). Evaluation of microstructural and mechanical properties of dissimilar Inconel 625 nickel alloy–UNS S32205 duplex stainless steel weldment using MIG welding. *Welding in the World*, 64(1), 21-35. <https://doi.org/10.1007/s40194-019-00825-x>
- Vacchi, G. dos S., Silva, R., Kugelmeier, C. L., Martins Júnior, C. B., Dainezi, I., Alano, J. H., Mendes Filho, A. de A., Ramos Osório, W. R., ve Della Rovere, C. A. (2021). Corrosion Behavior of CW6MC Nickel Cast Alloy (Inconel 625) Welded by Shielded Metal Arc Welding. *Metals*, 11(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/met11081286>
- Wang, L., Huang, Y., Yang, D., Li, H., Peng, Y., ve Wang, K. (2020). Multi-scale simulation of grain growth during laser beam welding of nickel-based

- superalloy. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(6), 15034-15044. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.10.091>
- Wanjara, P., Gholipour, J., Watanabe, K., Nezaki, K., Tian, Y., ve Brochu, M. (2017). Linear Friction Welding of IN718 to Ti6Al4V. *Materials Science Forum*, 879, 2072-2077. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.879.2072>
- Węglowski, M. St., Błacha, S., ve Phillips, A. (2016). Electron beam welding – Techniques and trends – Review. *Vacuum*, 130, 72-92. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2016.05.004>
- Winowlin Jappes, J. T., Ajithram, A., Adamkhan, M., ve Reena, D. (2022). Welding on Ni based super alloys – A review. *Materials Today: Proceedings*, 60, 1656-1659. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.208>
- Xu, Y., Li, W., ve Yang, X. (2022). Oxidation performance of aluminide coating on Inconel 783 bolts for ultra-supercritical steam turbine application. *Corrosion Science*, 196, 110033. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2021.110033>
- Yelamasetti, B., Adithya, G. S., Ramadevi, R. S., Sonia, P., Saxena, K. K., Kumar P, N., Eldin, S. M., ve Al- kafaji, F. H. K. (2023). Metallurgical, mechanical and corrosion behaviour of pulsed and constant current TIG dissimilar welds of AISI 430 and Inconel 718. *Journal of Materials Research and Technology*, 24, 6652-6664. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.04.231>
- Yılmaz, T. (2019). *Farklı İlave Metaller Kullanılarak TIG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen 316L Paslanmaz Çelik ve L-605 Kobalt Esaslı Süperalaşım Levhaların Metalurjik Özelliklerinin Değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans,, Gazi Üniversitesi].

Bölüm 18

**Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynak
Yöntemi ve Uygulamaları**

Ömer KARABEY¹, Ahmet AKKUŞ²

¹Arş. Gör. Dr.; Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü.
okarabey@beu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5726-9284

²Doç. Dr.; Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü.
aakkus@cumhuriyet.edu.tr ORCID No: 0000-0002-6881-9333

GİRİŞ

Malzemelerin birleştirilmesi, mühendislik ve üretim süreçlerinde temel bir adımdır ve bu adım, neredeyse her sektörde kritik bir rol oynamaktadır. Birleştirme yöntemi, bir ürünün kalitesi, dayanıklılığı ve performansını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, doğru kaynak yöntemlerinin seçilmesi ve uygulanması, bir ürünün başarısı için hayati önem taşımaktadır. Kaynak yöntemleri, birleştirilmek istenen malzemelerin türüne, kalınlığına, dayanıklılık gereksinimlerine ve çevresel faktörlere bağlı olarak seçilir. Bu nedenle, farklı kaynak yöntemlerinin avantajlarını ve dezavantajlarını anlamak, mühendislerin ve üretim uzmanlarının en iyi kararı vermesine yardımcı olur.

Kaynak yöntemleri, genellikle aşağıdaki temel amaçları yerine getirir:

Malzemelerin Birleştirilmesi: Kaynak yöntemleri, farklı malzemeleri veya aynı malzemelerin farklı kalınlıklarını birleştirmek için kullanılır. Bu, karmaşık ürünlerin üretilmesinde kritik bir rol oynar.

Dayanıklılığın Sağlanması: Kaynak yöntemleri, birleştirilen malzemelerin dayanıklılığını artırmak için kullanılır. Özellikle inşaat, otomotiv ve havacılık gibi sektörlerde, yüksek dayanıklılık gereksinimleri vardır.

Sızdırmazlık Sağlama: Kaynak yöntemleri, sızdırmazlığı sağlamak amacıyla kullanılır. Örneğin, basınçlı kapların veya boru hatlarının üretiminde sızdırmazlık kritik bir faktördür.

Estetik ve Fonksiyonel Amaçlar: Kaynak yöntemleri, ürünlerin estetik görünümünü ve işlevselliğini artırmak için kullanılabilir. Bu, özellikle tüketici ürünleri üretiminde önemlidir.

Kaynak yöntemleri temel olarak iki ana başlığa ayrılmıştır:

1. Ergime (Erime) Kaynak Yöntemleri
2. Katı Hal Kaynak Yöntemleri

Ergime kaynak yöntemlerinde, yöntemin adından da anlaşılacağı üzere kaynak edilecek yüzeye uygulanan ısı akısı ile kaynak edilecek malzemelerde ergime gerçekleşir. Katı hal kaynak yöntemlerinde ise ergime olmadan kaynak işlemi gerçekleştirilir. Kaynak işlemi sadece basınç veya ısı ve basıncın birlikte kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan sürtünme kaynağı ise yukarıda belirtilen temel amaçların tamamını sağlayan bir yöntemdir. Özellikle farklı iki malzemenin birbiri ile kaynağında geleneksel ergitme kaynağına göre tercih edilen bir yöntemdir. Çünkü kaynak malzemelerinin ergime noktaları birbirinden farklı olduğunda, kaynak sonrası

katılaşmadaki segregasyonlar sonucu yapılan kaynağın kalitesini bozulur (Akinlabi ve Mahamood, 2020).

Sürtünme kaynağı, 15. yüzyılda bir makinist olan J.H. Bevington tarafından metal boruların birleştirilmesi için geliştirilmiştir. Bu yöntem, endüstride ilk olarak kesici takımların birleştirilmesinde kullanılmış ve zamanla uygulama alanları genişlemiştir. 1940'larda ABD ve Almanya'da plastik malzemelere sürtünme kaynağı uygulanmaya başlanmış, İngiltere'de ise 1961 yılında Kaynak Enstitüsü tarafından sürtünme kaynağı ile ilgili ilk çalışmalar yapılmıştır. 1962'de ABD'deki Caterpillar Tractor şirketi, sürtünme kaynağı işlemini değiştirerek atalet kaynağı yöntemini geliştirmiştir. Sürtünme kaynağı işlemi, o zamandan beri dünya çapında birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bu yöntemle dolu silindirik parçalar için 0,6 ile 200 mm çapları arasında ve boru parçaları için ise 900 mm çapına kadar kaynak yapılabilmektedir (Akinlabi ve Mahamood, 2020; Anık, 1991). Levha veya sac parçaların birleştirilmesi için ise sürtünme kaynak yöntemlerinden biri olan sürtünme karıştırma kaynağı için kullanılmaktadır (Sarsılmaz vd., 2009).

Bu çalışmada sürtünme kaynak yöntemlerinden biri olan sürekli tahrikli sürtünme kaynak yönteminin uygulama esasları ve detayları ele alınmıştır. Sürekli tahrikli kaynak yöntemini ile birleştirilebilir malzemeler araştırılmıştır. Özellikle bu yöntem ile farklı iki malzemenin birbirleri ile kaynak edilebilirliğini gösteren literatürdeki çalışmalar derlenmiştir. Böylelikle sürekli tahrikli sürtünme kaynağı yönteminin yapılan uygulamalar ile hangi malzemelere uygulanabileceği gösterilmiştir. Ayrıca sürtünme kaynak parametrelerinin hangi esaslara göre belirleneceği her bir parametre için detaylı olarak ele alınmıştır.

SÜRTÜNME KAYNAĞI

Sürtünme kaynağı, endüstride önemli bir kaynak yöntemi olarak kabul edilmektedir ve bir dizi avantajı nedeniyle çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. İşte sürtünme kaynağının endüstriye önemini belirleyen bazı faktörler:

Yüksek Mukavemet ve Dayanıklılık: Sürtünme kaynağı, kaynaklanan malzemeler arasında yüksek kaliteli bir kaynak bağlantısı oluşturur. Bu özellik, otomotiv, havacılık, denizcilik, savunma ve enerji sektörleri gibi endüstrilerdeki ürünlerin güvenilirliğini sağlamak için önemlidir.

Deformasyonun Minimum Olması: Sürtünme kaynağı sırasında, kaynaklanan malzemelerde minimum deformasyon meydana gelir. Bu, özellikle ince boru gibi hassas malzemelerin kaynaklanmasında avantaj sağlar.

Farklı Malzemelerin Birleştirilmesi: Sürtünme kaynağı, farklı türde metallere veya bileşenlerin birleştirilmesinde etkilidir. Bu, karmaşık ürünlerin üretiminde ve farklı malzemelerin avantajlarını bir araya getirmek istendiği uygulamalarda kullanışlıdır.

Yüksek Üretim Hızı: Sürtünme kaynağı, yüksek hızlı bir kaynak yöntemidir. Sürtünme kaynağı işlemi, diğer bazı kaynak yöntemlerine göre daha hızlı sonuç verir, bu da üretim süreçlerini hızlandırır ve maliyetleri düşürür.

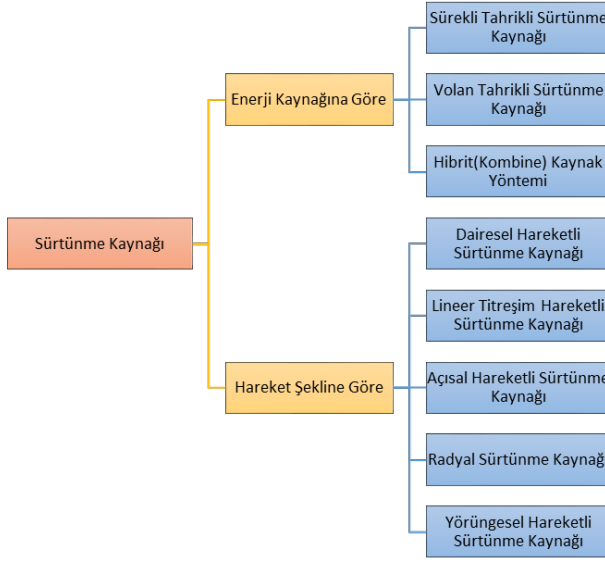
Çevre Dostu: Sürtünme kaynağı, çevre dostu bir kaynak yöntemidir çünkü genellikle kaynak sırasında ekstra malzemeler (örneğin, kaynak teli veya akışkanlar) gerektirmez ve atık üretimi minimaldir. Bu, sürdürülebilir üretim çabalarını destekler.

Otomasyon ve Robotizasyon İmkânı: Sürtünme kaynağı süreci, otomasyon ve robotizasyonla uyumlu bir kaynak yöntemidir. Bu, büyük seri üretimlerde işçilik maliyetlerini düşürmek ve tutarlı sonuçlar elde etmek için kullanılabilir.

Yüksek Mühendislik Uygulamaları: Sürtünme kaynağı, yüksek mühendislik toleranslarına sahip ve karmaşık geometrilere sahip parçaların kaynaklanmasında kullanılır. Bu, havacılık, uzay, nükleer enerji ve diğer yüksek teknoloji sektörlerinde yaygın olarak kullanılan bir özelliktir.

Bu nedenlerle sürtünme kaynağı, birçok endüstriyel uygulama için önemli bir kaynak yöntemi olarak kabul edilmektedir. Kaynak süreçlerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi, ürün kalitesini artırmanın yanı sıra üretim verimliliğini de artırabilir, bu da endüstriyel rekabetçilik açısından büyük bir avantaj sağlar.

Sürtünme kaynağı, parçaların birbirine göre bağlı hareketi sonucunda, bu parçaların ara yüzeyinde oluşan sürtünme ile üretilen termal enerjiyi kullanarak katı halde birleştirme işlemidir. Kaynak işleminde kullanılan hareket türüne göre sürtünme kaynağı iki ana kategoriye ayrılır: döner sürtünme kaynağı ve doğrusal sürtünme kaynağı. Döner sürtünme kaynağı, çubuk, dairesel çubuk, boru ve boru gibi dairesel parçaların birleştirilmesi için en uygundur. Doğrusal sürtünme kaynağı ise diğer geometriler için uygundur. Döner sürtünme kaynağında, iki parçadan biri sabit bir konumda tutulur ve diğeri aksel basınç uygulanarak sabit parçaya karşı döndürülür. Doğrusal sürtünme kaynağında ise, iki parça birbirine doğru ileri geri hareket ettirilir. Her iki yöntem de aynı çalışma prensibine dayanmaktadır. Parçalar birbirine karşı hareket ederken, sürtünme sonucu ısı oluşur. Bu ısı, parçaların yüzeylerini plastikleştirir ve birleştirir (Karabey, 2022). Sürtünme kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması Şekil 1’de verilmiştir.

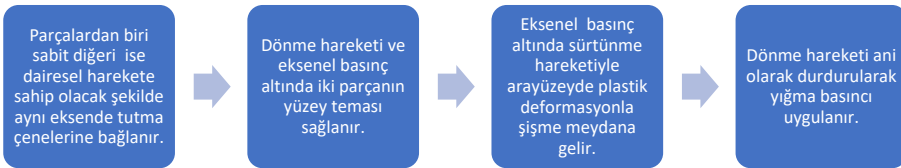


Şekil 1: Sürtünme Kaynak Yöntemleri

Bilindiği üzere sürtünme kaynak yöntemi kapsam olarak çok geniştir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında sürtünme kaynak yöntemlerinden sıklıkla tercih edilen yöntemlerden birisi olan sürekli tahrikli sürtünme kaynağı detaylı olarak irdelenmiştir. Bu konu aşağıda yer alan üçüncü başlıkta detaylı olarak verilmiştir.

SÜREKLİ TAHRİKLİ SÜRTÜNME KAYNAĞI

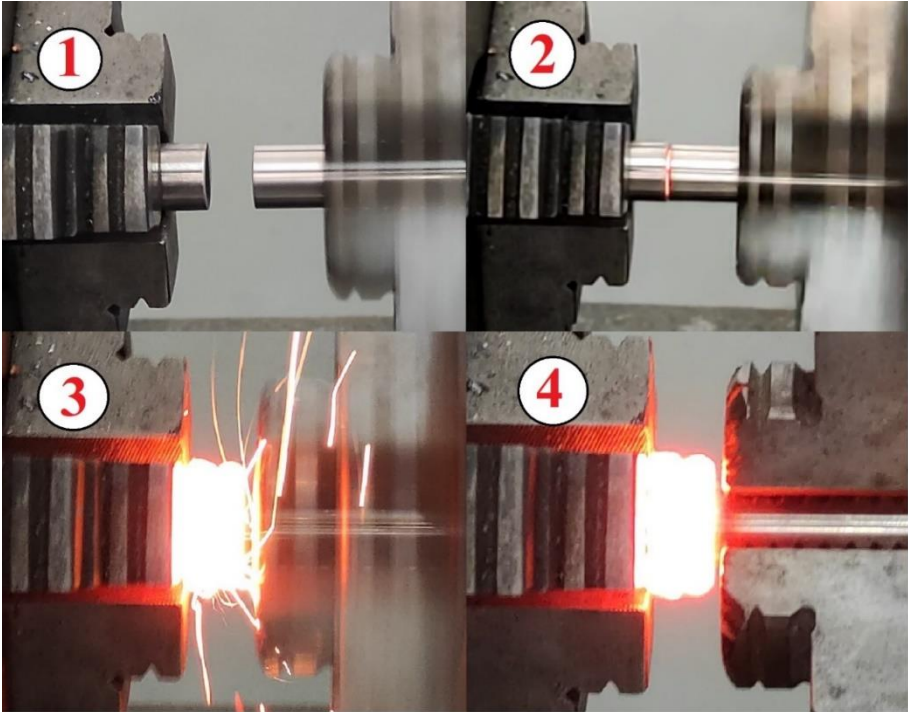
Sürtünme kaynak yöntemlerinden biri olan sürekli tahrikli sürtünme kaynak yöntemi günümüzde birçok endüstride kullanılmaktadır. Enerji kaynağına göre sınıflandırılan sürtünme kaynak yöntemlerinde kaynak işlem basamakları benzerdir. Farklı olan ise sadece tahrik tipidir. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı Şekil 2’ de gösterildiği gibi temel olarak 4 aşamada gerçekleşir.



Şekil 2: Sürtünme Kaynağı İşlem Aşamaları

Kaynak işleminde parçalar birbirine göre hareket ederken aynı zamanda basınç da uygulanır. Bu, sürtünme sonucu oluşumuna neden olur. Üretilen ısı, kaynak yapılacak yüzeylerin sıcaklığını plastik şekillendirme sıcaklığına

ulaşılan kadar yükseltmek için kullanılır. Kaynak yapılacak parçalar arasındaki bağıl hareket, iki parçadan birinin sabit pozisyonda tutulması, diğerinin ise aksel basınç uygulanarak sabit parçaya karşı döndürülmesiyle sağlanır. Bu işlem, parçalar yeterince temas halinde döndürülene kadar devam eder. Dönüş ani olarak durdurulur ve parçalar metalürjik olarak birbirine bağlanana kadar daha fazla basınç uygulanır. Bu işlem, belirlenen bir süre boyunca devam eder ve kaynak işlemi tamamlanmış olur. Örnek olarak Inconel 718 süper alaşımı ve AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğinin sürekli tahrikli sürtünme kaynağı ile birleştirilme aşamaları Şekil 3' de verilmiştir(Karabey ve Akkus, 2022).

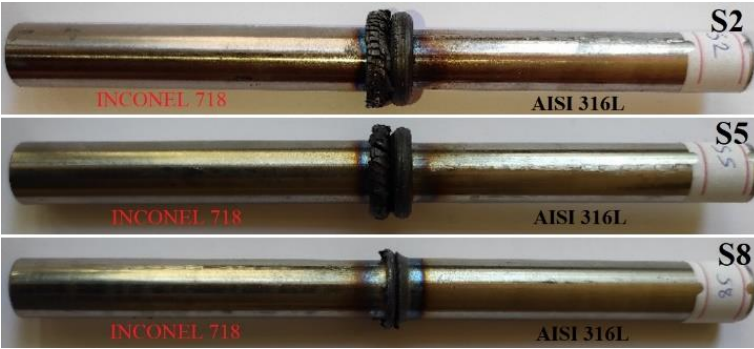


Şekil 3: Sürtünme Kaynağında İşlem Adımlarının Uygulama Görselleri

Ayrıca bu iki malzemenin farklı kaynak parametreleri ile kaynak yapılmış numune örnekleri de Şekil 4' de gösterilmiştir. Yapılan kaynaklarda belirlenen kaynak parametreleri ise Tablo 1' de verilmiştir(Karabey ve Akkus, 2022).

Tablo 1: Inconel 718 ve AISI 316L Malzemeleri İçin Örnek Kaynak Parametreleri

Numune No	Kaynak Parametreleri				
	Devir sayısı (dev/dak)	Sürtünme Süresi (sn)	Sürtünme Basıncı (MPa)	Yığma Basıncı (MPa)	Yığma Süresi(sn)
S2		16			32
S5	1800	12	40	80	24
S8		6			12



Şekil 4: Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilmiş Numuneler

Sürtünme kaynağı uygulamalarında kaynak parametrelerinin belirlenmesi kaynak kalitesini etkileyen en önemli etkidir. Ayrıca kaynak başlangıcı öncesinde kaynaklanacak parçaları tutturma çenelerine kayma ve dönme yapmayacak şekilde sabitlenmesi elzemdir. Kaynak esnasında kıvılcım sıçraması veya parçanın kopması riskine karşın güvenlik önlemleri de alınmalıdır.

Sürekli tahrikli Sürtünme Kaynağında Kaynak Parametreleri

Sürekli tahrikli sürtünme kaynağında kaynak kalitesini etkileyen 5 parametre vardır. Bu parametreler; Çevresel hız (devir sayısı), eksenel sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yığma süresi ve yığma basıncıdır. Bu parametrelerin belirlenmesi ile ilgili detaylar ayrı başlıklar altında aşağıda verilmiştir. Parametrelerin belirlenmesinde kaynak edilecek parçaların benzer kimyasal özellikte kaynak yapılmış parçalar için literatürde yapılmış olan çalışmalarda fikir verecektir.

Çevresel hız (Devir Sayısı)

Sürtünme kaynağında, ara yüzey sıcaklığını etkileyen en önemli faktör çevresel hızdır. Çevresel hız arttıkça, ara yüzey sıcaklığı da artar ve kaynak süresi kısılır. Ancak, çevresel hız çok yüksek seçilirse, ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge)

adı verilen kaynak bölgesindeki metalurjik yapı olumsuz etkilenir ve bu bölge daha geniş bir alana yayılır. Bunu önlemek için, sürtünme süresi ve sürtünme basıncı gibi diğer parametreler de devir sayısına uygun olarak optimum değerlerde ayarlanmalıdır (Kırık, 2012).

Örneğin, yapılan çalışmalar sonucunda, çelikler için çevresel hız aralığının 1.2 ile 1.8 m/sn arasında olduğu önerilmektedir. 1.2 m/sn'den daha düşük çevresel hızlarda, kaynak yüzeyleri yeterince ısınmaz ve bölgesel yığılmalar oluşur. Bu yığılmalar, kaynak kalitesini olumsuz etkileyen büyük momentler oluşturur. Farklı metal bağlantılarında ise düşük çevresel hız, gevrek intermetalik fazların oluşumunu engelleyebilir (Mercan, 2013; Özdemir, 2002).

Kaynaklanacak parçaların çapına göre de çevresel hız belirlenir. (Mercan, 2013) yaptığı çalışmada Ellis (1976) tarafından oluşturulan orta ve düşük karbonlu çelikler için çevresel hız formülünü aşağıdaki gibi vermiştir.

$$n = (1.2 - 6.0)10^4/d \quad [3.1]$$

n: Dönme hızı (dev/dak)

d: Parça çapı (mm)

Sürtünme Basıncı

Sürtünme basıncı, kaynaklanacak parçaların geometrisi ve plastik şekil değiştirme yeteneğine bağlı olarak belirlenir. Sürtünme basıncı, kaynaklanacak yüzeylerdeki istenmeyen kir, yağ, oksit ve diğer yabancı maddeleri temizleyerek kaynak bölgesini atmosferin olumsuz etkilerinden korumalı ve homojen bir ısıtma sağlayacak biçimde dikkatle seçilmelidir. Çünkü sürtünme basıncı malzemedeki sıcaklık dağılımı etkilemektedir. Örneğin, alaşımsız veya düşük alaşımlı çeliklerde sürtünme basıncı iki katına çıkarıldığında, kaynak işlemi için gerekli güç %50 artar. Örneğin çelikler için kaynak başlangıcında gerekli güç 4.8 kW/cm²'dir (Dinç, 2006; Kırık, 2012; Mercan, 2013).

Sürtünme basıncı, kaynak yüzeylerinin merkezinden radyal olarak kaynak parçasının dış yüzeyine doğru yeterli miktarda sürtünme momenti elde edebilecek değerlerde olmalıdır. Bu da sürtünme yüzeylerinde belirlenen bir halkada ortaya çıkan frenleme momenti kaynak yüzeyleri boyunca toplandığında aşağıdaki bağıntıyla Döndürme Momenti (M_R) hesaplanabilir. Döndürme momenti ve sürtünen yüzeylerdeki ısı iletimi görsel olarak ayrıca Şekil 5'de gösterilmiştir (Mercan, 2013; Sönmez, 2007; Yilbas ve Sahin, 2014).

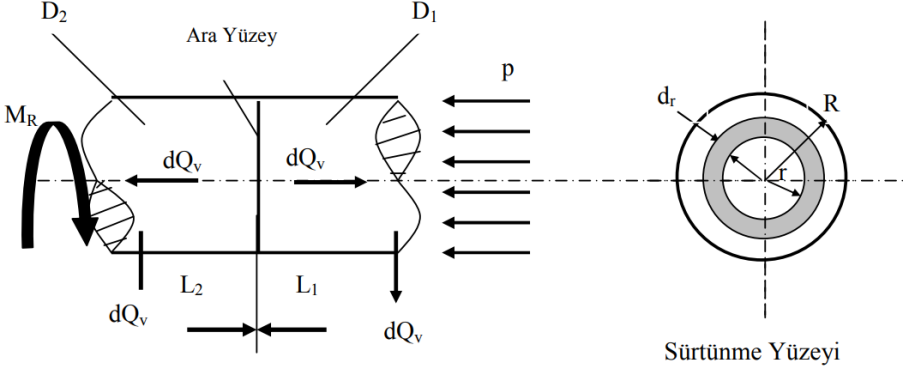
$$M_R = \int_0^r \mu \cdot p \cdot 2\pi \cdot r^2 \cdot dr \quad \rightarrow \quad M_R = \mu \cdot \left(\frac{2}{3}\right) \pi \cdot p \cdot r^3 \quad [3.2]$$

M_R : Dönme momenti (N.mm)

r : Parça yarıçapı (mm)

p : Yüzey basıncı (N/mm²)

μ : Sürtünme katsayısı



Şekil 5: Sürtünme Kaynağında Döndürme Momenti ve Isı Transferi

Sürtünme basıncıyla sürtünen kaynak yüzeylerindeki oluşan ısı aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Sönmez, 2007).

$$\text{Oluşan enerji} \rightarrow Q_R = M_R \cdot n \cdot t \quad [3.3]$$

$$\text{Kullanılan enerji} \rightarrow Q_n = \Delta m \cdot c \cdot \Delta T \quad [3.4]$$

$$\text{Kaybolan enerji} \rightarrow Q_v = k \cdot F \cdot (T - T_0) \cdot t \quad [3.5]$$

n : Devir sayısı(dev/dak)

k : Isı iletim katsayısı(W/m² °C)

F : Yüzey alanı(m²)

T : Sıcaklık(°C)

t : Süre(sn)

m : Kütle(kg)

c : Özgül ısı(kj/kg°C)

d : Parça çapı(mm)

Q : Isı(kcal)

Sürtünme Süresi

Sürtünme süresi, diğer parametreler gibi kaynak yapılacak malzemelerin cinsine ve özelliklerine göre belirlenir. Sürtünme süresi, yüzeydeki kirlilik ve

kalıntıları uzaklaştıracak ve kaynak bölgesini plastik şekil vermeye uygun sıcaklığa en kısa zamanda ulaştıracak kadar olmalıdır. Sürtünme süresinin yetersiz veya fazla olması, kaynak kalitesini olumsuz etkiler. Normalden fazla sürtünme süresi, kaynak bölgesinde düşük iletkenlik, aşırı yığılma, geniş ITAB ve gereksiz malzeme tüketimine neden olur. Ayrıca boyca kısalma da artar. Normalden az sürtünme süresi ise düzensiz ısınma, yetersiz plastisite, kaynak ara yüzeyinde tam birleşmeme ve kirlenmeyle sonuçlanır (Kırık, 2012; Mercan, 2013). (Mercan, 2013) çalışmasında Ellis(1976)' in yaptığı çalışmada , sürtünme süresini aşağıdaki şekilde formülize ettiğini belirtmiştir.

$$t = 82.55/d \quad [3.6]$$

t= Sürtünme süresi (sn)

d= Malzeme çapı (mm)

Yığma Basıncı

Sürtünme süresi boyunca uygulanan sürtünme basıncından daha fazla bir basınç, dönme hareketi durduğunda kaynak malzemelerine uygulanır. Bu basınç sayesinde, ara yüzeydeki ısıtılmış metal dışarıya doğru yığılır. Yığma işlemi, parçalar dönmeyi kestiğinde hemen başlatılmalıdır ve belirlenen yığma süresi boyunca uygulanmalıdır. Bu süreçte malzemeler basınç altında soğur. Yığma basıncı, kaynak bölgesini termomekanik işleme uğratar ve bu bölgenin tane yapısını iyileştirir. Bu nedenle, geleneksel yöntemlerle kaynak edilemeyen metal ve metal alaşımları, sürtünme kaynağıyla kolaylıkla kaynak edilebilir (Ersözlü, 2006; Kırık, 2012; Özdemir, 2002).

Yığma basıncı, kaynaklanacak malzemelerin hangisinin mukavemeti daha düşük ise onun sıcak akma sınırının altında olmalıdır. Yığma basıncının gereğinden fazla olması, kaynaklanan parçalarda daha fazla deformasyona neden olur. Oluşan bu deformasyon metalik olmayan inklüzyonların istenmeyen enine bir akış göstermesiyle yeniden şekillenmesine neden olur. Inklüzyonların bu enine akışı kaynaklanan parçada tokluğu ve yorulma dayanımını düşürür. Yığma basıncının yetersiz olması ise tam bir bağlantının oluşmamasına neden olur (Kırık, 2012; Mercan, 2013).

İki farklı malzemenin sürtünme kaynağında yığma basıncı hesaplanırken üç önemli faktör bulunmaktadır.

- Yığma işleminde, plastik şekil verme kuralları geçerlidir.
- Yığma öncesi sürtünen malzeme yüzeylerini etkileyen ısı derinliği, plastik şekil değişim oranı ve derecesiyle belirlenir. Sürtünmeyle meydana gelen ısı derinliği, malzemenin kaynaklanacak yüzey formunda yapılacak geometrik değişikliklerle istenilen şekilde ayarlanabilir.

- Sürtünme kaynağında hesaplanan yığma basınç değeri diğer yığma ile yapılan kaynak yöntemlerinde de kullanılabilir.
- Metal malzemelerin deformasyonu, hidrodinamik benzeşim ile açıklanabilir. Burada yığma işlemi, iki dairesel düzlem arasındaki viskoz sıvının akışı ile belirlenir. Bu da aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmiştir.

$$\mu = \mu_0 \cdot \exp \left[b \cdot \left(\frac{z}{h} \right)^2 \right] \quad [3.7]$$

Bu akışın diferansiyel denklemlerinin integrasyonu ile de yığma basıncı hesaplanır.

$$P_f = \frac{-v \cdot R^2 \cdot \mu_0 \cdot b}{\left[4 \cdot h^3 \left(2 \cdot e^{-b} - \sqrt{\frac{\pi}{b}} \cdot \varphi \sqrt{b} \right) \right]} \quad [3.8]$$

P_f = Yığma basınç kuvveti (kg/mm²)

v : Kaliteli bir kaynak bağlantısı için malzemenin yığılma hızı (mm/dak)

μ_0 : Sıvı modelin relatif vizkozitesi (gr/sn)

μ : Akışkan malzemenin vizkozitesi (gr/sn)

R : Deformasyona uğrayan bölgenin derinliği (mm),

b : Metallerin mekanik özelliklerini karakterize eden katsayı

$$b = \delta B_{(P)} / \delta B_{(0)} \quad [3.9]$$

“b” ifadesi yukarıdaki gibi hesaplanmaktadır. “ $\delta B_{(P)}$ ” ifadesi metallerin deformasyon bölgelerine karşılık gelen sıcaklıkta akma noktasıdır. Sürtünme kaynağında 600-700 °C aralığındadır. “ $\delta B_{(0)}$ ” ifadesi ise numunenin temas bölgesinde sıcaklıkla hasara uğramış metalin akma noktasıdır.

Yukarıdaki bağıntılar da formülde yerine konulduğunda kaliteli bir sürtünme kaynağı için yığma basıncı aşağıdaki formül ile belirlenir (Kırık, 2012; Mercan, 2013; Özdemir, 2002).

$$P_f = - \frac{R^2 \cdot b \cdot \delta B_{(0)}}{4 \cdot h^2 \left[2 \cdot e^{-b} - \sqrt{\frac{\pi}{b}} \cdot (\sqrt{b}) \right]} \quad [3.10]$$

Yığma Süresi

Yığma süresi, kaynak ara yüzeyinde gerekli olan plastik deformasyonun oluşması ve difüzyonun hızlandırılması için yığma basıncının uygulandığı

süredir. Yığıma süresi, malzemenin soğuma hızı, parça geometrisi, ısı iletim katsayısı, şekil değiştirme kabiliyeti ve kaynak sonrasında parçanın eksenel boyca kısılmasına bağlı olarak değişir. Yapılan çalışmalarda, yığıma süresi kaynaklanacak parçaların çapına bağlı olarak sürtünme süresinin iki katı olarak belirlenir (Özdemir, 2002; Kırık, 2012; Mercan, 2013).

Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı Uygulanabilir Malzemeler ve Örnekleri

Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı yöntemi ile kaynak yapılan malzemeler için de yapılan çalışmalar baz alınarak literatür taraması sonucunda kullanılan malzeme çiftleri incelenmiştir. Sürekli tahrikli sürtünme kaynak yönteminin yanında atalet sürtünme kaynağı ve hibrit sürtünme kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilir malzemelerde eklenmiştir. Çünkü sürtünme kaynağı başlığında bahsedildiği üzere bu üç yöntemin birbiri ile benzerliğinden dolayı benzer malzemeler bu üç yöntem ile kaynak edilebilir.

Malzeme türlerine göre birbirleriyle yapılan çalışmalar (Ateş vd., 1999) tarafından çok düzgün ve özetleyici bir tabloda hazırlanmıştır. Verilen tablonun görsel iyileştirilmesi yapılarak Tablo 2’de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde genel olarak demir içerikli malzemelerin demir içeriklilerle, demir içeriksiz olanlarda yine demir içeriksiz türlerle tam uyumlu olduğu görülmektedir. Ancak bu diğer türlerle kaynak yapılamayacağı anlamına gelmemektedir. Yine tablo incelendiğinde alaşımlı çelikler ile demir içerikli, demir içeriksiz ve diğer tür malzemelerin uyumlu olduğu görülmektedir. Son olarak sert ve kimyasal reaksiyon kabiliyet nispeten daha az olan malzemelerin kaynak deneyimlerinin yetersiz veya yok olduğu görülmektedir.

Tablo 3: Sürekli Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilebilir Malzeme Çiftleri

Malzeme 1	Malzeme 1 Türü	Malzeme 2	Malzeme 2 Türü	Referans
P91 Steel	Cr- Mo çeliği	Inconel 625	Süper alaşım	(Akram vd., 2018)
Inconel 625	Süper alaşım	Inconel 600	Süper alaşım	(Akram vd., 2018)
Inconel 718	Süper alaşım	AISI 316L	Östenitik paslanmaz çelik	(Karabey ve Akkus, 2022)
Ti-6Al-4V	Titanyum alaşımı	Ti-6Al-4V	Titanyum alaşımı	(Vikas vd., 2023)
Ti-6Al-4V	Titanyum alaşımı	AA2024	Alüminyum alaşımı	(Lakache vd., 2023)
42CrMo	Orta karbonlu alaşımlı çelik	K418	Süper alaşım	(Ding vd., 2019)
Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)	Polimer	Polycarbonate (PC)	Polimer	(Kuo vd., 2023)
AA5083 H116	Alüminyum alaşımı	AA5083 H116	Alüminyum alaşımı	(Mahajan vd., 2023)
AISI 304	Paslanmaz çelik	Invar alloys (Fe64Ni36)	Demir -Nikel alaşımı	(Patel vd., 2023)
TP347HFG	Östenitik çelik	HiPerFer ferritic stainless-steel	Ferritik paslanmaz çelik	(Mattie vd., 2023)
AISI 304L	Paslanmaz çelik	SAE 1040	Yüksek karbonlu çelik	(Kırık, 2012)
AISI 2205	Dubleks paslanmaz çelik	AISI 1020	Düşük karbonlu çelik	(Mercan ve Özdemir, 2013)
UNS S31803	Dubleks paslanmaz çelik	UNS S31803	Dubleks paslanmaz çelik	(Madhappan vd., 2023)
Cu	Saf bakır	AZ91	Magnezyum alaşımı	(Torun, 2019)
SCR 420	Düşük karbonlu çelik (Cr alaşımlı)	AISI 1040	Orta karbonlu çelik	(Sarsılmaz vd., 2017)

Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı Uygulama Alanları

Sürekli tahrikli sürtünme kaynağına uygulanabilir malzemeler için kendi kullanım alanlarına uyumlu olarak endüstride birçok kullanım alanı olduğu görülmektedir. Başlıca kullanım alanları irdelendiğinde demir dışı yüksek mukavemet gerektiren alanlarda bu yöntemle birleştirildiği ve bu birleşmiş ürünün havacılık motor sanayiinde kullanıldığı bilinmektedir. Örnek olarak TUSAŞ Motor Sanayii A.Ş. (TEI) firmasında farklı motor programlarına ait Fan Disk, Spool, Blisk ve HPT Disk parçaları atalet sürtünme prosesi ile birleştirilmektedir. Otomotiv endüstrisinde ise supaplar, kadran milleri, şanzıman parçaları, taşıyıcı aks boruları gibi parçalarda sürtünme kaynağı ile imal

edilmektedir (Dede vd., 2002). Makine imalat sanayisinde flanşlar, boru ve mil gibi parçaların kaynaklanmasında da bu yöntem kullanılan yöntemlerden biridir.

SONUÇ

Bu çalışmada sürekli tahrikli sürtünme kaynağının uygulama esasları, uygulama esnasında dikkat edilmesi gereken hususlar, işlem parametrelerinin belirlenmesi ve etkileri, kaynaklanabilir malzemeler ve yöntemin uygulama alanları irdelenmiştir. Bu kapsamda sürekli tahrikli sürtünme kaynağının deneysel işlemleri sırasında işlem basamaklarının neler olduğu detaylı olarak anlatılmış ve en çok dikkat edilmesi gereken hususun kaynak yapılacak olan parçaların tutturma çenelerine sabitlemesi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yine bu yöntemin uygulanması öncesinde önemli olan tüm kaynak parametrelerinin nasıl belirleneceklerine dair kullanılan matematiksel formüller ve her bir parametrenin ayrı ayrı önemi ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu kaynak parametrelerinden devir sayısı ve sürtünme basıncının kaynak kalitesini etkileyen en belirgin parametreler olduğu sonucuna varılmıştır. Dahası yapılan literatür araştırmaları sonucunda sürekli tahrikli sürtünme kaynak yönteminin demir ve demir dışı malzemelerin birbirleri ile birleştirilmesinde verimli bir yöntem olduğu görülmüş ve bu çalışmalara örnekler tablo halinde verilmiştir. Son olarak bu yöntemin endüstrideki kullanım alanlarına örnekler verilmiştir.

Böylelikle bu çalışma bu konu hakkında gerek akademik gerekse endüstri uygulama alanlarında çalışmayı düşünenler için; bir kılavuz ve yol haritası olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca bu yöntemin endüstrideki uygulanabilirliği ve önemi detaylı olarak gösterilmiştir.

REFERANSLAR

- Akinlabi, E. T., ve Mahamood, R. M. (2020). *Solid-State Welding: Friction and Friction Stir Welding Processes*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-37015-2>
- Akram, J., Kalvala, P. R., Chalavadi, P., ve Misra, M. (2018). Dissimilar Metal Weld Joints of P91/Ni Alloy: Microstructural Characterization of HAZ of P91 and Stress Analysis at the Weld Interfaces. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 27(8), 4115-4128. <https://doi.org/10.1007/s11665-018-3502-8>
- Anık, S. (1991). *KAYNAK TEKNİĞİ EL KİTABI*. Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü.
- Ateş, H., Kurt, A., ve Türker, M. (1999). *Friction Welding*. 125-132. <https://docplayer.biz.tr/21453490-Surtunme-kaynagi-hakan-ates-adem-kurt-mehmet-turker.html>
- Dede, A., Soy, U., ve Aslanlar, S. (2002). Friction Welding Method. *Sakarya University Journal of Science*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.16984/saufbed.86148>
- Dinç, D. (2006). *Investigation of Weldability of AISI 1040 and AISI 304 Steels by Friction Welding* [M. Sc. Thesis]. Balıkesir University.
- Ding, Y., You, G., Wen, H., Li, P., Tong, X., ve Zhou, Y. (2019). Microstructure and mechanical properties of inertia friction welded joints between alloy steel 42CrMo and cast Ni-based superalloy K418. *Journal of Alloys and Compounds*, 803, 176-184. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.06.136>
- Ersözlü, İ. (2006). *Sürtünme kaynak makinasının bilgisayar kontrollü çalıştırılması ve SAE 4140 ve SAE 1050 çeliklerine uygulanması* [Doktora, Balıkesir Üniversitesi]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=j1WNpFCxxwjShJNajkbz8Q&no=TICZNZ0UglcXFWGey_zbrQ
- Karabey, Ö. (2022). *İnconel 718 süper alaşımı ve AISI 316l paslanmaz çeliğinin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi ve karakterizasyonu* [Doktora, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Karabey, Ö., ve Akkus, A. (2022). Effect of Welding Parameters on Axial Shortening in Continuous Friction Welded Inconel 718 Superalloy and AISI 316L Stainless Steel. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi(EJOSAT)*, 34(34), 311-316. <https://doi.org/10.31590/EJOSAT.1081747>
- Kırık, İ. (2012). *Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş aısı AISI 1040/AISI 304L çelik çiftinin elektrokimyasal korozyon davranışının araştırılması* [Doktora, Fırat Üniveristesi].

https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=1bKWnjFZe7hxIxo51uwKfw&no=2gzprsOazgfkB5Ku49_TEG

- Kuo, C.-C., Gurumurthy, N., ve Hunag, S.-H. (2023). Fatigue Behavior of Rotary Friction Welding of Acrylonitrile Butadiene Styrene and Polycarbonate Dissimilar Materials. *Polymers*, 15(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/polym15163424>
- Lakache, H. E., Badji, R., ve May, A. (2023). Parametric Investigation of Similar TiAl6V4 and AA2024 Rotary Friction Weld Joints Using Taguchi-L9 Array Method. *Iranian Journal of Materials Science and Engineering*, 20(3).
- Madhappan, D. K., Ponnusamy Kumaraswamy, P., ve Munusamy, A. (2023). Surface morphology and experimental investigation on joint characteristics of solid-state welded duplex stainless steel tubes. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 09544089231176210. <https://doi.org/10.1177/09544089231176210>
- Mahajan, A. M., Krishna, K. V., Quamar, M. J., Rehman, A. U., Bandi, B., ve Babu, N. K. (2023). Structure–Property Correlation between Friction-Welded Work Hardenable Al-4.9Mg Alloy Joints. *Crystals*, 13(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/cryst13071119>
- Mattie, A. A., Ezdeen, S. Y., ve Khidhir, G. I. (2023). Optimization of parameters in rotary friction welding process of dissimilar austenitic and ferritic stainless steel using finite element analysis. *Advances in Mechanical Engineering*, 15(7), 16878132231186015. <https://doi.org/10.1177/16878132231186015>
- Mercan, S. (2013). *Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş AISI 2205/AISI 1020 malzeme çiftinin mikroyapı ve yorulma davranışının araştırılması* [Doktora, Fırat Üniversitesi]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=Ss_L79TTs3GeNgFkaGWf5g&no=wUkl-cO-A3zcTOwVb4YyEw
- Mercan, S., ve Özdemir, N. (2013). AISI 2205 / AISI 1020 MALZEME ÇİFTİNİN SÜRTÜNME KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ. *Technological Applied Sciences*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.12739/NWSA.2013.8.2.2A0080>
- Özdemir, N. (2002). *Tane küçültülmüş düşük alaşımlı yüksek karbonlu çeliklerin sürtünme kaynağı ile birleştirilebilirliğinin araştırılması*. Fırat Üniversitesi.
- Patel, J., Mawandiya, B. K., Patel, K., Makhesana, M. A., Gupta, M., Salem, K. H., ve Sehgal, S. S. (2023). Experimental investigations and effect of

- parameters on friction welded AISI 304 and Invar alloys. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 0(0), 1-12. <https://doi.org/10.1080/2374068X.2023.2233855>
- Sarsılmaz, F., Kirik, İ., ve Ay, M. (2017). Sürtünme Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş SCR 420/AISI 1040 Çelik Çiftlerinin Arayüzey Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(2), Article 2.
- Sarsılmaz, F., Özel, S., ve Candan, İ. (2009). Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Farklı Tipteki Alüminyum Bağlantıların Tahribatlı ve Tahribatsız Muayenesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.93286>
- Sönmez, F. (2007). *Sürtünme kaynağıyla birleştirilmiş yüksek hız çeliği (HSS) ve AISI 1040 çeliklerinde mukavemet ve metalurjik özelliklerin incelenmesi*. Trakya Üniversitesi.
- Torun, O. (2019). SAF BAKIR VE MAGNEZYUM ALAŞIMININ SÜRTÜNMEKAYNAĞI. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2), Article 2. <https://doi.org/10.31796/ogummf.537695>
- Vikas, K. S. R., Rahul, Ramana, V. S. N. V., Reddy, G. M., ve Rao, K. S. (2023). Effect of Heat Treatments on Tensile Fracture Behaviour of Ti-6Al-4V Alloy Friction Welds. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*. <https://doi.org/10.1007/s40033-023-00549-9>
- Yilbas, B. S., ve Sahin, A. Z. (2014). Friction welding: Thermal and metallurgical characteristics. İçinde *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology* (Sayı 9783642546068). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-54607-5/COVER>

Bölüm 19

**Güç Sistemlerinde Artan Yük Talebine
Göre Sezgisel Algoritmalar Kullanılarak
Optimal Yakıt Maliyeti Analizi**

Salih ERMIŞ¹

¹Dr. Öğr. Üyesi.; Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik
Mühendisliği Bölümü. sermis@ahievran.edu.tr ORCID No: 0000-0002-1053-9160

GİRİŞ

Son yıllarda elektrik enerji üretim maliyetlerinin en aza indirilmesine yönelik çalışmalar önem kazanmaktadır. Elektrik enerjisi üretim generatörlerinin yakıt tüketim maliyetlerini optimum değerlerde tutmak için yapılan çalışmalar ekonomik yük dağıtımı (EYD) olarak adlandırılmaktadır (Öztürk, Çobanlı, Duman, Tosun ve Döşoğlu, 2011; Yaşar, Temurtaş ve Özyön, 2010)

EYD problemini çözmek için birçok optimizasyon yöntemleri kullanılabilir. Doğrusal programlama (Shafik, Chen, Rashed ve El-Sehiemy, 2019), lineer programlama (Crisan ve Mohtadi, 1992; Zehar ve Sayah, 2008) tamsayı programlama (Yan, Yu, Yu ve Bhattarai, 2006) gibi matematiksel yöntemler, kısıtlamalar ve hedef fonksiyonları kullanarak yakıt maliyeti problemini optimize etmeyi amaçlar. Bunun yanında, genetik algoritma (Boucekara, Chaib ve Abido, 2018), parçacık sürü optimizasyonu (Basu, 2015; Singh, Mukherjee ve Ghoshal, 2016), öğrenme öğretme tabanlı algoritma (Ghasemi, Ghavidel, Gitizadeh ve Akbari, 2015), diferansiyel evrim algoritması (Shaheen, Farrag ve El-Sehiemy, 2017) gibi birçok meta sezgisel algoritma kullanarak akıllı çözüm yöntemleri kullanılabilir.

Literatürde meta sezgisel yöntemlerle yakıt maliyeti problemini çözmek için birçok çalışma yapılmıştır. Younes v.d., yakıt maliyet optimizasyonunu gerçekleştirmek için genetik algoritma yöntemini kullanmışlardır (Younes, Rahli ve Abdelhakem-Koridak, 2007). Elsakaan AA v.d., güve alevi optimizasyon algoritması kullanılarak ekonomik dağıtım problemini çözmek için emisyonların etkilerini göz önünde bulundurmışlardır (Elsakaan, El-Sehiemy, Kaddah ve Elsaid, 2018). Karthik N v.d., güç sistemlerinde ekonomik güç dağıtım probleminde emisyon gazını en aza indirmek için hibrit bir karınca optimizasyon algoritması önermiştir (Karthik, Parvathy ve Arul, 2019). Cai v.d., ekonomik güç dağıtım problemi için karınca sürüsü optimizasyon algoritmasıyla bir çözüm sunmuşlardır (Cai vd., 2007). Ermiş S, optimal güç akışı problemini çözmek için öğretme öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmasını kullanarak güç sistemlerinde yakıt maliyeti, güç kayıpları ve gerilim sapsması optimizasyonlarını gerçekleştirmiştir (Ermiş, 2023). Elsakaan ve ark. ortak ekonomik dağıtım problemini çözmek için IMFO algoritmasını önerdi (Elsakaan vd., 2018).

Bu çalışmada, güç sistemlerinde generatörlerin değişen yük taleplerine göre yakıt maliyetleri hesaplanmıştır. Ayrıca, belirlenen kısıtlama sınırları içerisinde generatörlerin çalışabileceği maksimum yük değerleri belirlenmiştir. Test sistemi olarak IEEE 30 baralı 6 generatörlü güç sistemi kullanılmıştır. Analizlerde, meta sezgisel yöntemlerden parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve

ateş böceği algoritması (ABA) ile maksimum yüklenebilirlik sınırları ve generatörlerin değişen yük altında üretim maliyetleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

2-PROBLEM FORMÜLASYONU

Güç sistemlerinde, optimal güç akışı (OGA) analizi belirlenen parametreler üzerindeki bazı eşitsizlik ve eşitlik kısıtlamalara bağlı olarak sistemin optimal değerlerde çalışmasını amaçlar. OGA analizindeki probleminin matematiksel fonksiyonları aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

Analizlerde, meta sezgisel yöntemlerden parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve ateş böceği algoritması (ABA) ile maksimum yüklenebilirlik sınırları ve generatörlerin değişen yük altında üretim maliyetleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

$$f(x, u) \quad (1)$$

$$g(x, u) \quad (2)$$

$$h(x, u) \leq 0 \quad (3)$$

Burada f , optimize edilmesi gereken amaç fonksiyonunu temsil eder. x ve u sırasıyla durum ve kontrol vektörleridir. $g(x,u)$, eşitlik kısıtlamaları ve $h(x,u)$, eşitsizlik kısıtlamaları olarak tanımlanmıştır.

2.1.Durum Değişkenleri

Durum değişken vektörleri (x), güç sistemlerinde Eş. 4 ile belirtilir.

$$x = [P_{G_1}, V_{L_1} \dots V_{L_{NL}}, Q_{G_1} \dots Q_{G_{NG}}, S_{L_1} \dots S_{L_{nl}}] \quad (4)$$

Burada P_{G_1} salınım barası, Q_G generatörün reaktif gücü, V_L yük barası gerilimi ve S_L iletim hattı yüküdür.

2.2.Kontrol Değişkenleri

Kontrol değişkenleri (u), Güç sistemlerinde Eş. 5 ile belirtilir.

$$u^T = [P_{G_2} \dots P_{G_{NG}}, V_{G_1} \dots V_{G_{NG}}, Q_{C1} \dots Q_{C_{NC}}, T_1 \dots T_{NT}] \quad (5)$$

Burada T , trafonun kademe ayarları ve Q_c , paralel reaktif güç kompensatör değerleridir.

2.3.Kısıtlamalar

OGA analizlerinde, baraların aktif ve reaktif değerleri belirli limitler içerisinde tutulmalıdır. Güç sistemleri optimizasyonunda eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamalarının limit değerleri, algoritma yapısı ve sistemin analizi bakımından önemlidir.

2.3.1.Eşitlik kısıtlamaları

Dengeli bir güç sisteminde, üretim, tüketim ve kayıp güç değerlerinin toplamı 0 (sıfır) olmalıdır. Eşitlik kısıtlamaları Eş. 6 ve Eş. 7 de verilmiştir.

$$P_{Gi}^{min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{max} , 1 \leq i \leq N_G \quad (8)$$

$$Q_{Gi}^{min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{max} , 1 \leq i \leq N_G \quad (9)$$

$$V_{Gi}^{min} \leq V_{Gi} \leq V_{Gi}^{max} , 1 \leq i \leq N_G \quad (10)$$

$$T_i^{min} \leq T_i \leq T_i^{max} , 1 \leq i \leq N_T \quad (11)$$

$$V_{Li}^{min} \leq V_{Li} \leq V_{Li}^{max} , 1 \leq i \leq N_L \quad (12)$$

$$S_{li} \leq S_{li}^{max} , 1 \leq i \leq N_l \quad (13)$$

2.4. Yakıt maliyet fonksiyonu

Yakıt maliyeti fonksiyonu, güç sistemlerinde talep edilen yüke göre generatörlerin optimum üretim değerlerini ayarlayarak yakıt maliyetini en aza indirmeyi amaçlayan bir fonksiyondur. Toplam yakıt maliyeti amaç fonksiyonu denklemi aşağıdaki gibidir.

$$f_1 = F_{cost} = \sum_{i=1}^{N_G} a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2 , \quad (15)$$

Burada a_i , b_i ve c_i generatörlerin maliyet katsayılarıdır.

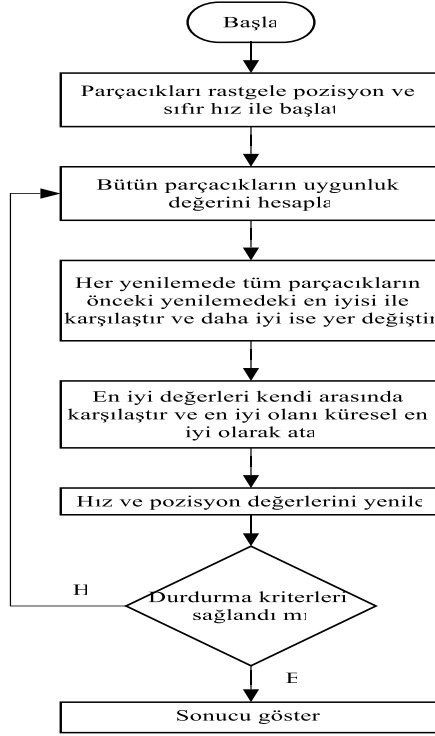
3.METASEZGİSEL ALGORİTMALAR

Bu çalışmada, güç sistemlerinde farklı yük talebi altında optimal yakıt maliyeti analizinde, metasezgisel algoritmalarından olan parçacık sürü optimizasyon (PSO) ve güve sürüsü algoritması (GSA) kullanılarak optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

3.1.Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması

Parçacık sürü optimizasyon algoritması (PSO), Kennedy ve Eberhart tarafından 1995 yılında yaptıkları ortak çalışmada popülasyon tabanlı metasezgisel bir arama algoritması olarak sunulmuştur. PSO algoritması, doğadaki canlıların (kuş, balık, arı vb.) davranışlarından ilham alan optimal çözüm bulmayı amaçlayan popülasyon tabanlı bir arama algoritma olarak geliştirilmiştir. PSO algoritmasında her birey parçacık olarak isimlendirilen bir çözümü temsil eder (Cai, Ma, Li, Li ve Peng, 2009; Wang ve Singh, 2009).

PSO algoritmasında, optimal sonuca ulaşmak için her bir parçacık hızı diğer parçacıklardan aldığı en iyi bilgiye doğru hızlanır. Her iterasyonda parçacık hızı bir önceki optimal sonuçlardan da faydalanarak yeniden hesaplanır. Böylece, her yenilemede popülasyondaki bireyler en iyi çözüme giderler. Şekil 1'de PSO algoritmasının akış şeması verilmiştir.



Şekil 1: PSO Akış Şeması

3.2. Ateş Böceği Algoritması

Ateş Böceği Algoritması, ateş böceklerinin çiftleşme davranışından esinlenerek geliştirilmiş bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu algoritma, bir problemi çözmek için, ateş böceği davranışlarını taklit eder. Ateş böcekleri, ışık yayan organları sayesinde birbirlerini çekerek, belirli bir noktada toplanırlar. Algoritma, bu çekim kuvveti prensibine dayanarak, popülasyon içindeki ateş böceklerinin hareketlerini hesaplayarak en iyi sonucu bulmaya çalışır. Ateş böceği algoritmasının avantajları arasında, doğal seçim süreciyle uyumlu olması, çok boyutlu optimizasyon problemlerinde verimli sonuçlar vermesi ve kolay anlaşılabilir olması sayılabilir (Yang, 2010).

Aşağıdaki akış diyagramı, Ateş böceği algoritmasının basit bir şekilde nasıl çalıştığını göstermektedir.

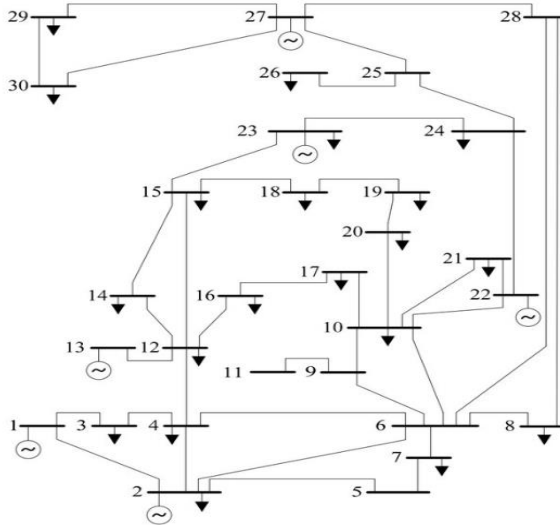
1. Popülasyon oluşturulur (n adet ateş böceği).
2. Ateş böceği konumları rastgele belirlenir ve uygunluk değerleri hesaplanır.
3. Her ateş böceği bir diğer ateş böceğine doğru hareket eder.
4. Yeni konumları uygunluk değerleri hesaplanarak değerlendirilir.
5. En iyi ateş böceği başka bir ateş böceği tarafından çekilirse, konumları yer değiştirilir.

6.Kullanıcı tanımlı bir durum (maksimum iterasyon sayısı veya hedef uygunluk değeri) sağlanana kadar adımlar 3-5 tekrarlanır.

7.En iyi uygunluk değeri ve ateş böceği konumu, çıkış olarak tanımlanır.

4.SİMULASYON SONUÇLARI

Bu çalışmada, Şekil 2’de tek hat şeması gösterilen IEEE 30 baralı test sisteminde yakıt maliyet probleminin çözümünde PSO ve ABA algoritmaları kullanılmıştır. Güç sisteminde, toplam 6 adet generatör barası, 41 iletim hattı, 24 yük barası, 4 trafo ve 9 şönt VAR kompansatörleri bulunmaktadır. Başlangıçta talep edilen aktif ve reaktif güç değerleri 283,4 MW ve 126,2 MVAR’dır. Talep edilen yük değerleri kademe kademe arttırılmıştır. Şönt VAR kompansatörlerinin her biri 5 MVAR kapasiteye sahip olup, trafo kademe ayar limitleri 0.9-1.1’dir. Tüm yük baralarının maksimum ve minimum gerilimlerinin pu olarak 0,95–1,1 olduğu varsayılmaktadır (Duman, Güvenç, Sönmez ve Yörükeren, 2012). Güç sisteminde generatörlerin maliyet katsayıları Tablo 1’de verilmiştir (Abido, 2006). IEEE 30 baralı güç sisteminde generatörlerin üretim maliyet değerlerini en aza indirme ve maksimum yüklenme sınırlarını belirleme amaçlı optimizasyon hedefi belirlenmiştir. Tüm simülasyon sonuçları Intel Core(TM) i7-2620 2.7GHz ve 8.00 (64-bit) GB RAM PC kullanılarak Matlab R2017b programında analiz edilmiştir.



Şekil 2: IEEE 30 Baralı Güç Sisteminin Tek Hat Şeması

IEEE 30 baralı güç sisteminde ABA ve PSO algoritmaları kullanılarak artan yük talebine göre generatörlerin yakıt maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, referans alınan PLToplam=283.4 MW aktif güç değeri kademe kademe arttırılmıştır. Her yük değerinde güç sisteminde, generatörlerin aktif güç üretim değerleri, aktif güç kayıpları ve generatör yakıt maliyet değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 1: Generatör Maliyet Katsayıları (IEEE 30 bara)

Bara No.	Maliyet Katsayıları		
	a	b	c
1	0	2	0.00375
2	0	1.75	0.0175
5	0	1	0.0625
8	0	3.25	0.00834
11	0	3	0.025
13	0	3	0.025

ABA algoritmasıyla gerçekleştirilen yakıt maliyeti analizinde hesaplanan değerler Tablo 2’de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, IEEE 30 baralı güç sisteminde baralara bağlı yük değerleri kademe kademe arttırılmıştır. Generatörlerin maksimum ve minimum üretim değerlerine göre aktif güç üretim değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlara göre, ABA algoritmasıyla IEEE 30 baralı güç sisteminin %50 yük artışı dışında tüm yük kademelerinde generatörler üretim sınırları içinde kalmıştır. %50 yük artışında P_{g1} generatörü limit sınırları değerleri dışına çıktığı görülmektedir. %49 yük artışına kadar güç sisteminin aktif güç kayıpları ve yakıt maliyet değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre yük arttıkça kayıplar artmakta ve üretim arttıkça generatörlerin yakıt maliyetleri artmaktadır. Sınır değerinin aştığı %50 yük artışında yakıt maliyet analizi ve aktif güç kaybı değerleri hesaplanamamıştır.

Tablo 2: IEEE 30 baralı güç sisteminde ABA algoritmasıyla yakıt maliyeti analizi

	Min	Max	ABA				
			0%	20%	40%	49%	50%
P_{g1} (MW)	50	250	174.4853	200.9795	240.9704	249.564	316.9631
P_{g2} (MW)	20	80	55.2941	57.7254	69.8376	69.1473	78.6643
P_{g5} (MW)	15	50	21.9223	26.7556	27.9132	31.3948	45.7075
P_{g8} (MW)	10	35	17.3307	34.4922	34.6214	32.3012	33.3143
P_{g11} (MW)	10	30	11.2486	17.1379	18.9424	27.9109	26.7173
P_{g13} (MW)	12	40	12.5627	15.1807	21.9958	31.2976	39.3274
$P_{gToplam}$ (MW)			292.8437	352.2713	414.2808	441.6158	540.6939
$P_{LToplam}$ (MW)			283.4	340.08	396.76	422.266	425.1
$P_{Kayıp}$ (MW)			9.44378	12.19137	17.52075	19.3498	-----
$F_{Maliyet}$ (\$/h)			802.74	1016.34	1250.27	1365.63	-----

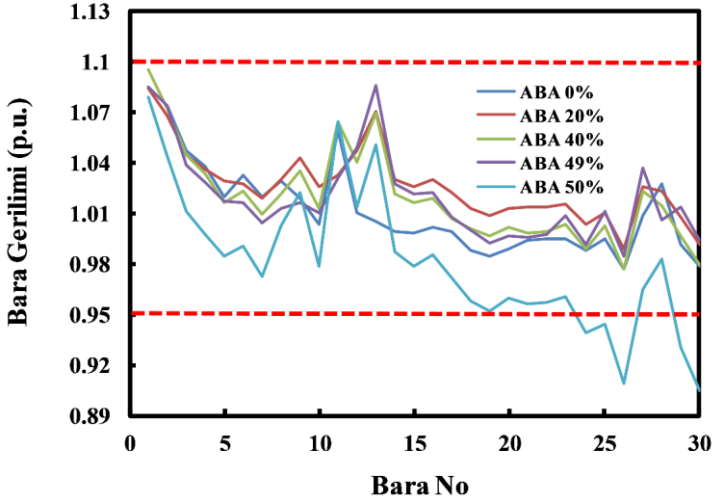
PSO algoritmasıyla gerçekleştirilen yakıt maliyeti analizinde hesaplanan değerler Tablo 3’de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, IEEE 30 baralı güç sisteminde baralara bağlı yük değerleri kademe kademe arttırılmıştır. Generatörlerin maksimum ve minimum üretim değerlerine göre aktif güç üretim değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlara göre, PSO algoritmasıyla IEEE 30 baralı güç sisteminin %65 yük artışı dışında tüm yük kademelerinde generatörler üretim sınırları içinde kalmıştır. %65 yük artışında P_{g1} generatörü limit sınırları değerleri dışına çıktığı görülmektedir. %64 yük artışına kadar güç sisteminin aktif güç kayıpları ve yakıt maliyet değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre yük arttıkça kayıplar artmakta ve üretim arttıkça generatörlerin yakıt maliyetleri artmaktadır. Sınır değerinin aştığı %65 yük artışında yakıt maliyet analizi ve aktif güç kaybı değerleri hesaplanamamıştır.

Tablo 3: IEEE 30 Baralı Güç Sisteminde PSO Algoritmasıyla Yakıt Maliyeti Analizi

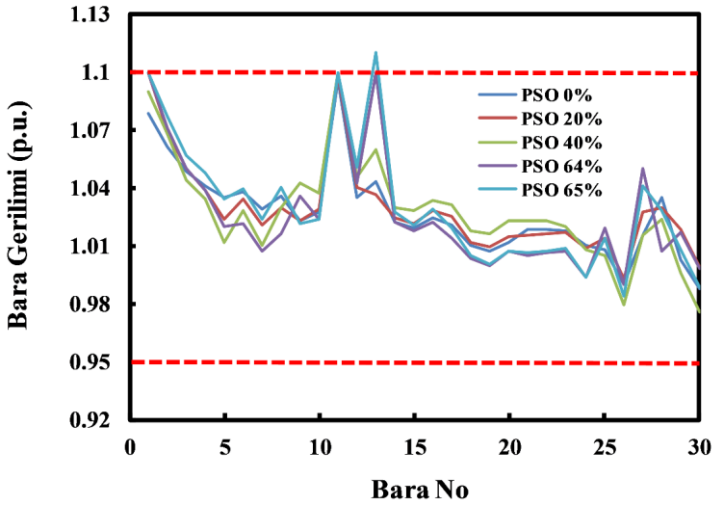
	Min	Max	PSO				
			0%	20%	40%	64%	65%
P _{g1} (MW)	50	250	179.2465	204.4241	240.6452	249.6092	252.3834
P _{g2} (MW)	20	80	49.1496	55.5367	62.3905	80	80
P _{g5} (MW)	15	50	20.2224	23.5305	27.3857	50	50
P _{g8} (MW)	10	35	19.685	35	35	35	35
P _{g11} (MW)	10	30	11.8851	17.6046	25.7766	30	30
P _{g13} (MW)	12	40	12.5751	16.3294	22.4939	40	40
P _{gToplam} (MW)			292.7637	352.4253	413.6919	484.6092	487.3834
P _{LToplam} (MW)			283.4	340.08	396.76	422.266	425.1
P _{Kayıp} (MW)			9.36369	12.34536	16.93189	62.3432	-----
F _{Maliyet} (\$/h)			801.12	1015.04	1248.05	1587.58	-----

ABA ve PSO algoritmaları, IEEE 30 baralı güç sisteminde yakıt maliyeti analiz sonuçları karşılaştırıldığında PSO algoritması ABA algoritmasına göre yaklaşık %15 daha fazla yüklenebilirlik sınırlarına ulaştığı görülmektedir. Aktif yük kayıpları açısından bakıldığında %0, 20, 40 yük artışlarında hemen hemen birbirine yakın kayıplar hesaplanmıştır. Ancak PSO algoritmasında %64 yüklenebilirlik sınırında aktif güç kaybı 62.3432 MW olarak yüksek bir değer ölçülmüştür. generatörlerin yakıt maliyetleri açısından %0, 20 ve 40 yük artışlarında PSO algoritması ABA algoritmasına göre daha iyi değerler vermiştir.

IEEE 30 baralı güç sisteminde yük barası gerilim sınır değerleri 0,95-1,1 p.u olarak belirlenmiştir. Şekil 3’de ABA algoritmasıyla yük artışına göre bara gerilim değerleri, şekil 4’de PSO algoritmasıyla yük artışına göre gerilim değerleri grafiği verilmiştir. Şekil 3 ’de PSO algoritması grafiğinden de görüleceği gibi generatör limit değerlerini aştığı %50 yük artışında bara gerilim değerlerinde belirlenen sınır değerleri dışına çıktığı görülmektedir. Aynı şekilde şekli 4’de generatör sınır değerlerini aştığı %65 yük artışında bara gerilim değerleri sınır değerleri dışına çıktığı görülmektedir.



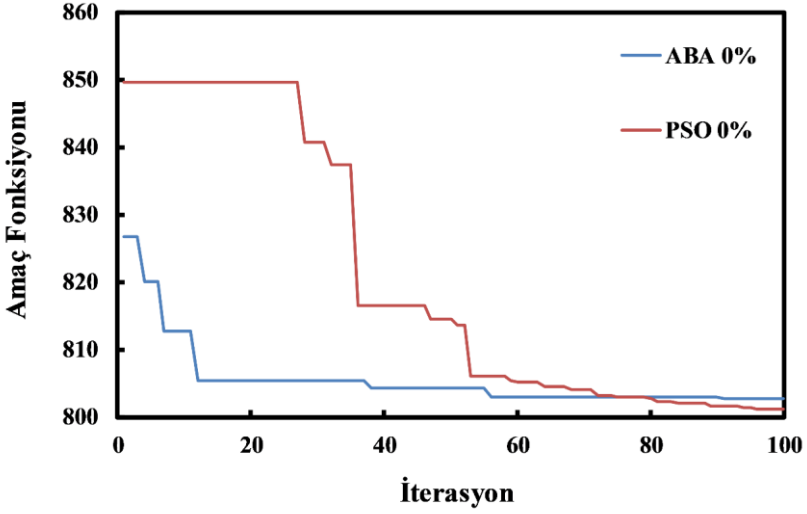
Şekil 3: IEEE 30 Baralı Güç Sisteminde Yük Artışına Göre ABA Algoritmasıyla Bara Gerilim Grafiği



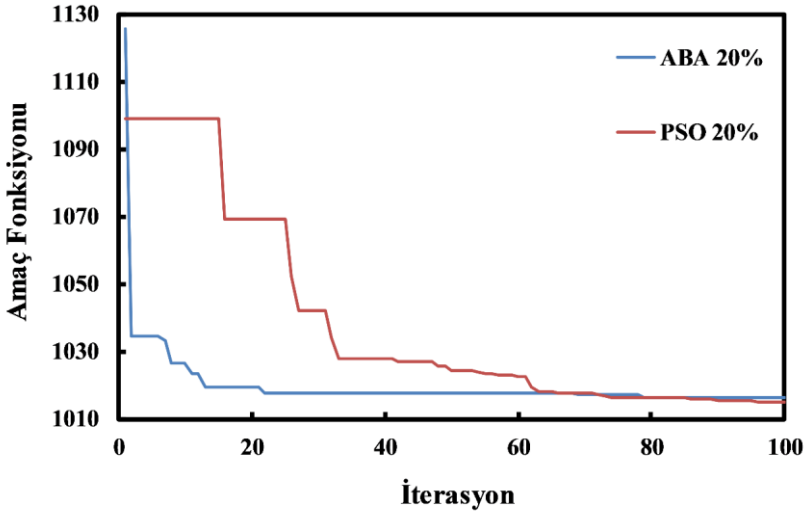
Şekil 4: Şekil 3. IEEE 30 Baralı Güç Sisteminde Yük Artışına Göre PSO Algoritmasıyla Bara Gerilim Grafiği

Yapılan analizlerde her algoritma 100 iterasyonla 30 kez çalıştırılmıştır. Şekil 5, 6 ve 7'de sırasıyla %0, %20 ve %40 yük artışlarında PSO ve ABA algoritmalarının yakınsama grafikleri verilmiştir. Grafiklerden de anlaşılacağı gibi ABA algoritması PSO algoritmasına göre yakınsama açısından daha iyi sonuçlar vermiştir. PSO algoritması yüklenebilirlik ve maliyet açısından daha

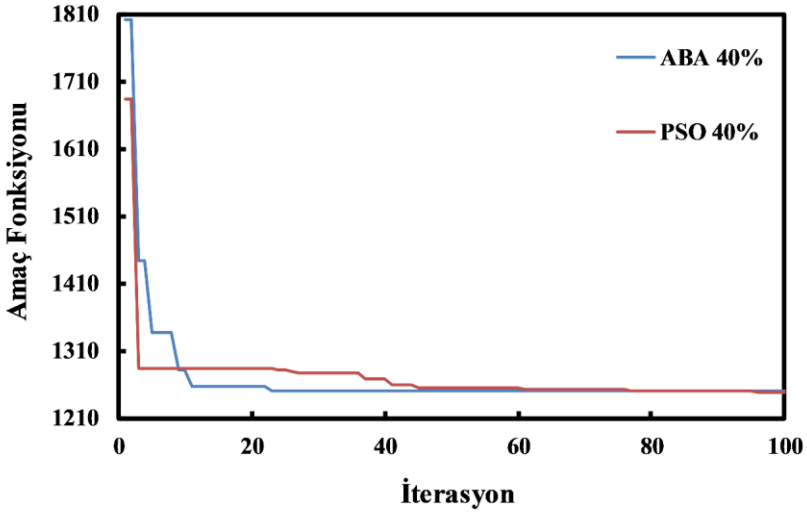
iyi sonuçlar verse de yakınsama açısından ABA algoritmasına göre daha kötü sonuçlar vermiştir.



Şekil 5: %0 Yük Artışına Göre ABA ve PSO Algoritmalarının Yakınsama Grafiği



Şekil 6: %20 Yük Artışına Göre ABA Ve PSO Algoritmalarının Yakınsama Grafiği



Şekil 7: %40 Yük Artışına Göre ABA ve PSO Algoritmalarının Yakınsama Grafiği

SONUÇ

Bu çalışmada güç sistemlerinde optimal maliyet analizi ve yüklenebilirlik sınırlarını belirlemek için meta sezgisel algoritmalarla tek amaçlı bir çözüm yöntemi sunulmuştur. Burada amaç fonksiyonu yükün durumuna göre generatörlerin üretim değerlerini ayarlayarak yakıt maliyetini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Maliyet analizi gerçekleştirirken, güç sistemindeki yük değerleri belirlenen kısıt sınırları içinde kalacak şekilde kademe kademe artırılmış ve maksimum sınırlardaki yük değerleri tespit edilmiştir. meta sezgisel algoritma olarak PSO ve ABA algoritmaları kullanılmıştır. Test sistemi olarak IEEE 30 baralı 6 genratörlü test sistemi kullanılmıştır. Sonuçlara göre, PSO algoritması ABA algoritmasına göre yakıt maliyeti ve maksimum yüklenebilirlik sınırları açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. Yakınsama özelliği açısından ABA algoritması PSO algoritmasına göre daha hızlı çözümler gerçekleştirmiştir. Yük seviyesi yüklendikçe bara gerilim değerleri sınır değerlerini çok yaklaştığı tespit edilmiştir. İleriki çalışmalarda, güç sistemine yenilenebilir enerji kaynakları yerleştirilerek hem maliyet açısından hem de yüklenebilirlik seviyesini optimal değerlere ulaşması sağlanabilir.

REFERANSLAR

- Abido, M. A. (2006). Multiobjective evolutionary algorithms for electric power dispatch problem. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 10(3), 315-329.
- Basu, M. (2015). Modified particle swarm optimization for nonconvex economic dispatch problems. *International Journal of Electrical Power ve Energy Systems*, 69, 304-312.
- Boucekara, H., Chaib, A. ve Abido, M. (2018). Optimal power flow using GA with a new multi-parent crossover considering: prohibited zones, valve-point effect, multi-fuels and emission. *Electrical Engineering*, 100(1), 151-165.
- Cai, J., Ma, X., Li, L., Yang, Y., Peng, H. ve Wang, X. (2007). Chaotic ant swarm optimization to economic dispatch. *Electric Power Systems Research*, 77(10), 1373-1380.
- Cai, J., Ma, X., Li, Q., Li, L. ve Peng, H. (2009). A multi-objective chaotic particle swarm optimization for environmental/economic dispatch. *Energy conversion and management*, 50(5), 1318-1325.
- Crisan, O. ve Mohtadi, M. (1992). *Efficient identification of binding inequality constraints in the optimal power flow Newton approach*. Paper presented at the IEE Proceedings C (Generation, Transmission and Distribution).
- Duman, S., Güvenç, U., Sönmez, Y. ve Yörükeren, N. (2012). Optimal power flow using gravitational search algorithm. *Energy Conversion and Management*, 59, 86-95.
- Elsakaan, A. A., El-Sehiemy, R. A., Kaddah, S. S. ve Elsaïd, M. I. (2018). An enhanced moth-flame optimizer for solving non-smooth economic dispatch problems with emissions. *Energy*, 157, 1063-1078.
- Ermiş, S. (2023). Multi-Objective Optimal Power Flow Using a Modified Weighted Teaching-Learning Based Optimization Algorithm. *Electric Power Components and Systems*, 1-21.
- Ghasemi, M., Ghavidel, S., Gitizadeh, M. ve Akbari, E. (2015). An improved teaching-learning-based optimization algorithm using Lévy mutation strategy for non-smooth optimal power flow. *International Journal of Electrical Power ve Energy Systems*, 65, 375-384.
- Karthik, N., Parvathy, A. K. ve Arul, R. (2019). Multi-objective economic emission dispatch using interior search algorithm. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 29(1), e2683.
- Öztürk, A., Çobanlı, S., Duman, S., Tosun, S. ve Döşoğlu, K. (2011). *Yapay arı kolonisi algoritması ile elektrik güç sistemi optimal yakıt maliyetinin*

- belirlenmesi*. Paper presented at the 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11).
- Shafik, M. B., Chen, H., Rashed, G. I. ve El-Sehiemy, R. A. (2019). Adaptive multi objective parallel seeker optimization algorithm for incorporating TCSC devices into optimal power flow framework. *IEEE Access*, 7, 36934-36947.
- Shaheen, A. M., Farrag, S. M. ve El-Sehiemy, R. A. (2017). MOPF solution methodology. *IET Generation, Transmission ve Distribution*, 11(2), 570-581.
- Singh, R. P., Mukherjee, V. ve Ghoshal, S. (2016). Particle swarm optimization with an aging leader and challengers algorithm for the solution of optimal power flow problem. *Applied Soft Computing*, 40, 161-177.
- Wang, L. ve Singh, C. (2009). Reserve-constrained multiarea environmental/economic dispatch based on particle swarm optimization with local search. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22(2), 298-307.
- Yan, W., Yu, J., Yu, D. ve Bhattarai, K. (2006). A new optimal reactive power flow model in rectangular form and its solution by predictor corrector primal dual interior point method. *IEEE transactions on power systems*, 21(1), 61-67.
- Yang, X.-S. (2010). *Nature-inspired metaheuristic algorithms*: Luniver press.
- Yaşar, C., Temurtaş, H. ve Özyön, S. (2010). Diferansiyel gelişim algoritmasının termik birimlerden oluşan çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması. *ELECO*, 6, 2-5.
- Younes, M., Rahli, M. ve Abdelhakem-Koridak, L. (2007). Optimal Power Flow Based on Hybrid Genetic Algorithm. *Journal of Information Science ve Engineering*, 23(6).
- Zehar, K. ve Sayah, S. (2008). Optimal power flow with environmental constraint using a fast successive linear programming algorithm: Application to the algerian power system. *Energy Conversion and Management*, 49(11), 3362-3366.

Bölüm 20

**Yaşlı ve Engelli Bireylere Yönelik Akıllı
Tekerlekli Sandalye Tasarımları Yaşlı ve
Engelli Bireylere Yönelik Akıllı Tekerlekli
Sandalye Tasarımları**

Serhat KÜÇÜKDERMENCİ¹

² Doç. Dr.; Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü.
kucukdermenci@balikesir.edu.tr ORCID No: 0000-0002-6421-7773

ÖZET

Birçok insan felç, fiziksel hastalık, yaralanma, yaşlılık veya başka bir engelden dolayı yürümekte zorluk çekebilir. Son yıllarda araştırmacılar bu kişilere ilişkin rehabilitasyon alanına giderek daha fazla ilgi duymaya başlamıştır. Robotik cihazlar gibi bazı yardımcı teknolojiler engelli veya yaşlı insanların günlük yaşam becerilerini güçlendirmek için kullanılabilir. Aslında amaç sadece engelli ve yaşlılara yüksek teknoloji cihazlar sağlamak değil, aynı zamanda her kullanıcının kendine özel ihtiyaçlarını karşılayabilecek ve kişisel ihtiyaçlara göre adapte edilebilen sistemler geliştirmektir.

Teknolojinin ve sağlık hizmetlerinin hızla geliştiği bu çağda, hala evlerinde hareket etmekte zorlanan önemli miktarda fiziksel engelli ve yaşlı insan bulunmaktadır. Geleneksel mekanik tekerlekli sandalyeyi manuel olarak itecek ve engelli kişiyi bir yerden başka bir yere taşıyacak başka birine ihtiyaç duyulur. Akıllı tekerlekli sandalye ile engelli kişi bağımsızdır ve tekerlekli sandalyesini hareket ettirmek için başka bir kişiden yardım istemek zorunda kalmaz. Bu çalışma, akıllı tekerlekli sandalye alanında son zamanlarda yapılan gelişmelere genel bir bakış sunmakta ve uygulanan yöntemler hakkında bilgi vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Tekerlekli sandalye, PIC mikrodenetleyici, Arduino, Raspberry Pi, Akıllı sistemler, Esnek sensör

GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre, dünya nüfusunun yaklaşık %15'i bir tür engellilikle yaşamaktadır. Bunların önemli bir kısmı hareketlilik için tekerlekli sandalye kullanımına ihtiyaç duymaktadır (Krahn, 2011). Geleneksel manuel tekerlekli sandalyeler, engelli insanların hareketliliğini ve bağımsızlığını sınırlayan önemli bir üst vücut gücü ve el becerisi gerektirir. Bu sorunu ele almak için araştırmacılar, engelli bireyler için gelişmiş hareketlilik ve özerklik sunan robotik tekerlekli sandalyeler geliştirmiştir. Bu cihazlar tipik olarak, kullanıcıların bir dizi giriş yöntemi kullanarak tekerlekli sandalyeyi kontrol etmesini sağlamak için sensörler ve gelişmiş kontrol sistemleri kullanır (Lajeunesse vd., 2016). Robotik tekerlekli sandalyelerin önemli bir avantajı farklı ortamlara ve arazi türlerine uyum sağlama yetenekleridir. Örneğin bazı robotik tekerlekli sandalyeler engelleri algılamalarını ve bunlardan kaçınmalarını sağlayan sensörlerle donatılmıştır, diğerleri ise engebeli araziden ve dik eğimlerden geçebilir (Devı vd., 2014). Bu da onları özellikle açık hava etkinlikleri ve karmaşık kapalı ortamlarda gezinmek için kullanışlı hale getirmektedir. Bununla birlikte, robotik tekerlekli sandalyelerin yüksek maliyeti engelli insanlar arasında yaygın olarak benimsenmelerinin önünde önemli bir engel olmaya devam etmektedir. Kuzey Amerika Rehabilitasyon Mühendisliği ve Yardımcı Teknoloji Topluluğu (RESNA) tarafından hazırlanan bir rapora göre, robotik tekerlekli sandalyelerin maliyeti, gerekli işlevsellik ve özelleştirme düzeyine bağlı olarak 15.000 ila 50.000 dolar veya daha fazla olabilmektedir (Dicianno vd., 2015). Bu maliyet, özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde yaşayan engelli insanlar için genellikle cihazı ulaşılamaz yapmaktadır. Bu sorunu çözmek için araştırmacılar, yüksek maliyetli muadillerine benzer, işlevselliği çok daha düşük bir fiyata sunan düşük maliyetli robotik tekerlekli sandalyeler geliştirmeye başlamıştır. Örneğin, Hindistan'daki Delhi Teknoloji Enstitüsü'ndeki araştırmacılar, kullanıcıların sesli komutlar kullanarak cihazı kontrol etmelerini sağlamak için sensörler ve bir Raspberry Pi bilgisayarı kullanan düşük maliyetli bir robotik tekerlekli sandalye geliştirmişlerdir (Aktar vd., 2019).

İnsan-makine kontrol arayüzü aracılığıyla kontrol edilebilen yardımcı tekerlekli sandalye teknolojileri arasında sesli komut kontrolü (Masato Nishimori vd., 2007), göz hareketlerinin takibi (Plesnick vd., 2014) veya dil hareketlerinin takibi (Lu vd., 2016) verilebilir. Örnek bir çalışmada (Abed., 2015) sesli komutlara dayalı sandalye hareketini kontrol eden bir sistem ele alınmıştır. Ancak, sunulan kontrol çözümleri son derece pahalıdır. Başka bir araştırma, tekerlekli sandalyenin kullanıcının kaslarının elektriksel aktivitesini

(elektrografi) kontrol ettiği bir kontrol arayüzünü (Jang vd., 2016) tanımlamaktadır. Ancak, böyle bir sistemin birçok sınırlaması vardır.

Engelli insanlar genellikle hareketlilik konusunda önemli zorluklarla karşılaşır ve bu da günlük aktiviteleri gerçekleştirme ve sosyal etkinliklere katılma becerilerini sınırlayabilir. Tekerlekli sandalyeler, hareket bozukluğu olan kişiler için yaygın olarak kullanılan bir yardımcı teknolojidir, ancak geleneksel tekerlekli sandalyeler bazı bireyler için yeterli bağımsızlık ve hareket özgürlüğü sağlamayabilir. Bilgisayarlı bir sistem tarafından kontrol edilen robotik tekerlekli sandalyeler, engelli bireyler için yeni bir hareketlilik ve bağımsızlık düzeyi sunmaktadır. Ancak bu yüksek teknoloji cihazlar pahalı olabilir ve ihtiyacı olan herkes için uygun fiyatlı olmayabilir. Engelli insanlara gelişmiş hareketlilik yardımı sağlayabilecek uygun fiyatlı robotik tekerlekli sandalyelerin yaygınlaşmasına ihtiyaç vardır (Choi vd., 2019). Bu cihazlar erişilebilir, kullanımı kolay ve bireysel ihtiyaçları karşılayacak şekilde özelleştirilebilir olacak şekilde tasarlanmalıdır. Teknolojik gelişmeler sayesinde, engelli insanların yaşamlarını büyük ölçüde iyileştirebilecek uygun fiyatlı, verimli robotik tekerlekli sandalyeler geliştirmek artık mümkündür. Geleneksel yardımcı cihazların fiyatlarının çok yüksek olabildiği az gelişmiş ülkelerde uygun fiyatlı robotik tekerlekli sandalyelere yadsınamaz bir talep vardır. Bu ülkelerdeki pek çok engelli insan, bu tür ekipmanları satın alacak paradan yoksundur ve bu da sosyal, ekonomik ve eğitim faaliyetlerine katılımlarını sınırlamaktadır (Opoku vd., 2019). Ayrıca, geleneksel tekerlekli sandalyeler kullanıcılar için fiziksel olarak zorlayıcı olabilir ve uzun mesafeler kat etme veya zorlu arazilerde gezinme becerilerini sınırlayabilir. Robotik tekerlekli sandalyeler daha yüksek derecede hareketlilik ve bağımsızlık sağlayarak kullanıcıların daha kolay ve daha fazla özerklikle hareket etmesine olanak tanıyabilir.

AKILLI TEKERLEKLİ SANDALYELER İÇİN KONTROL SİSTEMLERİ

Yaşlı ve engelli bireyler tarafından kullanılacak robotik tekerlekli sandalyeler, kullanıcının özel gereksinimleri, yetenekleri ve kontrol sistemine göre belirlenir. Robotik tekerlekli sandalye kontrol sistemlerinin en tipik tasarımlarından bazıları şöyle sıralanabilir;

Joystick kontrolü: Bu tip elektrikli tekerlekli sandalye kontrol mekanizması en yaygın olanıdır. Kullanıcılar joystick'i farklı yönlerde hareket ettirerek tekerlekli sandalyenin yönünü ve hızını ayarlayabilirler.

Göz bakış kontrolü: Bu sistem kullanıcının göz hareketlerini izleyen bir kamera kullanır. Kullanıcı bakışlarını kaydırarak tekerlekli sandalyenin hareketini kontrol edebilir.

Esnek sensör kontrolü: Belirli sayıda esnek sensör bir eldivene sabitlenerek kullanıcının yapacağı parmak bükülmeleri mikrodenetleyicide işlenir ve tekerlekli sandalyenin ileri, geri, sol, sağ ve durma vb. hareketleri için motor sürücüyü komutlar gönderilir.

Ses kontrolü: Bu sistem ile tekerlekli sandalye hareketliliği sesli komutlarla yönetilir. Örneğin, "ileri git" veya "sola dön" kullanıcıların tekerlekli sandalyenin hareketini yönlendirmek için kullanabilecekleri komutlardır.

Baş kontrolü: Bu sistem, hareketi algılamak ve tekerlekli sandalye hareketine dönüştürmek için kullanıcının kafasına takılı bir sensör kullanır. Bu, ellerinde veya kollarında sınırlı hareket kabiliyeti olan bireyler için yararlı bir seçenek olabilir.

Yudum ve puf kontrolü: Bu sistem kullanıcının ağızına yerleştirilen bir tüp kullanır. Tekerlekli sandalye kullanıcısı tüpe hava soluyarak veya hava vererek hareketini düzenleyebilir.

Bu tipik tasarım örneklerinden yola çıkarak, kontrol sisteminin seçimi kullanıcının bireysel ihtiyaçlarına ve yeteneklerine bağlı olacaktır. Hangi kontrol sisteminin en etkili olacağını belirlemek için kullanıcının fiziksel ve bilişsel yeteneklerinin kapsamlı bir değerlendirmesi gereklidir.

AKILLI TEKERLEKLİ SANDALYELERDEKİ ELEKTRONİK BİLEŞENLERE ÖRNEKLER

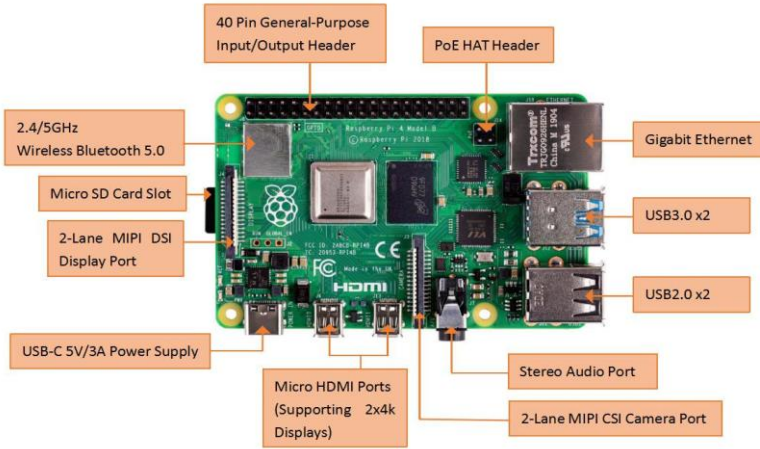
Akıllı tekerlekli sandalye tasarımlarında Raspberry Pi gibi bilgisayarlar, PIC ve Arduino gibi mikrodenetleyiciler, esnek sensör, ivmeölçer, motor sürücü ve motorlar gibi çok çeşitli elektronik bileşenler kullanılabilir.

Kontrol birimi: Mikrodenetleyiciler ve Raspberry Pi akıllı evler (Gabriel & Wang, 2022), endüstri (İlten & Demirtaş, 2018), medikal (Karajah & Ishaq, 2020), kontrol (İlten & Demirtaş, 2016), havacılık (Rico & Turkoglu, 2016), DC motorlar (İlten, 2023), Braille klavye tasarımı (Küçükdermenci, 2023b) ve işaret dili çeviricisi (Küçükdermenci, 2023a) gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır.

Raspberry Pi, bir masaüstü bilgisayardan beklenen her şeyi yapabilen bir bilgisayar kartıdır. Bu kredi kartı boyutundaki bilgisayar, 2 USB Bağlantı Noktası, ethernet, Wi-Fi, ses çıkışı, 512 MB RAM'e ve 700MHz CPU'ya sahiptir. Siri ve Google API gibi birçok yolla konuşma tanıma elde edilebilir.

Tipik bir akıllı tekerlekli sandalye tasarımındaki ses tanıma için Google API (Speech to text) kullanılabilir. Raspberry Pi'den konuşma sentezi elde etmek için eSpeak, Pico Speak to Text ve Google Text to Speech gibi birçok seçenek mevcuttur.

Raspberry Pi ailesinden Raspberry Pi 3 (bkz. Şekil 1) 1GB RAM ve Broadcom Video Core IV grafiklere, 250MHz'de çalışan önceki modelden daha yüksek bir saat frekansına ve 40 pinli GPIO'ya sahiptir (bkz. Şekil 2). Raspberry Pi'nin GPIO'su mesafeyi ölçmek, motorları sürmek, LCD'den tekerlekli sandalyenin durumunu izlemek gibi görevler için kullanılır.



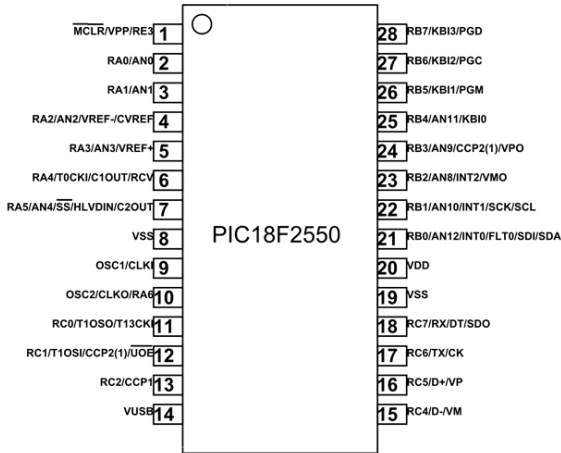
Şekil 1: Raspberry Pi 3 görünümü

Pin#	NAME	Connection	Connection	NAME	Pin#
01	3.3V		5V (Powerboost)	5V	02
03	GPIO 2		5V (Cupcade)	5V	04
05	GPIO 3		GND (Powerboost)	Ground	06
07	GPIO 4	START		GPIO 14	08
09	Ground	GND (Cupcade)		GPIO 16	10
11	GPIO 17	UP	SELECT	GPIO 18	12
13	GPIO 27	DOWN	GND (Select/Start)	Ground	14
15	GPIO 22	LEFT	RIGHT	GPIO 23	16
17	3.3V		A	GPIO 24	18
19	GPIO 10	B	GND (ABXYR)	Ground	20
21	GPIO 09	X	Y	GPIO 25	22
23	GPIO 11	L Shoulder	R Shoulder	GPIO 08	24
25	Ground	GND (L)		GPIO 07	26
27	ID_SD			ID_SC	28
29	GPIO 05			Ground	30
31	GPIO 06			GPIO 12	32
33	GPIO 13			Ground	34
35	GPIO 19			GPIO 16	36
37	GPIO 26			GPIO 20	38
39	Ground			GPIO 21	40

Şekil 2: Raspberry Pi GPIO pin dizilimi

PIC, Microchip tarafından üretilen, programlanabilen, programı içinde saklayan ve talep üzerine çalıştıran tek bir çipten oluşan bir mikrodenetleyici birimdir. PIC mikrodenetleyiciler Assembly, Basic veya C dilinde programlanabilirler. PIC serisi entegreler elektrik, bilgisayar, robotik ve benzeri cihazların geliştirilmesinde kullanılır. PIC mikrodenetleyicileri bellek organizasyonu açısından Von Neuman ve Harvard olmak üzere iki temel mimariye sahiptir. Harvard mimarisi veri ve program alanlarını ayrı belleklerde tutar. Von Neuman mimarisi ise hem veri hem de program alanını tek bir bellekte paylaştırır. Harvard mimarisi daha hızlı ve verimli iken, Von Neuman mimarisi daha az maliyetli ve daha basittir. Günümüzde bu iki mimarinin özelliklerini birleştiren PIC mikrodenetleyiciler bulunmaktadır. PIC mikrodenetleyicilerin avantajları arasında düşük maliyetleri, tek bir çip ile çok işlevli sistemler oluşturma yetenekleri ve gerçek zamanlı uygulamalardaki performansları yer almaktadır.

PIC mikrodenetleyicilerin çeşitli modelleri ve özellikleri vardır. Örneğin PIC ailesinden PIC18F25, Microchip firmasının ürettiği bir PIC18 serisi mikrodenetleyicidir. PIC18F25 32 KB flash ROM, 2 KB EEPROM ve 1.2 KB RAM'e sahip bir mikrodenetleyicidir. 28 pini vardır, bunlardan 25 pini dijital giriş/çıkış olarak kullanılabilir ve tüm pinler ADC, karşılaştırıcı, zamanlayıcılar vb. gibi çeşitli işlevlere sahiptir. PIC18 serisi, 8-bitlik, yüksek performanslı ve düşük güç tüketimli mikrodenetleyicilerdir. PIC18F25 10-bit A/D çeviriciye sahip ve CAN (Controller Area Network) teknolojisini destekleyen bir modeldir. CAN teknolojisi, araç içi ağlarda kullanılan bir haberleşme protokolüdür. PIC18F25, araç elektroniği, endüstriyel kontrol, tıbbi cihazlar ve akıllı ev sistemleri gibi uygulamalarda kullanılabilir. PIC18F25 entegresinin pin dizilimi Şekil 3'de gösterilmektedir.



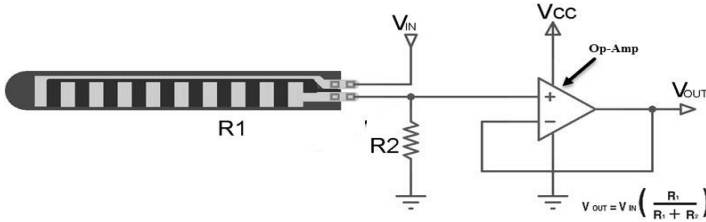
Şekil 3: PIC18F25 pin dizilimi

Arduino UNO, Arduino platformunun popüler bir mikrodenetleyici kartıdır. Arduino, elektronik projeler geliştirmek isteyen hobi elektroniği meraklıları ve ürün prototipleri oluşturmak isteyen mühendisler için özel olarak tasarlanmış açık kaynaklı bir platformdur. Arduino UNO bu platformun en yaygın ve temel kartlarından biridir. Arduino UNO, ATmega328P mikrodenetleyicisine sahiptir. Bu mikrodenetleyici Arduino IDE (Integrated Development Environment-Entegre Geliştirme Ortamı) ile programlanabilmektedir. Arduino IDE, Arduino UNO ve diğer Arduino kartları için programlamayı ve kod yüklemeyi kolaylaştıran bir yazılım aracıdır. Arduino UNO'nun toplamda 14 dijital giriş/çıkış pini ve 6 analog giriş pini vardır. Bu pinler sensörler, motorlar, LED'ler ve diğer bileşenlerle etkileşim kurmak için kullanılabilir. Arduino UNO bir USB portu üzerinden bir bilgisayar ile iletişim kurar. Bu, programların yüklenmesini ve seri iletişim yoluyla veri okunmasını ve yazılmasını kolaylaştırır. Arduino UNO kartı genel görüntüsü Şekil 4'de gösterilmektedir.



Şekil 4: Arduino Uno kartı

Esnek sensör: Mikrodenetleyicileri esnek sensörle arayüzlemek için, farklı açılı değerleri üreten parmakların bükülmesiyle oluşan esnek sensörün direncindeki değişikliği analiz etmek için bir voltaj bölücü devre uygulanabilir. Şekil 5 bir gerilim bölücü ve bir işlemsel amplifikatörden (Op-Amp) oluşan esnek sensör devresini göstermektedir. Esnek sensör şekilde gösterildiği gibi mikrodenetleyici ile arayüzlenir. Pinlerden biri mikrodenetleyicinin güç kaynağı pini olan VCC'ye bağlıdır. Bir sonraki pin mikrodenetleyicinin GPIO pinine, yani analog pine bağlanır.



Şekil 5: Esnek sensör devresi

İvmeölçer: İvmeölçer sensörü, bir nesnenin ivmesini ölçmek için kullanılan bir cihaz veya bileşendir. İvmeölçerler, genellikle hareketin hızlanması veya yavaşlaması gibi bir nesnenin hız değişikliklerini algılar. Bu sensörler, ivme verilerini elektriksel sinyallere dönüştüren cihazlardır ve bu veriler daha sonra çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. İvmeölçer sensörleri, taşınabilir cihazlarda ekranın otomatik dönmesi (örneğin, akıllı telefonlar), otomobillerde hava yastığı tetikleme ve otomobil istikrar kontrolü, endüstriyel otomasyon sistemlerinde ekipman izleme, spor performans izleme cihazlarında hareket analizi, uzay araştırmalarında sıfır yerçekimi koşullarında ivme ölçümü gibi birçok uygulama alanında kullanılır. İvmeölçer sensörleri, bir nesnenin hareketini ve ivmesini ölçmek ve bu verileri çeşitli uygulamalarda kullanmak için önemli bir araçtır.

Örneğin ADXL335 (bkz. Şekil 6), Analog Devices tarafından üretilen bir üründür ve çok yönlü bir ivmeölçerdir. ADXL335, x, y ve z eksenlerindeki ivmeyi ölçebilir, böylece bir nesnenin hareketi üç boyutta izlenebilir. Bu sensör, ± 3 g (yerçekimi ivmesi) ile ± 15 g arasındaki ivmeleri ölçebilir. Bu, farklı uygulamalarda geniş bir ivme aralığı gerektiren durumlar için uygundur. ADXL335, düşük güç tüketimi ile tasarlanmıştır, bu nedenle pil tabanlı uygulamalarda kullanım için uygundur. Bu sensör, analog voltaj sinyalleri ile ivme verilerini çıkarır. Bu nedenle, mikrodenetleyicilere veya veri toplama sistemlerine entegre etmek kolaydır. ADXL335, taşınabilir cihazlarda, titreşim analizi, eğim ölçümü, konum izleme ve daha fazlası gibi bir dizi uygulama için kullanılabilir. İvme ölçümü, özellikle ekipmanların durumu ve titremesi gibi faktörlerin izlenmesi gerektiğinde endüstriyel otomasyon uygulamalarında kullanılabilir. Çeşitli projelerde ve uygulamalarda kendine yer bulan ADXL335 çok amaçlı sensörü kullanırken, verileri doğru bir şekilde okumak ve yorumlamak için ilgili veri sayıcıları veya mikrodenetleyiciler gibi uygun donanım ve yazılım ile entegre edilmesi gerekir. Benzer şekilde MPU-6050 bir altı eksenli hareket işlemcisidir. Üç eksenli ivmeölçer ve üç eksenli gyroskop içerir. Yaygın olarak kullanılan bir IMU (İşlemci Ünitesi) sensörüdür. STMicroelectronics tarafından üretilen LIS3DH, üç eksenli ultra düşük güç tüketimine sahip dijital bir ivmeölçerdir. Mobil cihazlardan giyilebilir teknolojilere kadar birçok uygulama için uygundur.

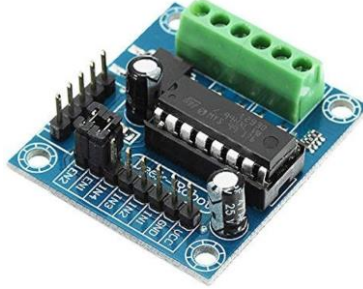


Şekil 6: ADXL335 ivmeölçer sensörü

Motor sürücü: Motor sürücü, elektrikli motorları kontrol etmek ve yönlendirmek için kullanılan bir elektronik cihaz veya bir dizi elektronik bileşenlerdir. Motor sürücüler, motorların hızını, yönünü ve pozisyonunu kontrol etmek için gerekli olan güç ve sinyal işleme işlevlerini gerçekleştirirler. Motor sürücüler, motorun dönme hızını, yönünü ve pozisyonunu kontrol etmek için gerekli güç sinyallerini sağlarlar. Bu, motorun hızını artırma, azaltma, ters çevirme veya belirli bir pozisyonda tutma gibi işlemleri içerebilir. Motor sürücüler, düşük güç seviyelerinde gelen kontrol sinyallerini yüksek güç seviyelerine dönüştürerek motorun etkili bir şekilde çalışmasını sağlarlar. Bu, motorun yüksek akım ve gerilim gereksinimlerini karşılar. Motor sürücüler, motorun aşırı akım, aşırı gerilim, aşırı ısınma gibi tehlikeli koşullara karşı koruma sağlayabilirler. Bu, motorun aşırı stres altında zarar görmesini engeller. Motor sürücüler, motorun dönme hızını hassas bir şekilde kontrol etmeye izin verir. Bu, motorun belirli bir hızda çalışmasını ve gerektiğinde hızını değiştirmesini sağlar. Belirli bir pozisyonda durma veya belirli bir pozisyona hareket etme gibi hassas pozisyon kontrolü gerektiren uygulamalarda motor sürücülerini kullanılabilir. Bu tür uygulamalarda genellikle adım motorları veya servo motorları kullanılır. Motor sürücüler, tipik olarak bir dizi giriş ve çıkış pinine sahiptir ve bu sayede mikrodenetleyiciler veya bilgisayarlar gibi harici cihazlarla iletişim kurabilirler.

Motor sürücülerin tipik bir örneği olarak L293D (bkz. Şekil 7), dörtlü yüksek akımlı yarım H sürücüsüdür. Cihaz, röleler, solenoidler, dc ve bipolar step motorlar gibi endüktif yüklerin yanı sıra pozitif besleme uygulamalarında diğer yüksek akım/yüksek gerilim yüklerini sürmek için ve 4,5 V ila 36 V arasındaki gerilimlerde 600 mA'e kadar çift yönlü sürücü akımları sağlamak için tasarlanmıştır. L293D aynı anda 2 motoru kontrol edebilir. Akıllı tekerlekli sandalyelerin motorlarını parmağın bükülmesine göre sürmek için, motor sürücüsü mikrodenetleyiciden belirli bir işlevi, yani ileri, geri, durma vb. gerçekleştirmek için bir istek alacaktır. L293D bir H-köprüsü olduğundan,

mikrodenetleyici tarafından L293D'nin giriş pinine gönderilen ayrık sinyale göre motorlar saat yönünde ve saat yönünün tersine dönebilir. Giriş alındıktan sonra, L293D giriş sinyallerine göre çıkış üretecektir.



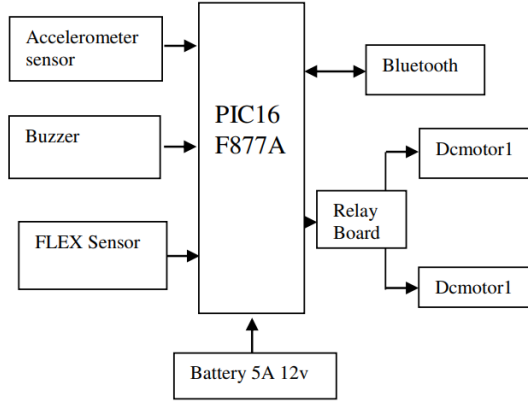
Şekil 7: Motor sürücü genel görüntüsü

AKILLI TEKERLEKLİ SANDALYE TASARIMINA YÖNELİK ÖRNEKLER

Örnek bir çalışmada (Naveen Kumar K. vd., 2019) akıllı tekerlekli sandalyede kullanılan sesle kontrol yöntemi, Bluetooth aracılığıyla bir PIC mikrodenetleyicisine bağlanan bir Android cep telefonuna yüklenen bir ses uygulamasını içerir. Kullanıcı veya hasta tarafından sesli bir komut verildiğinde, kontrol PIC mikrodenetleyiciye gider ve verilen kontrole göre hareket seçilir. Kullanıcı veya hasta tarafından tekerlekli sandalyeye verilen kontroller sol, sağ, ileri ve durmayı içerir.

El hareketi kontrol yönteminde, hasta tarafından bir eldiven giyilir ve eldivenin her parmağına bir esnek sensör sabitlenir. Belirli bir parmak katlandığında, ilgili eylem gerçekleşecektir. Her parmak, sağ için işaret parmağı, sol için orta parmak, durmak için yüzük parmağı ve ileri için küçük parmak gibi belirli bir yön üzerinde kontrole sahiptir. Esnek sensörler parmakların hareketini izler ve tekerlekli sandalye parmakların hareketiyle kontrol edilir.

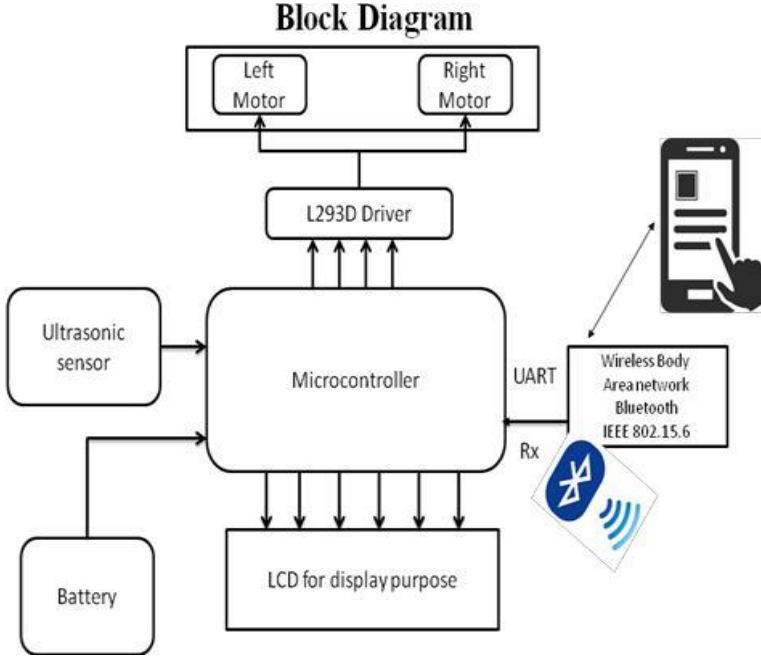
Kısmi felçli hastalar hem ses hem de el hareketiyle kontrol yöntemlerini kullanabilir. Sesle kontrol yöntemi, ses dalgasını elektrik sinyaline dönüştüren ses tanıma teknolojisini kullanır. El hareketi kontrol yöntemi, parmakların hareketini izlemek için her parmağa sabitlenmiş esnek sensörlere sahip bir eldiven kullanır. Tekerlekli sandalye, parmakların ileri, geri, sol ve sağ gibi hareketleri ile kontrol edilir. Şekil 8'de PIC mikrodenetleyicili sistemin genel görüntüsü görülmektedir.



Şekil 8: PIC mikrodnetleyicili sistemin genel görüntüsü (Naveen Kumar K. vd., 2019)

Bir diğer çalışmada (Leela vd., 2017) fiziksel engelli kişi, sesli komutu metne dönüştüren Android cep telefonuna sesini verir. Cep telefonunun çıkışı daha sonra Bluetooth aracılığıyla mikrodnetleyiciye verilir. Bu işlemin ardından mikrodnetleyici DC motorları kullanarak tekerlekli sandalyenin hareketini kontrol eder.

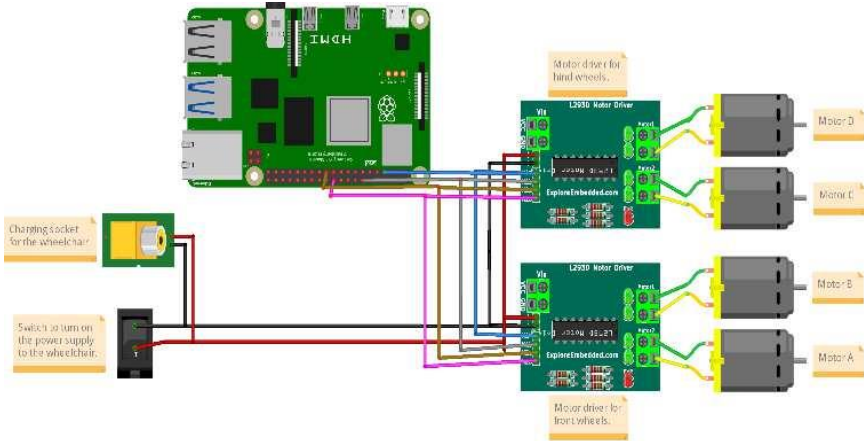
Mikrodnetleyici, ultrasonik sensör kullanarak yansıyan ışınlardan mesafeyi ve açıyı tahmin eder. Ultrasonik sensör yüksek frekanslı ses dalgaları gönderir ve bunların geri dönmesini bekler. Ses dalgalarının geri dönmesi için geçen süre, engelin mesafesini hesaplamak için kullanılır. Bu bilgiye dayanarak, mikrodnetleyici engeli algılar ve tekerlekli sandalyeyi otomatik olarak durdurur. Şekil 9’de PIC mikrodnetleyici kontrollü akıllı tekerlekli sandalye sisteminin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 9: PIC mikrodeneleyici kontrollü akıllı tekerlekli sandalye sistemi blok diyagramı (Leela vd., 2017)

Elektroensefalografi (EEG) tabanlı bir beyin-bilgisayar arayüzü (BCI), EEG'yi yorumlayarak beyin ve harici cihazlar arasında yol sağlayan bir sistemdir. BCI'nın hareket engelliler bağlamındaki ana uygulaması, hareket engelli kişilerin günlük görevlerini kendi başlarına yerine getirmelerini sağlayan EEG'ye dayalı tekerlekli sandalyelerdir. Engelliler için tekerlekli sandalye geliştirme kontrol çerçevesi yüz hareketleri, göz kırpmaları, elektrik sinyalleri, insan fikirleri ve kas kasılmaları kullanılarak insan beyninin EEG sinyallerine bağlıdır. Sistem açıldığında tekerlekli sandalye ve EEG kulaklığı bağlanır. Başarılı bir eşleştirmenin ardından sinyal alımı başlar. Kullanıcının canlı ham EEG verileri toplanır, sinyal işlenir ve özellikler çıkarılır. Tekerlekli sandalye göz kırpmasının yanı sıra göz titremesini de kullanır. Birisi hızlı göz kırptığında, kısa bir süre içinde büyük bir genliğe sahip bir ani yükselme görülür. Komutları tanımlamak için bu özellikten yararlanır. Böylece kullanıcı ne kadar göz kırptığına bağlı olarak çeşitli komutlar gönderebilir. Kullanıcının odaklanma seviyesi sürekli olarak izlenir. Kullanıcı ileri gitmek, geri gitmek veya belirli bir konuma erişmek isterse, sistem bunu öğrenmek için bir giriş alanına girer. Kullanıcının dikkati belirli bir seviyeyi aştığında, tekerlekli sandalye hastanın dikkat derecesini değerlendirmek için kullanıcının odak seviyesini analiz eder.

Başka bir çalışmada (R & Tippannavar, 2022) sadece kullanıcının beyni tarafından kontrol edilebilen elektrikli bir tekerlekli sandalye geliştirmiştir. İnsanların çoğu beyin dalgası kontrollü bir tekerlekli sandalye kullanabilir. Ayrıca bu proje, nöromüsküler hastalıkları olan ya da fiziksel engeli bulunan hastaların yeniden hareket edebilmeleri için yeni ve pratik bir yöntem sunmaktadır. Önerilen yaklaşım, odaklanma, meditasyon ve çeşitli yönlere hareketi belirtmek için birkaç göz kırpmasının kullanılması gibi ek kriterlere kolayca genişletilebilir. Herkesin göz kırpmaya yoğunluğu değiştiğinden, yüksek göz kırpmaya algılama doğruluğu elde etmek için algoritmanın değiştirilmesi gerekebilir. Şu andaki tek sınırlama, EEG elektrotlarının ön beyindeki konumlandırılmasıdır. Zihin dalgası cihazını kullanıcının kafasına doğru şekilde kalibre ederek bu sınırlama aşılmaktadır. Maksimum verimlilik ve en düşük maliyetle %95 doğruluk elde etmeyi başarmışlardır. EEG tabanlı akıllı tekerlekli sandalye, genel olarak hareket kabiliyetini artırmak, EEG sinyallerini yorumlamak ve daha hızlı karar vermek için daha ileri gelişmelerle makine öğrenimini içerebilir. Elektrikli tekerlekli sandalyenin devre şeması Şekil 10'da gösterilmektedir.



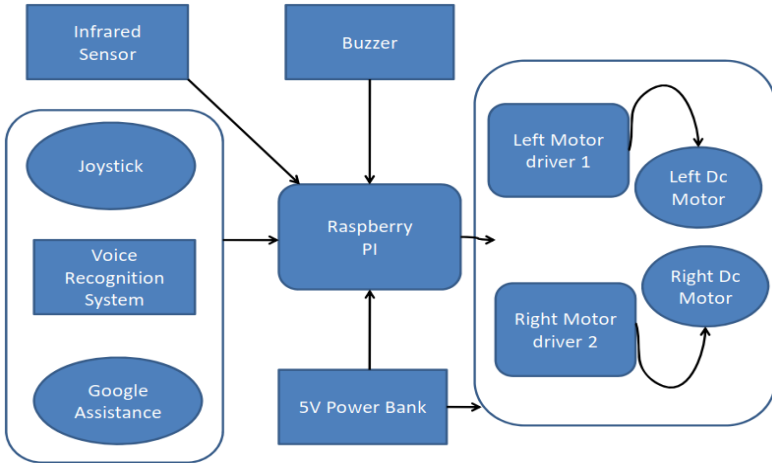
Şekil 10: Elektrikli tekerlekli sandalyenin devre şeması (R & Tippannavar, 2022)

Sesli komutlar, kullanıcının özel ihtiyaç ve tercihlerine göre özelleştirilebilir ve böylece tekerlekli sandalyeyi kolay ve doğru bir şekilde kontrol edebilmelerini sağlar. Bununla birlikte, hatalı ses tanıma ve kontrol potansiyel güvenlik tehlikelerine yol açabilir.

Uygun fiyatlı bir ses kontrollü tekerlekli sandalye oluşturmak için gereken bazı temel donanım bileşenleri şöyle sayılabilir;

1. Mikrodenetleyici: Ses komutlarını işleyen ve tekerlekleri hareket ettiren motorları kontrol eden tekerlekli sandalyenin beyni.
2. Motor sürücülere: Tekerlekleri hareket ettiren motorların hızını ve yönünü kontrol eden elektronik devreler.
3. Motorlar ve tekerlekler: Tekerlekli sandalyeyi itmek ve farklı yönlerde hareket etmesini sağlamaktan sorumludur.
4. Sensörler: Engelleri tespit eder ve çarpışmaları önler.
5. Kontrol arayüzü: Kullanıcının sesli komutlar kullanarak tekerlekli sandalye ile etkileşime girmesini sağlar.
6. Çerçeve ve şasi: Çeşitli bileşenler için yapı ve destek sağlar. Ayrıca bileşenlerin maliyet, güvenilirlik, performans ve kullanım kolaylığı gibi faktörlere göre seçilmelidir.

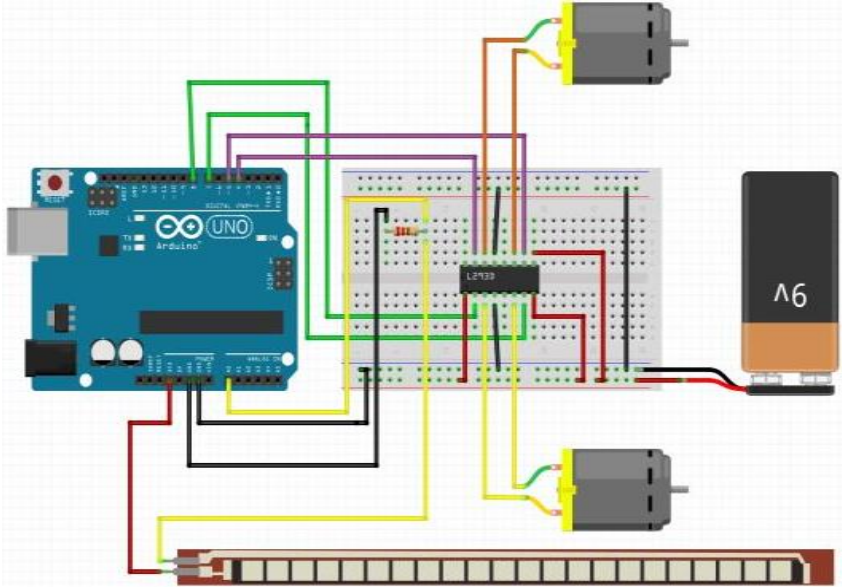
Benzer bir çalışmada (Sahoo & Choudhury, 2023) Raspberry Pi kullanılarak sesle aktive edilen, düşük maliyetli tekerlekli sandalye tasarımı gerçekleştirilmiştir (bkz. Şekil 11). Sistem uygun fiyatlı, erişilebilir ve bireysel ihtiyaçları karşılayacak şekilde özelleştirilebilir olarak tasarlanmıştır. Bu, özellikle geleneksel yardımcı cihazların fiyatının çok yüksek olabileceği ve birçok engelli bireyin bu tür ekipmanları satın almak için gerekli paradan yoksun olduğu, sosyal, ekonomik ve eğitim faaliyetlerine katılımların kısıtlı olduğu az gelişmiş ülkelerde önemlidir. Bu nedenle, düşük maliyetli ses kontrollü tekerlekli sandalye, engelli kişilere uygun fiyatlı ve kullanımı kolay, pratik bir hareketlilik seçeneği sunarak yaşam kalitelerini artırma potansiyeline sahiptir.



Şekil 11: Sesle etkinleştirilen tekerlekli sandalyenin genel mimarisi (Sahoo & Choudhury, 2023)

Başka bir tasarımda (Pant vd., 2021) esnek sensör, önerilen tekerlekli sandalye sisteminin kontrol verisi oluşturma bileşenidir ve tekerlekli sandalyeyi birçok yönde hareket ettirmek için kullanılır. Esnek sensör DC motorları ve DC motorlar da tekerlekleri kontrol eder. Esnek sensör kullanan akıllı tekerlekli sandalyenin blok diyagramı Şekil 12'de gösterilmiştir. Önerilen esnek sensör tabanlı tekerlekli sandalye sistemi düşük bir bütçesiyle kullanıcı dostudur ve bireyler tarafından bütçesi karşılanabilir. Bununla birlikte kolay kullanımı başka bir avantajıdır.

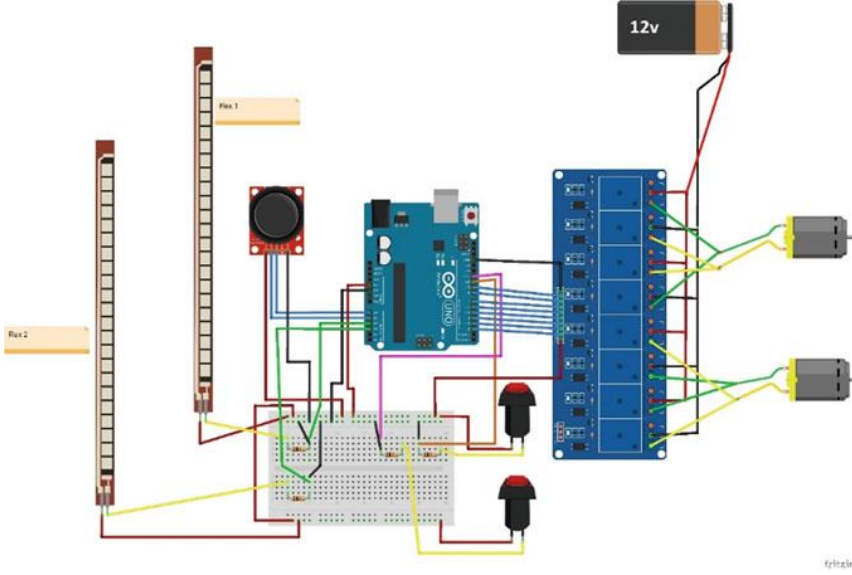
Tekerlekli sandalyenin kontrolü, esnek sensörün bükülmesi ve motorların çalıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, esnek sensörden elde edilen verilerin buluta gönderilmesiyle, tekerlekli sandalyede oturan kişinin hareketlerinin takip edilmesine yardımcı olacak bir izleme sistemi başarıyla uygulanmıştır. Gelecekte kan basıncı, sıcaklık, kalp atış hızı izleme vb. gibi çok sayıda veriyi takip edebilen bir sağlık izleme sisteminin uygulanması söz konusu olabilir. Hareket izleme sistemini genişletmek için, kullanıcının gerçek zamanlı konumunu vermek üzere GPS kurulabilir.



Şekil 12: Arduino Uno kontrollü sistemin genel görüntüsü (Pant vd., 2021)

Snappy tekerlekli sandalye (Akhund vd., 2021), fiziksel engelli bir kişinin başkalarının yardımı olmadan herhangi bir yere hareket etmesi için ihtiyaç duyduğu geniş bir olanak yelpazesi sunar. Tekerlekli sandalyeyi kontrol etmek için kullanılan joystick, sandalyenin ileri, geri, sola ve sağa hareket etmesini sağlar. Bunun yanında joystick gibi kontrol etmek için iki esnek sensör kullanılmıştır. Her iki sensör de esnetildiğinde iki motor enerjilenir ve tekerlekli

sandalye hareket eder. Bir sensör esnetildiğinde sadece tek bir motor çalışmaktadır. Sistemdeki anahtar açılırsa esnek sensörle tekerlekli sandalye geriye doğru gidecektir. Diğer düğme kumanda modu olarak çalışır. Varsayılan mod olarak joystick modu ayarlanmıştır. Diğer durumda esnek sensörler çalışır ve joystick modu durur. Sistemin devre şeması Şekil 13'de gösterilmiştir. Sekiz kanallı röle ve 12V batarya yardımıyla bataryadan motorlara aktarılan voltaj kontrol edilebilir.



Şekil 13: Arduino Uno kontrollü sistemin basitleştirilmiş devre şeması (Akhund vd., 2021)

SONUÇ

Uygun fiyatlı, düşük maliyetli akıllı tekerlekli sandalyelerin geliştirilmesi gelecekteki araştırma ve geliştirmeler için çeşitli olanaklar sunmaktadır. Bu olanaklar şu şekilde sıralanabilir;

i. Geliştirilmiş doğruluk ve güvenilirlik: Gelecekteki araştırmalar, tekerlekli sandalyede kullanılan teknolojilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmaya odaklanabilir. Bu, kullanıcının komutlarının doğru bir şekilde yorumlanmasını sağlayarak çarpışma ve kaza riskini azaltacaktır.

ii. Diğer teknolojilerin entegrasyonu: Sensörler ve yapay zeka gibi diğer teknolojilerin entegrasyonu tekerlekli sandalyenin işlevselliğini artırabilir. Örneğin, güvenliği daha da artırmak ve kazaları azaltmak için engel algılama ve önleme sensörleri kullanılabilir.

iii. Özelleştirme: Gelecekteki kapsam, tekerlekli sandalyenin tasarımını, kullanıcının fiziksel yetenekleri ve yaşam tarzı gibi özel ihtiyaçlarını

karşılacak şekilde özelleştirmeye de odaklanabilir. Bu, kullanıcı deneyimini geliştirecek ve tekerlekli sandalyenin kullanıcının ihtiyaçlarına göre uyarlanmasını sağlayacaktır.

iv. Maliyet Azaltma: Teknoloji ilerledikçe ve üretim maliyetleri düştükçe, tekerlekli sandalyenin tasarımında kullanılan bileşenlerin maliyetinin de düşmesi olasıdır. Gelecekteki araştırmalar daha da uygun maliyetli alternatifler bulmaya odaklanarak tekerlekli sandalyeyi engelli bireyler için daha da uygun hale getirebilir.

v. Erişilebilirlik: Daha fazla araştırma, teknolojinin erişilebilirliğini geliştirmeye odaklanarak engelli kişilerin tekerlekli sandalyeyi bağımsız olarak kullanmasını kolaylaştırabilir. Bu, yüz tanıma veya göz izleme teknolojisi gibi yeni ve yenilikçi ses kontrol yöntemlerinin geliştirilmesini içerebilir. Göz bakışı, bacak hareketi veya baş hareketi gibi çeşitli vücut hareketleri kullanılarak kontroller yapılabilir. Dokunmatik yüzey veya ivmeölçer olan mod seçimi için anahtarlama işlemi eklenerek tekerlekli sandalyenin verimliliğini artırır ve sistemin maliyetini ve boyutunu azaltır. Önerilen tekerlekli sandalye sistemleri hastaneler, yaşlı evleri ve havaalanları gibi birçok uygulamada kullanılabilir.

Bu nedenle, uygun fiyatlı, düşük maliyetli tekerlekli sandalyenin geliştirilmesi, gelecekteki araştırma ve geliştirme için çeşitli fırsatlar sunmaktadır. Bu gelişmeler, teknolojinin işlevselliğini, güvenliğini ve erişilebilirliğini daha da geliştirerek engelli bireylere daha fazla bağımsızlık ve hareketlilik sağlayabilir.

REFERANSLAR

- Abed., A. (2015). Design of Voice Controlled Smart Wheelchair. *International Journal of Computer Applications*, 131(1), 32–38. <https://doi.org/10.5120/ijca2015907235>
- Akhund, T. M. N. U., Roy, G., Adhikary, A., Ashraful Alam, M., Newaz, N. T., Rana Rashel, M., & Abu Yousuf, M. (2021). *Snappy Wheelchair: An IoT-Based Flex Controlled Robotic Wheel Chair for Disabled People BT - Information and Communication Technology for Competitive Strategies (ICTCS 2020)* (M. S. Kaiser, J. Xie, & V. S. Rathore (eds.); pp. 803–812). Springer Nature Singapore.
- Aktar, N., Jaharr, I., & Lala, B. (2019). Voice Recognition based intelligent Wheelchair and GPS Tracking System. *2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ECACE.2019.8679163>
- Choi, J. H., Chung, Y., & Oh, S. (2019). Motion control of joystick interfaced electric wheelchair for improvement of safety and riding comfort. *Mechatronics*, 59, 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2019.03.005>
- Devi, M., Sharmila, R., & Saranya, V. (2014). Hybrid brain computer interface in wheelchair using voice recognition sensors. *2014 International Conference on Computer Communication and Informatics*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICCCI.2014.6921754>
- Dicianno, B. E., Lieberman, J., Schmeler, M. R., Souza, A. E. S. P., Cooper, R., Lange, M., Liu, H., & Jan, Y.-K. (2015). Rehabilitation Engineering and Assistive Technology Society of North America's Position on the Application of Tilt, Recline, and Elevating Legrests for Wheelchairs Literature Update. *Assistive Technology*, 27(3), 193–198. <https://doi.org/10.1080/10400435.2015.1066657>
- Gabriel, P. F., & Wang, Z. (2022). Design and Implementation of Home Automation system using Arduino Uno and NodeMCU ESP8266 IoT Platform. *2022 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS)*, 161–166. <https://doi.org/10.1109/ICAMechS57222.2022.10003361>
- Ilten, E. (2023). DC motor position control with Raspberry Pi on Simulink wireless external mode. *International Conference on Pioneer and Innovative Studies*, 1, 228–231. <https://doi.org/10.59287/icpis.835>
- Ilten, E., & Demirtas, M. (2016). Off-Line Tuning of Fractional Order PI? Controller by Using Response Surface Method for Induction Motor Speed Control. *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*,

- 18, 20–27. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:217182143>
- İlten, E., & Demirtaş, M. (2018). Fractional Order PI λ Controller Application for Limited Memory System. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(1), 237–242. <https://doi.org/10.31202/ecjse.356652>
- Jang, G., Kim, J., Lee, S., & Choi, Y. (2016). EMG-Based Continuous Control Scheme With Simple Classifier for Electric-Powered Wheelchair. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63(6), 3695–3705. <https://doi.org/10.1109/TIE.2016.2522385>
- Karajah, E. A.-A., & Ishaq, I. (2020). Online Monitoring Health Station Using Arduino Mobile Connected to Cloud service: “Heart Monitor” System. *2020 International Conference on Promising Electronic Technologies (ICPET)*, 38–43. <https://doi.org/10.1109/ICPET51420.2020.00016>
- Krahn, G. L. (2011). WHO World Report on Disability: A review. *Disability and Health Journal*, 4(3), 141–142. <https://doi.org/10.1016/j.dhjo.2011.05.001>
- Küçükdermenci, S. (2023a). Sign language voice convertor design using Raspberry pi for impaired individuals. *1st International Conference on Recent and Innovative Results in Engineering and Technology*.
- Küçükdermenci, S. (2023b, August 10). Raspberry Pi based braille keyboard design with audio output for the visually challenged. *1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODERN AND ADVANCED RESEARCH ICMAR 2023*. <https://doi.org/10.59287/icmar.1306>
- Lajeunesse, V., Vincent, C., Routhier, F., Careau, E., & Michaud, F. (2016). Exoskeletons’ design and usefulness evidence according to a systematic review of lower limb exoskeletons used for functional mobility by people with spinal cord injury. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 11(7), 535–547. <https://doi.org/10.3109/17483107.2015.1080766>
- Leela, R. J., Joshi, A., Agasthiya, B., Aarthiee, U. K., Jameela, E., & Varshitha, S. (2017). Android Based Automated Wheelchair Control. *2017 Second International Conference on Recent Trends and Challenges in Computational Models (ICRTCCM)*, 349–353. <https://doi.org/10.1109/ICRTCCM.2017.44>
- Lu, L., Deng, P. Y., Wu, Y., Bai, J. J., Zhang, Y. X., Xiang, Y., Shi, L. J., & Yang, R. (2016). Control System of Powered Wheelchairs Based on Tongue Motion Detection. *International Journal of Software Science and Computational Intelligence*, 8(4), 60–75. <https://doi.org/10.4018/IJSSCI.2016100104>
- Masato Nishimori, Takeshi Saitoh, & Ryosuke Konishi. (2007). Voice

- controlled intelligent wheelchair. *SICE Annual Conference 2007*, 336–340. <https://doi.org/10.1109/SICE.2007.4421003>
- Opoku, M. P., J-F, Swabey, K., Pullen, D., & Dowden, T. (2019). Poverty alleviation among persons with disabilities via United Nations' sustainable development goals in Ghana: Voices of stakeholders with disabilities. *Sustainable Development*, 27(1), 175–182. <https://doi.org/10.1002/sd.1899>
- Pant, D., Singh, N., & Gupta, P. (2021). Operating Wheelchair Using Flex Sensor. *International Journal of Engineering*, 34(7). <https://doi.org/10.5829/ije.2021.34.07a.14>
- Plesnick, S., Repice, D., & Loughnane, P. (2014). Eye-controlled wheelchair. *2014 IEEE Canada International Humanitarian Technology Conference - (IHTC)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/IHTC.2014.7147553>
- R, S., & Tippannavar, S. S. (2022). EEG based Smart Wheelchair using Raspberry Pi for Elderly and Paralysed Patients. *2022 IEEE 2nd Mysore Sub Section International Conference (MysuruCon)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/MysuruCon55714.2022.9972433>
- Rico, J. E., & Turkoglu, K. (2016, January 4). Arduino Based Low-Cost Experimental Unmanned Aerial Flight System For Attitude Determination in Autonomous Flights. *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference*. <https://doi.org/10.2514/6.2016-0946>
- Sahoo, S. K., & Choudhury, B. B. (2023). Voice-activated wheelchair: An affordable solution for individuals with physical disabilities. *Management Science Letters*, 13(3), 175–192. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2023.4.004>

Bölüm 21

Su Kalitesi Akıllı Ölçüm Sistemleri

Serhat KÜÇÜKDERMENCİ¹

² Doç. Dr.; Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü.
kucukdermenci@balikesir.edu.tr ORCID No: 0000-0002-6421-7773

ÖZET

Su, insanlar için temel bir ihtiyaçtır ve içme suyu kalitesi insan sağlığı için kritik öneme sahiptir. Su dağıtım şebekelerinde veya su ürünleri yetiştiriciliğinde su kalitesinin izlenmesi önemlidir çünkü su kalitesi bir dizi ekonomik, çevresel ve sağlıkla ilgili faktörleri etkiler. Su kalitesinin düşük olması su yoluyla bulaşan hastalıkların yayılmasına neden olabilir. Bu nedenle içme suyu kaynaklarındaki su kalitesinin düzenli olarak izlenmesi, insanların sağlık ve güvenliğini korumak için hayati öneme sahiptir. Su ürünleri yetiştiriciliği (akvaryum balıkları, karides, midye, somon vb.) su kalitesine çok duyarlıdır. Su kalitesinin izlenmesi su ürünlerinin sağlığı ve büyümesini etkileyen faktörleri belirlemeye yardımcı olur. İyi bir su kalitesi su ürünleri yetiştiriciliği işletmelerinin verimliliğini ve karlılığını artırır. Sulama suyu kalitesi tarım verimliliğini ve ürün kalitesini etkiler. Tuzluluk, pH seviyeleri, ağır metal kirliliği gibi faktörler, bitki büyümesini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle tarım alanlarında sulama suyu kalitesinin izlenmesi, tarım ürünlerinin verimliliğini artırmak için önemlidir. Kötü su kalitesi, endüstriyel üretim süreçlerini etkileyebilir, makinelerin zarar görmesine neden olabilir ve ürünlerin kalitesini düşürebilir. Su kalitesinin izlenmesi, su kaynaklarını ve ekosistemleri korumak için önemlidir. Kirlilik sucul habitatlara zarar verebilir, sucul organizmaların yaşamını tehdit edebilir ve sucul ekosistemlerin dengesini bozabilir. Birçok ülkede su kalitesi ile ilgili düzenlemeler vardır ve su kalitesinin izlenmesi bu düzenlemelere uyum sağlamak için gereklidir.

Bu çalışmada su kalitesi akıllı ölçüm sistemlerindeki güncel gelişmeler ve bu sistemlerin sunduğu çözümler hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Su Kalitesi, pH Seviyesi, Bulanıklık, Sıcaklık, Elektriksel İletkenlik, PIC mikrodenetleyici, Arduino, Raspberry Pi

GİRİŞ

Yirmi birinci yüzyılda, çeşitli teknolojik alanlardaki sayısız ilerleme sayesinde insan hayatı daha kolay ve güvenli hale gelmiştir. Ancak kentsel gelişim, kötü tasarlanmış kanalizasyon sistemleri, radyoaktif ve endüstriyel atıklar, açık deniz sondajlarının neden olduğu petrol sızıntıları ve diğer çeşitli kirlilik türleri oluşmakta ve bu nedenle güvenli içme suyu miktarı her geçen gün azalmaktadır. Günümüzde üstel nüfus artışı, artan su kıtlığı, yeraltı suyu kirliliği gibi çeşitli faktörler nedeniyle su kalitesinin gerçek zamanlı olarak izlenmesine daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır (Saravanan et al., 2018).

Suyun hızlı analizi için çok zaman almayan, kolay ve doğru okuma yapabilen akıllı sistemlere gereksinim duyulmaktadır. Su kalitesi seviyesini kontrol etmek için su kalitesi endeksi kullanılır. Su kalitesi endeksi, suyun farklı özelliklerini değerlendirerek suyun genel kalitesini bir tek sayıda ifade etmeye yardımcı olur. Bu endeks, suyun içme suyu, sulama suyu, su ürünleri yetiştiriciliği veya çevresel izleme gibi farklı kullanımlar için belirlenen standartlara uygunluğunu değerlendirmek için kullanılabilir. Su kalitesi endeksi oluşturulurken suyun rengi, berraklığı, sıcaklığı gibi fiziksel özellikler, suda bulunan kimyasal maddelerin konsantrasyonu, pH seviyesi, tuzluluk gibi faktörler, suda bulunan mikroorganizmaların türü ve konsantrasyonu, sucul yaşamın sağlığı gibi faktörler, suda bulunan zararlı maddelerin (örneğin, ağır metaller, organik kirleticiler) seviyeleri, suda bulunan besin maddeleri (örneğin, azot ve fosfor) seviyeleri gibi parametreler dikkate alınır. Bu parametrelerden alınan veriler, bir matematiksel formül veya hesaplama yöntemi kullanılarak su kalitesi endeksine dönüştürülür. Sonuç 0 ile 100 arasında bir puanlama sistemine dayalı olarak ifade edilebilir ve daha yüksek bir puan daha iyi su kalitesini temsil eder.

SUYUN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Su ürünleri endüstrisi hızla büyüdükçe ve teknoloji daha da geliştikçe, bulanıklık, pH, sıcaklık değerleri izlenmesi ve ölçülmesi gereken en önemli faktörler haline gelmektedir. Örneğin, balıkların büyümesi sudaki çözülmüş oksijen miktarından etkilenir ve bu miktar sıcak suda soğuk suya kıyasla daha azdır (Rogora et al., 2018).

Sıcaklık, Fahrenheit veya Celsius cinsinden suyun sıcaklığını ve soğukluğunu belirleyen önemli bir fiziksel parametredir. Suyun pH gibi hem kimyasal hem de biyolojik özelliklerini etkiler çünkü pH sudaki Hidrojen iyonu konsantrasyonunun bir ölçüsüdür. Sıcaklıktaki artış aynı zamanda iyon sayısında artışa yani pH'ın değişmesine neden olur (Bhadra et al., 2013).

Bulanıklık, genellikle çıplak gözle görülemeyen planktonlar, algler ve bu tür askıda katı maddelerin neden olduğu suyun berraklığını belirler. Bulanıklık genellikle suyun berraklığına veya netliğine ve sunulan toplam askıda katı maddelere dayanan suyun kalitesinin bir belirleyicisi olarak kullanılır. Su berraklığı bulanıklık ölçeği ile ölçülür. Daha yüksek bulanıklık suda daha fazla görünmeyen ve asılı partikül bulunduğu anlamına gelir ve bu da kirli suların neden olduğu ishal, kolera vb. hastalıkların görülme olasılığını artırır. Bulanıklık düşükse veya güvenli bir aralıktaysa su içmek için güvenlidir.

İletkenlik, suyun elektrik akışını geçirme kabiliyetini tanımlar ve bu da sudaki iyonların konsantrasyonu ile ilgilidir. Suda bulunan iyon sayısının artması, iletkenlik değerinin artması anlamına gelir ve böylece akım akışı daha güçlü hale gelir. Bu parametre çevresel değişiklikleri ve kirlilik olaylarını tespit etmek için kullanılabilir (Ramos et al., 2008). Bu yüzden su kalitesinin değerlendirilmesinde bu parametre de önemlidir.

Sudaki pH veya Hidrojen iyonlarının değeri suyun asitliğini veya bazikliğini ölçer. Su kalite parametrelerinden biri olan pH metriği ile suyun asidik veya alkali yapısı ölçülür ve bu ölçek 0 ile 14 arasında değişir (Sahadev et al., 2021). Saf su, doğası gereği nötr olan 7 (Li et al., 2011) pH metriğine sahiptir. Güvenli içme suyu 6.5 ile 8.5 arasında pH değerine sahip olmalıdır.

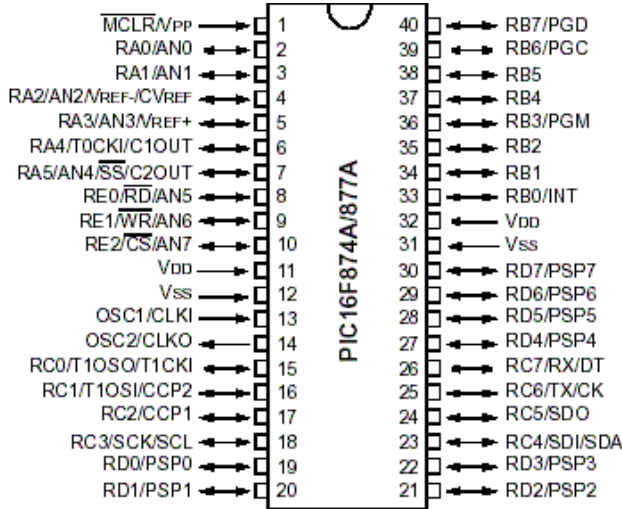
SU KALİTESİ AKILLI ÖLÇÜM SİSTEMLERİNDEKİ ELEKTRONİK BİLEŞENLERE ÖRNEKLER

Akıllı su kalitesi ölçüm sistemlerinde Arduino ve PIC gibi mikrodenetleyiciler, Raspberry Pi gibi bilgisayarlar, pH sensör, bulanıklık sensörü, sıcaklık sensörü ve elektriksel iletkenlik sensörü gibi çeşitli elektronik bileşenler kullanılabilir.

Kontrol birimi: Raspberry Pi ve mikrodenetleyiciler; motorlar (Ilten, 2023), ziraat (Mesas-Carrascosa et al., 2015), endüstri (Ilten & Demirtaş, 2018), sağlık hizmetleri (Pounraj et al., 2016), kontrol (Ilten & Demirtaş, 2016), madencilik sektörü (Mardonova & Choi, 2019), Braille klavye tasarımı (Küçükdermenci, 2023b) ve işaret dili çeviricisi (Küçükdermenci, 2023a) gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır.

Raspberry Pi, bir mikro bilgisayar platformudur ve gelişmiş teknik özelliklere sahiptir. Raspberry Pi 4 Model B'nin (bkz. Şekil 1) teknik özellikleri arasında 1.5 GHz dört çekirdekli ARM Cortex-A72 işlemci, 2 GB, 4 GB veya 8 GB LPDDR4-3200 SDRAM, Broadcom VideoCore VI grafik işlemci, 2 adet mikro HDMI portu (çift monitör desteği), 2 adet USB 3.0 portu, 2 adet USB 2.0 portu, Gigabit Ethernet portu, Dual-band 802.11ac kablosuz LAN ve Bluetooth 5.0 kablosuz bağlantı, microSD kart yuvası, 40 adet genel amaçlı giriş/çıkış pinleri, 5V, 3A USB-C güç girişi, Raspbian (Raspberry Pi'nin özel işletim sistemi), Linux dağıtımları vb. gibi özellikler sayılabilir.

Su ölçüm sistemlerinde Raspberry Pi, suyun pH, tuzluluk, oksijen seviyesi ve diğer kimyasal parametrelerini ölçmek için sensörlerle entegre edilebilir. Bu veriler su kalitesini izlemek ve belirli bir alanın çevresel sağlığını değerlendirmek için, hava sıcaklığı, nem, rüzgâr hızı ve yönü gibi hava koşullarını izlemek için, sulama sistemlerini otomatik olarak ayarlamak veya su yönetimini optimize etmek için kullanılabilir. Toprak, nem sensörleri veya yağış sensörleri ile entegre edilerek, bitkilerin su ihtiyacına göre sulama yapılabilir. Toplanan su ölçüm verilerini bir sunucuya veya bulut tabanlı bir depolama hizmetine iletilebilir. Bu sayede verilere uzaktan erişim sağlanabilir ve uzaktan izleme yapılabilir. Raspberry Pi'nin grafik işlemci yetenekleri, suyun rengi veya görüntü analizi gibi görsel veri işleme uygulamaları için kullanılabilir. Raspberry Pi'nin esnekliği ve düşük maliyeti, su ölçüm sistemlerinin geliştirilmesi ve optimize edilmesi için



Şekil 2: PIC16F877A pin dizilimi

Arduino UNO (bkz. Şekil 3) ATmega328 işlemci kullanan bir Arduino çeşididir. Altısı PWM çıkışı olarak kullanılabilen 14 dijital giriş/çıkış pini, 6 adet analog giriş, 1 adet 16 MHz kristal osilatör, 32 KB Flash bellek, 2 KB SRAM, 1 KB EEPROM, 5V regülatörden çıkan 5V çıkış gerilimi, kart üzerinde bulunan 3.3V regülatörü ile 3.3V çıkış gerilimi vb. gibi teknik özelliklere sahiptir.



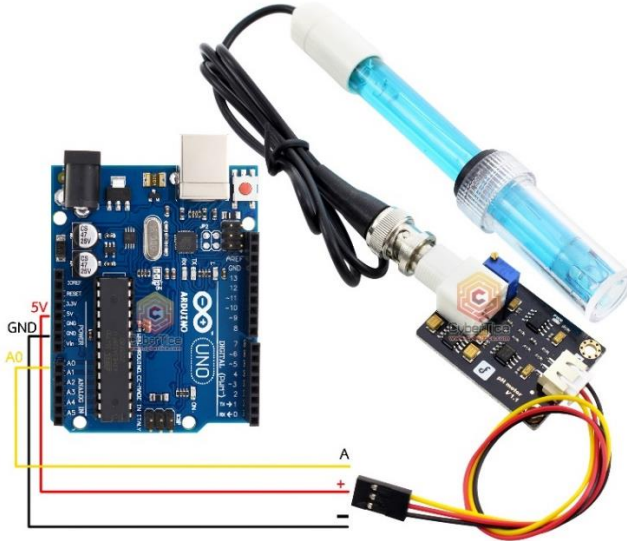
Şekil 3: Arduino Uno kartı

Arduino UNO'nun 6 adet analog girişi ve 14 dijital giriş/çıkış pini sayesinde pH, sıcaklık, iletkenlik, oksijen seviyesi vb. gibi parametreleri ölçmek ve sonuçları işlemek mümkündür. Su kalitesi ölçüm sistemi için pH sensörü, sıcaklık sensörü, iletkenlik sensörü, oksijen sensörü, ölçüm sonuçlarını göstermek için LCD ekran, verileri kablosuz olarak aktarmak için Wi-Fi veya Bluetooth modülü gibi bileşenler kullanılabilir.

pH sensör: Bir analog pH metre sensörü tipik olarak çözeltiyle temas halindeki iyon seçici elektrot tarafından üretilen elektriksel potansiyel farkını

(voltaj) okunabilir bir analog sinyale dönüştürerek çalışır. Bir pH ölçüm cihazının kalbi çözeltideki H⁺ iyonlarının konsantrasyonuna duyarlı olan iyon seçici elektrottur. Bu elektrot, çözeltinin pH'ı ile orantılı bir voltaj üretir. İyon seçici elektroda ek olarak pH ölçüm cihazında bir referans elektrot da bulunur. Bu elektrot ölçüm için sabit bir referans sağlar. İyon seçici elektrot ile referans elektrot arasındaki voltaj farkı ölçülür. Bu voltaj tipik olarak çok küçüktür bu nedenle sinyali yükseltmek ve koşullandırmak için yüksek girişli bir empedans amplifikatörü kullanılır. Amplifikatörden gelen çıkış, tipik olarak çözeltinin pH değerine karşılık gelen bir voltaj veya akım şeklinde analog bir sinyaldir. Bu analog sinyal bir ölçüm cihazında görüntülenebilir, kaydedilebilir veya gerektiğinde daha fazla işlenebilir.

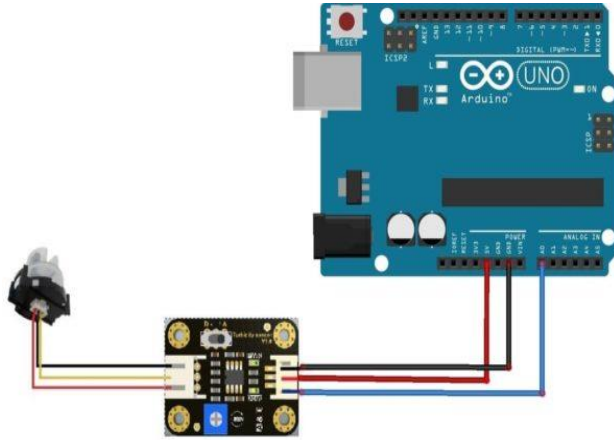
Analog pH metreler halen çeşitli bilimsel, endüstriyel ve eğitim uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak dijital pH metreler daha yüksek doğruluk, hassasiyet ve kullanım kolaylığı sundukları için daha popüler hale gelmiştir. Dijital pH metreler doğrudan sayısal bir pH değeri sağlarken, analog metreler kullanıcının analog voltajı veya akım okumasını yorumlamasını ve manuel olarak pH'a dönüştürmesini gerektirir. Mikrodenetleyici pH sensörü modülleri (bkz. Şekil 4) pH ölçüm özelliklerini mikrodenetleyici tabanlı projelere entegre etmenin uygun bir yoludur. Modülün temel bileşeni bir pH sensörü probu veya elektrodudur. pH sensörü modülü tipik olarak pH sensörü tarafından üretilen küçük voltaj sinyalini yükseltmek ve işlemek için sinyal koşullandırma devresi içerir. Bu devre, pH ölçümünün doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmaya yardımcı olur.



Şekil 4: pH sensör devresi

Turbidity sensör: Bir mikrodenetleyici bulanıklık sensörü modülü (bkz. Şekil 5), sıvının bulanıklığını ölçebilen elektronik bir cihazdır; bu, asılı parçacıkların neden olduğu pusluluk veya bulanıklıktır. Bulanıklık, suda yaşayan organizmaların büyümesini, hastalıkların bulaşmasını ve suyun estetik görünümünü etkileyebileceğinden su kalitesinin önemli bir göstergesidir.

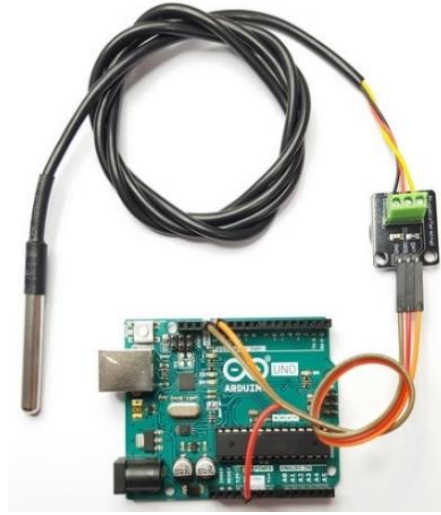
Mikrodenetleyiciler için bulanıklık sensörü modülü su geçirmez bir prob, bir sürücü devresi ve bir bağlantı kablosu olmak üzere üç parçadan oluşmaktadır. Prob, sırasıyla ışık yayan ve algılayan bir kızılötesi LED ve bir fototransistöre sahiptir. Sürücü devresinde bir opamp ve fototransistörden gelen sinyali yükselten bazı bileşenler bulunur. Bu sensör modülü analog ve dijital olmak üzere iki modda çalışabilir. Analog modda, sürücü devresinin çıkış voltajı fototransistör tarafından alınan ışık miktarına göre değişir. Voltaj, mikrodenetleyici kartı üzerindeki bir analog giriş pimi tarafından okunabilir. Dijital modda, sürücü devresinin çıkış voltajı bulanıklığın bir eşik değerine ulaşmış olup olmadığına bağlı olarak yüksek veya düşüktür. Eşik değeri sürücü devresi üzerindeki bir potansiyometre ile ayarlanabilir. Çıkış voltajı mikrodenetleyici kartı üzerindeki bir dijital giriş pini ile okunabilir. Mikrodenetleyici bulanıklık sensörü modülü, su kalitesi izleme, akvaryumlar, hidroponik, endüstriyel kontrol vb. gibi çeşitli uygulamalar için kullanılabilir.



Şekil 5: Turbidity sensörü

Sıcaklık sensörü: DS18B20 (bkz. Şekil 6), doğruluğu ve kullanım kolaylığı nedeniyle çeşitli uygulamalarda sıklıkla kullanılan dijital bir sıcaklık sensörüdür. Dikkat çeken özelliklerinden biri su geçirmez olmasıdır, bu da onu sızdırmaz ve nemin veya suya daldırmanın endişe verici olduğu zorlu ortamlarda sıcaklık ölçümü için uygun hale getirir. DS18B20 dijital bir sıcaklık sensörüdür, yani Arduino, Raspberry Pi gibi mikro denetleyicilerle veya diğer dijital cihazlarla kolayca arayüzlenebilen dijital bir formatta sıcaklık okumaları sağlar. Verileri iletmek ve komutları almak için yalnızca tek bir veri kablosu (artı toprak ve güç kaynağı) gerektirdiğinden mikrodenetleyiciyle bağlantıyı basitleştiren tek

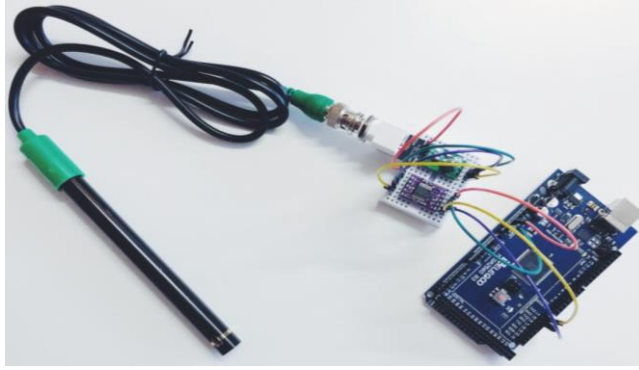
kablolu bir iletişim protokolü kullanır. DS18B20, tasarlandığı sıcaklık aralığında tipik olarak $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ toleransla yüksek doğruluk seviyesiyle bilinir. DS18B20, tipik olarak -55°C ila $+125^{\circ}\text{C}$ arasında bir sıcaklık ölçüm aralığına sahiptir. DS18B20'nin en önemli özelliklerinden biri su geçirmez kapsüllemesidir. Sensör genellikle su geçirmez bir contaya sahip paslanmaz çelik bir tüp içine yerleştirilir, bu da su hasarı riski olmadan ıslak veya suya batırılmış ortamlarda kullanılmasına olanak tanır.



Şekil 6: Sıcaklık sensörü

Elektriksel iletkenlik sensörü: Mikrodenetleyiciler için analog bir elektrik iletkenlik sensörü (bkz. Şekil 7) sulu bir çözeltinin elektrik iletkenliğini ölçebilen elektronik bir cihazdır. Elektriksel iletkenlik, sudaki çözünmüş tuzların, minerallerin ve diğer maddelerin miktarını ve türünü yansıtabildiği için su kalitesinin önemli bir göstergesidir.

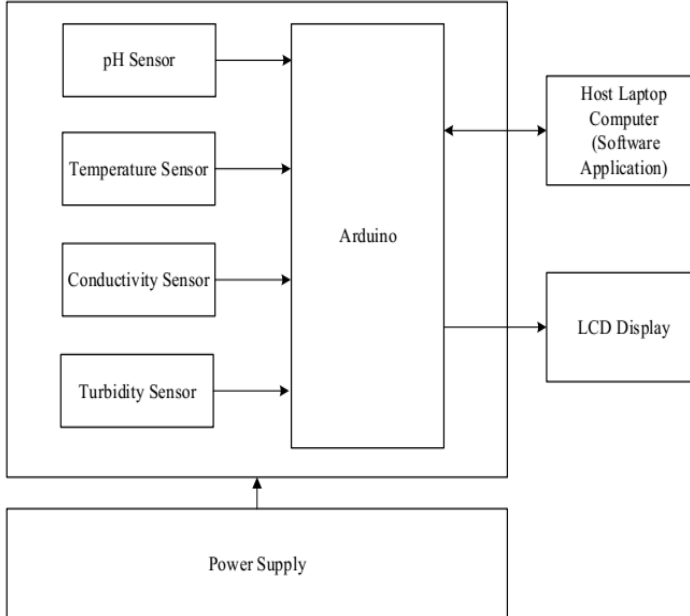
Mikrodenetleyiciler için analog elektriksel iletkenlik sensörü bir prob ve bir sürücü devresi olmak üzere iki parçadan oluşur. Prob, ölçülecek çözeltiliye daldırılmış iki elektroda sahiptir. Sürücü devresi elektrotlara alternatif bir voltaj uygular ve çözeltiliden geçen akımı ölçer. Akım, çözeltinin iletkenliği ile orantılıdır. Bu sensör, iletkenlik değerini santimetre başına mikrosiemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$) veya diğer birimler cinsinden görüntülemek için bir mikrodenetleyici kartı ve bir LCD ekran modülü ile çalışabilir. Sensör, iletkenlik değerleri bilinen standart tampon çözeltiler kullanılarak kalibre edilebilir. Sensör ayrıca DS18B20 gibi sıcaklık sensörü kullanarak iletkenlik üzerindeki sıcaklık etkisini telafi edebilir.



Şekil 7: Elektriksel iletkenlik sensörü

SU KALİTESİ AKILLI ÖLÇÜM SİSTEMLERİNE YÖNELİK ÖRNEKLER

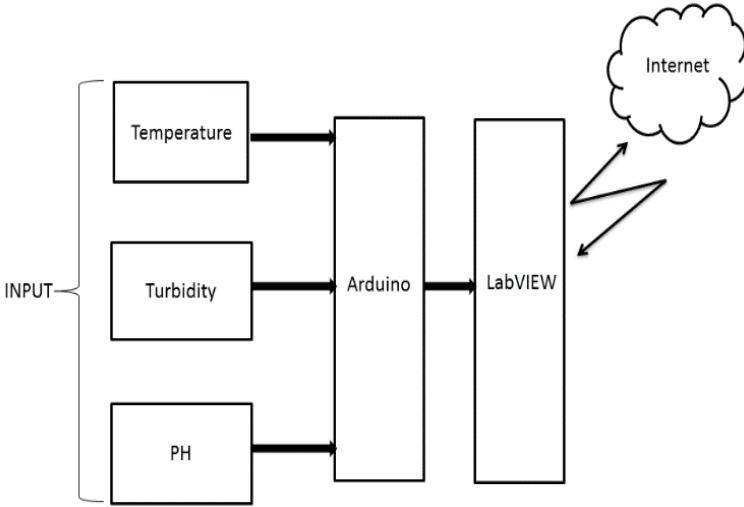
Örnek bir çalışmada (Alimorong et al., 2020) su numunelerinin pH seviyesi, bulanıklık, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik gibi çeşitli parametrelerini ölçebilen, mikrodnetleyici tabanlı bir cihaz sunulmuştur. Bu çalışmanın temel amacı veri toplamadaki hata yüzdesini azaltmak, düşük maliyetli ve verimli bir alternatif cihaz sağlamaktır.



Şekil 8: Arduino mikrodnetleyicili sistemin blok diyagramı(Alimorong et al., 2020)

pH seviyesi, iletkenlik, sıcaklık ve bulanıklık olmak üzere dört farklı su parametresini ölçebilen cihaz mevcut su parametresi sensörlerinden kalibre edilmiş ve sonuçlar, veri okuma açısından maksimum % 98,09 doğruluk göstermiştir. Her parametre için maksimum hata yüzdesi sırasıyla % 2,106, % 3,723, % 0 ve % 3,964 olarak bulunmuştur. Şekil 8’de Arduino mikrodenetleyicili sistemin genel görüntüsü görülmektedir.

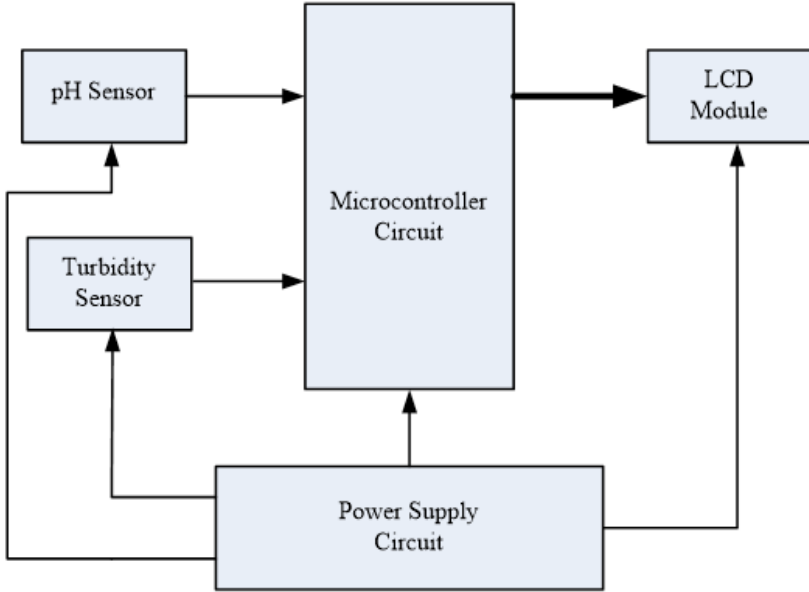
Bir diğer çalışmada (Taru & Karwankar, 2017) sıcaklık, pH ve bulanıklık gibi su kalitesi parametrelerini uzaktan izleyen ve kontrol eden bir cihaz tasarlanmıştır. Suyun farklı parametrelerini izlemek ve kontrol etmek için düşük maliyetli sensörler ile LabView arayüzü ve Arduino UNO kullanılmıştır. Uzaktan kumanda paneline sahip sistem su izleme için ekonomik ve güvenilirdir. LabView arayüzü ile suyun bulanıklık, sıcaklık ve pH seviyesini izlemek için kullanan bu sistem tarım ve endüstriyel kullanım için daha da geliştirilebilir. Şekil 9’da Labview ve Arduino kullanarak su izleme sistemi gösterilmektedir.



Şekil 9: Labview ve Arduino kullanarak su izleme sistemi (Taru & Karwankar, 2017)

Örnek başka bir sistemde (Cho Myint & Maung Soe, 2018) mikrodenetleyici tabanlı bir pH ve bulanıklık ölçüm sisteminin tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma çeşitli endüstrilerde ve çevresel süreçlerde pH seviyelerini ve bulanıklığı izlemenin önemi hakkında fikir vermektedir. Mikrodenetleyici tabanlı pH ve bulanıklık ölçüm sisteminin tasarımında bir pH probu, bir bulanıklık sensörü, bir PIC mikrodenetleyici ve bir sıvı kristal ekran (LCD) kullanılmıştır. Sistem çeşitli endüstrilerde ve çevresel süreçlerde pH seviyelerini ve bulanıklığı izlemek için kullanılabilir ve iletkenlik ve tuzluluk gibi diğer sıvı miktarlarını ölçmek için genişletilebilir. Ölçümleri grafiksel olarak izlemek için bir PC arayüz devresi de uygulanabilir. Şekil 10’da PIC

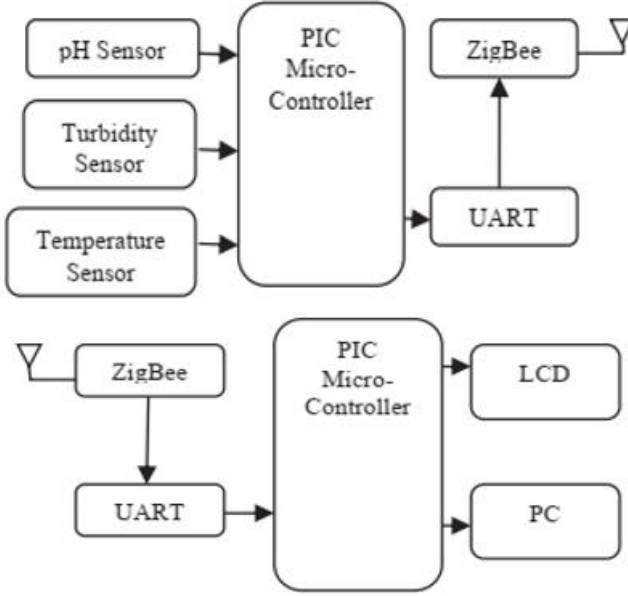
mikrodenetleyici tabanlı pH ve türbidite ölçüm sistemi blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 10: PIC mikrodenetleyici tabanlı pH ve türbidite ölçüm sistemi blok diyagramı (Cho Myint & Maung Soe, 2018)

Diğer bir sistemde (Raut & Shelke, 2016) içme suyunun yanı sıra endüstrilerden nehirlere karışan kanalizasyon suyunda ve ayrıca tarım için kullanılan suda pH seviyesi ve bulanıklık seviyesini ölçebilen kablosuz bir su kalitesi izleme sistemi tasarlanmıştır. Tasarımın sistem mimarisi gömülü bir kablosuz izleme sistemi kullanarak suyun pH seviyesini ve bulanıklık seviyesini uzaktan ölçmeyi içerir. Sistem kablosuz olarak bağlanan bir verici bölümü ve bir alıcı bölümünden oluşmaktadır. Sensörlerden toplanan verilerle 'İçme için Güvenli ve Saf Su', 'İçilebilir Su' ve 'Saf Olmayan ve İçilemeyen Su' olmak üzere üç kategoride sınıflandırılma yapılmaktadır. Sistemin yazılım akışı, veri toplama, veri iletimi ve verilerin görüntülenmesi olmak üzere üç yaklaşımda verilmektedir. Veriler alıcı bölümünde toplanır ve pH seviyesi ile bulanıklık seviyesine bağlı olarak sınıflandırılır. Bunun ardından su kalitesine karar verilir. Suyun pH seviyesi 0 ila 6 arasında ise asidik, 8 ila 14 arasında ise alkali ve pH değeri 7 olan su nötr çözelti olarak adlandırılır. Bulanıklık seviyesi 1.0 NTU'nun üzerinde ise kirli su, 1.0 NTU'nun altında ise temiz sudur. Bulanıklık seviyesi 0.1 NTU ve pH seviyesi 07 pH olan su kalitesi indeksi içme için güvenli ve saf su sağlar. Sistem, içme ve tarım amaçlı kullanılan pH ve bulanıklık seviyesini belirlemek için nehirler ve göller gibi sahalarda uygulanabilir. İçilebilir su kalitesini tahmin edebilir ve okumalar bireysel evin içine monte edilebilen LCD'de görüntülenebilir. Ayrıca kanalizasyon suyunun nehirlere ve göllere akıtıldığı kimya tesislerinde de uygulanabilir. Şekil 11'de PIC mikrodenetleyici kontrollü

kablosuz su kalitesi izleme sistemi verici ve alıcı kısımları blok diyagramı gösterilmektedir.



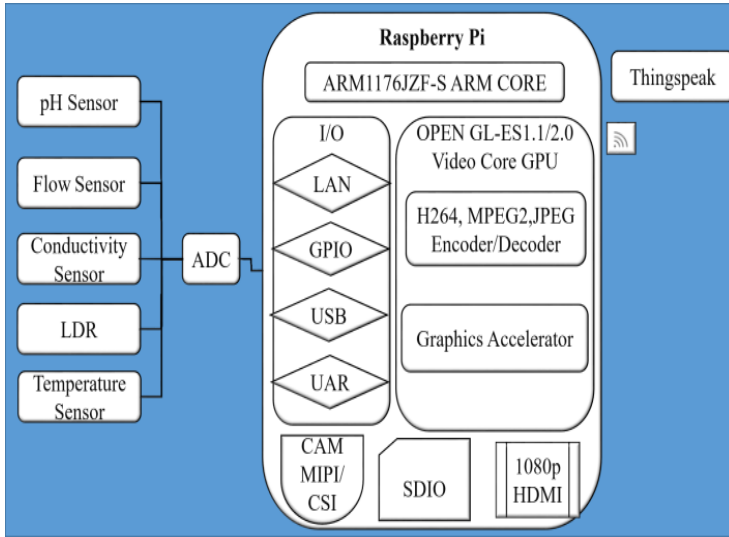
Şekil 11: Su kalitesi izleme sistemi verici ve alıcı kısımları blok diyagramı (Raut & Shelke, 2016)

Örnek bir tasarımda (Bhardwaj et al., 2023) kullanıcı sayısına göre verilen modellerden herhangi birine dayalı bir su kalitesi izleme sistemi ele alınmıştır. Raspberry Pi tabanlı tasarımın bileşenleri arasında pH sensörleri, su seviyesi sensörleri, su akış sensörleri, su kontrol vanaları ve bulut uygulaması (Thingspeak) bulunmaktadır. Ayrıca sistem, veri yönetimi, veri ön işleme, su kalitesi izleme ve haritalamadan oluşan dört alt sistem içermektedir. Veri yönetimi alt sistemi veri entegrasyonundan sorumludur, veri ön işleme alt sistemi verilerin analizini ve düzeltilmesini gerçekleştirir, su kalitesi izleme alt sistemi çeşitli su kalitesi göstergesi parametrelerini içerir ve haritalama alt sistemi diğer üç modülden elde edilen verilerin nihai çıktısını oluşturur. Şekil 12’de Raspberry Pi tabanlı su sağlığı izleme sisteminin blok diyagramı verilmiştir.

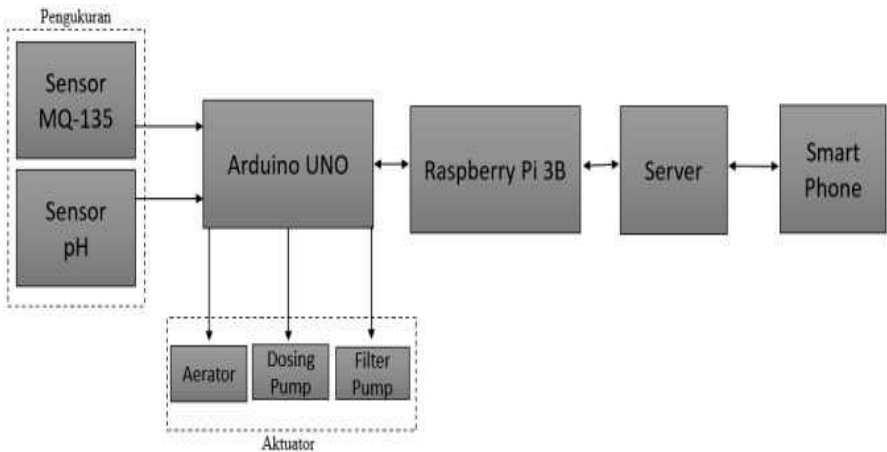
Diğer bir tasarımda (Budiman et al., 2019) bir akvaryumdaki suyun kalitesini, özellikle de amonyak ve pH seviyelerini sağlayan bir kontrol ve izleme sistemi sunar. Sensörler, mikro denetleyiciler ve Raspberry Pi kullanımı ile sistem, balık yetiştiriciliği için en uygun koşulları sağlamak üzere otomatik ve manuel kontroller gerçekleştirebilir. Çalışma, bir akvaryumdaki amonyak ve pH seviyeleri için kontrol ve izleme sisteminin test sonuçlarını sunmaktadır. Sistem, akvaryumdaki amonyak ve pH seviyelerindeki değişiklikleri tespit edip bu seviyeleri istenen aralıkta tutabilir. Akıllı telefon uygulaması, iki sensör tarafından ölçülen verileri görüntüleyebilir ve akvaryumdaki havalandırıcıyı, su

filtresini açıp kapatabilir. Ayrıca pH seviyesi yükseltilerek akvaryumdaki bir sorun simüle edilmiş ve akvaryuma asidik sıvı pompalayarak soruna çözüm sunulmuştur. Genel olarak, sistem akvaryumdaki su kalitesini etkili bir şekilde izleyip kontrol edebilme yeteneğine sahiptir.

Şekil 13'te Raspberry Pi kontrollü balık yetiştiriciliği için amonyak ve pH seviyelerini izleme ve kontrol sisteminin blok diyagramı görülmektedir. Bu blok diyagram pH sensörü, MQ-135 gaz sensörü, Arduino mikrodenetleyici, Raspberry Pi 3B, sunucu, veritabanı ve akıllı telefon uygulamasını içeren genel sistem bileşenlerini göstermektedir.



Şekil 12: Raspberry Pi tabanlı su saflığı izleme sisteminin blok diyagramı (Bhardwaj et al., 2023)



Şekil 13: Raspberry Pi kontrollü balık yetiştiriciliği için kontrol sisteminin blok diyagramı (Budiman et al., 2019)

SONUÇ

Su kalitesinin izlenmesi insan sağlığı, çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik kalkınma ve endüstriyel süreçler gibi birçok farklı alanı etkileyen çok önemli bir konudur. Bu nedenle su dağıtım şebekeleri, su ürünleri yetiştiriciliği, tarım ve endüstri gibi çeşitli sektörlerde su kalitesinin düzenli olarak izlenmesi ve iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu tip su izleme sistemleri içme suyun takibi ya da su ürünleri yetiştiricileri için zaman alan manuel testler için bir çözüm oluşturabilir.

Gerçek zamanlı izleme öneren sistemler çoklu sensör dizisi ile entegre edilmiş bir Raspberry Pi kartı veya mikrodenetleyici, ekran, klavye vb. bileşenlerden oluşabilir. Gelecekte, su dağıtım şebekelerinde çevrimiçi içme suyu kalitesi izleme için nesnelerin interneti (IoT) ile etkinleştirilmiş sistemler geliştirilebilir. Kullanılan sensörlerin kalibrasyonu zaman alıcıdır ve stabilize edilmesi için belirli bir süre gerekmektedir. Bu nedenle gelecekte, sensörlerin otomatik kalibrasyonuna ve farklı regresyon algoritmaları kullanılarak sensörlerin kayma analizine odaklanılabilir.

REFERANSLAR

- Alimorong, F. M. L. S., Apacionado, H. A. D., & Villaverde, J. F. (2020). Arduino-based Multiple Aquatic Parameter Sensor Device for Evaluating pH, Turbidity, Conductivity and Temperature. *2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/HNICEM51456.2020.9400145>
- Bhadra, S., Tan, D. S. Y., Thomson, D. J., Freund, M. S., & Bridges, G. E. (2013). A Wireless Passive Sensor for Temperature Compensated Remote pH Monitoring. *IEEE Sensors Journal*, *13*(6), 2428–2436. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2013.2255519>
- Bhardwaj, I., Jindal, H., Sharma, K., Singh, P., & Sharma, S. (2023). Raspberry Pi based Water Purity Monitoring Device for Domestic Application. *2023 7th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, 1584–1588. <https://doi.org/10.1109/ICOEI56765.2023.10125867>
- Budiman, F., Rivai, M., & Nugroho, M. A. (2019). Monitoring and Control System for Ammonia and pH Levels for Fish Cultivation Implemented on Raspberry Pi 3B. *2019 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, 68–73. <https://doi.org/10.1109/ISITIA.2019.8937217>
- Cho Myint, C., & Maung Soe, M. (2018). MICROCONTROLLER-BASED pH AND TURBIDITY MEASURING SYSTEM. *MATTER: International Journal of Science and Technology*, *4*(2), 266–274. <https://doi.org/10.20319/mijst.2018.42.266274>
- İlten, E. (2023). DC motor position control with Raspberry Pi on Simulink wireless external mode. *International Conference on Pioneer and Innovative Studies, 1*, 228–231. <https://doi.org/10.59287/icpis.835>
- İlten, E., & Demirtas, M. (2016). Off-Line Tuning of Fractional Order PI^λ Controller by Using Response Surface Method for Induction Motor Speed Control. *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*, *18*, 20–27. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:217182143>
- İlten, E., & Demirtaş, M. (2018). Fractional Order PI^λ Controller Application for Limited Memory System. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, *5*(1), 237–242. <https://doi.org/10.31202/ecjse.356652>
- Küçükdermenci, S. (2023a). Sign language voice convertor design using Raspberry pi for impaired individuals. *1st International Conference on Recent and Innovative Results in Engineering and Technology*.
- Küçükdermenci, S. (2023b, August 10). Raspberry Pi based braille keyboard design with audio output for the visually challenged. *1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODERN AND ADVANCED RESEARCH ICMAR 2023*. <https://doi.org/10.59287/icmar.1306>
- Li, L., Wang, J., Zhou, C., Wang, R., & Hong, M. (2011). pH-Responsive chelating N-heterocyclic dicarbene palladium(ii) complexes: recoverable precatalysts for Suzuki–Miyaura reaction in pure water. *Green Chemistry*,

- 13(8), 2071. <https://doi.org/10.1039/c1gc15312a>
- Mardonova, M., & Choi, Y. (2019). Toward Open-Source Hardware and Software for the Mining Industry: a Case Study of Low-Cost Environmental Monitoring System for Non-Metallic Underground Mines. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 36(4), 657–674. <https://doi.org/10.1007/s42461-019-0093-3>
- Mesas-Carrascosa, F. J., Verdú Santano, D., Meroño, J. E., Sánchez de la Orden, M., & García-Ferrer, A. (2015). Open source hardware to monitor environmental parameters in precision agriculture. *Biosystems Engineering*, 137, 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.07.005>
- Pounraj, P., Winston, D. P., Christabel, S. C., & Ramaraj, R. (2016). A Continuous Health Monitoring System for Photovoltaic Array Using Arduino Microcontroller. *Circuits and Systems*, 07(11), 3494–3503. <https://doi.org/10.4236/cs.2016.711297>
- Ramos, P. M., Pereira, J. M. D., Ramos, H. M. G., & Ribeiro, A. L. (2008). A Four-Terminal Water-Quality-Monitoring Conductivity Sensor. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 57(3), 577–583. <https://doi.org/10.1109/TIM.2007.911703>
- Raut, V., & Shelke, S. (2016). Wireless acquisition system for water quality monitoring. *2016 Conference on Advances in Signal Processing (CASP)*, 371–374. <https://doi.org/10.1109/CASP.2016.7746198>
- Rogora, M., Buzzi, F., Dresti, C., Leoni, B., Lepori, F., Mosello, R., Patelli, M., & Salmaso, N. (2018). Climatic effects on vertical mixing and deep-water oxygen content in the subalpine lakes in Italy. *Hydrobiologia*, 824(1), 33–50. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3623-y>
- Sahadev, R., Kaushal, M., & Biswas, A. (2021). Plane Region Step Farming, Animal and Pest Attack Control Using Internet of Things. In *Agricultural Informatics* (pp. 249–269). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119769231.ch12>
- Saravanan, K., Anusuya, E., Kumar, R., & Son, L. H. (2018). Real-time water quality monitoring using Internet of Things in SCADA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(9), 556. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6914-x>
- Taru, Y. K., & Karwankar, A. (2017). Water monitoring system using arduino with labview. *2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, 416–419. <https://doi.org/10.1109/ICCMC.2017.8282722>

Bölüm 22

**Elektroegirme Yöntemiyle Üretilen
Nanoliflerin Yara İyileşmesi ve
Doku Mühendisliğinde Kullanımı**

Sevim Feyza ERDOĞMUŞ¹

¹ Prof. Dr.; Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Temel Eczacılık Bilimleri Bölümü.
fevza.erdogmus@afsu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-4319-7558

ÖZET

Gelişen teknolojiyle birlikte geleneksel yara örtüleri yerini nanoteknolojik ürünlere bırakmaya başlamıştır. Bu ürünler, yara iyileşmesindeki hızlı etkileri, kontrollü ilaç/etken madde salınımı yapabilmeleri, hava geçirgen olmaları, yara iyileşmesi için gerekli nemli ortamı sağlayabilmesi ve antimikrobiyal olmaları sebebiyle geleneksel yara örtülerine göre daha fazla tercih edilirler. Bu yeni nesil yara örtülerinin üretiminde çeşitli teknikler kullanılabilir, elektro eğirme, nanoliflerin üretimi için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Tekniğin kolay, ekonomik ve çok yönlü olması araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Farklı morfolojilere ve bir boyuttan (1D) üç boyuta kadar değişen çok boyutlu düzeneklere sahip saf polimerik nanolifler veya kompozit nanolifler (3D) elektro eğirme ile elde edilebilir. Bu nanoteknolojik ürünler yüksek yüzey alanı/hacim oranı, ayarlanabilir gözeneklilik ve kolay yüzey işlemselleştirmesi, doğal hücre dışı matrikse (ECM) benzerliği, işlemselleştirme kolaylığı ve hücre yapışması, farklılaşması ve çoğalmasında büyük önem taşıyan mekanik performansa sahip olmak gibi çok sayıda avantajı vardır. Bu avantajlar sebebiyle doku mühendisliği alanında nanoliflerin kullanımı uygundur. Bu kitap bölümü, teknolojideki son gelişmelere ilişkin genel bir bakış sunmaktadır. Antibakteriyel nanolifler, hızlı iyileşme için yamalar, yara pansumanları, ilaç dağıtım sistemleri ve doku mühendisliği gibi biyomedikal uygulamalarda elektro eğirme tekniğinin kullanımı ve bazı uygulamalar ele alınmıştır. Elektro eğirme tekniği kullanılarak elde edilen nano materyallerin avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir. Elektrot eğirme nanoliflerin yara iyileşmesi ve doku mühendisliği alanında kullanımları vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler – elektro eğirme, doku mühendisliği, nanolif, yara, yara örtüsü

GİRİŞ

Nanolifler; elektro eğirme, kendiliğinden düzenlenme, çekme, kalıp sentezi, faz ayrımı vb. birçok yöntem kullanılarak üretilir. Bu yara örtüleri, yaranın iyileşmesi için uygun ortam koşullarını sağlayabilen, hücreler için yapay bir doku iskelesi oluşturabilen, antiseptik özelliklere sahip materyaller yara örtüleri olarak bilinir. Elektro eğirme, yüksek voltajlı elektrik alanlarını kullanarak birkaç nanometreden birkaç mikrometreye kadar çaplarda nanolif elde edilmesinde kullanılan bir yöntemdir (Li ve Xia, 2004; Kai vd., 2014; Liu vd., 2017). Elektro eğirme yöntemi, farklı polimer çözeltilerinden ya da eriyiklerinden nanoliflerin üretilmesine imkân veren basit, çok yönlü ve en çok kullanılan tekniktir. Yüksek gözenekliliğe ve geniş yüzey/hacim oranına sahip elektro eğirme nanolifler, antibakteriyel matriksler (Gano vd., 2014), hemostaz için matlar (Jiang vd. 2014), yara örtüsü (Zahedi vd., 2009) ve kontrollü ilaç salımı (Balaji vd., 2015; Hu vd., 2017) gibi biyomedikal uygulamalarda kullanılır. Bu nanolif yapılar doğal hücre dışı matrikse benzer olması, hücrelerin çoğalmasını ve göçünü teşvik etmesi nedeniyle doku mühendisliğinde yararlıdır (Bhardwaj vd., 2010; Cui vd., 2010). Bu bölümde, elektro eğirme teknolojisi kullanılarak elde edilen nanoliflerin son yıllardaki yara iyileşmesi ve doku mühendisliği uygulamalarındaki gelişmelere odaklanılmıştır.

Yara İyileşme Fazları ve İyileşme Türleri

Organizmalar, yapı bütünlüğünün devamlılığını sağlayabilmek için ortaya çıkan yaraları en kısa sürede kapatmaya çalışarak yara iyileşme sürecine girerler. Yara iyileşme süreci oldukça kompleks iç içe geçmiş süreçlerin birbirini izlemesinden oluşur. Hemoztaz, inflamasyon, proliferasyon ve maturasyon fazlarından oluşur. Yarayı oluşturan etmenler ile yaranın özellikleri yara iyileşme sürecine etki eder (Kılınç, 2003; Lippincott, 2011).

Yaralanmalarda kan damarlarının bütünlüğü bozulur ve kanama başlar. Kan kaybının önlenmesi için vazoaktif araçların salınımı ile trombosit agregasyonunun aktivasyonu sonucu pıhtılaşma mekanizması başlatılır. Fibrinojenin fibrin haline dönüşür ve pıhtı oluşur böylece yara kenarları birbirine yaklaşmış olur ve kuruma sonrası yaranın dış ortama ilişkisi kesilir. İnflamasyon fazı (alevlendirme), hemoztazın sağlanması ile başlar. Yaralanmanın gerçekleştiği ilk dakikalarda başlayan hemoztaz, trombositlerin agregasyonu ile sitokinler, kemokinler ve bazı hormonların salınımının gerçekleştiği fazdır. Vasküler geçirgenliğin artmasıyla fibrinojen, albumin vb. maddeler hücre dışı boşluğa yayılır ve yaralı alanda ısı artışı ve ödem oluşur. Nötrofil ve makrofajlar yardımıyla nekrotik doku ve bakteriler ortamdaki uzaklaştırılır. Proliferasyon fazı, inflamasyon evresinin sonuna doğru başlar ve

ortalama 15-21 gün sürer. Fibroblast proliferasyonu ve anjiyogenez olmak üzere iki aşamadan oluşur. Bu dönemde endotel hücrelerinden yeni kan damarları oluşur (anjiyogenez). Yaralanma sonrası iki ile üç hafta sonrası başlayan ve son faz olan maturasyon (onarım) fazı yaklaşık bir yıl devam eder. Bu evrede, mitotik aktivite düşer, yara alanındaki hücre yoğunluğunun ve vaskülarizasyonun azalır, anjiyogenez ile fibroblasi sonlanır. Yaralı bölgede ilk haftada yoğun bir şekilde sentezlenen kollajen, bu evrede yerini ağ şeklindeki kollajene bırakır ve yara izi oluşmaya başlar. Maturasyon evresinde hem kollajen sentezi devam eder hem de yıkımı gerçekleşir ve bu nedenle kollajen miktarında değişiklik gözlenmez (Lippincott, 2011).

Yaralar iyileşme türlerine göre; primer, sekonder ve tersiyer iyileşme olmak üzere üç şekilde iyileşebilir veya kapanabilir. Primer iyileşme (birincil iyileşme); doku kaybına rastlanmayan, yüzeysel travmatik yaralarda görülen hızlı kapanmadır. Bu tarz iyileşmelerde; enfeksiyon oluşumu görülmez ve granülasyon dokusu çok az düzeyde oluşur. Birbirine yakın olan yara kenarlarında ve yara yüzeyinde pıhtılaşan kanla birlikte bir kabuk oluşumu söz konusudur. Ölü doku ve diğer yapılar polimorflar ve makrofajlar sayesinde ortamdaki uzaklaştırılır ve kabuğun altında yoğun olarak epitelizasyon görülür. Kapiller tomurcuklanma ve fibroblastlar 3-5. günler arasında görülür. Birinci haftanın sonunda kollajen sentezlenmesi sayesinde yara kenarları birbirine tutunmaya başlar ve genellikle birkaç hafta içerisinde yara iyileşir. Sekonder iyileşme; iltihabi ülserasyon, infarktüs, yanık, apse oluşumu, derin cerrahi yaralar ile travmatik yaralanmalar gibi çok sayıda hücre ve doku kaybının neden olduğu yaralarda görülür. Bu yaraların, enfeksiyon ve komplikasyonlara açık oldukları için iyileşme daha uzun sürer. Tersiyer iyileşme ise; genelde cerrahi işlem sonrası oluşan ödem, enfeksiyon gibi durumların giderilebilmesi için yaraların açık olarak bırakılması ile gerçekleşir.

Yara Örtüleri

Yaranın iyileşmesi için uygun ortam koşullarını sağlayabilen, hücreler için yapay bir doku iskelesi oluşturabilen, antiseptik özelliklere sahip materyaller yara örtüleri olarak bilinir. Yara örtüleri; enfeksiyon oluşumunu engellemek için mikroorganizmalara ve olası dış etkenlere karşı yaralı bölgeyi koruyan, kan ve yangı sıvısını içine alabilen ve istenen durumlarda ilaç salımı yaparak yara iyileşmesini sağlayan malzemelerdir (Koyutürk ve Soyaslan, 2016). İdeal bir yara örtüsü; ısı kaybını azaltmalı, su kaybını engellemeli, yanık dokusunda eksuda nedeni ile oluşan protein kaybını azaltmalı, mikroorganizma ile etkileşime engel olmalı, pansuman değişikliğinde daha az ağrı hissettirmeli, ağrısız hareket sağlamalı, derinin yenilenmesi için için doku oluşumuna

yardımcı olmalı, yüzeysel yanıklarda yara iyileşmesini hızlandırmalı ve biyoyumlu olmalıdır. Yara örtüleri başlangıçta bitki lifleri ve hayvansal yağlar gibi doğal malzemelerden yaraları basitçe kapatmak için üretilmiştir. Doğal veya sentetik materyallerden üretilen geleneksel yara örtüleri, yara bölgesini dış etkilere korur. Yara örtülerin sınıflandırılırken malzeme içeriği, örtü tekniği, yara tipi gibi parametreler göz önünde bulundurulur. Teknolojik gelişmelere paralel olarak zaman içerisinde geleneksel yara örtülerinin birtakım özellikleri iyileştirilmiştir. Bu örtüler, yüksek absorpsiyon kapasitesi ve kısmi hava geçirgenliği, termal yalıtım vb. avantajları olmasına rağmen, bu örtülerin en büyük sorunu, yara için gerekli nemli yüzeyden yoksun olmaları ve bütünlüğünün kolay bozulmasından dolayı mikroorganizmaların yara içerisine kolaylıkla girebilmesidir. Bu durum, yeni nesil yara örtülerinin üretimini ve kullanımını gündeme getirmiştir. Bu çok işlevli yara örtülerini oluşturmak için çeşitli teknolojiler kullanılır. Uygun modern yara örtülerinin iki temel gereksinimi hızlı hemostaz ve antibakteriyel özellikte olmasıdır. Elektroğürme, yara iyileşmesini teşvik etmek için yara alanı çevresinde nemli bir ortam yaratabilen yara örtüsü üretimi için kullanılabilen bir tekniktir. Spesifik yüzey alanları, yüksek gözenekli yapıları, küçük gözenek boyutları, hafif malzemeler olmaları vb. özelliklere sahip olan yeni nesil yara örtüleri yara iyileşmesi ve tedavisinde önemli roller oynar. Doğal hücre dışı matris yapısını taklit edebilmeleri onlara hücrelerin tutunması, gelişmesi ve çoğalması için elverişli ortam sağlar. Kullanılan polimerik malzemeler ile yara örtüsüne biyoyumluluk ve biyoçözünürlük özellikleri kazandırır. (Kim vd., 2017; Mutlu, 2014).

Nanolifler

Yaklaşık 1-100 nm boyuta sahip olan nanolifler, kimyasal, fiziksel ve mekanik olarak üstün özelliklere sahip olmalarından dolayı doku mühendisliği ve biyomedikal uygulamalar gibi pek çok alanda kullanılabilirler (Denkbaş, 2010; Denkbaş, 2011; Erdoğan vd., 2023).

Elektroğürme, ilk olarak 17. yüzyılda William Gilbert tarafından ortaya çıkarılmıştır. Gilbert, manyetik alan uyguladığı şırınga iğnesine yakın mesafede bulunan bir su damlasının bu manyetik alanın etkisiyle çekilerek koni biçimini aldığını gözlemlemiştir. Günümüzde elektroğürme yöntemi, polimerlerden nanoboyutlu lifler ya da nanolif ağlar elde edilmesinde yaygın olarak kullanılır. Bu yöntem ile istenilen şekil, boyut, gözenek özelliğine sahip nanolifler tek basamakta kolaylıkla üretilebilir. Bu yöntem temel olarak üç ana bölümden oluşur (Mutlu, 2014).

- Yüksek voltaj güç kaynağı
- Kollektör (iletken plaka, döner silindir vb.)

- Besleme ünitesi (şırınga, metal iğne vb.)

Bu yöntemde, öncelikle polimer veya polimer karışımlarının uygun çözücüler kullanılarak homojen bir karışım haline getirilmesi gereklidir. Hazırlanan polimer çözeltisi şırınga ya da cam bir pipete yardımı ile sisteme yüklenir. Şırınga pompası, polimer çözeltisinin şırıngadan uç kısma aktarılması için sürekli bir basınç uygular. Şırınganın ucu ile kolektör arasındaki bağlantı bir elektrotla sağlar (Tong ve Wang, 2011). Şırınga ucundaki polimer damlası, uygulanan bu potansiyel fark nedeniyle küresel biçimden koni şekline (Taylor konisi) dönüşerek karşı elektroda yönelir. Bu işlem esnasında çözücünün buharlaşması ile kolektör üzerinde toplanmadan önce elektriksel alan kuvvetleri tarafından yüksek oranda çekilerek, lifler incelenerek liflerin kolektör üzerinde toplanmasıyla nanoboyuta sahip nanolifler elde edilir. Kullanılan kolektörün sabit ya da hareketli olmasına göre gelişigüzel düzenlenmiş ya da yönlendirilmiş nanolif toplulukları oluşur. Nanolif boyutları ve yapısı; polimer çözelti, konsantrasyonu, viskozite, iletkenlik ve elektroegirme parametrelerine bağlı olarak değişir. Bugüne kadar elde edilen bilgiler doğrultusunda;

- polimer konsantrasyonu ile nanolif çapının doğru orantılı olduğu,
- çözücünün türünün çözeltinin buharlaşma hızını ve istenmeyen boncuk yapılarının oluşumunu etkilediği,
- çalışma mesafesinin, nanolif çapı ve boncuk yoğunluğu ile ters orantılı olduğu,
- akış hızının nanolif çapı ile doğru orantılı olduğu,
- voltajın nanolif çapı ile ters orantılı olduğu ve boncuk formasyonu etkilediği, yüzey yük yoğunluğu ile ters orantılı olduğu,
- doğru akım ve alternatif akımın, nanolif üniformitesini etkilediği,
- şırınga iğnesi iç çapının ise çözeltinin akış hızını etkilediği ve nanolif çapı ile ters orantılı olduğu görülmüştür (Goddard vd. 2007),

Elektrostatik eğirme yöntemi ile hazırlanan nanolif yapısındaki matrikslerin avantajları;

- Nanolifler, nano büyüklükteki üç boyutlu mikroporoz yapısı, geniş yüzey alanları ve rastgele yerleşimli yapıları sayesinde ekstraselüler matriks (ECM) yapılarını taklit etmesi ile yara iyileşmesi sürecinde fiziksel olarak hücrelere destek ve iskele görevi yaparak hücrelerin tutunması, proliferasyonu, göçü ve farklılaşmasında aktif rol alır.
- Nanoliflerin yüzey alanı/hacim oranlarının yüksek olmasına bağlı olarak absorblama kapasiteleri artar ve diğer medikal matrikslere göre daha etkili bir şekilde yara iyileşmesini sağlar.

- Nanolifler birbiriyle bağlantılı yarı geçirgen ve mikroporoz yapıda oldukları için ekzojen bakterilerin yaraya penetrasyonunu engeller ve dehidratasyona karşı korur.
- Elde edilen nanoliflerin esnek ve kesilip şekillendirilebilir olması bölgeye özgü uygulamalar için avantajlar sağlar.
- Medikal matris için uygun olan dokunmamış (non-woven) formda üretilebilir.
- Yaralı bölgeyi hedefleyen akıllı ilaç/etken madde taşıma sistemleri kolaylıkla nanolif yapılarına entegre edilebilir ve böylece etken ilaç veya etken maddenin kontrollü bir şekilde salımı gerçekleşerek etkin bir doku rejenerasyonu sağlar.
- Nanoliflerin çok katmanlı olarak üretilebilmeleri terapötik ajanların farklı tabakalara konularak, hepsinin bir arada üretimine olanak verir.

Hızlı Hemostazı Sağlayan Nanoyapılar

Mevcut geleneksel hızlı hemostaz yöntemleri, kanamayı durdurmak için ligatür veya basınç kullanan mekanik yöntemleri, elektrotlar veya ısı kullanan termal cihazları ve kanın pıhtılaşma aktivitesini değiştiren yara yüzeyine püskürtülen vazokonstriktör kimyasalları içerir. Hızlı hemostazın yaraya ikincil hasar vermesi, pıhtı oluşumunun belirsizliği, düşük adezyon ve özellikle iç organlarda heterojenite gibi dezavantajları bulunur. Buna karşılık, hızlı hemostaz için kullanılan elektroğirme nanolifler büyük ilgi çekmiştir çünkü hemostatik bileşenler liflerle harmanlanabilir ve geniş yüzey alanına ve yüksek gözenekliliğe sahip nanolifli matlar hemostaz sürecini destekler. Bugüne kadar elektroğirme ile elde edilen nanoliflerin hızlı hemostazı teşvik ettiği ve tatmin edici sonuçlar sağladığı rapor edilmiştir (Xia vd., 2015; Bao vd., 2013; Gu vd., 2016;).

Kontrollü İlaç Salınımı

Farmasötik ve biyoteknolojik alanlarda ilaçların veya etken maddelerin hedef bölgeye taşınması temel sorunlardan birisidir ve bu ilaçların veya etken maddelerin etkilerini belirlenen süre içerisinde gösterememesi ya da hedef doku dışında tüm vücutta etkisini göstermesi ise istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle, son yıllarda hedefe yönelik ilaç taşıyıcı sistemler araştırmacıların ilgi odağı olmaktadır (Tüylek, 2017). İlaç taşınımı, vücutta ihtiyaç duyulan bölgeye emniyetli bir şekilde farmasötik bileşenin taşınması amacıyla hazırlanan formülasyonları ifade etmektedir. Vücutta ihtiyaç duyulan yerlere terapötik ajan ya da ajanların ulaşmasını amaçlayan ve bu ajanların zamanla salım sağlayan bir sistem veya cihaz için ilaç taşıma sistemi tanımı kullanılmaktadır (Uchegbu

ve Schatzlein, 2006). Bu sistemler, yapılarına yüklenen ilacın biyodağılımını ve farmakokinetiğini (ilaçların vücut içerisindeki emilme, dağılma, biyotransformasyon vb. süreçler) düzenlemek veya değiştirmek üzere tasarlanmaktadır. Bununla birlikte bu sistemler ilaç ile uyumlu, istenilen dozajlarda ilaç yüklenmesine izin veren ve tedavi sonunda vücuttan kolaylıkla uzaklaştırılabilen özellikte olmalıdır (Peppas vd., 2010). İlaç alanındaki çalışmalarda öncelikli hedef; ilaç/etken maddenin dozajını minimum seviyeye indirmek ve hastanın yaşam kalitesini artırmaktır. Kontrollü salım sistemleri bu beklentilere en iyi yanıt verebilen sistemlerdir. Kontrollü ilaç/etken madde salım sistemlerinin pek çok avantajı bulunmaktadır. Bunlar;

- Tedavi edici oranda ilaç etken madde düzeyinin sürekli korunması,
- Salımın belirli bir hücreye veya dokuya hedeflenebilmesi,
- İhtiyaç duyulan ilaç etken madde miktarının azaltılabilmesi,
- Kısa yarılanma ömrüne sahip ilaç etken maddeler için yönetimin kolaylaşması,
- İlaç etken maddenin istenilen süre boyunca belirli bölgede kalmasıdır.

Konvansiyonel ilaç salım sistemleri belli bir etkinliğe sahip olmasına rağmen istenmeyen yan etkilere sebep olabilir veya yeterli etkinlik göstermeyebilir. Bu tip ilaç salım sistemlerinde ilaç; oral yol, damar yolu veya teneffüs ile vücuda alınır. Fakat bu sistemler, ilaç taşınımında vücudu temel aldıkları için pasif konumdadırlar. Bu ilaçlar hidrolizasyon, enzimatik parçalanma, pH değişiklikleri vb. sebeplerle vücutta etkili konsantrasyona ulaşamayabilir veya hasarlı bölgede etkinliğini uzun süre koruyamayabilir (Peppas vd., 2010).

İlaç Dağılımı için Nanolifler ve İlaç Yükleme Tipleri

Yapılan çalışmalar, nonoliflerin çeşitli hastalıkların tedavisinde ilaç taşıyıcı sistem olarak kullanılabilirliklerini ortaya çıkarmıştır. Bu sistemler, sağlık yönetimi için faydalı olan ilaçların kontrollü salımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle elektrostatik eğirme yöntemi kullanılarak elde edilen nanolif yapıların istenilen miktarda ilaç yüklenebilmesi ile hidrofilik ilaçların salımını kontrol etmek için çeşitli stratejiler araştırılmaktadır. Ayrıca, bilim adamları elektrostatik eğirme yönteminde kullanılan polimer türlerinin de ilaç yükü ve salımına katkıda bulunan önemli bir faktör olduğunu ve nanoliflerin fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerinin kullanılan elektrostatik eğirme parametrelerine göre değiştirip istenilen yönde değiştirilebileceğini ortaya çıkarmışlardır (Singh vd. 2018). Nanomalzemeler, 1-100 nm arası boyuta sahip materyaller olup; bu malzemelerin nano yapılı özellikleri, makro boyuttaki özelliklerinden oldukça farklıdır. Nanolif, nanokompozit, nanotüp ve nanokristalin; bu malzeme türleri arasında yer almaktadır. Kimyasal, fiziksel ve

mekanik olarak üstün özelliklere sahip olmalarından dolayı nanomalzemeler, birçok alanda kullanılmaktadır. Nanomalzemelerin en önemli özelliklerinden birisi, yüksek yüzey alanı/hacim oranlarına sahip olmalarıdır (Denkbaş, 2010; Denkbaş, 2011). Nanolifler; elektrostatik eğirme, kendiliğinden düzenlenme, çekme, kalıp sentezi, faz ayrımı vb. birçok yöntem kullanılarak üretilmektedir. Diğer üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında elektrostatik eğirme yöntemi, farklı polimer çözeltilerinden ya da eriyiklerinden nano ölçekli liflerin üretilmesine imkân veren basit, ekonomik, çok yönlü ve en çok kullanılan teknikler arasında yer almaktadır (Pilehvar-Soltanahmadi vd., 2017; Dadashpour vd., 2018).

İlaç yüklemesi için farklı elektroğirme teknikleri (ortak elektroğirme, yan yana, multijet, koaksiyel, emülsiyon elektroğirme ve yüzey immobilizasyonu) vardır (Topuz ve Uyar, 2019; Balusamy ve ark. 2020). Birlikte elektroğirme yoluyla, ilaç etken maddeleri ve biyomoleküller elektroğirmeden önce polimer çözeltilisine dâhil edilebilir. Genellikle ilaç moleküllerinin homojen dağılımı ve yüksek ilaç yüklemesi bu yöntemle sağlanabilir. Ancak bu teknikte, ilaç moleküllerinin biyoaktivitesi elektrik alanına doğrudan maruz kalma sonucu etkilenebilir. Birlikte elektroğirme yoluyla yaygın olarak karşılaşılan diğer bir sorun, ilaç ve moleküllerin ortak bir çözücü içinde çözünmemesidir. Bu sorunu aşmak için elektroğirmenin yan yana uygulanması bu sorunun çözümü için bir fırsat sunar. Ayrıca, altta yatan biyomolekülün iletilmesi için daha iyi koruma sağlayan çok jetli veya çok katmanlı elektroğirme yoluyla farklı molekülleri yüklemek için ikiden fazla nozzle kullanılır. Koaksiyel ve emülsiyon elektroğirme, çekirdek-kabuk yapısına sahip ilaç/polimer nanofiberleri üretebilir ve ilacın salım hızını kontrol etme konusunda mükemmel bir yeteneğe sahiptir. Yüzey immobilizasyon yönteminde ilaç molekülleri, nanoliflerin yüzeyine fiziksel ve kimyasal immobilizasyon yoluyla kovalent olarak bağlanabilir. Ayrıca, hidrofobik ve van der waals etkileşimleri gibi fiziksel yöntemler ve nanoliflerin yüzeyinin amin, karboksil, hidroksil veya tiyol grupları ile değiştirilmesi gibi kimyasal yöntemler rapor edilmiştir. Bu yöntem aynı zamanda yüklenen moleküllerin biyo-aktivitesini elektrik alanının zararlı etkilerinden veya solvent etkilerinden de koruyabilir.

Doku Mühendisliği

Hastalık veya yaralanma sonucu ortaya çıkan organ yetmezliği veya doku hasarı genellikle kişinin sağlık kalitesi üzerinde büyük etkiye sahiptir. Bu problemler yoğun ilgi görmüştür ve geleneksel tedavi genellikle diğer donör bölgelerden doku veya organ naklini gerektirir, ancak neredeyse hepsinin sınırlamaları vardır (Zahang vd., 2012). Doku mühendisliği bu sınırlamalara

umut verici bir çözümdür. Doku mühendisliği, hasar görmüş dokunun işlevini geri kazandıran, sürdüren veya iyileştiren, mühendislik ve biyobilim ilkelerini uygulayan disiplinler arası bir alandır (Vacanti ve Langer vd., 1999). Doku mühendisliğinin üç temel unsuru dikkate alınmalıdır: hücrelerin üretilmesi, biyomateryal iskele üretimi ve hücre sinyal faktörlerinin dâhil edilmesi. Bunlar arasında biyomateryal iskelesi, kendiliğinden montaj, faz ayırma, dondurarak kurutma, elektroğirme ve üç boyutlu baskı gibi birden fazla üretim tekniği kullanılabilir. İdeal bir iskele, doğal hücre dışı matrisin (ECM) yapısını taklit edebilen, biyoyumlu, yapısal olarak kararlı, biyolojik olarak parçalanabilir, hidrofilik yüzey, yüksek yüzey alanı ve yüksek gözenekler arası bağlantı gibi özelliklere sahip olmalıdır. Bu faktörler bir araya gelerek hücre çoğalmasına, göçüne ve farklılaşmasına yol açar. Bu nedenle doku mühendisliğinin başarısı büyük ölçüde iskelelerin davranışına ve morfolojisine bağlıdır. Doku iskelesi üretim teknikleri arasında elektroğirme, iyi mekanik özellikler, yüksek spesifik yüzey alanları ve ayarlanabilir gözeneklilik sunan lifli yapıların üretildiği ekonomik ve çok yönlü bir yöntemdir. Bugüne kadar elektroğirme doku (deri, kemik, damar, sinir ve kıkırdak) iskeleleri yapılmıştır.

Deri Doku Mühendisliği

Cilt yaralanmalarının klinik olarak tedavisi zordur. Cilt dokusu mühendisliği için ideal bir iskele olan elektroğirme nanolifler, cilt yaralarının iyileşmesi için birçok ideal özelliğe sahiptir. Gözenekli, hidrofilik, kontrol edilebilir, biyolojik parçalanabilir ve biyoyumlulu olmaları gibi avantajlarından dolayı nanolifler yara bölgesindeki eksüdaların temizlenmesini kolaylaştırır, su kaybını kontrol eder ve yaralı doku içinde ve dışında oksijen difüzyonunu destekler. Son zamanlarda birçok araştırmacı, elektroğirme teknolojisini kullanarak, özellikle doğal polimerler (kollajen, jelatin, kitosan, fibrin gibi) ve sentetik biyobozunur polimerler (PCL, PDLLA, PGA, PLGA gibi) kullanarak nanolifler elde etmiştir. Kollajen elektroğirme nanoliflerden yapılan doku iskeleleri, hücre büyümesini ve hücrelerin tasarlanmış matrikse nüfuzunu destekler (Huang ve Fu, 2010). Doğal polimerlerin hücre bağlanmasını ve çoğalmasını destekleyebildiği, sentetik polimerin ise kararlı doku iskelesi sağladığı görülmüştür (Ghasemi-Mobarakeh vd., 2008). Elektroğirme PLGA nanolifler doku iskelesi oluşturmak için kullanılmış ve sonuçlar insan derisi keratinositlerinin iskele üzerinde çoğalabildiğini ve iskeleye sızabildiğini göstermiştir (Ru vd. 2025). Kai ve diğerleri (2016), biyomateryal olarak oksidatif stresle mücadeleye yardımcı olmak için PLA'ya lignin eklenmesi önermişlerdir. Raporda, çeşitli alkilenmiş lignin içeriğine (%10-50) sahip PLA-lignin kopolimerleri sentezlenerek poli (L-laktit) (PLLA) ile harmanlanarak nanolifli kompozitler

halinde üretilmiştir. Antioksidan deneyi, lignin kopolimerlerinin ve PLLA/PLA-lignin nanoliflerinin diğer raporlara benzer şekilde 72 saatten fazla radikal süpürme kapasitesi sağladığını göstermiştir (Jiang vd. 2015; Kai vd., 2016). Ayrıca, biyoyumluluklarını değerlendirmek için elektroğirme nanolifler üzerinde üç farklı hücre türü (PC12, insan dermal fibroblastları ve insan mezenkimal kök hücreleri) kültüre edilmiştir. Lignin içeren nanolifler, saf PLLA nanoliflerle karşılaştırıldığında daha yüksek hücre çoğalması göstermiştir. Antioksidan aktiviteleri ve iyi biyoyumluluğu ile PLLA/PLA-lignin elektroğirme nanofiberleri, hücreleri oksidatif stres koşullarından korumak için biyomedikal materyaller olarak kullanılma konusunda büyük potansiyele sahiptir.

Kemik Doku Mühendisliği

Kemik defektleri ortopedi alanında en sık karşılaşılan sorunlardan biridir. Çoğu durumda kendi kendine iyileşemez, bu nedenle kemik grefti gerekir. Kemik dokusu mühendisliği, kemik kusurlarından muzdarip hastalara yeni bir çare sağlayan yeni ortaya çıkan bir terapidir. Biyobozunur polimerlerden oluşan elektroğirme nanolif iskeleler, doğal hücre dışı matrise (ECM) morfolojik benzerliklerinden dolayı giderek daha popüler hale gelmiştir. Hücre dışı matriksini işlevsel olarak taklit eden yeni iskele malzemelerinin geliştirilmesi, kemik dokusu mühendisliğindeki ilerlemelerin taleplerini karşılamak için giderek daha önemli hale gelmiştir. Araştırmacılar tarafından kemik dokusu mühendisliği için farklı türde iskeleler rapor edilmiştir. Örneğin, elektroğirme hidroksietil selüloz/poli(vinil) alkol nanolifleri, kemik dokusu mühendisliği için ideal bir kompozit biyomateryal olabilecek önemli ölçüde artmış hücre proliferasyonu göstermiştir (Chahal vd. 2016). HAP içeren PLLA/PCL nanolifli yapı iskeleleri ayrıca, kemik dokusu mühendisliği iskele malzemeleri olarak potansiyel uygulamalar için doğal kemik hücre dışı matriksini taklit etmek ve sonuçta kemik kusurlarının onarılmasına yardımcı olmak üzere üretilmiştir (Qi vd., 2016). Polilaktik asit (PLA) ve ipek fibroinin elektroğirme nanoliflerin dokunmasıyla çok katmanlı nanolif doku iskeleleri oluşturulmuştur (Shao vd., 2016). Ayrıca, elektroğirme nanolifler üzerindeki elektroiletken modellerin, hücre bağlanması, çoğalması, göç etmesi ve farklılaşması gibi çok sayıda hücresel fonksiyonu uyarmak için hücrelere elektriksel uyarılar sağlayabileceğini gösterilmiştir (Rajzer vd., 2013). Kemik dokusu mühendisliği için bildirilen yukarıdaki biyomateryal iskelesinin ana odağı, mühendislik yapılarının mekanik ve biyoaktivitesini geliştirmektir. Bununla birlikte, osteoindüktif ve osteokondüktif özelliklerin bir karışımına sahip iskelelerin geliştirilmesinin, kemik yenilenmesine yönelik etkili bir yaklaşım olduğu

gösterilmiştir. Biyomateryallerin, seramiklerin ve büyüme faktörlerinin çeşitli kombinasyonlarının osteoindüktif ve osteokondüktif yapı iskelelerini formüle ettiği rapor edilmiştir. Saf polimer yapı iskeleleri ve silikat içeren yapı iskeleleri üzerinde in vitro hücre kültürasyonu, inorganik bileşenin eklenmesinin toksisiteye yol açmadığını, hücre yapışmasının ve proliferasyonunun iyileşmesini sağlayarak osteojenitenin önemli ölçüde artmasına yol açtığını göstermiştir.

Damar Doku Mühendisliği

Kardiyovasküler hastalıklar dünya çapında en sık görülen ölüm nedenleri arasında yer alır. Arteriyel protezlere olan ihtiyacın hızla artmasıyla birlikte, yapay damarlar büyük talep görmektedir ve arz, talebi karşılamakta zorlanmaktadır (Browning vd., 2012). Tamamen işlevsel üç boyutlu vasküler doku yapısının in vitro üretimi, vasküler doku mühendisliğindeki en temel zorluklardan birini temsil eder. PCL (polikaprolakton) ve onun karışımlarının, kompozitlerinin elektroğirmesi vasküler doku mühendisliği uygulamalarında çalışılmaktadır. de Valence ve diğerleri gözenekli mimariye ve hücre dostu özelliklere sahip, elektroğirme PCL nanoliflerin, materyal bozunmasını, uyumluluğu, trombozu, açıklığı ve doku rejenerasyonunu in vivo çalışmalar ile değerlendirmişlerdir (de Valence vd., 2012). Başka bir çalışmada, anjiyogenezi arttırmak için doku mühendisliği yapı iskelelerinde metal/metal oksit nanoparçacıklarının kullanımını öneren ilk rapor olan çinko oksit nanopartikülleri ile birleştirilmiş elektroğirme PCL doku iskeleleri, anjiyogenezi indükleme yeteneği göstermiştir (Augustine vd., 2014). Ayrıca, hizalanmış ve rastgele PLLA/jelatin elektroğirme nanoliflerinin hücreyel organizasyonu kontrol ettiği ve muhtemelen kan damarlarının hayati organizasyonu ve fiziksel özelliklerine ulaşmak için iyi bir destek sağladığı ortaya çıkarılmıştır (Shaluman vd., 2015).

Sinir Doku Mühendisliği

Travma, nörolojik hastalık veya tümör eksizyonuna bağlı sinir hasarı, cerrahi rekonstrüksiyon için zorluk teşkil eder. Sinir onarımı için mevcut uygulama, önemli donör bölgesi morbiditesi ve diğer komplikasyonlarla ilişkili olan otolog sinir transplantasyonunu içerir. Bununla birlikte sinir dokusu mühendisliği, yaralanmalardan kaynaklanan periferik sinir defektlerinin onarımı ve yenilenmesi için potansiyel bir aday haline gelmiştir. Araştırmacıların önündeki mevcut zorluk, doğal dokunun yeniden büyümesini teşvik edebilen, dolayısıyla hücre dışı matriksi yapısal olarak taklit edebilen, hasarlı bölgenin yeniden enerjilendirilmesi için kimyasal rehberlik ipuçları ve mekanik destek sağlayan

bir biyomimetik iskele üretmektir. Buna bağlı olarak elektroğirme ile üretilen yapay sinir kanalları üstün özellikleri nedeniyle büyük ilgi görmüştür. Sinir fasikülünün iç aksonlarını çevreleyen endonöryum katmanını taklit eden, fibröz yapıya sahip tübüler bir yapı, sinir kılavuzu için uygun bir adaydır (Panahi-Jao vd., 2016). Prabhakaran ve diğerleri elektroğirme PHBV nanoliflerin yönelimi boyunca sinir hücrelerinin büyüyebildiğini ve nanoliflerin sinir rejenerasyonu için gereksinimleri karşılayabildiğini göstermiştir (Prabhakaran vd., 2013). Sinir dokusu mühendisliğinde kullanılan malzemeler arasında ipek fibroin-P(LLA-CL) (Zhang vd., 2012), ipek fibroin-PLGA (Zhan vd., 2015), P(LLACL)-kollajen (Kijenska vd., 2012), polipirol-PLLA (Jin vd., 2012), polipirol-selüloz (Thunberg vd., 2015) gibi doğal ve sentetik polimer bulunur. Şekil hafızalı polimerler de son yıllarda geniş çapta rapor edilmiştir. Kai ve diğerleri sinir dokusu mühendisliği uygulamaları için oldukça umut verici olan hem biyomimetik yapılara hem de elektriksel iletkenlik özelliklerine sahip gözenekli bir şekil hafızalı iskele oluşturmuşlardır (Kai vd., 2016). Bu çalışmada, organik poli(εkaprolakton) (PCL) segmentleri ile inorganik polidimetilsiloksan (PDMS) segmentlerinden ve elektriksel olarak iletken bir dizi nano elyaftan oluşan yeni bir şekil hafızalı poliüretan polimer, farklı miktarlarda karbon siyahı katılarak elektroğirme ile edilmiştir. Bu çalışma, şekil hafızalı özelliklere sahip poli(PCL/PDMS üretan)/karbon-siyahı nanoliflerin sinir dokusu yenilenmesi için potansiyel olarak akıllı dört boyutlu (4D) iskeleler olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

SONUÇ

Elektroğirme nanomalzemeler biyomedikal uygulamalarda önemli bir rol oynar. Bu bölümde elektroğirme nanoliflerin yara iyileşmesi ve doku mühendisliğinde kullanımlarına yönelik son gelişmeleri ve çeşitli uygulamaların temsili sonuçları özetlenmiştir. Elektroğirme teknolojisi kullanılarak yüksek yüzey alanı/hacim oranına sahip, nano ölçekli lifler elde edilmesi, geniş polimer yelpazesi, elektroğirme işleminin esnekliği ve çok yönlülüğü gibi temel avantajları nedeniyle biyomedikal uygulamada umut verici bir yöntem sağladığına şüphe yoktur. Bu avantajların tümü, biyomedikal uygulamalarda elektroğirmenin geliştirilmesine dayanır. Elektroğirme nanoliflere biyoaktif ajanların veya fonksiyonel nanopartiküllerin dâhil edilme olasılığı, yara pansuman uygulamasında elektroğirmenin kullanımını genişletir. Koaksiyel elektroğirme ve sıralı elektroğirme gibi yeni elektroğirme işlemleri, ilaç dağıtım sisteminin geliştirilmesini sağlayan çeşitli ilaçların veya biyomoleküllerin uzun süreli salınımını sağlayabilir. Elektroğirme nanolifler, hücre dışı matrikse benzeyen iki veya üç boyutlu iskele şeklinde düzenlenebilir

ve araştırmacıların doku mühendisliğinde çığır açmasına yardımcı olur. Ancak elektroğirmenin düşük üretim hızı ve klinik düzeye getirilememesi gibi sınırlamaları hala araştırmacılar tarafından çözülmesi gereken iki temel problemdir. Bu iki sınırlama çözüldüğünde, elektroğirme nanomateryallerin biyomedikal uygulamalarda benzeri görülmemiş bir atılım yapabilir.

REFERANSLAR

- Augustine, R., Dominic, E. A., Reju, I., Kaimal, B., Kalarikkal, N., & Thomas, S. (2014). Investigation of angiogenesis and its mechanism using zinc oxide nanoparticle-loaded electrospun tissue engineering scaffolds. *RSC Adv* 4: 51528–51536.
- Balaji, A., Vellayappan, M. V., John, A. A., Subramanian, A. P., Jaganathan, S. K., Supriyanto, E., & Razak, S. I. A. (2015). An insight on electrospun-nanofibers-inspired modern drug delivery system in the treatment of deadly cancers. *Rsc Advances*, 5(71), 57984-58004.
- Balusamy, B., Senthamizhan, A., & Tamer, U. Y. A. R. (2020). Electrospun nanofibers for wound dressing and tissue engineering applications. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 48(5), 459-481.
- Bao, J., Yang, B., Sun, Y., Zu, Y., & Deng, Y. (2013). A berberine-loaded electrospun poly-(ϵ -caprolactone) nanofibrous membrane with hemostatic potential and antimicrobial property for wound dressing. *Journal of biomedical nanotechnology*, 9(7), 1173-1180.
- Bhardwaj, N., & Kundu, S. C. (2010). Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnology advances*, 28(3), 325-347.
- Browning, M. B., Dempsey, D., Guiza, V., Becerra, S., Rivera, J., Russell, B. Höök, F., Clubb, M. Miller, T. Fossum, J.F. Dong, A.L. Bergeron, M. Hahn, E., ... & Cosgriff-Hernandez, E. (2012). Multilayer vascular grafts based on collagen-mimetic proteins. *Acta biomaterialia*, 8(3), 1010-1021.
- Çalamak, S., Erdoğan, C., Özalp, M., & Ulubayram, K. (2014). Silk fibroin based antibacterial bionanotextiles as wound dressing materials. *Materials Science and Engineering: C*, 43, 11-20.
- Chahal, S., Hussain, F. S. J., Kumar, A., Rasad, M. S. B. A., & Yusoff, M. M. (2016). Fabrication, characterization and in vitro biocompatibility of electrospun hydroxyethyl cellulose/poly (vinyl) alcohol nanofibrous composite biomaterial for bone tissue engineering. *Chemical Engineering Science*, 144, 17-29.
- Cui, W., Zhou, Y., & Chang, J. (2010). Electrospun nanofibrous materials for tissue engineering and drug delivery. *Science and technology of advanced materials*.
- Dadashpour, M., Pilehvar-Soltanahmadi, Y., Mohammadi, S. A., Zarghami, N., Pourhassan-Moghaddam, M., Alizadeh, E., Jafar Maleki, M., Firouzi-Amandi, A. & Nouri, M. (2018). Watercross-based electrospun nanofibrous scaffolds enhance proliferation and stemness preservation of

- human adipose-derived stem cells. *Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology*, 46(4), 819-830.
- De Valence, S., Tille, J. C., Mugnai, D., Mrowczynski, W., Gurny, R., Möller, M., & Walpoth, B. H. (2012). Long term performance of polycaprolactone vascular grafts in a rat abdominal aorta replacement model. *Biomaterials*, 33(1), 38-47.
- Denkbaş, E.B. (2010). Nanobülten, *Nanoteknoloji ve Nanotıp Bilimleri Dergisi*, 1-36.
- Denkbaş, E.B. (2011). Her yönüyle nano, nanomalzemeler, karakterizasyonları ve uygulama alanları, *Nanoteknoloji ve Nanotıp Bilimleri Dergisi*, 25-30.
- Dhand, C., Harini, S., Venkatesh, M., Dwivedi, N., Ng, A., Liu, S., & Lakshminarayanan, R. (2016). Multifunctional polyphenols-and catecholamines-based self-defensive films for health care applications. *ACS applied materials & interfaces*, 8(2), 1220-1232.
- Erdoğan, S. F., Altıntaş, Ö. E., & Çelik, S. (2023). Production of fungal chitosan and fabrication of fungal chitosan/polycaprolactone electrospun nanofibers for tissue engineering. *Microscopy Research and Technique*.
- Fox, S. J., Fazil, M. H. U. T., Dhand, C., Venkatesh, M., Goh, E. T. L., Harini, S., ... & Lakshminarayanan, R. (2016). Insight into membrane selectivity of linear and branched polyethylenimines and their potential as biocides for advanced wound dressings. *Acta biomaterialia*, 37, 155-164.
- Gao, Y., Bach Truong, Y., Zhu, Y., & Louis Kyratzis, I. (2014). Electrospun antibacterial nanofibers: Production, activity, and in vivo applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(18). (n/an/a).
- Ghasemi-Mobarakeh, L., Prabhakaran, M. P., Morshed, M., Nasr-Esfahani, M. H., & Ramakrishna, S. (2008). Electrospun poly (ϵ -caprolactone)/gelatin nanofibrous scaffolds for nerve tissue engineering. *Biomaterials*, 29(34), 4532-4539.
- Goddard III, W. A., Brenner, D., Lyshevski, S. E., & Iafrate, G. J. (2002). *Handbook of nanoscience, engineering, and technology*. CRC press.
- Gu, B. K., Park, S. J., Kim, M. S., Lee, Y. J., Kim, J. I., & Kim, C. H. (2016). Gelatin blending and sonication of chitosan nanofiber mats produce synergistic effects on hemostatic functions. *International journal of biological macromolecules*, 82, 89-96.
- Hu, J., Kai, D., Ye, H., Tian, L., Ding, X., Ramakrishna, S., & Loh, X. J. (2017). Electrospinning of poly (glycerol sebacate)-based nanofibers for nerve tissue engineering. *Materials Science and Engineering: C*, 70, 1089-1094.

- Huang, S., & Fu, X. (2010). Naturally derived materials-based cell and drug delivery systems in skin regeneration. *Journal of Controlled Release*, 142(2), 149-159.
- Jiang, K., Long, Y. Z., Chen, Z. J., Liu, S. L., Huang, Y. Y., Jiang, X., & Huang, Z. Q. (2014). Airflow-directed in situ electrospinning of a medical glue of cyanoacrylate for rapid hemostasis in liver resection. *Nanoscale*, 6(14), 7792-7798.
- Jiang, S., Kai, D., Dou, Q. Q., & Loh, X. J. (2015). Multi-arm carriers composed of an antioxidant lignin core and poly (glycidyl methacrylate-co-poly (ethylene glycol) methacrylate) derivative arms for highly efficient gene delivery. *Journal of Materials Chemistry B*, 3(34), 6897-6904.
- Kai, D., Chua, Y. K., Jiang, L., Owh, C., Chan, S. Y., & Loh, X. J. (2016). Dual functional anti-oxidant and SPF enhancing lignin-based copolymers as additives for personal and healthcare products. *Rsc Advances*, 6(89), 86420-86427.
- Kai, D., Jiang, S., Low, Z. W., & Loh, X. J. (2015). Engineering highly stretchable lignin-based electrospun nanofibers for potential biomedical applications. *Journal of Materials Chemistry B*, 3(30), 6194-6204.
- Kai, D., Liow, S. S., & Loh, X. J. (2014). Biodegradable polymers for electrospinning: Towards biomedical applications. *Materials Science and Engineering: C*, 45, 659-670.
- Kai, D., Ren, W., Tian, L., Chee, P. L., Liu, Y., Ramakrishna, S., & Loh, X. J. (2016). Engineering poly (lactide)-lignin nanofibers with antioxidant activity for biomedical application. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4(10), 5268-5276.
- Kai, D., Tan, M. J., Chee, P. L., Chua, Y. K., Yap, Y. L., & Loh, X. J. (2016). Towards lignin-based functional materials in a sustainable world. *Green Chemistry*, 18(5), 1175-1200.
- Kai, D., Tan, M. J., Prabhakaran, M. P., Chan, B. Q. Y., Liow, S. S., Ramakrishna, S., & Loh, X. J. (2016). Biocompatible electrically conductive nanofibers from inorganic-organic shape memory polymers. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 148, 557-565.
- Kılınç, Z. (2003). Yara iyileşmesi. *Bitirme Tezi, Ege Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi, Patoloji Birimi, İzmir*.
- Kim, G., Park, J., & Park, S. (2007). Surface-treated and multilayered poly (ϵ -caprolactone) nanofiber webs exhibiting enhanced hydrophilicity. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 45(15), 2038-2045.

- Kim, K., Luu, Y. K., Chang, C., Fang, D., Hsiao, B. S., Chu, B., & Hadjiargyrou, M. (2004). Incorporation and controlled release of a hydrophilic antibiotic using poly (lactide-co-glycolide)-based electrospun nanofibrous scaffolds. *Journal of controlled release*, 98(1), 47-56.
- Koyutürk, A., Soyaslan, D. D. (2016). Yara ve yanık tedavisinde kullanılan örtüler. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 58-65.
- Li, D., & Xia, Y. (2004). Electrospinning of nanofibers: reinventing the wheel?. *Advanced materials*, 16(14), 1151-1170.
- Lippincott W. (2011). Wound care made incredibly visual 2nd Edition, Wolters Kluwer Health, ISBN 978-1-60913-620-8, 202.
- Liu, M., Duan, X. P., Li, Y. M., Yang, D. P., & Long, Y. Z. (2017). Electrospun nanofibers for wound healing. *Materials Science and Engineering: C*, 76, 1413-1423.
- Meinel, A. J., Germershaus, O., Luhmann, T., Merkle, H. P., & Meinel, L. (2012). Electrospun matrices for localized drug delivery: current technologies and selected biomedical applications. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 81(1), 1-13.A. Balaji, M.V. Vellayappan, A.A. John, A.P. Subramanian, S.K. Jaganathan, E.
- Mutlu, G. (2014). Doku rejenerasyonunda kullanılmak üzere etken madde yüklü nanofibriler yapıların hazırlanması ve karakterizasyonu. Hacettepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Panahi-Joo, Y., Karkhaneh, A., Nourinia, A., Abd-Emami, B., Negahdari, B., Renaud, P., & Bonakdar, S. (2016). Design and fabrication of a nanofibrous polycaprolactone tubular nerve guide for peripheral nerve tissue engineering using a two-pole electrospinning system. *Biomedical Materials*, 11(2), 025017.
- Peppas, N.A., Liechty, W.B., Kryscio, D.R., Slaughter, B.V. (2010). Polymers for drug delivery systems. *Annuals Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 1, 149-173.
- Pilehvar-Soltanahmadi, Y., Nouri, M., Martino, M. M., Fattahi, A., Alizadeh, E., Darabi, M., Rahmati-Yamchi, M. & Zarghami, N. (2017). Cytoprotection, proliferation and epidermal differentiation of adipose tissue-derived stem cells on emu oil based electrospun nanofibrous mat. *Experimental Cell Research*, 357(2), 192-201.
- Prabhakaran, M. P., Vatankhah, E., & Ramakrishna, S. (2013). Electrospun aligned PHBV/collagen nanofibers as substrates for nerve tissue engineering. *Biotechnology and bioengineering*, 110(10), 2775-2784.

- Qi, H., Ye, Z., Ren, H., Chen, N., Zeng, Q., Wu, X., & Lu, T. (2016). Bioactivity assessment of PLLA/PCL/HAP electrospun nanofibrous scaffolds for bone tissue engineering. *Life sciences*, 148, 139-144.
- Rajzer, I., Rom, M., Menaszek, E., & Pasierb, P. (2015). Conductive PANI patterns on electrospun PCL/gelatin scaffolds modified with bioactive particles for bone tissue engineering. *Materials Letters*, 138, 60-63.
- Ru, C., Wang, F., Pang, M., Sun, L., Chen, R., & Sun, Y. (2015). Suspended, shrinkage-free, electrospun PLGA nanofibrous scaffold for skin tissue engineering. *ACS applied materials & interfaces*, 7(20), 10872-10877.
- Shalumon, K. T., Deepthi, S., Anupama, M. S., Nair, S. V., Jayakumar, R., & Chennazhi, K. P. (2015). Fabrication of poly (l-lactic acid)/gelatin composite tubular scaffolds for vascular tissue engineering. *International journal of biological macromolecules*, 72, 1048-1055.
- Shao, W., He, J., Sang, F., Wang, Q., Chen, L., Cui, S., & Ding, B. (2016). Enhanced bone formation in electrospun poly (l-lactic-co-glycolic acid)-tussah silk fibroin ultrafine nanofiber scaffolds incorporated with graphene oxide. *Materials Science and Engineering: C*, 62, 823-834. (2016) 599–610.
- Singh, G., Rath, R., Singh, A.K. (2018). Nanofibers: an effective tool for controlled and sustained drug delivery, *Current Drug Delivery*, 15,155-166.
- Thakur, R. A., Florek, C. A., Kohn, J., & Michniak, B. B. (2008). Electrospun nanofibrous polymeric scaffold with targeted drug release profiles for potential application as wound dressing. *International journal of pharmaceutics*, 364(1), 87-93.
- Tong, H. W., & Wang, M. (2011). Electrospinning of poly (hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) fibrous tissue engineering scaffolds in two different electric fields. *Polymer Engineering & Science*, 51(7), 1325-1338.
- Topuz, F., & Uyar, T. (2018). Electrospinning of cyclodextrin functional nanofibers for drug delivery applications. *Pharmaceutics*, 11(1), 6.
- Tüylek, Z. (2017). İlaç taşıyıcı sistemler ve nanoteknolojik etkileşim. *Bozok Tıp Dergisi*, 7(3), 89-98.
- Uchegbu, I. F., & Schatzlein, A. G. (Eds.). (2006). *Polymers in drug delivery*. CRC Press.
- Xia, Q., Liu, Z., Wang, C., Zhang, Z., Xu, S., & Han, C. C. (2015). A biodegradable trilayered barrier membrane composed of sponge and electrospun layers: hemostasis and antiadhesion. *Biomacromolecules*, 16(9), 3083-3092.

- Yüksel, E., & Karakeçili, A. (2014). Antibacterial activity on electrospun poly (lactide-co-glycolide) based membranes via Magainin II grafting. *Materials Science and Engineering: C*, 45, 510-518..
- Zahedi, P., Karami, Z., Rezaeian, I., Jafari, S. H., Mahdaviani, P., Abdolghaffari, A. H., & Abdollahi, M. (2012). Preparation and performance evaluation of tetracycline hydrochloride loaded wound dressing mats based on electrospun nanofibrous poly (lactic acid)/poly (ϵ -caprolactone) blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 124(5), 4174-4183.
- Zahedi, P., Rezaeian, I., Ranaei-Siadat, S. O., Jafari, S. H., & Supaphol, P. (2010). A review on wound dressings with an emphasis on electrospun nanofibrous polymeric bandages. *Polymers for Advanced Technologies*, 21(2), 77-95.) (n/a-n/a).
- Zhang, N., & Kohn, D. H. (2012). Using polymeric materials to control stem cell behavior for tissue regeneration. *Birth Defects Research Part C: Embryo Today: Reviews*, 96(1), 63-81.J.P. Vacanti, R. Langer, Lancet 354 (1999) S32–S34.

Bölüm 23

**Gıdalarda Oksidasyonun Önemi:
Et ve Et Ürünleri Örneği**

Nuran ERDEM¹, Süleyman GÖKMEN²

¹ Öğr. Gör. Dr.; Aksaray Üniversitesi Güzehyurt MYO Gıda İşleme Bölümü.
nuranerdem@aksaray.edu.tr ORCID No: 0000-0002-7012-9251

² Dr. Öğr. Üyesi.; Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Gıda İşleme Bölümü.
sugokmen@hotmail.com ORCID No: 0000-0002-7397-6966

Abstract

Its rich nutritional content causes meat and meat products to be susceptible to spoilage. The most common form of spoilage seen in meat and meat products is oxidation following microbiological spoilage. The target molecule in lipid oxidation is unsaturated fatty acids. During the processing and storage of meat, some important changes occur in the protein and lipid components. However, the use of protein components as substrates during oxidation is being investigated. Information on the relationship between lipid oxidation and protein oxidation occurring in meat products is not yet clear. On the progress of oxidation; Animal species, fattening type, muscle type, fattening environment, climatic conditions in which it is grown, metal ions, heavy metals in enzymes, proteins, presence of oxygen in the environment, light, temperature, pH, additives, starter cultures, processing and packaging techniques have effects. Oxidation shortens the shelf life of meat and meat products by negatively affecting their taste, odor, color and nutritional values. By using antioxidants, oxidation reactions can be prevented and the shelf life of products protected from oxidation can be extended. The use of artificial antioxidants in meat and meat products is common. Investigations have been carried out on the use of natural antioxidants instead of artificial antioxidants due to the potential toxicological effects of artificial antioxidants and the tendency of consumers to turn to healthy foods. In this study, the oxidation mechanism, detection methods, quality of meat and meat products and their effects on health and the antioxidants used are discussed.

Keywords: Antioxidant, Unsaturated fatty acids, Meat and meat products, Lipid oxidation, Protein oxidation.

Özet

Zengin besin içeriği et ve et ürünlerinin bozulmalara karşı duyarlı olmasına neden olmaktadır. Et ve et ürünlerinde görülen en yaygın bozulma şekli mikrobiyolojik bozulmalardan sonra oksidasyondur. Lipid oksidasyonunda hedef molekül doymamış yağ asitleridir. Et muhafazası ve prosesleri esnasında lipit ve proteinlerde önemli değişiklikler söz ortaya çıkmaktadır. Ancak proteinlerin de lipitler gibi oksidasyon tepkimelerinde substrat olduğunun anlaşılması ile biyolojik sistemlerde gelişen protein oksidasyonu yaklaşık 50 yıldır çeşitli araştırmalara konu olmuştur. Et ürünlerinde ortaya çıkan lipit oksidasyonu ile protein oksidasyonu arasındaki ilişki üzerine bilgiler henüz netlik kazanmamıştır. Hayvan türü, besi çeşidi, kas tipi, besi ortamı, yetiştirildiği iklim şartları, metal iyonları, enzimlerde bulunan ağır metaller ve metalloproteinler, ortamdaki oksijen varlığı, ışık, sıcaklık, pH, katkı maddeleri, starter kültürler, işleme ve ambalajlama teknikleri oksidasyonun ilerlemesi üzerine etkileri bulunmaktadır.

Oksidasyon et ve et rürünlerinin tat, koku, renk ve beslenme değerlerini olumsuz etkileyerek raf ömrünü azaltmaktadır. Antioksidanlar ile oksidasyon engellenebilmekte ve ürünlerin raf ömrü artırılmaktadır. Et ve et ürünlerinde butillendirilmiş hidroksianisol (BHA), bütillendirilmiş hidroksitoluen (BHT), tersiyer bütül hidrokinon (TBHQ) ve propil gallat (PG) gibi yapay antioksidanlar yaygın şekilde kullanılmaktadır. Yapay antioksidanların potansiyel toksikolojik etkileri ve tüketicilerin sağlıklı gıdalara yönelmeleriyle birlikte yapay antioksidanlar yerine yapısında polifenoller, flavonoidler ve organik asitler bulunan doğal bitkisel antioksidanların kullanımına yönelik araştırmalar artmıştır. Bu çalışmada oksidasyon mekanizması, tespit yöntemleri, et ve et ürünleri kalitesi ve sağlık üzerine etkileri ile kullanılan antioksidanlar ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Antioksidan, Doymamış yağ asitleri, Et ve et ürünleri, Lipit oksidasyonu, Protein oksidasyonu.

GİRİŞ

Et ve et ürünleri beslenmede önemli protein, amino asit, mineral ve vitamin kaynaklarını oluşturmaktadır. Son 20 yılda et tüketimi %58 artış göstermiş ve yıllık 360 milyon tona ulaşmıştır. Ekonomik açıdan dünya çapında et sektörünün değerinin, 2018’de 945.7 milyar ABD doları iken 2023’de 1142.9 milyar ABD doları olacağı tahmin edilmektedir (Manassis vd., 2020).

Zengin besin içeriği et ve et ürünlerinin bozulmalara karşı duyarlı olmasına neden olmaktadır (Contini vd., 2014; Devatkal vd., 2014; Shah vd., 2014). Et ve et ürünlerinde en yaygın bozulma şekli mikrobiyolojik bozulmadan sonra oksidasyon olup kimyasal bir bozulmadır. Kimyasal bozulmanın en yaygın şekli et lipitleri ve proteinlerinin oksidasyona uğramasıdır (Falowo vd., 2014). Hayvanın kesiminin ardından endojen antioksidanların aktivitesinde azalma ve nihayetinde tamamıyla kaybolması nedeniyle et proteinleri ve lipidleri oksidasyona duyarlı hale gelmektedir. Oksidasyon reaksiyonları, et ürünlerinin kalitesi ve raf ömrü üzerinde en önemli değişikliklere yol açan reaksiyonlardır (dos Santos vd., 2017). Et ve et ürünlerindeki bu reaksiyonlar sonucu, geri dönüşümü olmayan kimyasal değişimler ortaya çıkarak kalite olumsuz yönde etkilenmektedir (Zungur Bastıoğlu vd., 2016). Oksidasyon önce esas olarak lipitlerde gerçekleşmekte olup, lipit oksidasyonunun sonucunda oluşan bileşikler veya diğer bazı katalitik tepkimeler sonucu proteinlerde de oksidasyon (doğrudan ya da dolaylı olarak protein yapısındaki değişiklikler) gerçekleşmektedir (Ergezer ve Serdaroğlu, 2009; Zungur Bastıoğlu vd., 2016).

Oksidasyon tepkimeleri depolama ve prosesler sırasında oluşarak üretimde reaktif oksijen çeşitlerinin tepkime oluşturma imkanını artırmakta ve et ve et ürünlerini oksidasyona daha duyarlı hale getirmektedir (Nakyinsige vd., 2015). Miyofibriler proteinlerin oksidasyona uğraması ile meydana gelen disülfid çapraz bağlanmaları, aktin ve myosin yapının güçlenmesine ve dolayısıyla önemli kalite karakteristiği olan et ve et ürünlerinde gevreklik ve su tutma kapasitesinin azalmasına yol açmaktadır (Zakrys-Waliwander vd., 2012; Bao ve Ertbjerg, 2019).

OKSİDASYON

Yağ içerikleri yüksek olan et ürünlerinin üretimi esnasında uygulanan işlemler reaktif oksijen türlerini artırmakta olup bu durum, et ürünlerinin oksidasyona karşı duyarlılığını da artırmaktadır (Huang ve Ahn, 2019). Gıdaların üretiminde ve depolanmasında, gıdaların satılma imkanını ve kalitelerini sınırlayan önemli etkenlerden biri de protein ve lipit oksidasyonunun oluşmasıdır (Zungur Bastıoğlu vd., 2016). Protein oksidasyonunda, reaktif oksijen türleriyle gelişen reaksiyonların araştırılması uzun yıllar ihmal edilmiştir ve araştırmalar genellikle

lipit oksidasyonu üzerinde gerçekleşmiştir. Uygun ve spesifik yöntemlerin eksikliği, protein oksidasyonu ile ilgili araştırmaların yavaş ilerlemesine neden olmaktadır (Lund vd., 2011).

Et ürünlerinde ortaya çıkan lipit oksidasyonu ile protein oksidasyonu arasındaki ilişki üzerine bilgiler netlik kazanmamıştır. Lipit oksidasyonunun ilk basamaklarında ortaya çıkan lipit peroksit bileşiklerinin protein oksidasyonunu tetikleyebildiği belirtilmiştir (Soladoye vd., 2015).

Hayvanın kas dokusunda lipit ve protein oksidasyonu esnasında interaksiyonlar meydana gelmektedir. Bu etkileşimlerin başında, myofibriller proteinlerde mevcut kükürt içeren aminoasitlerin, antioksidan benzeri bir etki göstermesi sonucu lipit oksidasyonunun engellemesi gerçekleşmektedir. Ancak lipit oksidasyonu sonucu oluşan bileşiklerin, proteinlerin antioksidan kapasitelerini aşmaları durumunda protein oksidasyonu arttırabilmektedir. Hayvansal kas dokusunda protein oksidasyonuna göre daha hızlı bir gelişme hızına sahip olan lipit oksidasyonunun meydana getirdiği radikaller ve son ürünler, protein oksidasyonunu yeniden tetikleyerek oksidasyonun hızlanmasına yol açmaktadır. Tüm bu reaksiyonlardan dolayı protein bazlı yapılarda hasar ortaya çıkmaktadır (Estévez, 2011; Stadtman ve Oliver, 1991). Okside lipidler ile proteinler arasındaki reaksiyonlar üç şekilde gerçekleşmektedir; proteinler ile kovalent olmayan bileşiklerin oluşumu, radikal reaksiyona neden olan kovalent bağ oluşumu ve lipit oksidasyonu sonucu oluşan malonaldehitlerin karbonil gruplarının iki farklı lizin kalıntısı ile reaksiyonu, protein çapraz bağlanmasına yol açmaktadır (Bao ve Ertbjerg, 2019; Heş, 2017; Li vd., 2019).

Lipit Oksidasyonu

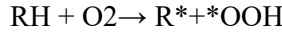
Etlere; içeriğindeki protein, yağ asitlerinden doymamış olanların farklılığı ve prooksidan bileşenlerin bulunması nedeniyle oksidasyona duyarlı gıdalar arasında yer almaktadır (Salminen vd., 2006). Et ürünlerinin depolanması esnasında ortaya çıkan lipit oksidasyon reaksiyonları kalitenin düşmesine ve raf ömrünün azalmasına neden olmaktadır (Domínguez vd., 2019).

Tüketicilerin ürün seçimi yaparken kaliteyi esas alması nedeniyle gıdalarda meydana gelen oksidasyonun izlenebilirliği oldukça önemlidir (Botsoglou vd., 2014: 152; Johnson ve Decker, 2014).

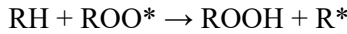
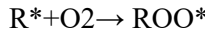
Lipit oksidasyonu, başlangıç, yayılma ve bitiş aşamalarını içermektedir (Şekil 1). İlk aşamada; reaktif oksijen türleri lipidlerden hidrojen atomu ayırarak lipit radikalleri ortaya çıkmaktadır. Yayılma aşamasında; lipit radikallerinin oksijen ile reaksiyonu sonucu, birincil oksidasyon ürünleri olan lipit hidroperoksitleri ortaya çıkmaktadır. Lipid hidroperoksitleri sıcaklık, metal iyonları, enzimler vb. katalizörlerin etkisiyle bir dizi zincir reaksiyonlar oluşmaktadır (Guyon vd.,

2016; Hailili, 2017; Warthesen vd., 1997). Ette meydana gelen oksidasyon ürünlerinin tiyobarbitirik asit ile rengi değişmektedir. Yağ asitlerinde meydana gelen otoksidasyonu sonucu ortaya çıkan bu bileşikler malonaldehit olarak adlandırılır. Glasial asitle karıştırılan 2-tiobarbitirik asit, malondialdehitlerle renk meydana getirmesi oksidasyon ile oluşan ransidite seviyesinin belirlenmesini sağlamaktadır (Schmedes ve Hölmer, 1989).

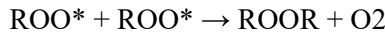
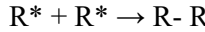
Başlangıç



Yayılma



Bitiş



Şekil 1: Lipit Oksidasyonu Mekanizması

Radikaller birbiriyle reaksiyona girerek aldehit, keton ve alkol gibi ikincil ürünleri oluşturmaktadır (Arpa Zemzemoğlu, 2022). Lipitler oksidatif reaksiyonların esas hedefidir. Lipit oksidasyonu gıda kalitesinin azalmasına neden olmaktadır (Elias vd., 2008). Lipid peroksidasyonunun tespit edilmesi için farklı metotlar (peroksit, tiyobarbitirik asit vb.) ortaya çıkmıştır (Demirkaya, 2013: 238).

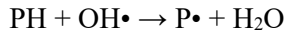
Protein Oksidasyonu

Gıdalardaki önemli bozulmalardan birinin lipit oksidasyonu olması nedeniyle, oksidasyonla ilgili çalışmalarını lipit oksidasyonu üzerine yoğunlaştırmış, protein oksidasyonu üzerindeki çalışmalar ise önemsenmemiştir (Lund vd., 2011). Miyofibriler proteinlerin işleme ve muhafaza esnasında, reaktif oksijen türleri tarafından etkilendiğinin keşfedilmesi sonucu protein oksidasyonu üzerine araştırmalar artmaya başlamıştır (Nakyinsige vd., 2015). Protein oksidasyonu; reaktif oksijen (OH, H₂O₂ vb.) ile doğrudan veya oksidasyon ile oluşan sekonder bileşiklerin reaksiyonu sonucu dolaylı olarak indüklenen, proteinlerin kovalent modifikasyonu olarak tanımlanmaktadır (Zungur Bastıoğlu vd., 2016; Hellwig,

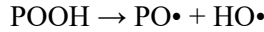
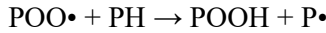
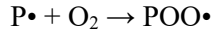
2019). Her ne kadar myofibriller proteinlerde bulunan kükürtlü bileşikler lipidlerin oksidasyonuna karşı antioksidan etki gösterse de oksidasyon bileşiklerinin antioksidan kapasiteyi geçmesi durumunda okside lipidler veya oksidasyon sonucu oluşan bileşikler protein oksidasyonu reaksiyonlarını teşvik edebilmektedir (Zhang vd., 2013; Ergezer vd., 2016).

Protein oksidasyonunun safhaları; başlangıç, yayılma ve bitiş olarak bir grup reaksiyon aşamalarını (otooksidasyon) içermektedir. Reaksiyonun oluşmasında öncelikle reaktif oksijen türleri veya reaktif azot türlerinin (Şekil 2) mevcut olan protein molekülünden bir H atomunu ortama salması gereklidir (Lund vd., 2011).

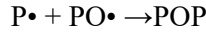
Başlangıç



Yayılma



Bitiş



Şekil 2: Protein Oksidasyonu Mekanizması

Oksidasyonun gelişimi, üründe mevcut aminoasit bileşimine ve başlangıç reaksiyonlarının nasıl katalizlendiği hususuna bağlı bulunmaktadır (Lund vd., 2011). Esas olarak esansiyel aminoasitlerin protein oksidasyonuna daha duyarlı olduğu vurgulanmıştır (Davies ve Dean, 1997; Nakyinsige vd., 2015). Oksidasyon ile amino asit kalıntılarından oluşan değişimler sonucunda ürünün içerdiği karbonil de artış olmaktadır (Sun vd., 2011; Zhang vd., 2017; Hellwig, 2020).

Protein oksidasyonunun et ürünlerinde tespit edilmesinde, farklı yöntemlerden yararlanılmaktadır. Amaca uygun olarak yaygın bir şekilde kullanılan metot, karbonil miktarı analizidir. DNPH yöntemiyle lipid oksidasyonu sonucu oluşan maddeleri ve amino grupları arasında oluşan tepkime sonucunda protein karbonilleri belirlenmektedir (Fuentes vd., 2014; Soglia vd., 2016; Levine vd., 1990; Shacter, 2000; Hawkins vd., 2009; Öztürk-Kerimoğlu vd., 2019). Oksidasyon tepkimelerinin hangi aşamada ve ne derece olduğunun belirlenmesi için bu yöntemlerden birkaçının değerlendirmesinin güvenilirliğinin daha yüksek olacağı bildirilmektedir (Soladoye vd., 2015).

OKSİDASYONU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Etin lezzeti, kokusu, aroması, besleyici değeri ve raf ömrü dokularda mevcut lipidlerin miktar ve konsantrasyonu tarafından etkilenmektedir. Dokuların bünyesinde yüksek lipid düzeyleri, peroksidasyon tepkimeleri açısından potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır (Dominguez vd., 2019: 429).

Hayvan türü, beslenmesi, kas tipi, yetiştirildiği iklim şartları, metal iyonları, enzimlerin bileşiminde yer alan ağır metaller ve metalloproteinler, et ve et ürünlerinde oksidasyon hızını artıran faktörler arasında yer almaktadır. Ayrıca ortamda bulunan oksijen, ışık, sıcaklık, pH, katkı maddeleri, starter kültürler, gıda prosesleri ve paketlenme tekniklerinin oksidasyonun ilerlemesi üzerine etkileri bulunmaktadır (Jacobsen vd., 2008; Nakyinsige vd., 2015; Kavuşan ve Serdaroğlu, 2021). Hidroksil, süperoksit, peroksil, nitrik oksit vb. serbest radikaller protein oksidasyonunun tetikleyici temel unsurlarıdır (Nakyinsige vd., 2015). Et ürünlerinde protein oksidasyonu reaktif oksijen ve azot türleri, üç boyutlu yapısı ve aminoasit kompozisyonu oksidasyona karşı eğilimi etkilemektedir ve oksidasyonun ikincil ürünleri tarafından tetiklenebilmektedir (Stadtman ve Levine, 2003; Lund vd., 2011)

ANTIOKSİDANLAR

Oksidasyon oluşumunun önlenmesi amacıyla kullanılan antioksidanlar, başlatıcı radikallerin süpürülmesi, zincir reaksiyonun ve peroksitlerin parçalanması, lokalize oksijen konsantrasyonunun azaltılması ve metal iyonları gibi katalizörlerin bağlanması zincir reaksiyonlar engellenmektedir (Dorman vd. 2003; Shah vd. 2014).

Et ve Et Ürünlerinde Kullanılan Yapay Antioksidanlar

Yağlarda ortaya çıkan oksidasyon mekanizmasının anlaşılmasıyla oksidasyonun önlenmesi amacıyla antioksidan üretimi alanında birçok araştırma gerçekleştirilmektedir. Doğal antioksidanların form ve türevleri laboratuvarında sentezlenebildiği gibi doğal olmayan sentetik antioksidanların üretimi de gerçekleştirilmiştir. Doğal antioksidan kullanımı çok eski tarihlere uzanırken ilk yapay antioksidan kullanımı 1940'lı yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde başlamış ve başarılı olmuştur. Başlangıçta petrol ürünlerinin oksidatif değişiminin önlenmesi amacıyla kullanılmakta iken daha sonraları gıda, kozmetik, ilaç alanlarında yaygın şekilde kullanımlarına başlanmıştır (Çakmakçı ve Gökçalp, 1992).

Fonksiyonlarına göre antioksidanlar; birincil ve ikincil antioksidanlar şeklinde iki gruba ayrılmaktadır (Yeşilbağ, 2009). Birincil antioksidanlar; serbest radikallerin toplanması, proton eklenmesi, aktivitelerinin baskılanması,

radikalleşmiş antioksidanların veya moleküllerin yenilenmesi-onarılması ve otooksidasyonun kırılması gibi mekanizmaları içermektedir. İkincil antioksidanlar ise; hidrojen peroksit gibi başlatıcı reaktif bileşenlerin ve serbest demir gibi reaksiyonların katalizlenmesini sağlayan metalleri uzaklaştırarak ve oksijen konsantrasyonunu azaltarak önleyici mekanizmaların çalışmasını içermektedir (Butnariu ve Grozea, 2012). Et endüstrisinde butillendirilmiş hidroksianisol (BHA), bütillendirilmiş hidroksitoluen (BHT), tersiyer bütill hidrokinon (TBHQ), propil gallat (PG) vb. yapay birincil antioksidanların kullanımı yaygın şekilde gerçekleştirilmektedir (Jayathilakan vd., 2007; Karre vd., 2013). Fosforik asit, polifosfatlar ve sitrik asit ise et endüstrisinde kullanılan ikincil antioksidanlar arasında yer almaktadır (Butnariu ve Grozea, 2012). Askorbatlar da protein radikallerini tamir ederek antioksidan etki göstermektedir (Hellwig, 2019).

BHA, BHT, PG ve TBHQ maliyetlerinin düşük olması, yüksek stabiliteye ve etkinliğe sahip olmaları nedeniyle doğal antioksidanlara kıyasla geniş kullanım alanına sahip olsalar da gerçekleştirilen çalışmalarda yapay antioksidanların toksik aktivitelerinin saptanması gıdalarda kullanımları bakımından endişelere neden olmaktadır (Fasseas vd., 2007; Wojdylo vd., 2007; Coma, 2008; Yeşilbağ, 2009). Yapay antioksidanların potansiyel toksikolojik etkileri, doğal antioksidanlara ilgiyi artırmış ve son yıllarda et endüstrisinde bitkisel kaynaklı antioksidanların kullanımı ile ilgili bilimsel çalışmalarda artış görülmeye başlanmıştır (Naveena vd., 2008; Yıldız Turp vd., 2018).

Doğal Antioksidanlar

Oksidasyon, et ve et ürünlerinde kalitenin ve raf ömürlerine etkisinin temel nedeni kabul edilmektedir. Etin besleyici değeri, duyuşsal ve fizikokimyasal karakterinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Baharat ve bitkisel materyaller, sağlık açısından potansiyel faydaları olan biyoaktif bileşiklerce zengin olmaları nedeniyle, doğal antioksidanların oksidasyona alternatif çözüm sunabileceği ve tüketicinin doğal ürünleri kullanıma yönelik ilgisinin artmasına paralel şekilde, sentetik antioksidan maddelerin doğal olanlarla değiştirilmesi beklentisi oluşmuştur (Çoban ve Patır, 2010; Horbańczuk vd., 2019). Ayrıca, son zamanlarda tüketicinin sağlıklı gıdalara yönelmeleriyle beraber yapay antioksidan maddeler yerine bileşiminde polifenoller, flavonoidler ve organik asitleri barındıran doğal bitkisel antioksidan kullanımına yönelik araştırmalar artış göstermiştir (García-Lomillo vd., 2017; Longato vd., 2017).

Yapay antioksidan maddelerin alerji, baş ağrısı, astım, dermatit vb. bazı yan etkilerinin görülebilmesi nedeniyle, doğal antioksidanların et endüstrisinde kullanımı giderek artmaktadır (Gahruie vd., 2017). Doğal antioksidanlar

bitkilerin yaprak, kök, sap ve meyve, sebze, tohum ve kabuk gibi farklı kısımlarından elde edilebilmektedir (Shah vd., 2014). Karotenoidler, vitaminler, fenoller, flavonoidler, glutatyonin ve endojen metabolitleri doğal antioksidan özellik gösteren bileşiklerin başlıcaları arasında yer almaktadır. Doğal antioksidanlar tekli ve üçlü oksijen giderici, serbest radikal giderici, peroksit parçalayıcı, enzim inhibitörleri ve sinerjistler şeklinde etkilerini göstermektedir (Faydaoğlu ve Sürücüoğlu, 2011). Et ürünlerinde polifenoller antioksidan etki göstermekte ve oksidasyonu yavaşlatabilmektedir (Papuc vd., 2017; Li vd., 2020). Ayrıca, et ürünlerinde lipit oksidasyonun azaltılması, yağ asidi profilinin geliştirilmesi, antioksidan içeren ambalaj malzemelerinin üretilmesi, et ürünlerinin fizikokimyasal özelliklerinin (Özvural vd., 2016) artırılması için enkapsülasyon teknolojilerinden yararlanılmaktadır (Du ve Claus 2015; Claus vd., 2016; Ojha vd., 2017; Wrona vd., 2017).

OKSİDASYONUN ET VE ET ÜRÜNLERİ KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Et ve et ürünleri, bünyelerinde yüksek düzeylerde besin ögeleri içermeleri nedeniyle sağlıklı ve dengeli beslenme açısından önem arz etmektedir (Zungur Bastioğlu vd., 2016). Lipidlerde meydana gelen oksidasyon ile ransit tat, istenmeyen lezzet, sızıntı ve renk kaybı, toksik bileşen oluşumu, besin ögelerinde azalma vb. olumsuz değişiklikler ortaya çıkmaktadır (Domínguez vd., 2019; Huang ve Ahn, 2019). Lipoliz reaksiyonu ile doymamış serbest yağ asitlerinin oksidasyonu sonucu alkan, alken, aldehit ve ketonlar oluşmakta ve gıdanın lezzetinde olumsuz etkiler görülmektedir (Lorenzo vd., 2016; Chen vd., 2017). Oksidasyon reaksiyonu ile ortaya çıkan çapraz disülfid bağları polimer yapıları oluşturmakta ve proteinlerin ısıl stabilite ve çözünürlüğünde azalmalar meydana gelmektedir. Ayrıca oksidasyon reaksiyonu ile karbonil miktarı, floresans özellik ve proteoliz hassasiyetinde artış gözlenirken, amino asit kompozisyonu da değişime uğramaktadır (Levine vd., 1990; Meucci, 1991). Lipoliz ve proteoliz reaksiyonları ile oluşan serbest yağ asitleri ve amino asitler, yüksek iyonik şiddet ve düşük pH değerleri tarafından lipid ve protein oksidasyonları teşvik edilmektedir (Wójciak vd., 2012).

Et ve et ürünleri protein oksidasyonu, proteinlerin yapısal özelliklerinde değişimlere neden olarak proteinlerin biyoyararlılığını azaltmakta ve gıdalarda kalite problemlerine yol açmaktadır. Ayrıca toksik bileşik ortaya çıkma potansiyeli ve gıda güvenliği riski oluşmaktadır. Oksidasyon ile ette renk, tekstür ve su tutma kapasitesi olumsuz etkilenmektedir. Protein oksidasyonu ile, elzem amino asit miktarları ve protein sindirilebilirliği azalmaktadır (Lund vd., 2011; Nakyinsige vd., 2015; Zungur Bastioğlu vd., 2016).

Et ve et ürünlerinde lipit oksidasyonunun belirlenmesinde Tiyobarbütirik asit (TBA) analizi yapılmaktadır. TBA analizi ilk olarak hayvan dokusundaki oksidasyon ürünlerinin tespiti için kullanılmış, daha sonra gıdada ilk kullanımı süt yağının oksidasyonunu tespit edilmesinde yararlanılmıştır. Bu analizde gıda içerisindeki malonaldehit miktarı belirlenmektedir. Bu içerik, gıdalarda acılaşıma sürecinin bir özelliğidir ve TBA analizi ile lipit peroksidasyonunun saptanması ve ölçülmesi için kullanılabilir (Lund vd., 2011; Nakyinsige vd., 2015; Zungur Bastıoğlu vd., 2016).

Oksidasyon reaksiyonu başlangıcında ortaya çıkan hidroperoksitler gıdaların lezzeti üzerinde etki göstermezken, peroksitler ikincil oksidasyon bileşiklerine dönüşmekte veya peptitler ve amino asitler ile reaksiyona girmektedir. Bu reaksiyonlar ile ortaya çıkan uçucu ve uçucu olmayan bileşikler gıdaların lezzetinde çeşitli etkilere neden olmaktadır (Chen vd., 2017). Lipidler üzerinde ortaya çıkan değişiklikler sonucu, et ürünlerine özgü karakterde gelişmeler olmakla birlikte ransit tat, toksik bileşikler, damlama kayıpları ve besin içeriği kayıplarında artış gözlenmektedir (Amaral vd., 2018; Pereira ve Abreu, 2018). Doymamış yağ asitlerinin fiziksel faktörler (sıcaklık, pH) veya gıdalardaki enzimatik bozulma gibi biyolojik nedenlerden dolayı oksidasyonuna ransidite denir. Ransidite, duyuusal ve biyolojik olarak istenmeyen ürünlerin oluşmasına neden olur ve bunun sonucunda da gıdalarda bozulma belirtisi ortaya çıkar. Otoksidasyonun ilk adımından sonra gıdalarda lipit peroksidasyonu geometrik bir artış gösterir. Bu nedenle bunu kontrol altında tutmak gıdanın kalitesi açısından önemlidir. Oksidasyon reaksiyonu görülen proteinlerin jelleşme, su tutma kapasitesi, çözünürlük ve viskozite gibi karakteristik özelliklerinde değişiklikler görülmektedir (Salminen vd., 2006).

OKSİDASYONUN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Oksijen ile hücreler açısından toksik olan reaktif oksijen türleri oluşabilmektedir. Toksik olan reaktif oksijen türlerinin lipitler, proteinler, karbohidratlar ve vitaminler ile reaksiyonu sonucu esansiyel yağ asitleri, amino asitler ve vitaminler parçalanmakta ve kanserojen maddeler ortaya çıkmaktadır (Choe ve Min, 2005). Oksidasyon tepkimeleri sonucu aldehitler, ketonlar, alkoller ve karbonil bileşikleri gibi ikincil oksidasyon ürünleri ortaya çıkmaktadır (Jin vd., 2021). Bazı bileşiklerin sahip olduğu toksik özellik nedeniyle et ve et ürünlerinde lipit oksidasyonunun engellenmesi, et ürünleri kalitesi ve insan sağlığı için önem arz etmektedir (Huang ve Ahn, 2019).

Lipit oksidasyonu sonucu tatta değişiklikler, renk ve gıda bileşenlerinde kayıplar görülmekle birlikte, zararlı bileşikler de ortaya çıkmaktadır (Gallo vd., 2012). Gıdalarda olumsuz kalite değişiklikleri gözlenmekte ve ortaya çıkan

toksik bileşikler insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler gösterebilmektedir (Šojčić vd., 2015).

Serbest radikallerde görülen otokataliz reaksiyonları sonucu, aldehit ve ketonlar acı tat, lezzet bozulması ve raf ömründe kısalma görülmektedir. İleri düzeyde oksidasyon oluşumu ise çeşitli toksik bileşenlerin oluşmasına neden olmaktadır (Demirkaya vd., 2007: 42). Oksidasyon sonucu oluşan malonaldehitin kanserojen ve mutajenik olduğu belirtilmiştir (Polat ve Tokur, 2000: 301).

Protein oksidasyonu üzerine ilk araştırmalar tıp literatüründe tespit edilmiştir. Organizmada görülen protein oksidasyonu, yaşın ilerlemesine bağlı Alzheimer, diyabet ve kronik böbrek rahatsızlıklarını tetikleyebilmektedir (Berlett ve Stadtman, 1997).

SONUÇ

Gıdalarda bazı kalite değişikliklerinin ve raf ömürlerinin belirlenmesinde oksidasyon önemlidir. Bazı gıdalarda (ekmek üretimi) oksidasyon arzu edilirken, bazı gıdalarda (et ve et ürünlerinde) ise bozulmanın bir indikatörü olarak kabul edilmektedir. Sağlık açısından önemli bir yeri bulunan et ve et ürünleri, yüksek besin içeriği nedeniyle yetersiz beslenme sorununda çözüm olabilecek başlıca gıda maddeleri arasında yer almaktadır. Ancak et ve et ürünleri kolayca okside olarak bozulabilmektedir. Et ve et ürünlerinde gerçekleşen oksidasyon reaksiyonları sonucu, geri dönüşümü olmayan kimyasal değişimler ortaya çıkarak kalite olumsuz yönde etkilenmektedir. Ayrıca potansiyel toksik bileşikler ortaya çıkmakta ve gıda güvenliği açısından risk oluşturması nedeniyle, gıda kaynaklı sağlık problemlerine de yol açmaktadır. Gıdalardaki önemli bozulmalardan birinin lipit oksidasyonu olması nedeniyle, araştırmalar lipit oksidasyonu üzerine yoğunlaşmış, protein oksidasyonu ile ilgili araştırmalar üzerinde fazla durulmamıştır. Protein oksidasyonu üzerine ilk araştırmalar tıp literatüründe görülmektedir. Gıda Bilimi ve Teknolojisi üzerine çalışmalar yürüten araştırmacıların, protein oksidasyonu üzerinde aydınlatılmayan konulara yönelmeleri ile, et endüstrisinde karşılaşılan oksidasyon kaynaklı sorunların büyük ölçüde çözüme ulaşacağı düşünülmektedir. Özellikle protein oksidasyonu olmak üzere oksidasyon ve doğal antioksidanların et ve et ürünlerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla daha fazla araştırma yapılmalı, elde edilen veriler et endüstrisine aktararak ticarileştirilmesi adına gerekli adımlar atılmalıdır. Yapay antioksidanların potansiyel toksikolojik etkileri tüketiciler tarafından gösterilen duyarlılık dikkate alındığında, et endüstrisinde bu yönde gerçekleştirilecek araştırmalara daha fazla ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

REFERANSLAR

- Amaral, A.B., Silva, M.V.D., and Lannes, S.C.D.S. (2018). Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors—a review. *Food Sci Technol*, 38, 1-15, doi: 10.1590/fst.32518.
- Arpa Zemzemoğlu, T.E., Arslan Burnaz, N., ve İlyasoğlu, H. (2022). Doğal antioksidan kaynaklarının et ürünlerinde kullanımı. Akgül, H., Kütük, M., Sağlıkler, H., İyit, N., Erten, F. *Fen Bilimleri ve Matematikte Güncel Araştırmalar*. Gece Kitaplığı.
- Bao, Y., and Erbjerg, P. (2019). Effects of protein oxidation on the texture and water-holding of meat: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 59(22), 3564-3578, doi: 10.1080/10408398.2018.1498444.
- Berlett, B.S., Stadtman, E.R. (1997). Protein oxidation in aging, disease, and oxidative stress. *The Journal of Biological Chemistry* 272(33), 20313-20316.
- Botsoglou, E., Govaris, A., Ambrosiadis, I., Fletouris, D., and Botsoglou, N. (2014). Effect of olive leaf (*Olea europea* L.) extracts on protein and lipid oxidation of long-term frozen n-3 fatty acids-enriched pork patties. *Meat science*, 98(2), 150-157.
- Butnariu, M., and Grozea, I. (2012). Antioxidant (Antiradical) Compounds. *Bioequiv Availab*, 4(6), 17-19.
- Chen, Q., Kong, B., Han, Q., Xia, X., and Xu, L. (2017). The role of bacterial fermentation in lipolysis and lipid oxidation in Harbin dry sausages and its flavour development. *LWT- Food Sci Technol*, 77, 389-396. doi: 10.1016/j.lwt.2016.11.075.
- Choe, E., and Min, D.B.R. (2005). Concise Reviews in Food Science Chemistry and Reactions of Reactive Oxygen Species in Foods. 70(9), 28–36.
- Claus, J., Du, C., and Kılıç, B. (2016). Inhibition of lipid oxidation in ground turkey breasts by encapsulated Polyphosphates as influenced by postmortem pH. *Meat Science*, (112), 129.
- Coma V. (2008). Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products”. *Meat Science*, 78(2), 90-103.
- Contini, C., Álvarez, R., O'sullivan, M., Dowling, D.P., Gargan, S.Ó., and Monahan, F.J. (2014). Effect of an active packaging with citrus extract on lipid oxidation and sensory quality of cooked turkey meat. *Meat Science*. 96(3), 1171-1176. DOI: 10.1016/j.meatsci.2013.11.007.
- Çoban, Ö.E., ve Patır, B. (2010). Antioksidan Etkili Bazı Bitki ve Baharatların Gıdalarda Kullanımı. *Electronic Journal of Food Technol*. 5, 7-19.

- Çakmakçı, S., ve Gökalp, H.Y. (1992). Gıdalarda kısaca oksidasyon; antioksidanlar ve gıda sanayiinde kullanımları. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi 23(2), 174- 192.
- Davies, M.J., and Dean, R.T. (1997). RadicalMediated Protein Oxidation: From Chemistry to Medicine, Oxford University Press, UK, 443 p.
- Demirkaya, A.K., Özturan, K., ve Ceylan, Z.G. (2007). Erzurum piyasasında tüketime sunulan piliç gövde etlerindeki tiyobarbitürik asit sayılarının belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi, 2(1), 41-43.
- Demirkaya, A.K. (2013). Tereyağında tiyobarbitürik asit (TBA) testi ile lipid oksidasyonunun değerlendirilmesi. Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi, 8(3), 237-240.
- Devatkal, S.K , Kamboj, R., and Paul, D. (2014). Comparative antioxidant effect of BHT and water extracts of banana and sapodilla peels in raw poultry meat. Food Science Technology, 51(2), 387–391.
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F.J., Zhang, W., and Lorenzo, J.M. (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. Antioxidants, 8(10), 429, doi: 10.3390/antiox8100429.
- Dorman, H.J.D., Peltoketo, A., Hiltunen, R., and Tikkanen, M.J. (2003). Characterisation of the antioxidant properties of deodourised aqueous extracts from selected Lamiaceae herbs. Food Chemistry. 83(2), 255-262. DOI: 10.1016/S0308-8146(03)00088-8.
- dos Santos Cruxen, C.E., Funck, G.D., Haubert, L., da Silva Dannenberg, G., de Lima Marques, J., Chaves, F.C., da Silva, W.P., and Fiorentini, Â.M. (2019). Selection of native bacterial starter culture in the production of fermented meat sausages: Application potential, safety aspects, and emerging technologies. Food Res Int, 122, 371-382, doi: 10.1016/j.foodres.2019.04.018.
- Du, C., and Claus, J.R. (2015). Inhibition of lipid oxidation in ground turkey with encapsulated phosphates as affected by meat age, phosphate type, and temperature release point. Meat Science, (101), 110.
- Elias, R., Kellerby, S., and Decker, E. (2008). Antioxidant activity of proteins and peptides. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 48, 430-441.
- Ergezer, H., Gökçe, R., Hozer, Ş., and Akcan, T. (2016). Et ve ürünlerinde protein oksidasyonu: etki mekanizması, tespit yöntemleri ve etkileri. Akademik Gıda, 14(1), 54-60.
- Ergezer, H., ve Serdaroğlu, M. (2009). Et ve et ürünlerinde oksidasyon mekanizması ve antioksidanların kullanımı. Gıda Teknolojisi, 13,60- 64.
- Estévez, M. (2011). Protein carbonyls in meat systems: A review. Meat Science 89(3), 259-279.

- Estévez, M., Ollilainen, V., and Heinonen, M. (2009). Analysis of protein oxidation markers α -amino adipic and γ -glutamic semialdehydes in food proteins using liquid chromatography (LC)-electrospray ionization (ESI)-multistage tandem mass spectrometry (MS). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(9), 3901-3910.
- Falowo, A. B., Fayemi, P. O., and Muchenje, V. (2014). Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International*, 64, 171-181. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2014.06.022>
- Fasseas, M.K., Mountzouris, K.C., Tarantilis, P.A., Polissiou, M., and Zervas, G. (2007). Antioxidant activity in meat treated with oregano and sage essential oils. *Food Chemistry*, 106(3), 1188-1194.
- Faydaoğlu, E., ve Sürücüoğlu, S.M. (2011). Bazı Bitki Ekstratlarının Antioksidan ve Antimikrobiyal Etkileri. X. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, Çanakkale, 277-288, (2011).
- Fuentes, V., Ventanas, J., Morcuende, D., Estévez, M., and Ventanas, S. (2010). Lipid and protein oxidation and sensory properties of vacuum packaged dry-cured ham subjected to high hydrostatic pressure. *Meat Sci*, 85, 506-514, doi: 10.1016/j.meatsci.2010.02.024.
- Gahruie, H.H., Hosseini, S.M.H., Taghavifard, M. H., Eskandari, M. H., Golmakani, M. T., and Shad, E. (2017). Lipid oxidation, color changes, and microbiological quality of frozen beef burgers incorporated with shirazi thyme, cinnamon, and rosemary extracts. *Journal of Food Quality*. <https://doi.org/10.1155/2017/6350156>
- Gallo, M., Ferracane, R. and Naviglio, D. (2012). Antioxidant addition to prevent lipid and protein oxidation in chicken meat mixed with supercritical extracts of *Echinacea angustifolia*. *Journal of Supercritical Fluids*, 72, 198-204.
- García-Lomillo, J., Del Pino-García, R., Muñiz-Rodríguez, P. (2017). Alternative natural seasoning to improve the microbial stability of low-salt beef patties. *Food Chemistry*. 227, 122-128. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.01.070.
- Guyon, C., Meynier, A., and de Lamballerie, M. (2016). Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasis on high-pressure treatments. *Trends Food Sci Technol*, 50, 131-143, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.026>.
- Hailili, P. (2017). İşlenmiş et ürünlerinde oksidatif ve mikrobiyolojik bozulmanın kontrolü için kullanılan doğal ve sentetik maddeler ile bunların etki mekanizmaları. Tezsiz Yüksek Lisans Bitime Projesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

- Hawkins, C.L., Morgan, P.E., and Davies M.J. (2009). Quantification of protein modification by oxidants. *Free Radical Biology and Medicine* 46(8), 965-988.
- Hellwig, M. (2019). The chemistry of protein oxidation in food. *Angew Chem Int Ed*, 58(47), 16742-16763, doi: 10.1002/anie.201814144
- Hellwig, M. (2020). Analysis of Protein Oxidation in Food and Feed Products. *J Agric Food Chem*, doi: 10.1021/acs.jafc.0c00711.
- Heś, M. (2017). Protein-lipid interactions in different meat systems in the presence of natural antioxidants—a review. *Polish J Food Nutr Sci*, 67(1), 5-18.
- Horbańczuk, O.K., Kurek, M.A., Atanasov, A.G., et al. (2019). The effect of natural antioxidants on quality and shelf life of beef and beef products. *Food Technol Biotechnol*. 57, 439-447.
- Huang, X., and Ahn, D.U. (2019). Lipid oxidation and its implications to meat quality and human health. *Food Sci Biotechnol*, 28(5), 1275-1285 doi: 10.1007/s10068-019-00631-7.
- Jacobsen, C., Let, M.B., Nielsen, N.S., and Meyer, A.S. (2008). Antioxidant strategies for preventing oxidative flavour deterioration of foods enriched with n-3 polyunsaturated lipids: a comparative evaluation. *Trends Food Sci Technol*, 19(2), 76-93, doi: 0.1016/j.tifs.2007.08.001.
- Jayathilakan, K., Sharma, G.K., Radhakrishna, K., and Bawa, A.S. (2007). Antioxidant potential of synthetic and natural antioxidants and its effect on warmed-over-flavour in different species of meat. *Food Chemistry*, 105(3), 908–916, (2007).
- Jin, S K., Kim, G. D., and Jeong, J. Y. (2021). Evaluation of the Effect of Inhibiting Lipid Oxidation of Natural Plant Sources in a Meat Model System. *Journal of Food Quality*. <https://doi.org/10.1155/2021/6636335>
- Johnson, D.R., Decker, and E.A. (2014). The role of oxygen in lipid oxidation reactions: A review. *Annual Review of Food Science and Technology* 6(1), 171-190.
- Karre, L.K., and Getty, K.J.K. (2013). Natural antioxidants in meat and poultry products. *Meat Science*, 94(2), 220–227.
- Kavuşan, H.S., ve Serdaroğlu, M. (2021). Fermente et ürünlerinde oksidatif değişiklikler ve ürün kalitesi üzerine etkileri. *GIDA*, 46(2) 443-462 doi: 10.15237/gida.GD20122
- Levine, R.L., Garland, D., Oliver, C.N., Amici, A., Climent, I., Lenz, A.G., Ahn, B.W., Shaltiel, S., and Stadtman, E.R. (1990). Determination of carbonyl content in oxidatively modified proteins. *Methods in Enzymology* 186, 464-478.

- Li, B., Xu, Y., Li, J., Niu, S., Wang, C., Zhang, N., Yang, M., Zhou, K., Chen, S., He, L., Liu, S., Yin, S., and Yang, Y. (2019). Effect of oxidized lipids stored under different temperatures on muscle protein oxidation in Sichuan-style sausages during ripening. *Meat Sci*, 147, 144-154, doi: 10.1016/j.meatsci.2018.09.008.
- Longato, E., Peiretti, P.G., Nurisso, S., and Meineri, G. (2017). Effects on composition, oxidative stability and fatty acid profile of meat of chickens fed diets containing animal fat or flax seed oil and supplemented with pumpkin seeds. In First International Conference "Babies and Animals: pediatrician meet vets (pp. 6-9). *Veterinary Science*.
- Lorenzo, J.M., Gómez, M., Purriños, L., and Fonseca, S. (2016). Effect of commercial starter cultures on volatile compound profile and sensory characteristics of dry-cured foal sausage. *J Sci Food Agric*, 96(4), 1194-1201, doi: 10.1002/jsfa.7203.
- Lund, N.M., Heinonen, M., Baron, P.C., and Estevez, M. (2011). Protein oxidation in muscle foods: A review. *Nutrition and Food Research*. 55, 83–95, (2011).
- Manassis, G., Kalogianni, A. I., Lazou, T., Moschovas, M., Bossis, I., and Gelasakis, A.I. (2020). Plant-Derived Natural Antioxidants in Meat and Meat Products. *Antioxidants* (Basel, Switzerland), 9(12), 1–30. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX9121215>
- Meucci, E., Mordente, A., and Martorana, G.E. (1991). Metal-catalyzed oxidation of human serum-albumin conformational and functional changes implications in protein aging. *Journal of Biological Chemistry* 266(8), 4692-4699.
- Nakyinsige, K., Sazili, A.Q., Aghwan, Z.A., Zulkifli, I., Goh, Y.M., Abu Bakar, F., and Sarah, S.A. (2015). Development of microbial spoilage and lipid and protein oxidation in rabbit meat. *Meat Science*, 108(1), 125–131.
- Naveena, B.M., Sen, A.R., Vaithiyathan, S., Babji, Y., and Kondaiah, N. (2008). Comparative efficacy of pomegranate juice, pomegranate rind powder extract and BHT as antioxidants in cooked chicken patties. *Meat Science*, 80(4), 1304–1308.
- Ojha, K.S., Perussello, C.A., García, C.Á., Kerry, J.P., Pando, D., and Tiwari, B.K. (2017). Ultrasonic-assisted incorporation of Nano-encapsulated omega-3 fatty acids to enhance the fatty acid profile of pork meat. *Meat science*, 132, 99-106.
- Öztürk-Kerimoğlu, B., Nacak, B., Özyurt, V.H., ve Serdaroğlu, M. (2019). Protein oxidation and in vitro digestibility of heat-treated fermented

- sausages: How do they change with the effect of lipid formulation during processing? *J Food Biochem*, 43(11), e13007, doi:10.1111/jfbc.13007.
- Özvural, E.B., Huang, Q., and Chikindas, M.L. (2016). The comparison of quality and microbiological characteristic of hamburger patties enriched with green tea extract using three techniques: Direct addition, edible coating and encapsulation. *LWT-Food Science and Technology*, 68, 385-390.
- Papuc, C., Goran, G.V., Predescu, C.N., Nicorescu, V., and Stefan, G. (2017). Plant polyphenols as antioxidant and antibacterial agents for shelf-life extension of meat and meat products: Classification, structures, sources, and action mechanisms. *Compr Rev Food Sci Food Safety*, 16(6), 1243-1268, doi: 10.1111/1541-4337.12298.
- Pereira, A.L.F., and Abreu, V.K.G. (2018). Lipid peroxidation in meat and meat products. In *lipid peroxidation*. IntechOpen, 1-14, doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.81533>.
- Polat, A. ve Tokur, B. (2000). Balıklarda prooksidan ve antioksidanların lipid oksidasyonuna etkileri. *Ege Üniversitesi Su ürünleri Fak. Dergisi*, 17 (3-4), 299-310.
- Salminen, H., Estevez, M., Kivikari, R., and Heinonen, M. (2006). Inhibition of protein and lipid oxidation by rapeseed, camelina and soy meal in cooked pork meat patties. *Europe Food Research Technology*, 223, 461–468.
- Schmedes, A., and Hølmer, G. (1989). A new thiobarbituric acid (TBA) method for determining free malondialdehyde (MDA) and hydroperoxides selectively as a measure of lipid peroxidation, *J. Am. Oil Chem. Soc.* 66, 813–817.
- Shacter, E. (2000). Quantification and significance of protein oxidation in biological samples. *Drug Metabolism Reviews*, 32(3-4), 307-326.
- Shah, M.A., Bosco, S.J.D., and Mir, S.A. (2014). Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. *Meat Science*, 98(1), 21–33. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.03.020>
- Soglia, F., Petracci, M., and Ertbjerg, P. (2016). Novel DNPH-based method for determination of protein carbonylation in muscle and meat. *Food Chem*, 197, 670-675, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.11.038.
- Šojić, B., Tomović, V., Kocić-Tanackov, S., Škaljac, S., Ikonić, P., Džinić, N., Živković, N., Jokanović, M., Tasić, T., and Kravić, S. (2015). Effect of nutmeg (*Myristica fragrans*) essential oil on the oxidative and microbial stability of cooked sausage during refrigerated storage. *Food Control*, 54, 282-286, doi: 10.1016/j.foodcont.2015.02.007.
- Soladoye, O.P., Juarez, M.L., Aalhus, J.L., Shand, P., and Estevez M. (2015). Protein Oxidation in Processed Meat: Mechanisms and Potential

- Implications on Human Health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(2), 106–122.
- Stadtman, R.E., and Levine, L.R. (2003). Free radical-mediated oxidation of free amino acids and amino acid residues in proteins. *Amino Acids* 25(3), 207-218.
- Stadtman, E.R., and Oliver, C.N. (1991). Metal-catalyzed oxidation of proteins. Physiological consequences. *Journal of Biological Chemistry* 266(4), 2005-2008.
- Sun, W., Zhou, F., Zhao, M., Yang, B., and Cui, C. (2011). Physicochemical changes of myofibrillar proteins during processing of Cantonese sausage in relation to their aggregation behaviour and in vitro digestibility. *Food Chem*, 129(2), 472-478, doi: 10.1016/j.foodchem.2011.04.101.
- Warthesen, J.J., and Meuhlenkamp, M.R. (1997). Food chemistry for engineers, in *Handbook of Food Engineering Practice*. New York, USA: CRC Press, 668-669, (1997).
- Wójciak, K.M., and Dolatowski, Z.J. (2012). Oxidative stability of fermented meat products. *Acta Sci Pol Technol Aliment*, 11(2), 99- 109.
- Wojdylo, A., Oszmianski, J., and Czemerys, R. (2007). Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs”. *Food Chemistry*, 105(3), 940-949.
- Wrona, M., Nerín, C., Alfonso, M. J., and Caballero, M.Á. (2017). Antioxidant packaging with encapsulated green tea for fresh minced meat. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41, 307-313.
- Yeşilbağ, D. (2009). Kanatlı Beslenmesinde Doğal ve Sentetik Antioksidanların Kullanımı”. *Uludağ Üviversitesi, Veteriner ve Tıp Dergisi*. 28(2), 55-59.
- Yıldız Turp, G., Kalyoncu, S., ve Yücel Şengün, İ. (2018). Köfte üretiminde kullanılan bitkisel katkıların üründe oksidasyon gelişimi, mikrobiyolojik ve duyuşal özellikler ile heterosiklik amin (HCA) oluşumu üzerine etkileri. *YYÜ TAR BİL DERG*, 28(4), 507-517. doi: 10.29133/yyutbd.465506
- Zakrys-Waliwander, P.I., O’sullivan, M.G., O’neill, E.E., and Kerry, J.P. (2012). The effects of high oxygen modified atmosphere packaging on protein oxidation of bovine *M. longissimus dorsi* muscle during chilled storage. *Food Chem*, 131(2), 527-532, doi: 10.1016/j.foodchem.2011.09.017.
- Zhang, L., Lin, Y.H., Leng, X.J., Huang, M., and Zhou, G.H. (2013). Effect of sage (*Salvia officinalis*) on the oxidative stability of Chinese-style sausage during refrigerated storage. *Meat Science*, 95(2), 145-50.
- Zhang, S., Zhang, C., Qiao, Y., Xing, L., Kang, D., Khan, I.A., Huang, M., and Zhou, G. (2017). Effect of Flavourzyme on proteolysis, antioxidant activity

and sensory qualities of Cantonese bacon. Food Chem, 237, 779-785, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.06.026.

Zungur Bastioğlu, A., Serdaroğlu, M., and Nacak, B. (2016). Et ve et ürünlerinde protein oksidasyonu. Journal Of Food And Health Science, 2149-0473 2(4), 171-183. doi: 10.3153/JFHS16018

Bölüm 24

Proton Değişim Membranlı (PEM) Yakıt Hücrelerinde Bipolar Plakaların Malzeme Seçimi

Yasin AKIN¹, Hüseyin KAHRAMAN²,
İbrahim ÖZSERT³

¹ Arş. Gör.; Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü.
yasinakin@subu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-3201-379X

² Dr. Öğr. Üyesi; Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü.
huseyink@subu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-3322-9904

³ Prof. Dr.; Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü.
ozsert@subu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-9816-4868

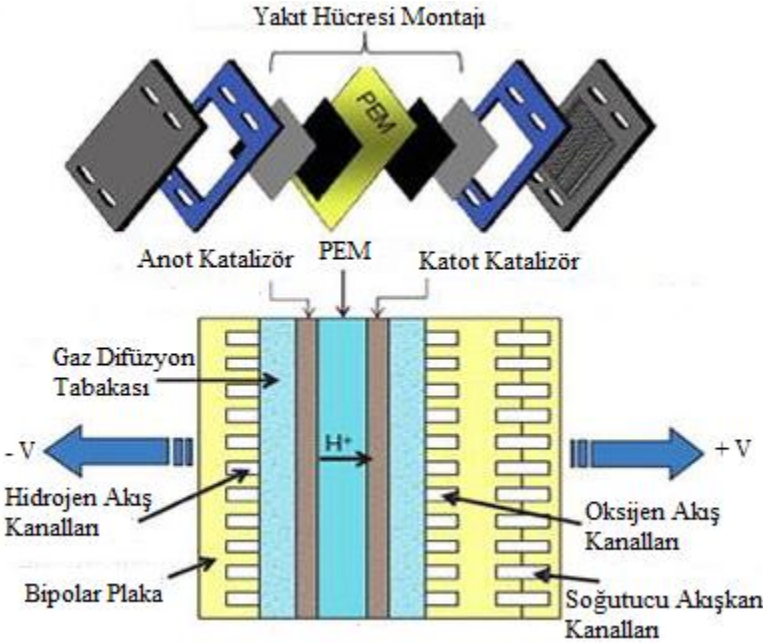
ÖZET

Proton Değişim Membranlı (PEM) yakıt hücrelerinin performansını belirleyen kritik bir faktör olan bipolar plakaların, malzeme seçimi son derece önemlidir. Malzeme seçiminin doğru yapılması, yakıt hücresinin maliyeti, performansı, verimliliği ve dayanıklılığı gibi parametreler için önemli bir rol oynamaktadır. Bu seçim hem metal bazlı hem de polimer bazlı malzemelerin kullanılabilceği bir kararı içermektedir. Bu nedenle, yakıt hücrelerinin başarılı bir şekilde çalışabilmesi için malzeme seçimi özenle yapılmalıdır. Bu kitap bölümünde PEM yakıt hücrelerinde kullanılan bipolar plaka malzemeleri karşılaştırılmalı olarak anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yakıt Hücresi, Bipolar Plaka, Malzeme Seçimi, Kompozit Malzeme, Hücre Performansı

GİRİŞ

Proton Değişim Membranlı yakıt hücresi, polimer membran (elektrolit) ve membran yüzeylerini her iki tarafına yerleştirilen elektrotlardan meydana gelir (Şekil 1). Hidrojen, yakıt hücresinin anot tarafından gönderilirken anot plakadan geçerek elektron (e^-) ve protonlarına (H^+) ayrışmaktadır. Elektron geçişine izin vermeyen elektrotlar, protonların katot tarafına geçişine izin vermektedir. Elektronlar ise bir dış devre yarımıyla katoda geçmektedir. Dış devre ile elektron iletimi sayesinde elektrik akımı üretilmektedir. Katoda gelen elektron ve protonlar ve katotdaki oksijen ile reaksiyona girerek su oluşturmaktadırlar.



Şekil 1: PEM Yakıt Hücresi şematik gösterimi (Y. Wang vd., 2020)

Proton Değişim Membranlı yakıt hücreleri (PEMFC'ler), yüksek güç yoğunluğu ve hızlı başlatma özellikleri nedeniyle en umut verici yakıt hücresi türlerinden biridir. Bu özellikleriyle PEMFC'ler, performanslarında kritik bir rol oynayan Bipolar plakalar (BP) gibi birçok bileşeni içerirler (Kahraman ve Cesur, 2023). Toplama plakası olarak da adlandırılan bipolar plakalar, PEM yakıt hücresinin en önemli unsurlarından biridir. Bipolar plakalar, büyük ölçekli yakıt hücresi yığınındaki hacmin %80' ini ve genel maliyetin %45' ini aşmaktadır (Tsuchiya ve Kobayashi, 2004).

Proton Değişim Membranlı (PEM) yakıt hücrelerindeki bipolar plakalar (BP), hücreler arasında elektronlar için akım yolu sağlar, reaktan gazları dağıtır ve

bloke eder, atık ısıyı uzaklaştırır ve yığın yapısal bütünlüğünü sağlamaktadır. Yakıt hücresi yığınının düşük maliyetini korurken yukarıda belirtilen işlevleri sağlamak için önemli bir bileşendir (X. Li ve Sabir, 2005).

Bipolar plakaların, yığın içerisindeki hücreleri ayırma, hücreler arasındaki elektriksel iletkenliği, reaktan gazların geçirgenliği ve dağıtımının sağlanması, ısı ve su yönetimi gibi özellikleri, yakıt hücrelerinin performansına büyük ölçüde etki etmektedir. Ayrıca yakıt hücresinin performansını artırmak için uygun ve verimli yeni tür bipolar plaka malzemelerinin geliştirilmesi;

- düşük malzeme/üretim maliyeti,
- yüksek elektrik iletkenliği,
- düşük yüzey direnci,
- daha az yoğunluk,
- düşük termal genleşme katsayısı,
- kolay üretim süreci,
- daha yüksek kimyasal dayanım ve
- yüksek hidrofobisite

Gibi gereksinimlerin geliştirilmesine bağlıdır (Hermann vd., 2005; Mehta ve Cooper, 2003).

Tablo 1.' de DOE (Amerikan Enerji Enstitüsü)' nin ticarileşmesi için bir bipolar plakanın sağlaması gereken 2020 ve 2025 hedeflerinin minimum değerleri verilmiştir.

Tablo 1: Bipolar Plakaların Performans Hedefleri, DOE

Özellik	Birim	2025 Hedef	2020 Hedef
Elektriksel iletkenlik	S/cm	>100	100
Yüzey direnci	Ωcm^2	<10	<10
H ₂ gaz geçirgenliği	$\text{cm}^3\text{sec}^{-1}\text{cm}^{-2}$	2×10^{-6}	1.3×10^{-14}
Isıl iletkenlik	W/mK	-	10
Anot/Katot korozyon direnci	μAcm^{-2}	<1	<1
Ömür	Saat	8000	5000
Ağırlık	Kg / kW	0.18	0.4
Maliyet	\$ kW ⁻¹	2	3
Eğilme Mukavemeti	MPa	>40	25

Kaynak: (Song vd., 2020)

Bipolar plakalar için malzeme seçimi, karmaşık ve çok yönlü özellikler nedeniyle performans, maliyetler ve dayanıklılık arasındaki dengeyi dikkatle değerlendirmeyi gerektirir ve Amerikan Enerji Enstitüsü'nün hedeflerini karşılamayı amaçlar. Bipolar plaka malzemeleri genellikle;

- Grafit bazlı,

- Metal bazlı ve
- Kompozit bazlı

Bipolar plakalar olmak üzere üç ana sınıfa ayrılır (Stein ve Ein-Eli, 2020). Bipolar plakaların ayrıntılı sınıflandırılması Şekil 2’ de verilmiştir.

Gözeneksiz Grafit

Grafit, bipolar palaka uygulamalarında olarak ilk kullanılan malzeme çeşidiydi. Üstün kimyasal stabilite sergiler; yüksek elektrik iletkenliğine sahiptir ve ayrıca diğer malzemelere göre oldukça düşük yoğunluktadır (Hermann vd., 2005; Song vd., 2020; Stein ve Ein-Eli, 2020).

Üstün özelliklerinin yanı sıra yeterli mukavemete ulaşabilmek için grafit plakalar kalın olması gerekir; bu da yakıt hücresinin ağırlığını artırmaktadır (Huang vd., 2005). Benzer şekilde grafit hammaddesinin ucuz olmasına karşın grafit plakanın işleme maaliyeti kırılabilirliğinden dolayı çok yükseklere çıkmaktadır (Besmann vd., 2000; Kang vd., 2014; Kuan vd., 2004; Yan vd., 2006).

Metalik Malzemeler

Metaller, üstün mekanik, termal ve elektrik iletkenliği, farklı malzeme çeşitliliği ve ultra ince plakalar oluşturulabilmesi sebebiyle yakıt hücresi araştırmacılarının ilgisini bu yönde toplamayı başarmıştır (Oh vd., 2004; Qiu vd., 2013; Shimpalee vd., 2016; W.-L. Wang vd., 2012). Bununla birlikte çevre şartlarından dolayı metalik malzemeler korozyona eğilimlidirler, membran içerisinde yavaş yavaş çözünebildikleri için çıkış voltajında düşüşe sebep olmaktadır (Ehteshami vd., 2016; Makkus vd., 2000; Wind vd., 2002).

Metallerin korozyon eğiliminden dolayı, araştırmacılar metal bipolar plakalar üzerine farklı kaplama teknikleri geliştirmişlerdir. Uygun kaplama malzemesi ve yöntemi ile bipolar plakaları korozyona karşı korumak ve yüzey temas direncini düşürmeyi amaçlamışlardır (Brady vd., 2010; Kahraman vd., 2016; Liu vd., 2022).

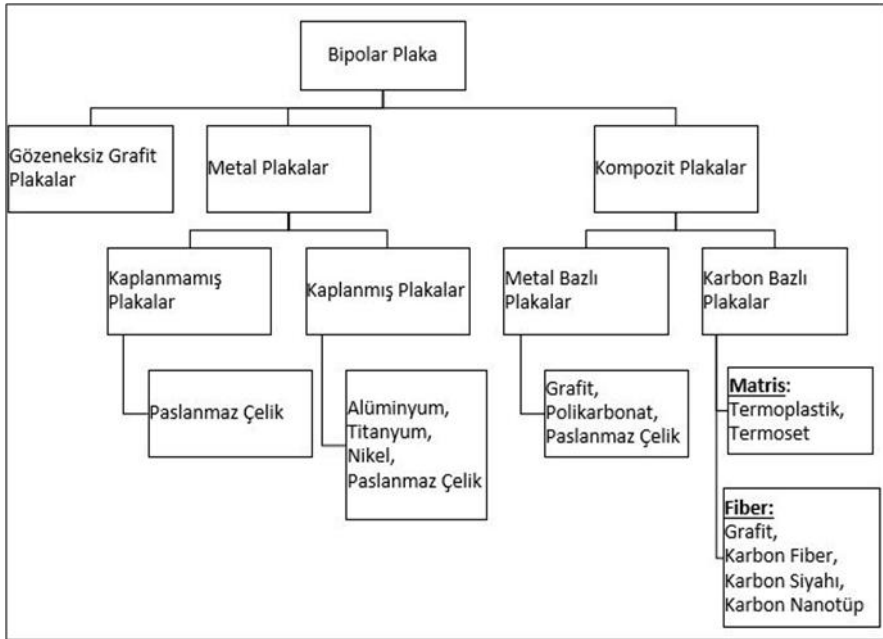
Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, grafit ve metal malzemelerin eksik yönlerini iyileştirmek amacıyla günümüzde bipolar plaka malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu plakalar genellikle karbon fiber, seramik veya polimer matrisli kompozit malzemelerin birleştirilmesiyle üretilir. Kompozit bipolar plakalar, yüksek dayanıklılıkları, hafif yapıları, düşük termal katsayıları ve kimyasal dirençleri nedeniyle ilgi çekicidir. Grafit veya metal bipolar plakalara göre daha hafif ve yüksek sıcaklıklarda bile kullanılan polimere göre dayanıklılıklarını korurlar, korozyona karşı direnç gösterirler. Ancak, kompozit bipolar plakaların

iletkenliği genellikle grafit veya metal bipolar plakalara göre daha düşüktür. İletkenliklerini artırmak için çeşitli katkı maddeleri eklenerek iletkenlikleri artırılmaya çalışılmaktadır. Yakın yıllarda kompozit bipolar plakalar için takviye malzemesi olarak kullanılan malzemeler, sonraki metinlerde açıklanacaktır.

Bipolar plakanın polimer malzemeleri olarak hem termoset (Simaafrookhteh vd., 2020) hem de termoplastik (H. E. Lee vd., 2017) reçineler kullanılmaktadır. Ancak seri üretimde maliyet ve üretkenlik açısından termosetler, uzun kalıplama sürelerinden dolayı termoplastik malzemelere göre daha az tercih edilmektedirler (Boyacı San ve Tekin, 2013).

Takviye malzemeli kompozit bipolar plakaların kullanımına ilişkin kapsamlı çalışmalar mevcuttur. Aşağıda yaygın olarak kullanılan takviye malzemelerine ilişkin çalışmalar verilmiştir.



Şekil 2: Bipolar plaka malzemelerinin genel sınıflandırılması

Grafit

Grafit, bipolar plakaların oluşturulmasında bir takviye malzemesi olarak sıkça kullanılmaktadır. Bu kompozit plakalar, yüksek dayanıklılık, hafiflik, düşük termal iletkenlik ve kimyasal direnç gibi avantajlar sunmaktadırlar. Son yapılan araştırmalar, polimerlerin (hem termoplastikler hem de termosetler) ve grafitin bir araya geldiği kompozit bipolar plakaların iyi performans özellikleri sergileyebileceğini göstermektedir.

Kang ve diğ. (2014) farklı boyutlarda (10-40 µm) ve şekillerde (yapraklar ve yumrular) hem doğal hem de sentetik grafitleri fenolik reçine ile birleştirerek kompozit plakalar oluşturmuşlardır. Grafit/fenolik plakalarda takviye malzemesi boyutunun artmasının elektriksel iletkenliği artırdığını ancak eğilme dayanımını azalttığını bulmuşlardır. Ayrıca, plaka şeklindeki değişikliklerin elektriksel ve eğilme dayanımını önemli ölçüde etkilemediğini belirtmişlerdir.

W. Li ve diğ. (2016) farklı çözücülerde (alkol-R1 ve su-R2) çözünmüş farklı oranlarda (15-25%) fenolik reçine kullanarak genişletilmiş grafit takviyeli bipolar plakalar üzerine araştırma yapmışlardır. R1 tipi plakalarda reçine içeriğinin artması, elektriksel iletkenlikte yaklaşık %15'lik bir artışa sebep olmuşken, eğilme dayanımında çok fazla değişikliğe sebep olmamıştır. %25 reçine içeren R1 tipi plakaların eğilme dayanımı R2 tipi plakaların yaklaşık %8 daha düşükken, elektriksel iletkenlik yaklaşık %20 daha yüksektir. Benzer şekilde, R1 tipi plakalar için reçine içeriği arttıkça korozyon akım yoğunluğu kademeli olarak azaldığı ve en iyi akım yoğunluğunun $5.4 \mu\text{Acm}^{-2}$ olduğu bildirildi. Bu değer, %25 reçine içeriği olan R2 tipi plakaların değerinden yaklaşık %35 daha yüksektir.

Lee ve diğ. (2018) çalışmasında, bipolar plakalar için fluorlu etilen-propilen kompozitleri üretmek için farklı oranlarda grafit katkıları kullanılmıştır. Grafit içeriğinin artması, elektriksel iletkenliğin artmasına neden olmuştur. Ancak, eğilme dayanımının yaklaşık %50 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, %80 grafit içeren plakada parçacık boyutunun artması ile elektriksel iletkenlik, yaklaşık 520 S/cm civarındaki en yüksek değerine ulaşmıştır. Ancak, eğilme dayanımı 10 MPa civarındaki en düşük değerine ulaşmıştır.

Bu sonuçlar, grafit katkılarının bipolar plakalar için elektriksel iletkenliği artırmada etkili olduğunu göstermektedir. Ancak, aynı zamanda grafitin eğilme dayanımı gibi diğer mekanik özellikler üzerinde önemli bir etkisi olduğu açıktır. Bundan dolayı grafit içeriği ve parçacık boyutu gibi faktörler dikkatli bir şekilde düşünülmelidir.

Karbon Fiber

Karbon fiberler, yüksek dayanıklılıkları ve düşük yoğunlukları nedeniyle yüksek performanslı uygulamalarda tercih edilir. Ayrıca, diğer malzemelere göre karşılaştırıldığında karbon fiberlerin yüksek sertlik, düşük termal genişleme katsayısı ve yüksek kimyasal direnç gibi avantajları bulunmaktadır. Bununla birlikte, yüksek maliyet ve işleme zorlukları gibi bazı dezavantajları da vardır. Karbon fiber, bipolar plakaların üretimi sırasında polimer matrislere katılan takviye malzemesi olarak araştırmacılardan büyük ilgi görmüştür.

Ghosh ve diğ. (2014) polimer matris olarak novolak fenolik reçine içine dâhil edilen farklı uzunluklarda (1-5mm) karbon fiber kullanarak bir sıkıştırma kalıplama tekniği geliştirmişlerdir. Optimum karbon fiber uzunluğunu belirlemek amacıyla, üretilen plakaların elektriksel iletkenliğini ve eğilme dayanımını simüle edilmiş bir yakıt hücresi ortamında (1M H₂SO₄) değerlendirmeyi amaçladılar. %60 doğal grafit ve %5 karbon fiber kullanılarak üretilen plakalar, 1 mm karbon fiber takviyesi ile yaklaşık 300 S/cm elektriksel iletkenlik ve 65 MPa eğilme dayanımı değerlerine ulaşmıştır. 5 mm karbon fiber takviyesi olan plakalarda ise elektriksel iletkenlik ve eğilme dayanımı sırasıyla %15 ve %30 oranında azalmıştır.

Lee ve diğ. (2009) Epoksi reçine içerisine grafit ve hacimce farklı oranlarda (% 1-9) karbon fiber ekleyerek plakaların elektriksel ve eğilme dayanımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Karbon fiber oranının % 7' ye kadar artmasıyla elektriksel iletkenlik artarken, daha da artırmasıyla azalmaktadır. Karbon fiberlerin yüksek en-boy oranlarından dolayı takviye malzemesi görevi görerek plakaların eğilme dayanımlarını artırmaktadır. En yüksek eğilme dayanımı %7 karbon fiber içeriğine sahip plakada gözlemlenmiştir.

Sonuçlar, karbon fiber katkılarının bipolar plakalar için elektriksel iletkenliği ve eğilme dayanımını artırmada etkili olduğunu göstermektedir. Ancak belli takviye oranları aşıldığında özelliklerde ciddi düşmeler meydana gelebileceğini yapılan çalışmalar açıkça göstermektedir.

Karbon Nanotüp

Karbon nanotüpler (CNT'ler), karbon atomlarını grafit benzeri bir düzenlemeyle düzenleyerek oluşturulan silindirik bir yapıya sahip nanomalzemelerdir. Bu yapı, birbirine bağlı halkaların veya duvarların dizilmesiyle oluşur ve ilginç fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir. Karbon nanotüpler, yapılarına bağlı olarak tek cidarlı (SWCNT'ler) veya çok cidarlı (MWCNT'ler) olarak sınıflandırılabilir. Karbon nanotüplerin çapları nanometre ölçeğindedir, ancak uzunlukları mikrometre cinsinden ifade edilebilir. Bu özellikler, olağanüstü mekanik dayanıklılıklarına katkıda bulunur. Ayrıca, yüksek elektriksel ve termal iletkenlikleri, düşük yoğunlukları ve büyük yüzey alanları, onları birçok uygulama için cazip kılmaktadır.

Güçlü mekanik özelliklere sahip olmaları ve hafif olmaları nedeniyle karbon nanotüpler aynı zamanda takviye malzemesi olarak da kullanılabilir. Bunları polimer matrislere dâhil ederek, polimer nanokompozitlerin mekanik özelliklerinde önemli iyileştirmeler elde edilebilir. Sonuç olarak, karbon nanotüpler özellikle ileri teknolojilerde polimer tabanlı malzemeleri ve uygulamalarını geliştirmekte kritik bir rol oynamaktadır.

Darıcık ve diğ. (2023) tarafından yapılan çalışma, karbon nanotüp (CNT) katkı maddelerinin karbon fiber/epoksi levhalara entegre edilmesinin olumlu etkisini göstermede önemli bir çalışmadır. İşte bu araştırmanın ana bulguları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Elektriksel İletkenlik: CNT'lerin kompozit malzemeye %0,25 ile %1,25 aralığında eklenmesiyle, karbon fiber/epoksi levhaların elektriksel iletkenliği önemli ölçüde artırmıştır. CNT içeriği en yüksek %1,25 olduğunda, elektriksel iletkenlik 120 S/cm'ye ulaşmıştır. Bu, CNT'lerin entegrasyonunun kompozit malzemenin elektriksel iletkenliğini artırdığını göstermekle birlikte elektriksel iletkenlik gerektiren uygulamalarda faydalı olabileceği düşünülmektedir.

Eğilme Mukavemeti: Çalışma aynı zamanda CNT'ler eklenerek kompozit levhaların eğilme mukavemetinin %42'ye kadar artırılabilirliğini ortaya koymuştur. Bu, CNT'lerin etkili takviye maddeleri olarak işlev gördüğünü ve karbon fiber/epoksi levhaların mekanik özelliklerini artırdığını göstermiştir. İyileştirilmiş eğilme mukavemeti, malzemelerin eğilme veya bükme yüklerine dayanması gereken yapısal uygulamalarda özellikle değerlidir.

Metal Malzemelere Benzer Performans: Araştırmanın en ilginç bulgusu, %1,25 CNT katkılı karbon fiber/epoksi levhanın benzer koşullar altında bir alüminyum alaşımı (AA 3105) ile benzer performans sergilemesidir. Bu, CNT'lerle oluşturulan kompozit malzemenin, alüminyum alaşımları gibi performanslarını sürdürerek veya aşarak sunabileceği hafif bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

Herrera ve diğ. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışma, proton değişim membranlı yakıt hücresi (PEMFC) için kullanılan bipolar plakaların mekanik özellikleri ve korozyon direnci üzerinde karbon nanotüp etkisini incelemiştir. Nanokompozitler, karbon nanotüpleri (MWCNT) ve polipropilen (PP) matrisiyle farklı yük oranlarında eritme karıştırma yöntemiyle üretilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, PP matrisine %20'ye kadar MWCNT eklenmesi mikrosertlik, elastik modül, çekme ve eğilme mukavemetini sırasıyla %71, %47, %56 ve %30 artırmıştır. MWCNT'lerin eklenmesi, işlenebilirliği korurken, toplam dolgu içeriği %30'a kadar olan nanokompozitlerin daha yüksek dayanıklılık sağlamasına olanak tanımaktadır.

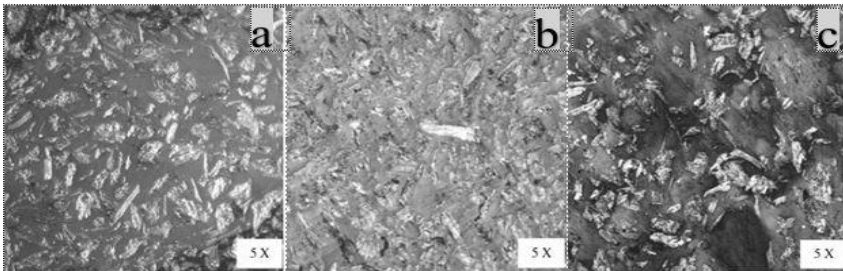
Özetle, karbon nanotüp ile yapılan çalışmalar, karbon nanotüp katkılarının polimer esaslı kompozitlerin elektriksel ve mekanik özelliklerini artırma potansiyelini vurgulayarak, belirli uygulamalarda metaller gibi geleneksel malzemelerle rekabet edebileceklerini göstermektedir. Bu araştırmalar, çeşitli mühendislik ve endüstriyel uygulamalar için iyileştirilmiş özelliklere sahip ileri malzemelerin büyüyen alanına katkı sağlamaktadır.

Karbon Siyahı

Karbon siyahı (CB), mikroskobik boyuttaki karbon partiküllerinden oluşan bir karbon malzemesidir. Karbon siyahı, genellikle endüstriyel uygulamalarda kullanılan ve özellikle lastik, mürekkep, plastik, boya ve bazı polimer ürünlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan bir dolgu maddesi olarak bilinir. Karbon siyahı, yüksek yüzey alanına sahip, karbon atomlarından oluşan bir yapıya sahiptir. Bu özelliği, malzemelerin fiziksel özelliklerini geliştirmek için kullanılır. Özellikle kompozit malzemelerde dolgu maddesi olarak, mekanik dayanıklılığını artırabilir, aşınma direncini artırabilir ve elektriksel özelliklerini iyileştirebilir. Karbon siyahı, endüstriyel ve ticari birçok uygulamada önemli bir rol oynamaktadır.

Kakati ve diğ. (2007) iki tip polimer matris içerisine eklenen hacimce farklı oranlardaki karbon siyahının etkisini incelemek için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Novalak ve rezol tipi fenolik reçineler kullanılan çalışmalarda, hacimce %30' lara kadar karbon siyahı eklentisi yapılmıştır. Elektriksel iletkenlikleri incelenen plakaların %25 oranına kadar artarken daha sonra düşme eğilimine girmiştir. Bu düşüşü araştırmacılar artan karbon siyahı oranının plaka içi gözenekliliğin artırmasıyla açıklamaktadırlar. Elektriksel iletkenliğe benzer şekilde eğilme dayanımında %25 oranlarına kadar artarken daha sonra azalma eğilimindedir.

Suherman ve diğ. (2014) epoksi reçine içerisine karbon siyahı ve grafit takviyeleri ile oluşturulan bipolar plakaların elektriksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Karbon siyahının eklenmesi ile epoksi/grafit bipolar plakanın elektriksel iletkenliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Ağırlıkça %25 oranında karbon siyahı eklenmesi ile elektriksel iletkenlik değeri 120 S/cm değeri civarlarına yaklaşmaktadır ki buda DOE hedeflerinin üstünde bir değer olarak kabul edilmektedir. Benzer şekilde Şekil 3' te görüleceği üzere karbon siyahı oranının fazla artırılması plaka içerisinde gözenekliliğin artmasına ve özelliklerde azalmalar meydana getirdiğini belirtmişlerdir.



Şekil 3: Ağırlıkça (a) 20/20/60, (b) 20/25/55 ve (c) 20/30/50 bileşim oranlarında EP/CB/G kompozit bipolar plakaların optik mikroskop görüntüleri (Suherman vd., 2014).

Yukarıda açıklanan çalışmalara ve literatürdeki diğer benzer çalışmalara bakıldığında karbon siyahının dolgu maddesi olarak kullanılmasında belirli oranlara kadar iyileştirme yapabildiğini ve DOE verilerine uyum sağladığını söylemek mümkündür.

Grafen

Grafen, tek karbon atomlarının düzenli altıgen bir yapıda olduğu iki boyutlu bir karbon alotropudur. Grafen, karbon nanotüpleri ve fulerenler için temel bir yapı taşı olarak hizmet eder. Atomik ölçekte son derece ince ve düz bir yapıya sahiptir. Son zamanlarda, grafen, olağanüstü elektriksel iletkenliği (6000 S cm⁻¹) aşan, yüksek termal iletkenliği (5000 W mK⁻¹) değerinde olağanüstü mekanik dayanıklılığı, korozyon direnci ve düşük gaz geçirgenliği nedeniyle endüstri ve akademiden büyük ilgi görmektedir. Ayrıca, grafen ve grafit, minimal termal dirence sahip benzer bir atomik yapıyı paylaşırlar (Iwan vd., 2015; Kakati vd., 2013).

Plengudomkit ve diğ. (2016) grafen dolgulu yüksek iletken polibenzoksazin polimer kompozit tabanlı bipolar plakaları incelediler. PBA örneklerindeki grafenin maksimum içerik oranında, 8.03 W/mK bir termal iletkenlik değerine, elektriksel iletkenlik 357 S/cm değerine ve eğilme dayanımı 42 MPa değerine ulaşıldığı görülmektedir.

Phuangngamphan ve diğ. (2019) yüksek grafit ve grafen dolgulu polibenzoksazin kompozit plakalar geliştirmişlerdir. Ağırlıkça %83' e kadar grafit dolgusu ve grafenle oluşturdukları plakaların termal ve elektriksel özelliklerini incelemişlerdir. %75,5 grafit ve %7,5 grafen dolgusu, plakaların termal ve elektriksel iletkenliklerini sırasıyla 14,5 W/mK ve 323 S/cm' ye kadar yükseltmiştir.

Yapılan çalışmalar grafen dolgusunda çoğu polimer kompozit plakaların ABD Enerji Bakanlığı' nın yakıt hücreleri uygulamalarına yönelik gerekliliklerini sağladığını göstermektedir. Grafen yeni bir malzeme türü olduğu için çokça yapılmış ve kanıtlanmış çalışmalar literatürde yerini almamıştır.

SONUÇ

Bipolar plaka malzemesinin seçimi, Proton Değişim Membranlı yakıt hücrelerinin (PEMFC'ler) performansı ve dayanıklılığı üzerinde büyük bir etkiye sahip kritik bir karardır. Bipolar plaka uygulamaları için grafit, metal ve kompozit malzemeler ve bunların birleşimleri dâhil olmak üzere çeşitli malzemeleri literatürde yer aldığı şekilde bu kitap bölümünde, verilmeye çalışılmıştır.

Bipolar plaka malzemelerini seçerken birçok parametreyi aynı anda göz önüne alınması önemlidir. Metaller ve dolgulu kompozitler gibi malzemeler arasındaki

seçim, elektriksel iletkenlik, termal yönetim ve maliyet-uygulanabilirlik gibi belirli uygulama gereksinimlerine dayalı olarak yapılmalıdır. Ayrıca, parçacık boyutu, en-boy oranı ve termal iletkenlik gibi faktörler dikkatlice değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak, bipolar plaka malzemesinin seçimi, geliştirilmiş performans ihtiyacını maliyet düşünceleriyle dengeleyen, bilinçli bir karar olmalıdır. Yakıt hücresi teknolojisi alanı geliştikçe, süregelen araştırma ve geliştirme çalışmaları, PEMFC performansını ve dayanıklılığını artırmak için bipolar plaka malzemelerini optimize etmek için daha fazla bilgi sunacaktır.

REFERANSLAR

- Besmann, T. M., Klett, J. W., Henry Jr., J. J., & Lara-Curzio, E. (2000). Carbon/carbon composite bipolar plate for proton exchange membrane fuel cells. *Journal of the Electrochemical Society*, 147(11), 4083-4086.
- Boyacı San, F. G., & Tekin, G. (2013). A review of thermoplastic composites for bipolar plate applications. *International Journal of Energy Research*, 37(4), 283-309.
- Brady, M. P., Wang, H., Turner, J. A., Meyer, H. M., More, K. L., Tortorelli, P. F., & McCarthy, B. D. (2010). Pre-oxidized and nitrided stainless steel alloy foil for proton exchange membrane fuel cell bipolar plates: Part 1. Corrosion, interfacial contact resistance, and surface structure. *Journal of Power Sources*, 195(17), 5610-5618.
- Darıcık, F., Topcu, A., Aydın, K., & Çelik, S. (2023). Carbon nanotube (CNT) modified carbon fiber/epoxy composite plates for the PEM fuel cell bipolar plate application. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(3), 1090-1106.
- Ehteshami, S. M. M., Taheri, A., & Chan, S. H. (2016). A review on ions induced contamination of polymer electrolyte membrane fuel cells, poisoning mechanisms and mitigation approaches. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 34, 1-8.
- Ghosh, A., Goswami, P., Mahanta, P., & Verma, A. (2014). Effect of carbon fiber length and graphene on carbon-polymer composite bipolar plate for PEMFC. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 18, 3427-3436.
- Hermann, A., Chaudhuri, T., & Spagnol, P. (2005). Bipolar plates for PEM fuel cells: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 30(12), 1297-1302.
- Iwan, A., Malinowski, M., & Pasciak, G. (2015). Polymer fuel cell components modified by graphene: Electrodes, electrolytes and bipolar plates. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 954-967.
- Kahraman, H., Cesur, İ., (2023). The Critical Role of GDL Properties in Enhancing Proton Exchange Membrane Fuel Cell Performance. Editör: YİĞİT Enes, ÖZKAYA Umut. Pioneer and Contemporary Studies in Engineering (pp 46 -57) Izmir: Duvar Publishing.
- Kahraman, H., Cevik, I., Dündar, F., & Ficici, F. (2016). The Corrosion Resistance Behaviors of Metallic Bipolar Plates for PEMFC Coated with Physical Vapor Deposition (PVD): An Experimental Study. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(5), 1961-1968.

- Kakati, B. K., & Deka, D. (2007). Differences in physico-mechanical behaviors of resol(e) and novolac type phenolic resin based composite bipolar plate for proton exchange membrane (PEM) fuel cell. *Electrochimica Acta*, 52(25), 7330-7336.
- Kakati, B. K., Ghosh, A., & Verma, A. (2013). Efficient composite bipolar plate reinforced with carbon fiber and graphene for proton exchange membrane fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(22), 9362-9369.
- Kang, K., Park, S., & Ju, H. (2014). Effects of type of graphite conductive filler on the performance of a composite bipolar plate for fuel cells. *Solid State Ionics*, 262, 332-336.
- Kuan, H.-C., Ma, C.-C. M., Chen, K. H., & Chen, S.-M. (2004). Preparation, electrical, mechanical and thermal properties of composite bipolar plate for a fuel cell. *Journal of Power Sources*, 134(1), 7-17.
- Lee, H. E., Chung, Y. S., & Kim, S. S. (2017). Feasibility study on carbon-felt-reinforced thermoplastic composite materials for PEMFC bipolar plates. *Composite Structures*, 180, 378-385.
- Lee, J. H., Jang, Y. K., Hong, C. E., Kim, N. H., Li, P., & Lee, H. K. (2009). Effect of carbon fillers on properties of polymer composite bipolar plates of fuel cells. *Journal of Power Sources*, 193(2), 523-529.
- Lee, M. H., Kim, H. Y., Oh, S. M., Kim, B. C., Bang, D., Han, J. T., & Woo, J. S. (2018). Structural optimization of graphite for high-performance fluorinated ethylene-propylene composites as bipolar plates. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(48), 21918-21927.
- Li, W., Jing, S., Wang, S., Wang, C., & Xie, X. (2016). Experimental investigation of expanded graphite/phenolic resin composite bipolar plate. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(36), 16240-16246.
- Li, X., & Sabir, I. (2005). Review of bipolar plates in PEM fuel cells: Flow-field designs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 30(4), 359-371.
- Liu, R., Jia, Q., Zhang, B., Lai, Z., & Chen, L. (2022). Protective coatings for metal bipolar plates of fuel cells: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(54), 22915-22937.
- Makkus, R. C., Janssen, A. H. H., de Bruijn, F. A., & Mallant, R. K. A. M. (2000). Use of stainless steel for cost competitive bipolar plates in the SPFC. *Journal of Power Sources*, 86(1), 274-282.
- Mehta, V., & Cooper, J. S. (2003). Review and analysis of PEM fuel cell design and manufacturing. *Journal of Power Sources*, 114(1), 32-53.
- Oh, M. H., Yoon, Y. S., & Park, S. G. (2004). The electrical and physical properties of alternative material bipolar plate for PEM fuel cell system. *Electrochimica Acta*, 50(2), 777-780.

- Phuangngamphan, M., Okhawilai, M., Hiziroglu, S., & Rimdusit, S. (2019). Development of highly conductive graphite-/graphene-filled polybenzoxazine composites for bipolar plates in fuel cells. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(11), 47183.
- Plengudomkit, R., Okhawilai, M., & Rimdusit, S. (2016). Highly filled graphene-benzoxazine composites as bipolar plates in fuel cell applications. *Polymer Composites*, 37(6), 1715-1727.
- Qiu, D., Yi, P., Peng, L., & Lai, X. (2013). Study on shape error effect of metallic bipolar plate on the GDL contact pressure distribution in proton exchange membrane fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(16), 6762-6772.
- Ramírez-Herrera, C. A., Tellez-Cruz, M. M., Pérez-González, J., Solorza-Feria, O., Flores-Vela, A., & Cabañas-Moreno, J. G. (2021). Enhanced mechanical properties and corrosion behavior of polypropylene/multi-walled carbon nanotubes/carbon nanofibers nanocomposites for application in bipolar plates of proton exchange membrane fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(51), 26110-26125.
- Shimpalee, S., Lilavivat, V., McCrabb, H., Khunatorn, Y., Lee, H.-K., Lee, W.-K., & Weidner, J. W. (2016). Investigation of bipolar plate materials for proton exchange membrane fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(31), 13688-13696.
- Simaafrookhteh, S., Khorshidian, M., & Momenifar, M. (2020). Fabrication of multi-filler thermoset-based composite bipolar plates for PEMFCs applications: Molding defects and properties characterizations. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(27), 14119-14132.
- Song, Y., Zhang, C., Ling, C.-Y., Han, M., Yong, R.-Y., Sun, D., & Chen, J. (2020). Review on current research of materials, fabrication and application for bipolar plate in proton exchange membrane fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(54), 29832-29847.
- Stein, T., & Ein-Eli, Y. (2020). Challenges and Perspectives of Metal-Based Proton Exchange Membrane's Bipolar Plates: Exploring Durability and Longevity. *Energy Technology*, 8(6), 2000007.
- Suherman, H., Sahari, J., Sulong, A. B., Astuti, S., & Septe, E. (2014). Properties of Epoxy/Carbon Black/Graphite Composites for Bipolar Plate in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell. *Advanced Materials Research*, 911, 8-12.
- Tsuchiya, H., & Kobayashi, O. (2004). Mass production cost of PEM fuel cell by learning curve. *International Journal of Hydrogen Energy*, 29(10), 985-990.

- Wang, W.-L., He, S.-M., & Lan, C.-H. (2012). Protective graphite coating on metallic bipolar plates for PEMFC applications. *Electrochimica Acta*, 62, 30-35.
- Wang, Y., Ruiz Diaz, D. F., Chen, K. S., Wang, Z., & Adroher, X. C. (2020). Materials, technological status, and fundamentals of PEM fuel cells – A review. *Materials Today*, 32, 178-203.
- Wind, J., Späh, R., Kaiser, W., & Böhm, G. (2002). Metallic bipolar plates for PEM fuel cells. *Journal of Power Sources*, 105(2), 256-260.
- Yan, X., Hou, M., Zhang, H., Jing, F., Ming, P., & Yi, B. (2006). Performance of PEMFC stack using expanded graphite bipolar plates. *Journal of Power Sources*, 160(1), 252-257.

Bölüm 25

**Betonarme Taşıyıcı Yapı Elemanlarının
Yönetmeliklere Göre İncelenmesi**

Özlem ÇALIŞKAN¹, Ayça AKBAŞ²

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

ÖZET

Türkiye, yoğun deprem aktivitesi ile karakterize edilen bir bölgede bulunması nedeniyle, yapısal mühendislik standartlarını ve deprem yönetmeliklerini sürekli olarak güncellemiştir. Bu çalışmada Türkiye'de geçen yüz yıl boyunca uygulanan deprem yönetmeliklerinin evrimi ve bu yönetmeliklerin taşıyıcı elemanlara ilişkin koşullarındaki değişimler araştırılmıştır. Son 100 yılı kapsayan bir dönem içinde değişen yönetmeliklerin, betonarme taşıyıcı elemanlara yönelik etkileri incelenmiştir. 20. yüzyılın başlarından günümüze kadar olan dönemi kapsayacak şekilde, Türkiye'de kullanılan deprem yönetmeliklerinin tarihçesi ile ilgili bilgiler verilerek, betonarme yapıların yaygınlaştığı dönemi kapsayan 1975, 1998, 2007 deprem yönetmelikleri ve 2018 yılında yürürlüğe giren ve halen yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ışığında betonarme taşıyıcı elemanlara dair belirlenen sınır koşulları üzerinde durulmuştur. Ayrıca, deprem yönetmeliklerinin taşıyıcı elemanlar için getirdiği özel gereksinimlerin nasıl değiştiği, yapısal taşıyıcı elemanların geçmiş deprem yönetmeliklerinden günümüze doğru değişen tasarım kriterleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kolon, Kiriş, Perde, Döşeme, Temel, Deprem yönetmelikleri

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 dalgaların yeryüzünü sarsması olayını ifade etmektedir (İşçi, 2008:959). Tüm dünyada farklı büyüklükte ve etkide depremler yaşanmış ve yaşanan bu depremler büyük ölçüde can ve mal kayıplarına yol açmıştır. Özellikle meydana gelen büyük depremlerin ardından yaşanan can ve mal kayıpları nedeniyle, inşaat mühendisliği yapılarının tasarımında depreme karşı dayanıklı yapı tasarımı ilkesinin önemini artırmıştır. Bu bağlamda, özellikle deprem riski taşıyan bölgelerdeki ülkeler, yapıların depreme dayanıklı şekilde tasarlanması ve inşa edilmesi için bölgelere özel deprem yönetmelikleri oluşturmuştur. Bu yönetmelikler, bölgedeki deprem aktiviteleri ve bilimsel çalışmaların sonuçlarına göre düzenli aralıklarla güncellenmektedir.

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). Türkiye'de yaşanan büyük depremlerin ardından, deprem riskine dair farkındalığı artırmak ve gelecekteki felaketleri minimize etmek amacıyla, 1940'lı yıllardan günümüze kadar belirli aralıklarla güncellenen deprem yönetmelikleri yayımlanmıştır (Cansız, 2022:58). Bu yönetmeliklerin revizyonlarında, büyük depremlerin ardından ortaya çıkan hasarlar ve yapısal zayıflıklar göz önünde bulundurularak malzeme özellikleri, taşıyıcı elemanların kesit koşulları, zemin sınıfları, betonarme yapıların tasarım ilkeleri gibi konular detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Şekil 1'de Türkiye'nin tarih boyunca kullandığı deprem yönetmelikleri gösterilmektedir. Ülkemizde şu an hala yürürlükte olan son deprem yönetmeliği, 2018 yılında yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'dir.



Şekil 1: Türkiye'de tarih boyunca kullanılan deprem yönetmelikleri

Deprem yönetmelikleri, deprem bölgelerinde inşa edilecek yapıların tasarım ve uygulama süreçlerini düzenleyen yasal mevzuatlardır. Bu yönetmelikler, yapıların taşıyıcı eleman sistemleri ve en kesit koşullarının seçiminden; malzeme cinsi, donatı çapı ve sayısının belirlenmesine, zemin özelliklerinin uygun hale getirilmesine kadar bir dizi teknik detayı içermektedir. Yapıların projelendirilmeleri ve uygulamaları aşamalarında, deprem yönetmeliklerinin belirlediği sınırlamalar etkin bir biçimde uygulanmaktadır. Bu yönetmelikler, mühendislik yapılarının tasarım ve inşa safhalarında dikkate alınan güvenilirlik, ekonomiklik ve estetik ilkelerinin arasında güvenilirlik ilkesini en ön planda gözeterek, bilimsel çalışmaların sonuçlarına ve yaşanan depremlerin yol açtığı yapısal hasarlara dayanılarak hazırlanmaktadır (Cansız, 2022:59). Yapıların proje ve uygulama aşamalarında en üst düzeyde önem taşıyan güvenilirlik ilkesi, yapıların taşıyıcı elemanlarının tasarımı ve uygulamasıyla doğrudan ilişkili olmaktadır.

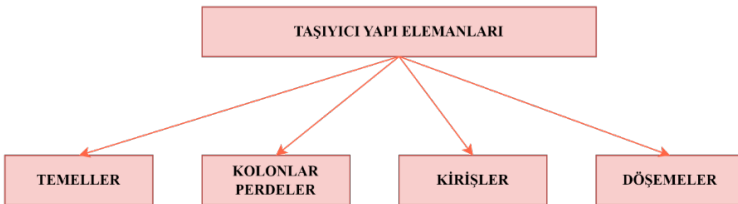
Yapıların taşıyıcı elemanları, yapıların ayakta durmasını ve uzun ömürlü bir şekilde hizmet vermesini sağlayan kritik yapı taşlarıdır. Bu elemanların deprem yönetmeliklerine uygun olarak tasarlanması ve uygulanması; yapıların dayanıklılığı, kalıcılığı ve deprem etkisine karşı dinamik bir tepki sergileme yeteneklerini belirlemektedir. Bu sayede deprem etkisi nedeniyle meydana gelen can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Türkiye'de kullanılan deprem yönetmelikleri incelendiğinde, büyük depremlerin ardından taşıyıcı elemanlara yönelik birçok kuralın gözden geçirildiği ve güncellendiği

görülmektedir. Bu süreç, yapıların depreme karşı dayanıklılığını artırmak ve gelecekte olası depremlere daha iyi hazırlıklı olmak amacıyla gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada yapıların taşıyıcı elemanları ve bu elemanlara dair tasarım ve uygulama kuralları; malzeme özellikleri, kesit ölçüleri, donatı koşulları vb. teknik yönlerden yönetmelikler ışığında incelenmiştir. Ulaşılabilen en eski deprem yönetmeliğinden başlanarak günümüzde kullanılan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) içerisinde yer alan minimum ve maksimum koşullar değerlendirilmiştir.

TAŞIYICI ELEMANLARIN YÖNETMELİKLERE GÖRE İNCELENMESİ

Tüm canlıların beslenme, barınma veya diğer doğal gereksinimleri gibi temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla bir takım yapım teknikleri kullanılarak oluşturulan; yeryüzü, yeraltı ve sualtı tesislerine yapı denmektedir. Yapılar, kullanım amaçlarına hizmet ederken planlanan servis ömürleri süresince bazı temel özellikleri karşılamak durumundadır. Bu temel özellikler; yapıların amaçlara uygun olarak tasarlanması, yapı gereçlerinin, bölgede kullanılan yönetmelik ve standartlara uygun yapım teknikleri ve özelliklere uygun kullanılması, yapıların başta kendi yükleri olmak üzere üzerlerine etkiyecek rüzgâr, kar, yağmur ve deprem yükü gibi yüklere karşı dayanıklı olması ve doğru dinamik davranışı göstermesi, yapıların yangın veya diğer etkilere dayanabilecek sağlamlıkta olmasıdır. Yapıların öncelikle güvenli sonrasında ise ekonomik olması şeklinde sıralanmaktadır (Özdemir, 2003:1). Yapıların bu temel özellikleri barındırabilmeleri için de taşıyıcı eleman sistemlerinin yapılara uygun ve yönetmeliklerin belirlediği sınırlar çerçevesinde olması gerekmektedir. Taşıyıcı sistemler, taşıyıcı yapı elemanlarının kombinasyonlarından meydana gelmektedir. Yapıların taşıyıcı yapı elemanları Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2: Yapıların taşıyıcı yapı elemanları

Malzeme Sınıfları

Betonarme yapıların daha yaygın hale gelmesiyle birlikte, beton ve çelik malzemelerin dayanım özellikleri de deprem yönetmeliklerinde yer almaya başlamış ve bu malzemelerin özellikleri zaman içinde düzenlemelere tabi tutulmuştur. Yaşanan büyük depremlerin etkisi ve bu depremlerin neden olduğu olumsuz sonuçlar, deprem yönetmeliklerinin gözden geçirilmesine yol açmış ve bu malzemelerin dayanım koşullarının alt ve üst sınırları da değiştirilmiştir. Örneğin 1975 yılında yürürlüğe giren “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”te 1.derece deprem bölgesi kabul edilen bölgelerde beton kalitesinin alt sınırının B 225 olacağı ve donatı çeliği kalitesinin üst sınırının ise BÇ III olması gerektiği belirtilmiştir (ABYYHY, 1975:11). 1998 yılında yürürlüğe giren “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”te ise betonarme hatılarda kullanılacak beton kalitesi en az BS14, ahşap ve yığma kargir yapılarda yapılacak betonarme sürekli temellerin beton kalitesinin en az BS16, deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda kullanılacak beton kalitesinin en az BS16 olması gerektiği ancak 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde BS20’den daha düşük dayanımlı beton kullanılmayacağı ve donatı çeliği kalitesinin de üst sınırının da S420 olacağı belirtilmiştir (ABYYHY, 1998:33). 2007 yılında yürürlüğe giren “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”te ise deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda C20’den daha düşük dayanımlı beton ve donatı çeliğinde ise etriye-çirozlar haricinde nervürsüz donatı çeliği kullanılmayacağı ve donatı çeliği kalitesinin de üst sınırının S420 olacağı vurgulanmıştır (DBYBHY, 2007:31). 2018 yılında yürürlüğe giren “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”nde ise tüm betonarme yapıların imalatında kullanılacak beton sınıfının C25’ten daha düşük olamayacağı ve deprem etkisini karşılayacak betonarme elemanlarda TS EN 206’da verilen beton sınıflarından C25-C80 sınıfları arasındaki beton sınıflarının kullanılacağı belirtilmiştir. Donatı çeliği olarak ise TS 708’de verilen B420C ve B500C nervürlü donatı çelikleri dışında donatı kullanılmayacağı vurgulanmıştır. TS 708’de verilen koşullara ek olarak çekme dayanımı/akma dayanımı oranının 1.35’ten küçük olması ve eş değer karbon oranının %0.55’i geçmemesi koşulu ile S420 beton çeliği de kullanılabilmesi ek maddesi verilmiştir (TBDY, 2018:112,113). Şekil 3’te sırası ile 1975, 1998, 2007 ve 2018 yılları yönetmeliklerinde yer alan malzeme koşulları verilmiştir.

MALZEME KALİTESİ SINIRLARININ YÖNETMELİKLERE GÖRE DEĞİŞİMİ		
YÖNETMELİKLER / MALZEMELER	BETON SINIFI	ÇELİK SINIFI
1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	C18 (Deprem bölgelerinde)	St 420
1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	C16 (Tüm betonarme yapılarda) C20 (1. ve 2. derece deprem bölgelerinde inşa edilecek betonarme yapılarda)	S420
2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik	C20 (Tüm betonarme yapılarda)	S420 (Etriye ve çirozlar hariç nervürlü donatı kullanılmaması kısıtlaması)
2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği	C25 (Tüm betonarme yapılarda) C25-C80 (Deprem etkisini taşıyacak yapılarda TS EN- 206)	B420C - B500C (TS 708'e ek olarak çekme dayanımı/akma dayanımı < 1.35 ve eş değer karbon oranı ≤ %0.55 koşulu sağlandığında S420)

Şekil 3: Betonarme yapıların inşasında kullanılacak malzeme kalitesi sınırlarının yönetmeliklere göre değişimi

Temeller

Temel, düşey doğrultudaki kolon ve perdelerin üzerlerine gelen yükleri, oturduğu zemine güvenli bir şekilde aktarılmasını sağlayan yapı elemanlarına denilmektedir. Betonarme yapılarda yapı üzerine etkiyen yüklerin sistematik bir yaklaşımla döşemelerden kirişlere, kirişlerden kolonlara, kolonlardan temellere ve temellerden zemine aktarılması gerekmektedir. Bu bağlamda betonarme yapıların temelleri yapı üzerindeki tüm yüklerin emniyetli bir şekilde zemine aktarılmasını sağlayan en önemli taşıyıcı yapı elemanıdır. Bir yapının temelini sağlam olması ve temel-zemin etkileşiminin uyumlu olması yapıların servis ömürleri boyunca güvenle hizmet verebilmeleri için önem arz etmektedir. Yaşanan depremler ve bu depremlerde görülen yapı hasarlarında temel-zemin etkileşimi kaynaklı hasarlar ele alınarak temellere ilişkin kurallar da yönetmelikler değişikçe değişim göstermiştir. Zemin üzerine doğru temel seçimi yapılması, yapının durabilitesini (kalıcılık) önemli ölçüde etkilemektedir. Bundan dolayı uygun temel seçimi ve yönetmeliğin öngördüğü şartların yerine getirilmesi önemlidir.

1975 yılında yürürlüğe giren yönetmelikte temellere ilişkin kurallara bakıldığında, yapı temellerinin oturma ve farklı oturmalarından ötürü üst yapıda hasara neden olmayacak şekilde projelendirilmesi gerektiği ve bu aşamada temellerin oturacağı zemin özelliklerinin zemin mekaniği prensipleri göz önüne alınarak projelendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Temel bağlantılarının

bağlantı kirişlerine dair en kesit veya donatı sınırlamaları belirtilmiştir (ABYYHY, 1975:11). 1998 yönetmeliğinde; temellerin daha geniş bir perspektifte ele alındığı görülmektedir. Bu yönetmelikte temellerin zemin özellikleri ve zemin gruplarına ek olarak zemin sınıflarına da değinilmiştir. Zeminler; Z1, Z2, Z3 ve Z4 olmak üzere yerel zemin sınıflarına ve A, B, C, D şeklinde zemin gruplarına ayrılmışlardır. Yerel zemin koşullarının belirlenmesine dair bu değerler tablolar ile sunulmuştur. 1. ve 2. derece deprem bölgesinde olduğu kabul edilen ve yüksekliği 60 m'den yüksek olan binalar için C ve D zemin gruplarında zemin etütleri yapılacağı belirtilmiştir. D grubu zeminlerde su seviyesinin zemin yüzeyinden itibaren 10 metre içinde olduğu durumlarda sıvılaşma potansiyelinin irdeleneceği vurgulanmış ve bu potansiyelin belirlenmesinde yapılacak zemin deneyleri ve sonuçlarının belgelenmesi zorunluluğu getirilmiştir. Yine bir önceki yönetmelikteki genel kurallarda olduğu gibi bu yönetmelikte de bina temellerinin deprem etkisi altında göstereceği oturma davranışı ve farklı oturmalarından ötürü üst yapıda hasara neden olmayacak biçimde projelendirilmesi ve bu projelendirilme aşamasında ise zemin mekaniği ve temel inşaatı ilkelerine bağlı kalınacağı ilkesi görülmektedir. 1998 yönetmeliğinde ayrıca temel bağ kirişlerine ait değerler, en kesit boyutları ve minimum boyuna donatı değerleri gibi minimum koşullara da yer verilmiştir (ABYYHY, 1998:83-89). Temeller konusu ele alındığında, 2007 yönetmeliğinin 1998 yılı yönetmeliği ile neredeyse aynı özellikleri taşıdığı görülmektedir (DBYBHY, 2007:101-106). 2018 yılında yürürlüğe giren ve halen kullanılmakta olan yönetmelikte ise temeller konusu detaylandırılmış ve zemin-temel etkileşimleri de dahil olmak üzere birçok yönden ele alınmıştır. Temeller ile ilgili genel detayların verilmesinin ardından tüm temel türleri için ayrı ayrı bölümlerde detaylı bilgiler verilmiştir. Temel-zemin arasındaki sürtünme kat sayıları ve farklı temel türleri için dayanım kat sayıları eklenmiştir. Deprem tasarım ve bina yükseklik sınıfları ile yerel zemin sınıfları gruplandırılmış ve yöntemlere ayrılmıştır. Toprak basıncı hesapları detaylı olarak gösterilmiştir. Zemin araştırmaları için genel kurallara yer verilmiş ve zemin araştırma sondajlarından bahsedilmiştir. Ayrıca zemin etüdü bağlamında yapılacak arazi deneyleri de detaylı olarak anlatılmış ve laboratuvar deneylerine yer verilmiştir. Zemin sıvılaşma değerlendirmeleri yapılmış ve daha önceki yönetmeliklerde görülen Z1, Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıfları yerine ZA, ZB, ZC, ZD ve ZF gibi zemin sınıfları getirilmiştir. Sıvılaşma direnci ve depremde oluşan kayma gerilmesinin hesap yöntemleri eklenmiştir. Temel tasarımında taşıma gücü ilkeleri detaylandırılmış ve tasarım etkileri üzerinde durulmuştur (TBDY, 2018:346-364).

Kolonlar

Sağlıklı bir taşıyıcı sistemde; döşemeler üzerlerine etkiyen yükleri önce kirişlere, kirişler de gelen bu yükleri kolon ismi verilen düşey yapı elemanlarına iletirler. Döşeme ve kirişlerden kendilerine aktarılan yükleri emniyet ile taşıyarak temellere aktaran bu yapı elemanlarının projelendirilme ve tasarım kriterleri de yaşanan büyük depremlerin ardından meydana gelen yapı hasarları nedeniyle revize edilen yönetmelikler ile değişime uğramıştır. 1975 yılında yürürlüğe giren yönetmelikte, taşıyıcı kolonların tasarım ve inşaatıyla ilgili önemli kriterler bulunmaktadır. Bu kurallar, kolonların her katta sürekliliğini sağlamak, kesit boyutlarını belirlemek ve boyuna donatı kullanımını düzenlemek gibi temel prensipleri içermektedir. Kare veya dikdörtgen kesitli kolonlar için minimum boyutlar ve oranlar belirlenmiş ve dairesel kolonlar için de çap sınırlamaları getirilmiştir. Ayrıca, kolonların farklı bölgelerindeki etriye koşulları, enine donatı gereksinimleri ve kesme kuvveti hesaplamaları gibi detaylar da yine bu yönetmelikte yer almaktadır (ABYYHY, 1975:11-18). 1998 yönetmeliğinde; kolonların tasarım ve inşaatında önemli değişiklikler ve güncellemeler yapılmıştır. Bu güncellemeler arasında kare veya dikdörtgen kesitli kolonlar için minimum boyut ve alan gereklilikleri bulunurken, dairesel kolonlar için çap sınırlamaları getirilmiştir. Boyuna donatı kullanımı da detaylı olarak ele alınmış ve özellikle bindirmeli eklerin boyutları ve kuralları belirlenmiştir. Yanyana boyuna donatılarda ise manşonlu veya kaynaklı ekler arasındaki minimum uzaklık sınırlandırılmıştır. Enine donatı kuralları da tüm kolon bölgeleri için ayrı ayrı belirtilmiş, özel deprem etriyelerinin kullanılması vurgulanmıştır. Bu yönetmelikte, kolonların kirişlere göre daha güçlü olması gereken koşullar açıkça tanımlanmış ve güçlü kolon zayıf kiriş yaklaşımına vurgu yapılmıştır. Ayrıca, kesme güvenliği ve kısa kolonlara yönelik kurallar da bu yönetmelikte detaylıca ele alınmıştır (ABYYHY, 1998:35-43). Kolonların tasarım ve projelendirilme kuralları ele alındığında, 2007 yönetmeliği ile 1998 yönetmeliğinde bulunan koşulların hemen hemen aynı olduğu görülmektedir (DBYBHY, 2007:33-40). 2018 yönetmeliğinde, kolonların tasarım ve projelendirmesinde bazı önemli güncellemelere işaret edilmiştir. Bu güncellemeler arasında kare veya dikdörtgen kesitli kolonlar için minimum boyut ve alan gerekliliklerinin artırılması dairesel kolonlar için ise çap sınırları yükseltilmiş olması göze çarpmaktadır. Kolonların brüt kesit alanlarının hesaplanmasında kullanılan formüller geliştirilmiş ve zemin etkileri dikkate alınarak daha detaylı bir hesaplama yöntemi benimsenmiştir. Boyuna donatı kullanımında da ek kısıtlamalar getirilmiş, kolonlarda daha büyük çaplı donatılar ve dairesel kolonlarda ise daha fazla donatı kullanımı zorunlu hale getirilmiştir (TBDY, 2018:114-121). Şekil 4'te TS 500, 1998, 2007 ve 2018 yönetmeliklerinde kolonlar için sınır değerler verilmiştir.

Kolonlarda Yönetmeliklere Göre Sınır Değerler				
Sınır Değerler / Yönetmelikler	TS 500 : 2000	1998 - ABYYHY	2007 - DBYBHY	2018 - TBDY
Min kenar (b veya h)	25 cm	25 cm	25 cm	30 cm
Min A_c	$N_d / (0.9 f_{cd})$	$N_d / (0.5 f_{ck})$, 750 cm ²	$N_d / (0.5 f_{ck})$, 750 cm ²	$N_d / (0.4 f_{ck})$
Min L_c	-	Uzun kenar, $L_n/6$, 50 cm	Uzun kenar, $L_n/6$, 50 cm	Uzun kenarın 1.5 katı, $L_n/6$, 50 cm
Min L_a	-	l_b	$1.5 l_b$	$1.5 l_b$
Min ρ	0.01	0.01	0.01	0.01
Max ρ	0.04	0.04	0.04	0.04
Max a_t	30 cm	$25\phi_w$	$25\phi_w$	$25\phi_w$
Min a_0	4 cm, $1.5\phi_{max}$	-	-	-
Max s_0	$12\phi_{min}$, 20 cm	Kısa kenar / 2, 20 cm	Kısa kenar / 2, 20 cm	Kısa kenar / 2, 20 cm
Max s_a	-	-	-	Etriye: 15 cm, kısa kenar/3
Max s_c	-	10 cm, kısa kenar /3(etriye) D / 5, 8 cm (fret)	10 cm, kısa kenar /3(etriye) D / 5, 8 cm (fret)	Etriye : 15cm, kısa kenar/3, $6\phi_{max}$ Fret: D/5, 8 cm
Max s_i	-	15 cm	15 cm	15 cm
Max s_j	-	10 cm	10 cm	10 cm
Min s_0, s_a, s_c, s_i, s_j	-	5 cm	5 cm	5 cm
Min ϕ	14 mm	14 mm	14 mm	14 mm
Min ϕ_w	$\phi_{max} / 3$	8 mm	8 mm	8 mm
Min ρ_w	Bak : madde 8.1.5	Bak :S. 35, madde 7.3.4	Bak : Madde 3.3.4.1	-
Max N_d	$0.9 f_{cd} A_c$	$0.5 f_{ck} A_c$	$0.5 f_{ck} A_c$	$0.4 f_{ck} A_c$
Min M_{xd}	$(15 \text{ mm} + 0.03 h) N_d$	-	-	-
Min M_{yd}	$(15 \text{ mm} + 0.03 h) N_d$	-	-	-
Max $V_{xd}, \text{ Min } V_{yd}$	$0.22 f_{cd} A_c$	$0.22 f_{cd} A_c$	$0.22 f_{cd} A_c$	$0.85 \sqrt{f_{ck}} A_c$
Min etriye kancası	-	$6\phi_w$, 8cm (nervürlü etriye) $10\phi_w$, 10 cm (düz etriye)	$6\phi_w$, 8cm (nervürlü etriye) $10\phi_w$, 10 cm (düz etriye)	$6\phi_w$, 8cm (nervürlü etriye) $10\phi_w$, 10 cm (düz etriye)
Min boyuna donatı sayısı	$6\phi 14$, 4 $\phi 16$ (dikdörtgen) $6\phi 14$ (daire)	$6\phi 14$, 4 $\phi 16$ (dikdörtgen) $6\phi 14$ (daire)	$6\phi 14$, 4 $\phi 16$ (dikdörtgen) $6\phi 14$ (daire)	$6\phi 14$, 4 $\phi 16$ (dikdörtgen) $6\phi 14$ (daire)
Min net beton örtüsü	2 cm(içte), 2.5 cm (dışta)	-	-	-
Min beton sınıfı	C16/20	C16/20	C20/25	C25/30
Max beton sınıfı	C50/60	-	-	C80/95
Çelik sınıfı (boyuna)	Her tür çelik	S220 (min) S420a, S420b (max)	S420a, S420b (max)	B420C, B500C
Çelik sınıfı (sargı)	Her tür çelik	S220 (min) S420a, S420b (max)	S420a, S420b (max)	B420C, B500C

A_c = Beton Kesit Alanı, l_b = Kenetlenme Boyu, ϕ_{min} = Boyuna Donatının En Küçük Çapı, ϕ_{max} = Boyuna Donatının En Büyük Çapı, N_d = Tasarım Normal Kuvveti, M_{xd} , M_{yd} = Tasarım Moment Kuvvetleri, V_{xd} , V_{yd} = Tasarım Kesme Kuvvetleri

Şekil 4: Yönetmeliklere göre kolonlarda sınır değerlerin karşılaştırılması

Perdeler

Kolonlara göre daha büyük kesitlere sahip olan ancak kolonlarla hemen hemen aynı görevi üstlenen taşıyıcı elemanlar perde olarak adlandırılmaktadır. Bu taşıyıcı elemanlar yönetmelikler kapsamında değerlendirildiğinde, 1975 yönetmeliğinde, yapı elemanlarının yatay yükler altında projelendirilmesinde perde elemanların kullanılacağı belirtilmiştir. Perdeler elemanların tanımı, uzun kenarlarının kısa kenarlarına oranı 5 katı olan elemanlar olarak belirtilmiştir. Perde duvar kalınlıkları, kat yüksekliğinin 1/20'si veya 15 cm'den az olamayacağı şeklinde koşullandırılmıştır. Güvenilirlik durumlarında ise minimum perde kalınlığının 10 m yükseklik için

alınacağı ve her 6 m ek yükseklik için 2 cm artırılacağı ifade edilmiştir. Minimum donatı oranları, brüt kesit alanının yatay donatı için 0.0025 ve düşey donatı için 0.0020'den az olamayacağı yönünde belirtilmiştir. Donatı aralığının, perde kalınlığının 1.5 katından ve 30 cm'den fazla olamayacağı vurgulanmıştır. Perde kesitlerinin her iki ucunda donatı aralığının yarıya indirilebileceği, erde duvarlarında boşluklar bırakılacağı durumlarda, bu boşluklara en az iki adet Ø16'lık donatı yerleştirileceği belirtilmiştir. Perdelerin birleşim noktalarında, donatı bağlantıları ve detaylandırılmalarının, birlikte çalışmayı sağlamak için yapılacağı vurgulanmıştır (ABYYHY, 1975:19-20). 1998 yönetmeliğinde; perde elemanların tanımı değişmiş, uzun kenarlarının kısa kenarlarına oranı en az 7 olan düşey taşıyıcı elemanlar olarak kabul edilmiştir. Perde duvar kalınlıkları, kat yüksekliğinin 1/15'i veya 200 mm'den az olamayacağı şeklinde koşullandırılmıştır. Özel koşullar altında perde kalınlıklarının kat yüksekliğinin 1/12'sinden az olamayacağı belirtilmiştir. Deprem yüklerini sadece perdelerin taşıyacağı binalara dair ise perde duvarı kalınlığının binadaki en yüksek katın kat yüksekliğinin 1/20'sinden ve 150 mm'den az olamayacağı sınırlamaları getirilmiştir. Bodrum katlarında sıkı betonarme perdeler bulunan binalarda, zemin katta, diğer binalarda ise temel üst kotunda perdeler uygulanacağı belirtilmiştir. Perde uç bölgeleri ve kritik perde yüksekliği belirlenirken, belirli oranlara sahip perdelerin her iki uç bölgelerinde perde uç bölgeleri oluşturulacağı belirtilmiştir. Gövde donatısı koşullarına bakıldığında, perde uç bölgeleri arasında en az donatı alanı sınırlaması getirilmiştir. Gövde donatıları düzenlenirken, yatay gövde donatıları, köşedeki donatılara kancalı bağlantılar ile bağlanacağı belirtilmiştir. Perde uç bölgelerindeki düşey donatı miktarı, minimum olarak 4 adet Ø14 donatı olarak belirlenmiştir (ABYYHY, 1998:49-55). 2007 yılında yürürlüğe giren yönetmelikte anlatılan perde koşulları 1998 yönetmeliği ile hemen hemen aynı koşulları içermektedir (DBYBHY, 2007:45-51). 2018 yönetmeliğinde, perde elemanların tanımı, uzun kenar oranının kısa kenar oranının en az 6 olduğu düşey taşıyıcı elemanlar olarak değiştirilmiştir. Bu yönetmelik, perde elemanların kesit tasarımında kullanılacak yüklerin ayrıntılarını belirlemiştir. Perdelerin net kesit alanının hesaplanmasında, N_{dm} değeri ile hareketli yük azaltma kat sayılarının dikkate alınacağı ve G, Q düşey yükleri ile E deprem etkisinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğünün $A_c \geq N_{dm} / (0.35 f_{ck})$ koşulunu karşılaması gerektiği, ayrıca U, L ve T tipi perdelerin gövde bölgesindeki perde kalınlığının kat yüksekliğinin 1/16'sından ve 250 mm'den küçük olamayacağı belirtilmiştir. Dikdörtgen perdelerin veya perde kollarının kalınlığı, plandaki yanal boyutunun 1/30'undan küçük olamayacağı vurgulanmıştır. Ancak, perde kolunun her iki ucundan yanal doğrultuda bir perde ile bağlandığı durumlarda, perde kolu kalınlığının kat yüksekliğinin 1/20'sinden ve 250 mm'den küçük olamayacağı sınırlamaları da getirilmiştir (TBDY, 2018:126-133). Şekil 5'te perdelerin yönetmeliklere göre sınır değerleri verilmiştir.

Perdelerde Yönetmeliklere Göre Sınır Değerler				
Sınır Değerler / Yönetmelikler	TS 500 : 2000	1998 - ABYYHY	2007 - DBYBHY	2018 - TBDY
Min kenar (b veya h)	25 cm	25 cm	25 cm	30 cm
Min A_c	$N_d / (0.9 f_{cd})$	$N_d / (0.5 f_{ck}) , 750 \text{ cm}^2$	$N_d / (0.5 f_{ck}) , 750 \text{ cm}^2$	$N_d / (0.4 f_{ck})$
Max uzun kenar / kısa kenar	-	7	7	6
Min L_c	-	Uzun kenar, $L_n/6 , 50 \text{ cm}$	Uzun kenar, $L_n/6 , 50 \text{ cm}$	Uzun kenarın 1.5 katı, $L_n/6 , 50 \text{ cm}$
Min L_a	-	l_b	$1.5 l_b$	$1.5 l_b$
Min ρ	0.01	0.01	0.01	0.01
Max ρ	0.04	0.04	0.04	0.04
Max a_t	30 cm	$25\phi_w$	$25\phi_w$	$25\phi_w$
Min a_0	4 cm, $1.5\phi_{\max}$	-	-	-
Max s_0	$12\phi_{\min} , 20 \text{ cm}$	Kısa kenar / 2 , 20 cm	Kısa kenar / 2 , 20 cm	Kısa kenar / 2 , 20 cm
Max s_a	-	-	-	Etriye: 15 cm, kısa kenar/3
Max s_c	-	10 cm, kısa kenar /3(etriye) D / 5, 8 cm (fret)	10 cm, kısa kenar /3(etriye) D / 5, 8 cm (fret)	Etriye : 15cm, kısa kenar/3, $6\phi_{\max}$
Max s_i	-	15 cm	15 cm	15 cm
Max s_j	-	10 cm	10 cm	10 cm
Min $s_0 , s_a , s_c , s_i , s_j$	-	5 cm	5 cm	5 cm
Min ϕ	14 mm	14 mm	14 mm	14 mm
Max ϕ	-	-	-	-
Min ϕ_w	$\phi_{\max} / 3$	8 mm	8 mm	8 mm
Min ρ_w	Bak : madde 8.1.5	Bak :S. 35, madde 7.3.4	Bak : Madde 3.3.4.1	-
Max N_d	$0.9 f_{cd} A_c$	$0.5 f_{ck} A_c$	$0.5 f_{ck} A_c$	$0.4 f_{ck} A_c$
Min M_{xd}	$(15 \text{ mm} + 0.03 h) N_d$	-	-	-
Min M_{yd}	$(15 \text{ mm} + 0.03 b) N_d$	-	-	-
Max $V_{xd} , \text{ Min } V_{yd}$	$0.22 f_{cd} A_c$	$0.22 f_{cd} A_c$	$0.22 f_{cd} A_c$	$0.85 \sqrt{f_{ck}} A_c$
Min etriye kancası	-	$6\phi_w , 8 \text{ cm}$ (nervürlü etriye) $10\phi_w , 10 \text{ cm}$ (düz etriye)	$6\phi_w , 8 \text{ cm}$ (nervürlü etriye) $10\phi_w , 10 \text{ cm}$ (düz etriye)	$6\phi_w , 8 \text{ cm}$ (nervürlü etriye) $10\phi_w , 10 \text{ cm}$ (düz etriye)
Min boyuna donatı sayısı	$6\phi 14, 4\phi 16$	$6\phi 14, 4\phi 16$	$6\phi 14, 4\phi 16$	$6\phi 14, 4\phi 16$
Min net beton örtüsü	2 cm (içte), 2.5 cm (dışta)	-	-	-
Min beton sınıfı	C16/20	C16/20	C20/25	C25/30
Max beton sınıfı	C50/60	-	-	C80/95
Çelik sınıfı (boyuna)	Her tür çelik	S220 (min) S420a, S420b (max)	S420a, S420b (max)	B420C, B500C
Çelik sınıfı (sargı)	Her tür çelik	S220 (min) S420a, S420b (max)	S420a, S420b (max)	B420C, B500C

A_c = Beton Kesit Alanı, l_b = Kenetlenme Boyu, ϕ_{\min} = Boyuna Donatının En Küçük Çapı, ϕ_{\max} = Boyuna Donatının En Büyük Çapı, N_d = Tasarım Normal Kuvveti, M_{xd} , M_{yd} = Tasarım Moment Kuvvetleri, V_{xd} , V_{yd} = Tasarım Kesme Kuvvetleri

Şekil 5: Yönetmeliklere göre perdelerde sınır değerlerin karşılaştırılması

Kirişler

Döşemelerden gelen yükleri kolon ve perdelere aktaran taşıyıcı yapı elemanları kiriş olarak adlandırılmaktadır. 1975 yönetmeliğinde, kirişlere ilişkin kurallara göre, çerçeve kirişlerinin en az 20x30 cm kesit boyutuna sahip olması gerektiği ve kiriş genişliğinin, kiriş yüksekliğinin 1.5 katını geçemeyeceği belirtilmiştir. Bu şartları sağlamayan kesitler için kesin bir hesap yapılmadıkça rijitlik ve kesit hesaplarında göz önüne alınmaması gerektiği vurgulanmıştır. Kirişlerdeki boyuna donatı yüzdeleri için belirtilen tabloya göre, donatı adedi ile taşınabilecek maksimum moment kapasitesi arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu ilişki, kesite gelen hesap momentinin %33'ünden büyükse, minimum boyuna donatı koşullarına bağlı kalmak zorunda olunmayabileceğini belirtmektedir. Minimum boyuna donatı yüzdeleri BÇ I için 0.005, BÇ II için 0.004 ve BÇ III için 0.003 olarak sınırlanmıştır. Açıklıklarda, kirişlerin mümkünse tek donatılı olarak boyutlandırılması gerektiği, bazı durumlarda basınç donatısı kullanılabilirliği ve kullanılacak bu donatının yüzdesinin, 0.01'den ve çekme donatısının %50'sinden fazla olmaması gerektiği belirtilmiştir. Tek donatılı kiriş kesitlerinde, basınç yüzünde minimum 2 adet Ø12 mm çapında donatı bulundurulması gerektiği vurgulanmıştır. Kirişlerin mesnetlerindeki basınç donatılarının, çekme donatısı alanının 1/3'ünden veya komşu açıklık ortası donatı miktarının büyüğünün yarısından daha az olmaması gerektiği koşulu eklenmiştir. Ayrıca, kirişin her iki ucundaki mesnet donatısının en az 1/4'ü bütün kiriş boyunca sürekli olarak devam etmesi gerektiği belirtilmiştir. Mesnetlerdeki üst donatının ise en az 1/3'ü moment sıfır noktasından ankraj boyuna kadar uzatılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu uzunluğun ise kirişin serbest açıklığının 1/4'ünden az olamayacağı sınırlaması getirilmiştir (ABYYHY, 1975:21-22). 1998 yönetmeliğinde, kirişlerin tasarımına yönelik önemli değişiklikler olmuştur. Kirişlerin kesitlerinde genişlik boyutunun en az 25 cm olması gerektiği, gövde genişliğinin, kiriş yüksekliği ile kirişin bağlandığı kolonun genişliği toplamını aşmaması gerektiği, belirtilmiştir. Kiriş yüksekliğinin, döşeme kalınlığının 3 katından az veya 300 mm'den fazla olamayacağı ve serbest açıklığın 1/4'ünden büyük olamayacağı sınırlamaları getirilmiştir. Tasarım sürecinde, taşıyıcı elemanların tasarım eksenel basınç kuvvetini belirli bir sınıra göre ($N_d \leq 0.1A_c f_{ck}$) karşılamaları gerektiği belirtilmiştir. Bu sınıra uyulmazsa, bu elemanların kolon olarak tasarlanması gerekliliği vurgulanmıştır. Boyuna donatılar için, kiriş mesnetlerindeki üst çekme donatısının minimum oranı (ρ) değerinin, belirli bir formüle (f_{ctd} / f_{yd}) göre hesaplanması gerektiği, ayrıca boyuna donatı çapının en az 12 mm olacağı ve kirişin alt ve üst bölgelerinde sürekli olarak en az iki donatı çubuğu bulunması gerekliliği belirtilmiştir. Deprem bölgelerine bağlı olarak, kiriş mesnedindeki alt donatının, üst donatının en az yarısı kadar olması gerektiği ve

çekme donatısı oranlarının belirli sınırlar içinde olması gerektiği vurgulanmıştır. Enine donatılar için, kiriş mesnetlerinde belirli bir uzunlukta sarılma bölgesi tanımlanmıştır. Eğer etriye aralıkları belirli sınırların dışına çıkarsa, kiriş boyutlarının belirli sınırlamalara tabi olacağı ve minimum enine donatı gereksinimlerine uyulacağı belirtilmiştir. Kesme güvenliği ve birleşim bölgelerinin hesapları da bu yönetmelikte ayrıntılı olarak açıklanmıştır (ABYYHY, 1998:43-48). 2007 yılında yürürlüğe giren yönetmeliğe bakıldığında 1998 yılındaki koşulların hemen hemen aynı olarak devam ettiği görülmektedir (DBYBHY, 2007:40-45). 2018 yılında yürürlüğe giren yönetmelik, kiriş tasarımında çeşitli sınırlamalar ve detaylı gereksinimler getirmiştir. Kirişlerin en kesit boyutunun en az 250 mm olacağı ve gövde genişliği, kiriş yüksekliği ile kirişin bağlandığı kolonun veya perdenin kirişe dik genişliğinin toplamını aşmaması gerektiği belirtilmiştir. Kiriş yüksekliğinin, döşeme kalınlığının 3 katından az veya 300 mm'den fazla olamayacağı ve serbest açıklığın 1/4'ünden büyük olamayacağı şeklinde sınırlandırılmıştır. Kirişlerin tasarımında, tasarım aksenal basınç kuvveti belirli bir sınıra ($N_d \leq 0.10A_c f_{ck}$) göre kontrol edileceği belirtilmiştir. Boyuna donatılar için kullanılan denklem değişmiş ve $\rho \geq 0.8 f_{ctd}/f_{yd}$ olarak güncellenmiştir. Boyuna donatıların çapının en az 12 mm olacağı ve kirişin alt ve üst bölgelerinde sürekli olarak en az iki donatı çubuğu bulunması gerekliliği ve deprem tasarımı sınıflarına bağlı olarak kirişlerdeki çekme donatıları minimum oranının değişkenlik göstereceği belirtilmiştir. Enine donatılar için, kiriş mesnetlerinde sarılma bölgeleri tanımlanmış ve bu bölgelerde belirli çap ve aralık sınırlamalarına uyulması gerektiği vurgulanmıştır. Kesme güvenliği ve birleşim bölgelerinin hesapları da ayrıntılı olarak verilmiştir. Kolon-kiriş birleşim bölgeleri için kesme güvenliği hesapları da detaylandırılmıştır (TBDY, 2018: 121-126). Şekil 6'da kirişlerin yönetmeliklere göre sınır değerleri verilmiştir.

Kirişlerde Yönetmeliklere Göre Sınır Değerler				
Sınır Değerler / Yönetmelikler	TS 500 : 2000	1998 - ABYVHY	2007 - DBYBHY	2018 - TBDY
min b_w	20 cm	25 cm	25 cm	25 cm
max b_w	$b_k + h$	$b_k + h$	$b_k + h$	$b_k + h$
min h	30 cm, $3l_n/10$	30 cm, $3t$	30 cm, $3t$	30 cm, $3t$
max h	$l_n/2,5$ (sürekli kirişlerde) $l_n/1,5$ (basit kirişlerde)	$3,5 b_w \cdot l_n / 4$	$3,5 b_w \cdot l_n / 4$	$3,5 b_w \cdot l_n / 4$
min ρ	$0,8 f_{ctd} / f_{yd}$	-	-	-
max ρ	0,02	$0,85 \rho_b + 0,02$	0,02	0,02
min ρ_1	$0,8 f_{ctd} / f_{yd}$	f_{ctd} / f_{yd}	$0,8 f_{ctd} / f_{yd}$	$0,8 f_{ctd} / f_{yd}$
max ρ_1	0,02	$0,85 \rho_b + 0,02$	0,02	0,02
min ρ'	-	$\rho_1 / 4$	$\rho_1 / 4$	$\rho_1 / 4$
min ρ_1	-	$0,5 \rho_1 + f_{ctd} / f_{yd}$	$0,5 \rho_1 + 0,8 f_{ctd} / f_{yd}$	$0,5 \rho_1 + 0,8 f_{ctd} / f_{yd}$
max ρ_1	-	$0,85 \rho_b + 0,02$	0,02	0,02
max $(\rho - \rho')$	$0,85 \rho_b$	-	$0,85 \rho_b$	-
max $(\rho_1 - \rho'_1)$	$0,85 \rho_b$	$0,85 \rho_b$	$0,85 \rho_b$	$0,85 \rho_b$
min L_c	2h	2h	2h	2h
max s	0,5 h	0,5 h	0,5 h	0,5 h
min s	-	-	-	-
max s'	$h/4 + 15$ cm	$h/4 + 15$ cm, $8\phi_{\min}$	$h/4 + 15$ cm, $8\phi_{\min}$	$h/4 + 15$ cm, $8\phi_{\min}$
max e	-	-	-	35
min ϕ	12 mm	12 mm	12 mm	12 mm
max ϕ	-	-	-	-
min ϕ_w	8 mm	8 mm	8 mm	8 mm
min ρ_w	$0,3 f_{ctd} / f_{yd}$	-	-	Bak : 7.4.5.2
min $\phi_{gövde}$	10 mm	12 mm	12 mm	12 mm
min $\rho_{gövde}$	0,001	-	$0,3 (\rho_1 + \rho'_1)$	$0,3 (\rho_1 + \rho'_1)$
min a	-	$0,4 lb$	$0,4 lb$	$0,4 lb$
min b	-	12ϕ	12ϕ	12ϕ
min (a+b)	-	lb	lb	lb
min c	-	lb	-	-
min (b _k + c)	-	-	$lb + 50\phi$	$lb + 50\phi$
min k	$6\phi_w + 5$ cm	-	$10\phi_w + 10$ cm (düz) $6\phi_w + 8$ cm (nervürlü)	$6\phi_w + 8$ cm (nervürlü)
min N_d	$0,1 f_{ck} A_c$	$0,1 f_{ck} A_c$	$0,1 f_{ck} A_c$	$0,1 f_{ck} A_c$
max V_d	$0,22 f_{cd} A_c$	$0,22 f_{cd} A_c$	$0,22 f_{cd} A_c$	Madde 7.4.5.
min C_c	2 cm içte 2,5 cm dışta	-	-	-
min net donatı aralığı	2,5 cm, ϕ	-	-	-
min beton sınıfı	C16/20	C20	C20/25	C25/30
max beton sınıfı	C50/60	-	-	C80/95
çelik sınıfı (boyuna)	Her tür çelik	S220a(min) S420a, S420b (max)	S 420, B 420C	B420C, B500C
çelik sınıfı (sargı)	Her tür çelik	S220a(min) S420a, S420b (max)	S 420, B 420C	B420C, B500C
min çekme donatısı sayısı	-	2 ϕ 12	2	2
min montaj donatısı sayısı	2	-	2	2

bw : kiriş genişliği, h : kiriş yüksekliği, d : faydalı yükseklik-h-d', t : tabla kalınlığı, cc : net beton örtüsü, d' : beton örtüsü, c'c : net donatı aralığı, bk : kolonun kirişle dik kenarı, hc : kolonun kirişle paralel kenarı, Ln : Kiriş net açıklığı, Lc : sarılma bölgesi uzunluğu, c : donatının komşu açıklığa uzatılma miktarı, a : ilk ve son kolon donatının kolon içindeki uzunluğu, b : donatının komşu açıklığa devam ettirilememesi durumunda boyuna donatının 900 aşığı veya yukarı bükülen kısmının uzunluğu, ϕ : boyuna donatı çapı, ρ : çekme donatısı oranı, ρ' : basıncı (veya montaj) donatısı oranı, ρ_1 : mesnet üstündeki donatının oranı, ρ'_1 : mesnet altındaki donatının oranı, ϕ_w : etriye donatısı çapı, ρ_w : etriye donatısı oranı, s : açıklıkta etriye adımı (aralığı), s' : sarılma bölgesinde etriye adımı (aralığı), e : Etriyelerin komşu iki diğey kolu arasındaki mesafe, k : etriye kanca boyu, $\phi_{gövde}$: gövde donatısı çapı, $\rho_{gövde}$: gövde donatısı oranı

Şekil 6: Yönetmeliklere göre kirişlerde sınır değerlerin karşılaştırılması

Döşemeler

Kirişlerin, kolonların ve duvarların arasını örtterek, yapının katlara ayrılmasını sağlayan ve yapı üzerindeki sabit (G) ve hareketli (Q) yükleri kirişlere, kolonlara veya perdeler gibi taşıyıcı elemanlara aktaran taşıyıcı elemanlara döşeme adı verilmektedir. 1975 yönetmeliğinden, betonarme döşemeler için bazı önemli

kurallar bulunmaktadır. Normal kat betonarme döşemelerin kalınlığının en az 10 cm, çatı döşemelerinin ise en az 8 cm olması ve döşeme deliklerindeki donatının düzgün bir şekilde yerleştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Deliklerin köşelerine, altta ve üstte en az 1Ø12 çubuk eklenmesi gerektiği ve bu çubukların delikler nedeniyle kesilen donatıdan daha uzun olması gerekliliği vurgulanmıştır. Yatay yüklere maruz kalan döşeme elemanlarının, çekme ve basınç kuvvetlerini güvenli bir şekilde iletebilmek için ek çubuklarla donatılacağı belirtilmiştir. Bu çubukların, deliklerin her köşesine 45 derecelik açıyla yerleştirilmesi gerektiği ve ankraj boyunun iki katından daha kısa olmaması gerektiği sınırlaması yapılmıştır. Dolgulu veya dolgusuz dişli döşemelerde, kirişler için belirlenen donatı yüzdesine uyulması gerektiği belirtilmiştir. Deprem bölgelerinde ise plak kalınlığının ve temel üstü yüksekliğinin belirli değerlere tabi olacağı vurgulanmıştır. Ayrıca kirişsiz döşemelerin, statik yüklerin yanı sıra depremden kaynaklanabilecek zorlamaları güvenli bir şekilde taşıyabilecek şekilde tasarlanması gerekliliği koşulu getirilmiştir. (ABYYHY, 1975:20-21). 1998 yönetmeliğinde döşemelerin kuralları detaylandırılmıştır. Döşemelerin, katlardaki deprem yüklerini düşey taşıyıcı sistemlere güvenli bir şekilde aktarabilmek için yeterli rijitlik ve dayanıklılığa sahip olması gerektiği belirtilmiştir. Tüm deprem bölgelerinde, dolgulu veya dolgusuz, yerinde dökme veya prefabrike dişli döşemelerin plak kalınlığının en az 50 mm olacağı sınırlaması getirilmiştir. Ancak plak düzlemi boyunca kesme kuvvetlerinin güvenli bir şekilde iletilmesi için dişlerle plak arasında kesme kuvveti bağlantıları yapılması gerektiği ve bu bağlantıların yeterli olduğunun da hesaplarla gösterilmesi gerektiği koşulu getirilmiştir. Diğer döşeme plaklarının kalınlığı için TS 500'de verilen koşullar geçerli olacağı belirtilmiştir (ABYYHY, 1998; 57-58). 2007 yönetmeliğine bakıldığında ise 1998 yılında yürürlüğe giren yönetmelikteki maddelerin devamlılığı görülmektedir (DBYBHY, 2007:53-54). 2018 yönetmeliği, döşemelerle ilgili ayrıntılı düzenlemeler içermektedir. Döşemelerin, deprem yüklerini düşey taşıyıcı elemanlara güvenli bir şekilde aktarabilmek için yeterli rijitlik ve dayanıklılığa sahip olması gerektiği vurgulanmıştır. Dolgulu veya dolgusuz, yerinde dökme dişli döşemelerde kullanılacak plak kalınlığı en az 70 mm olarak güncellenmiştir. Kesme kuvvetlerinin ve deprem etkilerinin güvenli bir şekilde iletilmesi amacıyla dişlerle plak arasında kesme kuvveti bağlantıları yapılması gerekliliği belirtilmiş ve bu bağlantıların hesapla doğrulanması gerektiği de vurgulanmıştır. Diğer döşemelerin kalınlığı için TS 500'de belirtilen koşulların geçerli olacağı, kirişli ve kirişsiz döşemelerin tasarımında, düzlem içi eksenel ve kayma gerilmeleri elastik diyafram kabul edilerek hesaplanacağı, döşemelerin çekme, basınç ve kayma gerilmelerine dayanım fazlalığı kat sayısı olan D değeri uygulanacağı, düzlem içi çekme

gerilmesi f_{ct} değerinden büyükse, donatı oranının ρ değeri ile ifade edileceği belirtilmiştir. Döşeme düzlemi içindeki basınç gerilmesinin değeri, $0.85f_{cd}$ değerini aşmayacağı şeklinde sınırlandırılmıştır. Yatay kaymalar için hesaplama denklemleri sunulmuştur. Döşemelerin deprem yüklerini güvenli bir şekilde ilettiğinin hesapla gösterilmesi gerekliliği vurgulanırken, A2 ve A3 düzensizlikleri olan döşemelerde ilgili koşullara uyulacağı, kirişli döşemelerin kesit hesaplarında D değerinin göz önüne alınacağı belirtilmiştir. Kirişlerde basınç gerilmesi $0.5 f_{ck}$ 'dan büyükse, ilgili enine donatı koşullarının sağlanması gerektiği vurgulanmıştır. Kirişsiz döşemelerin tasarımında, deprem kuvveti hesaplamalarında DV_d değeri kullanılacağı, kesme sürtünmesi hesaplarının TS 500'e göre yapılacağı ve sürtünme kat sayısı değeri belirleneceği belirtilmiştir. Yatay donatı miktarında azaltma yapılabileceği ifade edilmiştir. Büyük boşluklara sahip döşemeler için ek yatay donatılar önerilmiştir. Zımbalama kontrollerine ilişkin hesaplar ve detaylar da sunulmuştur (TBDY, 2018: 136-141).

SONUÇ

Türkiye'de deprem yönetmelikleri zaman içinde önemli ölçüde değişiklikler geçirmiştir. Bu değişim, deprem riski ile başa çıkmak ve yapısal güvenliği artırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Deprem yönetmeliklerinin betonarme taşıyıcı elemanlara yönelik koşulları, yapıların dayanıklılığı ve güvenliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Yönetmelikler, taşıyıcı elemanların tasarımı, malzeme seçimi ve inşaat süreçleri üzerinde de önemli etkilere sahiptir. Bu çalışmada Türkiye'de son yüz yıl boyunca kullanılan deprem yönetmeliklerinin betonarme taşıyıcı elemanlardaki değişimleri incelenmiştir. İncelemeler sonucunda, özellikle son yıllarda deprem yönetmeliklerinin betonarme taşıyıcı elemanlar için daha sıkı gereksinimler getirdiği görülmüştür. Yaşanan büyük depremlerin ardından yapılan her yeni yönetmelik revizesi sonucunda değişen yönetmelikler, yapıların deprem sırasında daha iyi performans göstermesini sağlamayı amaçlamıştır. Özellikle betonarme yapıların yaygınlaşmasının ardından yürürlüğe giren yönetmelikler değerlendirildiğinde; 1975 yılında yürürlüğe giren yönetmelikte betonarme taşıyıcı elemanlara ilişkin koşulların sınırlı düzeyde olduğu ancak 1998 ve 2007 yılında yürürlüğe giren yönetmeliklere bakıldığında bu taşıyıcı elemanların tasarım ve hesaplarına ilişkin daha detaylı bilgiler içerdikleri ve nispeten birbirleri ile aynı koşulları barındırdıkları görülmüştür. Ancak 2018 yılında yürürlüğe giren ve halen yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği incelendiğinde, betonarme taşıyıcı yapı elemanlarının tasarım ve hesaplarının daha da detaylandırıldığı, 2007 yılında yürürlükte olan yönetmeliğin 7 bölümden oluşmasına karşın bu yönetmeliğin 17 bölümden oluşması göze çarpan detaylar arasında

bulunmaktadır. Türkiye'nin coğrafik konumu değerlendirildiğinde aktif bir deprem kuşağında yer aldığı ve ülkenin tarihi incelendiğinde oldukça büyük depremler yaşandığı, yaşanan bu büyük depremler sonucunda da oldukça büyük ölçüde can ve mal kayıpları meydana geldiği görülmektedir. Bu nedenle depreme karşı dayanıklı yapı tasarımı ilkesi hayati önem taşımaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkesinin de belirleyici unsurları da yönetmeliklerdir. Bir yapının depreme karşı dayanıklı olabilmesi, taşıyıcı eleman sisteminin ve elemanlarının projelendirilmesi ve inşasının bu yönetmelik kurallarınca yapılması bakımından önem taşımaktadır. Bu bağlamda Türkiye'deki deprem yönetmeliklerinin taşıyıcı elemanlar üzerindeki etkisi, yapısal güvenlik ve dayanıklılığın artırılmasında hayati bir rol oynamaktadır. Ülkemizdeki yönetmelik revizelerine bakıldığında bu alanda sürekli bir gelişme ve iyileştirilme olduğu görülmektedir. Bu alandaki ilerlemeler, gelecekteki depremlere karşı daha sağlam ve dirençli yapılar inşa etmek için önemli adımlardır.

KAYNAKLAR

- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1975, İmar ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- 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/tarihveguncel/issue/35135/389724>.
- Cansız, S. (2022). Türkiye’de Kullanılan Deprem Yönetmeliklerinin Özellikleri ve Deprem Hesabının Değişimi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(1), 58-71.
- DBYBHY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- İşçi, P.D.C. (2008). Deprem Nedir ve Nasıl Korunuruz. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 3(9), 959.
- Özdemir, İ. (2003). Yapı elemanları ders notları. TC Osman Gazi Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Yayın No: Ta, 97-002.
- TBDY, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Topçu, A. (2019). Betonarme I. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir. Retrieved from <https://drive.google.com/drive/folders/16zp6wMJGCC8xbryRYpmyNdqWEiCugE2A>
- Topçu, A. (2019). Betonarme II. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir. Retrieved from https://drive.google.com/drive/folders/1MoeEHM_GE17-8e-pR1zYDfmg16lJqI3B
- Usta, S. (2022). Yapı Bilgisi Ders Notları. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi. Retrieved from <https://avesis.yyu.edu.tr/resume/downloadfile/susta?key=9cc4d80e-6b85-4026-a1f3-01b51027bfc5>

