

MÜHENDİSLİKTE İLERİ VE ÇAĞDAŞ ÇALIŞMALAR 1



Editör
Doç. Dr. M. Sait CENGİZ



MÜHENDİSLİKTE İLERİ VE ÇAĞDAŞ ÇALIŞMALAR 1

Editör

Doç. Dr. M. Sait CENGİZ



MÜHENDİSLİKTE İLERİ VE ÇAĞDAŞ ÇALIŞMALAR I

Editör: Doç. Dr. M. Sait CENGİZ

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek

Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design

Baskı: Aralık 2023

Yayıncı Sertifika No: 49837

ISBN: 978-625-6643-40-6

© 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 15	GELECEĞİN SAĞLIK HİZMETLERİ İÇİN DİJİTAL İKLİMLENDİRME: AKILLI HASTANE İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ <i>Ahmet ÇOŞGUN, Burcu Banu ATEŞ</i>
Bölüm 218	ORANGE YAZILIMI KULLANARAK VERİ MADENCİLİĞİ <i>Bashar ALHAJAHMAD</i>
Bölüm 332	Bölüm 3PV DESTEKLİ DC ŞARJ ÜNİTELERİNDE SÜPER İLETKEN KABLO KULLANILMASINDAKİ GÜNCEL GELİŞMELER <i>Beren BAYRAM, Zuhal OKTAY, Can COŞKUN</i>
Bölüm 4.....44	DONDURMA YAPIMINDA SÜT YAĞINA VE SÜT PROTEİNİNE ALTERNATİF BİTKİSEL KAYNAKLARIN KULLANIMI <i>Salih ÖZDEMİR, Cihat ÖZDEMİR</i>
Bölüm 560	YAPI MALZEMELERİNDE KALİTE STANDARTLARI VE ÖNEMİ <i>Nazım Çağatay DEMİRAL, Özlem ÇALIŞKAN</i>
Bölüm 684	ÇİFT BORULU BİR AMORTİSÖRÜN YAPISAL PARAMETRELERİNİN GÜRÜLTÜ SEVİYESİNE OLAN ETKİLERİNİN DENEYSEL YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ <i>Serdar GÜNEY, Elif ERZAN TOPÇU</i>
Bölüm 7107	TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE SOĞUTMA VE YAĞLAMA YÖNTEMİNİN YÜZEY BÜTÜNLÜĞÜNE ETKİSİ <i>Emin ÖZDEMİR</i>
Bölüm 8139	BİYOMEDİKAL UYGULAMALAR İÇİN BAKIR VE/VEYA ÇİNKO İÇEREN FOSFOR KATKILI MEZOGÖZENEKLİ BİYOAKTİF SİLİKAT SENTEZİ <i>Fatma TOMUL, Vahide Tuğçe ADIGÜZEL, Filiz AKTI</i>

Bölüm 9146

VOLKANİK KAYAÇLARIN ISIL İŞLEM SONRASI KAYMA
DİRENCİNİN ARAŞTIRILMASI

Gencay SARIŞIK, Gültekin ÇOŞKUN

Bölüm 10.....158

HELAL GIDA SERTİFİKALANDIRMA İŞLEMLERİNDE,
KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Savaş FINDIK, Halime PEHLİVANOĞLU

Bölüm 11176

MÜHENDİSLİK ALANINDA KULLANILAN
GÜNCEL META SEZGİSEL ALGORİTMALAR

Hüseyin DEMİRCİ, Muhammed KOTAN

Bölüm 12197

SAF NAYLON 6 VE PTFE KATKILI NAYLON 6 KARIŞIMLARININ
AŞINMA ORANI VE SÜRTÜNME KATSAYILARININ
KARŞILAŞTIRILMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Hüseyin ÜNAL, Veysel Furkan ÜNAL

Bölüm 13213

KEREVİZ SAPI VE LİMON KABUĞUNUN KAYIP ÖNLEYİCİ MALZEME
OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

İnci TÜRK TOĞRUL

Bölüm 14235

BİNA ZEMİN KAZILARININ YAPILMASINDAKİ
TEHLİKELER VE İSG TEDBİRLERİ

Mahmut DURMAZ

Bölüm 15249

KURAKLIK RİSK HARİTALARININ SPEİ İNDEKSİ İLE
OLUŞTURULMASI VE CEYHAN HAVZASI ÖRNEĞİ

Mehmet DİKİCİ

Bölüm 16257

HİDROELEKTRİK SANTRALLERİNDE KULLANILAN
TÜRBİNLER VE TÜRBİN SEÇİMİ

Muhammed Asım KESERCİOĞLU, Ömer ÇERLEK, Yasin AKIN

Bölüm 17267

MAKİNE ÖĞRENİMİNDE ÖZNİTELİK SEÇME YÖNTEMLERİNİN
KULLANIMI: GÜNCEL PYTHON UYGULAMALARI

Muhammed KOTAN, Ömer Faruk SEYMEN

Bölüm 18287

ROBOTİK TASARIM VE KODLAMA PROJELERİNDE
SİMÜLASYONLARIN ÖNEMİ VE
ÖRNEK BİR SİMÜLASYON UYGULAMASI

Mustafa AKSU

Bölüm 19307

ÜRETİMDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM VE YAPAY ZEKA
Ömer Faruk SEYMEN, Hüseyin DEMİRCİ

Bölüm 20322

ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ YAKLAŞIMIYLA
TEDARİKÇİ SEÇİMİ

Sezin GÜLERYÜZ, Oğuzhan DEMİRCİ

Bölüm 21330

ZEYTİNYAĞI ÜRETİM ATIKLARINDAKİ BİYOAKTİF BİLEŞENLER VE
ATIKLARIN ISIL PROSESLERDE KULLANIM İMKANLARI

Ceren SÖĞÜT, Şeyma ŞİŞİK OĞRAŞ

Bölüm 22348

KATKI ELEMANLARIN VE LEHİMLEMENİN ELMASLI KESİCİ
TAKIMLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNE GENEL BAKIŞ

Erdinç ÖZDEMİR, Serkan ISLAK

Bölüm 1

GELECEĞİN SAĞLIK HİZMETLERİ İÇİN DİJİTAL İKLİMLENDİRME: AKILLI HASTANE İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ

Ahmet ÇOŞGUN¹, Burcu Banu ATEŞ²

ÖZET

Hastane iklimlendirmesi, hastanelerde hastaların konforunu artırmak, sterilizasyonu sağlamak ve enerji verimliliğini optimize etmek amacıyla kullanılan ısıtma, havalandırma ve klima (HVAC) sistemlerinin tasarım ve işletimiyle ilgilidir. Bu sistemler, hastane içindeki sıcaklık, nem, hava kalitesi ve hava akışını kontrol etmek için hayati öneme sahiptir.

Hastane iklimlendirmesinde dijitalleşme ile büyük bir fark yaratılabilir. Akıllı sensörler, internet bağlantısı ve veri analitiği gibi dijital teknolojiler, sistemlerin sürekli izlenmesini, uzaktan kontrol edilmesini ve enerji tüketiminin optimize edilmesini sağlayarak hastane iklimlendirmesini daha verimli hale getirebilir. Bu durumda hastanelerde, hastaların rahatlığını artırırken aynı zamanda enerji ve işletme maliyetlerini azaltabilir. Dijitalleşme ile hastane iklimlendirmesi, hastaların iyileşme sürecini ve sağlık personelinin verimliliğini doğrudan etkiler. Dijitalleşme, bu alanı daha sürdürülebilir ve etkili hale getirme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, yeni bir sürdürülebilir akım olan dijitalleşme endüstri 4.0 yerine geçmiştir. Burada en önemli kavramlar artık nesnelerin interneti, yapay zeka ve buna bağlı olarak makine öğrenmesi, yapay sinir ağları ile çözümlemelerin yakın gelecekteki artışı olarak belirtilmektedir. Bu kitap bölümü çalışmasına istinaden hastane yöneticileri (Başhekimlik, Başmüdürlük ve Teknik Hizmetler Müdürlüğü), tesisat uzmanları, iklimlendirme soğutma uzmanlarının dijital teknolojileri yakından bilmeleri, teknolojiye ayak uydurmaları gerektiği söylenmektedir. Bu önemli sağlık hizmeti alanında iklimlendirme sistemlerinde nasıl dijitalleşmenin olacağı olgusuna değinilmeye çalışılmıştır.

¹Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Termodinamik Anabilimdalı Kampüs, Antalya, Türkiye, acoskun@akdeniz.edu.tr

Corresponding author at:

Ahmet ÇOŞGUN, e-mail address: acoskun@akdeniz.edu.tr

Tel: 05353898180, <https://orcid.org/0000-0002-0243-5476>

² Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Termodinamik Anabilimdalı Yüksek lisans Öğrencisi, Antalya, Türkiye, burcubanu2@gmail.com.tr

Anahtar Kelimeler: İklimlendirme, hastane iklimlendirmesi, iç hava kalitesi, havalandırma sistemleri, dijitalleşme, enerji verimliliği, nesnelerin interneti, yapay zeka.

GİRİŞ

Hastaneler, hayat kurtarma misyonuyla donanmış sağlık kurumlarıdır. Hastanelerin daha verimli hale gelmesi, daha çabuk çözüm üretmesi, yüksek kaliteli bakım sağlaması, hasta güvenliğini sağlaması, enfeksiyonları önlemesi, mali üretkenlik sağlanması, yasal standartlara uyulması hastalara kaliteli yaşam sağlamaktadır. Hızlı gelişen teknoloji sayesinde sağlık hizmeti gelecekte farklı görünebilir. Demografik ve ekonomik değişmelerin sonucunda dünya çapındaki hastanelerde de değişmeler beklenmektedir. Tedaviler, yatarak sağlık hizmeti yerini evde ve ayakta tedavi merkezlerine dönüşmektedir[13].

Modern tıp ve teknolojinin zirvesini temsil ederler. Ancak, bir hastanede hasta odalarında veya ameliyathanelerde düşünülen ilk şey genellikle medikal cihazlar ve personeldir. Fakat göz ardı edilen bir önemli unsur var ki bu da hastane iklimlendirmesidir. Bu, hastaların ve sağlık personelinin sağlığını, konforunu ve güvenliğini büyük ölçüde etkileyebilen kritik bir faktördür.

Hastane iklimlendirmesi, hastaların konforunu artırmak, sterilizasyonu sağlamak ve enerji verimliliğini optimize etmek amacıyla kullanılan ısıtma, havalandırma ve klima (HVAC) sistemlerinin tasarım ve işletimi ile ilgilidir. Bu sistemler, hastane içindeki sıcaklık, nem, hava kalitesi ve hava akışını kontrol etmek için hayati öneme sahiptir. Ancak, günümüzde bu sistemlerin daha fazla gereksinim karşılaması ve daha fazla verimlilik sağlaması beklenmektedir.

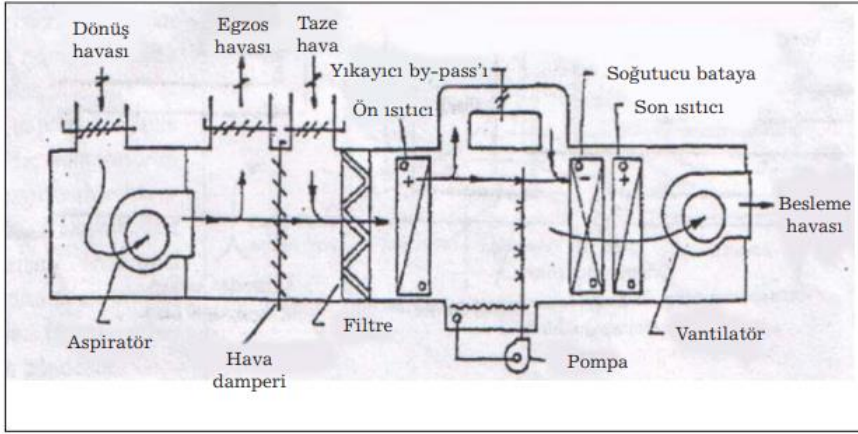
Bu kitap bölümü, hastane iklimlendirmesinin geleceğini şekillendiren dijitalleşme çağında yol alırken, bu alandaki yenilikçi çözümlere ve akıllı teknolojilere odaklanılması gerekmektedir. Akıllı sensörler, internet bağlantısı ve veri analitiği gibi dijital teknolojiler, hastane iklimlendirmesini optimize etmek için sınırsız potansiyel sunmaktadır. Bu teknolojiler, sürekli izleme, uzaktan kontrol ve enerji verimliliği sağlayarak hem hastaların konforunu artırmayı hem de hastanelerin operasyonel verimliliğini iyileştirmeyi hedefler.

Ayrıca, bu çalışmada hastane iklimlendirmesinin, hasta konforunun ötesinde, tıbbi sonuçları nasıl etkileyebileceğini ve sağlık profesyonellerinin daha iyi bir çalışma ortamına nasıl sahip olabileceğini de ele alınacaktır. Çünkü hastane iklimlendirmesi, sadece bir sıcaklık ayarı değil, hastanelerin insan yaşamını iyileştirme ve koruma yolundaki önemli bir adımıdır.

İklimlendirme (AirConditioning); havanın belli bir amaç için şartlandırılmasıdır. Yani havanın sıcaklığını, nemini, hareketini, dağıtımını temizliğini sağlama prosesisidir. İklimlendirmeyi çeşitli şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Örneğin;

amaca göre sınıflandırma yapabiliriz. Amaç, endüstriyel bir işlem için gerekli ortamın hazırlanması (temiz oda gibi) ise; buna endüstriyel iklimlendirme, insanların konforu ise; buna da konfor iklimlendirmesi denir. Hastanelerde, mahallerin çeşitli amaçlar için kullanıldıkları dikkate alınır, hem endüstriyel iklimlendirmenin hem de konfor iklimlendirmesinin söz konusu olduğu açıktır. Konfor iklimlendirmesi kapalı bir mahaldeki insanların, ısı konforlarının, taze hava ve temiz hava gereksinimlerinin karşılanması için yapılır[1].

Şekil 1’de konfor iklimlendirmesinde kullanılan bir klima santrali görülmektedir [19]



Şekil 1: Bir klima santrali kesit örneği görünümü[19].

1.Hastane İklimlendirme Sistemlerinin Farkı Nedir?

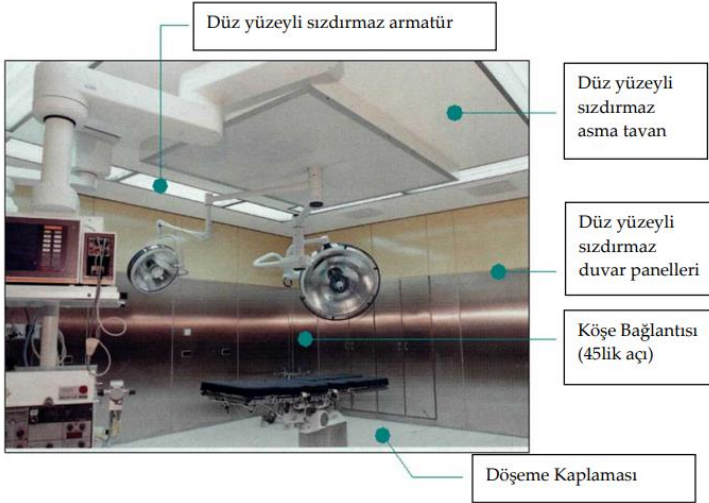
Tasarımda parametrelerin sayısının fazla olması ve çok daha hassas bir biçimde kontrol edilmesi, kullanılan bütün cihazların hijyenik bir yapıda olması, iklimlendirme sistemlerinde kullanılan filtrasyon yöntemlerinin daha farklı olması, ortamlar arasındaki hava akış seviyesinin sağlanabiliyor olması, hastanedeki birçok farklı bölgede kullanılmakta olan iklimlendirme sistemleri, her bölgeye özel sıcaklık ve nem seviyelerinin belirlenmesini sağlar[2].

Hastanelerde ameliyathaneler en yüksek derecede hijyen gerektiren steril alanlardır. Steril alanların sınıflandırılmasında dünyada temiz oda standartları kullanılmakta olup; birim hacimde bulunan 0.5 µm çapındaki tanecik (partikül) sayısı ölçüt alınarak, temiz odanın kalitesi yani sınıfı (klası) belirlenir. Partikül madde (PM), havada bulunan uçucu maddeciklerin genel adıdır. Çapı 10 µm (PM10)’den küçük olan partiküller solunabilir partiküller olarak bilinirler ve insan sağlığı açısından daha tehlikelidirler [22].

Nefes yoluyla insanların iç ortamlarına geçebilen bu partiküller bronşlarda ve akciğerlerde birikerek son derece tehlikeli hastalıklara ve ameliyat sonrası ödemlere sebep olurlar. Dünyada hastanelerin steril yapılanmalarına temel oluşturan başlıca standartlardan DIN 1946'a göre temiz odaların sınıflandırılması 1. sınıf ve 2. sınıf şeklinde yapılmaktadır. 1.sınıf odalar yüksek derecede hijyen gerektiren, mikro organizmasız hacimlerdir. Bunlar, ameliyathaneler, bağlantı koridorları, steril malzeme deposu vb. ameliyat öncesi hazırlık ve sonrasında uyanma odaları, yoğun bakım odaları, yeni doğan odaları, cerrahi el yıkama ünitesi ve çevresi, anestezi ve tıbbi cihaz odalarıdır. 2. sınıf odalar ise, normal şartlar gerektiren mikro organizmasız hacimlerdir. Bunlar, acil hasta odaları, hasta odaları, bekleme odaları, radyoloji, röntgen ve laboratuvarları, eczane, endoskopi, morg ve otopsi odaları olarak sıralanabilir.

Bu sıralama doğrudan ameliyathaneleri esas almasa da işlevlerine göre hacimlerin temizlik sınıflarının belirlenmesine ve temizliklerine göre hacimler arasında bir hiyerarşi oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Hava koşullarının dış ortama bağlı olarak değiştiği, pencereler aracılığıyla doğal havalandırma biçimi ameliyathanelerde kesinlikle kullanılmaz[3].

Aşağıda şekil 2'de bir ameliyathane tasarım görünümü verilmiştir.



Şekil 2: Bir ameliyathane tasarımının görünümü[3].

Türkiye de Sağlık Bakanlığı denetim hizmetlerinde kullanılan, Türkiye Sağlık Yapıları Asgari Tasarım Standartları Kılavuzunun hazırlanmasında Türk Standartları Enstitüsü, ISO 9001 hizmet kalite standartları, Amerikan Mimarlar Birliği, Amerikan Engelliler Hareketi ve JointCommission International gibi araştırmalar, yayınlar ve yönetmeliklerden yararlanılmıştır. Sağlık konusundaki yönetmeliklerde alet, cihaz ve sarf malzemeleri için çeşitli standartlar ve hizmet standartları içinde

steril ve hijyenik bölgelerin yapılanmasına yönelik olarak ölçüler, büyüklükler vb. ilişkin bilgiler bulunmaktadır. Bu yönetmeliklerde özellikle ameliyathane gibi steril alanlara özel şartnameler belirlenmiştir. Temiz oda teknolojisini üç alanda ele almak bu teknolojiyi kullanmak isteyenler için kolaylık sağlayabilir. Aşağıda Çizelge 1’ de bu alanlar kısaca özetlenmiştir.

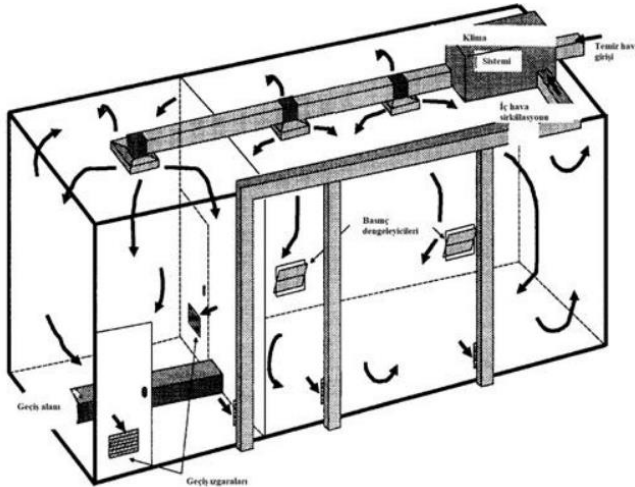
Aşağıda Çizelge 1’ de steril alanların tasarım , yapım , test izleme işlemleri gösterilmiştir.

Tasarım ve yapım	Test ve izleme	İşlemler
Standartlar, planlar	Tasarlanıldığı gibi çalışıp çalışmadığı testleri	Oda şartlarının izlenmesi
Yapım malzemesi	Devamlılığın sağlanması için testler	Personel girişi, makine ve malzemeler
Servis, su, gaz vb., düzen		Temiz oda disiplini, temizleme, temizleme ekipmanları

Çizelge 1: Steril alanların tasarım ve testleri listesi[4].

Temiz oda için diğer bir gösterge, yüzey kaplaması tipidir. Oda, parçacık üretmeyen ve temizlenmesi kolay malzemelerden yapılmalıdır. Yüzeylerde, temizliğe erişebilmelidir. Geleneksel olarak havalandırılan bir temiz odadaki hava temizliği, odanın sağladığı havanın miktarına, kalitesine ve hava karışımının verimliliğine bağlıdır. Genel olarak, bir temiz odanın hava kalitesi ve hava besleme miktarına ve kalitesine bağlı olacaktır. Geleneksel olarak havalandırılan bir temiz odanın temizliğinin, hava değişim hızına değil, birim zaman başına sağlanan havanın hacmine bağlı olduğunu anlamak önemlidir[4].

Şekil 3 ‘de Örnek bir temiz odanın havalandırma sistemi aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3: Temiz oda dizaynı havalandırma sistemi[18].

1.1.Geleneksel Bir Temiz Odanın Ayrıntılı Şeması

Temiz oda standartları ve yönergeleri, yüzey malzemesi seçimi konusunda spesifik gereksinimler sunar ve bu gereksinimlere uymak, istenmeyen partikül yayılımını önlemeye yardımcı olur. Sonuç olarak, temiz oda tasarımı, yüzey kaplaması, hava temizliği ve havalandırma verimliliği gibi faktörleri içeren bütüncül bir yaklaşım gerektirir. Bu endüstriyel, tıbbi ve bilimsel uygulamalarda temiz oda teknolojisinin başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlar[23].

2.Hastanelerde İklimlendirme Sistemleri İle İlgili Yaşanan Çeşitli Sorunlar

2.1. Yetersiz Havalandırma: Hastanelerde yeterli hava değişimi sağlamak hayati önem taşır. Ancak bazen bu kadar büyük ve yoğun bir bina içinde yeterli havalandırma sağlamak zor olabilir. Bu durum, hava kalitesi sorunlarına neden olabilir.

2.2. İklim Kontrolü Sorunları: İklim kontrol sisteminin yanlış çalışması, hastane içinde sıcaklık, nem ve hava kalitesi problemlerine yol açabilir. Bu, hem hastaların hem de sağlık personelinin rahatlığını etkileyebilir.

2.3. Enfeksiyon Kontrolü: Hastaneler, enfeksiyonların yayılmasını önlemek için sıkı enfeksiyon kontrol önlemleri uygular. Ancak iklimlendirme sistemleri bu süreçte önemli bir rol oynar. Eğer bu sistemler doğru bir şekilde tasarlanmaz veya işletilmezse, enfeksiyon riski artabilir.

2.4. Enerji Verimliliği: Enerji maliyetleri hastaneler için büyük bir baskı yaratır. HVAC sistemlerinin enerji verimliliğini sağlamak, hem maliyetleri azaltmak hem de çevresel etkiyi minimize etmek açısından önemlidir.

2.5. Bakım ve Onarım Zorlukları: Büyük hastane binalarındaki iklimlendirme sistemlerinin bakımı ve onarımı karmaşık olabilir. Bu, gerektiği gibi bakım yapılmadığında sistemlerin çökmesine veya verimsiz çalışmasına neden olabilir.

2.6. Acil Durumlar ve Güç Kesintileri: Elektrik kesintileri veya acil durumlar sırasında iklimlendirme sistemi kritik öneme sahiptir. Bu sistemlerin yedek güç kaynakları ve acil durum modları olması gerekir.

2.7. Hasta Odaları ve Ameliyathaneler: Farklı hastane bölümleri, farklı iklimlendirme ihtiyaçlarına sahiptir. Özellikle ameliyathaneler gibi steril alanlar, çok hassas iklim kontrolü gerektirir. Bu sorunların üstesinden gelmek için, hastaneler

HVAC sistemlerinin doğru bir şekilde tasarlanması, düzenli bakımı ve izlenmesi için kaynak ayrılmalıdır. Ayrıca, yeni teknolojilerin ve dijital çözümlerin kullanımı, enerji verimliliğini artırabilir ve sorunların çözümüne yardımcı olabilir[5].

Kamu hizmetlerinin hızlı, etkili, verimli ve iktisadi sunulması deyimi Taylorist ya da diğer deyişle rasyonelizasyon kavramıyla adlandırılmaktadır. Teknik ya da teknolojik değişiklik ve gelişmeler bu deyimden bahsi geçen beklentileri ve hedefleri doğası gereği etkilemektedir. Bu bağlamda kamu sağlık hizmetlerinde artan dijitalleşme çabaları alanın yönetiminde çeşitli bilgi sistemlerinin kullanılmasını sağlamıştır. Sağlık hizmetlerinde yaşanan dijitalleşme hareketi politika yapım sürecine katılım açısından kamu kurumlarının eşgüdüm halinde çalışmasını hızlandırmıştır. Sürecin bir yandan kamusal sağlık hizmetlerinde etkin kaynak kullanımında diğer yandan özel sektörün sağlık hizmet sunumunda etkileri bulunmaktadır. Sağlıkta dijitalleşme çerçevesinde aşağıda ele alınacağı üzere Türkiye’de sağlık reformları ile eksik bilginin tamamlanmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Söz konusu uygulamalar bir yandan politika yapım sürecini hızlandırırken diğer yandan özel sektör yatırımları için gerekli olan verilerin toplanmasını kolaylaştırmıştır [6].

3.Hastane İklimlendirmesinde Dijitalleşme Neden Önemlidir?

Hastane iklimlendirmesinde dijitalleşme, bir dizi önemli nedenle gerekmektedir. İlk olarak, hastane iklimlendirmesi hastaların ve sağlık personelinin konforunu artırmalı ve sağlıklı bir ortam sağlamalıdır. Dijitalleşme, bu konforu daha hassas bir şekilde ayarlama olanağı sunmaktadır. İkinci olarak, enerji verimliliği hastaneler için önemli bir maliyet faktörüdür. Dijitalleşme, enerji tüketimini izleyerek ve optimize ederek enerji maliyetlerini azaltabilmektedir. Üçüncü olarak, iç mekan hava kalitesi hastaların ve sağlık personelinin sağlığı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Dijitalleşme, hava kalitesini izleyerek kötü hava kalitesini tespit edebilmekte ve enfeksiyon riskini azaltabilmektedir. Dördüncü olarak, dijitalleşme iklimlendirme sistemlerini uzaktan izlemeyi ve yönetmeyi kolaylaştırmakta, bu da işletme verimliliğini artırabilmekte ve bakım maliyetlerini azaltabilmektedir. Beşinci olarak, dijitalleşme, hastane iklimlendirmesi için acil durum hazırlığı sağlamaktadır. Kesintisiz güç kaynakları ve otomatik acil durum modları, hastane işletmelerinin acil durumlar sırasında sürekliliğini sağlamaktadır. Altıncı olarak, veri analitiği ve tahmin, iklimlendirme sistemlerini daha etkili bir şekilde planlamayı ve yönetmeyi sağlamaktadır. Son olarak, dijitalleşme hastane işletmelerinin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına yardımcı olabilmektedir.

Daha az enerji tüketimi, karbon ayak izini azaltabilmektedir. Tüm bu nedenlerle, hastane iklimlendirmesinde dijitalleşme, hem hastaların sağlığı ve konforunu artırırken hem de hastane işletmelerinin maliyetlerini azaltarak daha sürdürülebilir

ve etkili bir sağlık hizmeti sunma kapasitesini artırabilmektedir. Şekil 4’de dijitalleşmeyi temsil eden bir örnek görsel aşağıda verilmiştir.



Şekil 4: Dijitalleşmeyi temsil eden bir görsel [17].

4.Hastane İklimlendirmesinde Dijitalleşme Yolları Nelerdir?

Bedene dair tıp teknolojilerindeki ilerlemelerin yol açtığı değişimler göz önünde bulundurulduğunda, dijital sağlık kavramı bağlamında değerlendirmek anlam kazanmaktadır. Türkiye’de sağlık alanındaki dijitalleşme süreci, biyomedikalleşme perspektifinden incelendiğinde hastalar / kullanıcılar lehine birçok güçlendirme mekanizmasının olduğunu gözlemek mümkündür. Son zamanlarda sağlık hizmetlerindeki dijitalleşme süreci ve bu süreçte bilişim ve iletişim teknolojilerinin (BİT) sağlık hizmetlerindeki etkisi tüm dünyada dikkat çekicidir. BİT, sağlık hizmetlerinde işleyiş ve bakım kalitesini yükselterek süreçleri de hızla dijitalleştirmektedir. Dijital sağlık kavramı bilgisayar bilimi, mühendislik, bilişim bilimi, gazetecilik, ekonomi, klinik tıp, halk sağlığı, epidemiyoloji gibi pek çok disiplini kapsar[8].

Hastane iklimlendirmesinde dijitalleşme, geleneksel iklimlendirme sistemlerinin dijital teknolojilerle entegre edilmesini ve bu sistemlerin daha akıllı, verimli ve sürdürülebilir hale getirilmesini ifade eder[21].

Hastane iklimlendirmesinde dijitalleşmenin nasıl olabileceğine dair bazı yollar şu şekilde gösterilebilir:

4.1. Akıllı Sensörler ve İzleme: Hastane odalarına yerleştirilen akıllı sensörler, sıcaklık, nem, hava kalitesi ve enerji tüketimi gibi çeşitli verileri sürekli olarak izleyebilir. Bu sensörler sayesinde, sistemlerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve sorunların hızla tespit edilmesi mümkün olur.

4.2. Veri Analitiği ve Tahmin: Toplanan veriler, veri analitiği algoritmalarıyla işlenerek gelecekteki iklimlendirme ihtiyaçları tahmin edilebilir. Bu, enerji tasarrufu sağlayarak ve sistemlerin gereksinimlerine daha iyi yanıt verilmesine yardımcı olabilir.

4.3. Uzaktan İzleme ve Kontrol: Dijitalleşme, uzaktan izleme ve kontrol imkanı sunar. Bu, hastane personelinin iklimlendirme sistemlerini uzaktan izlemesine ve gerektiğinde ayarlamasına olanak tanır. Özellikle acil durumlarda hızlı müdahale sağlayabilir.

4.4. Enerji Yönetimi: Dijital iklimlendirme sistemleri, enerji verimliliğini artırmak için enerji tüketimini optimize edebilir. Bu, enerji maliyetlerini azaltırken çevresel etkiyi minimize etmeye yardımcı olabilir.

4.5. Hasta Konforunu İyileştirme: Dijitalleşme sayesinde hastaların konfor seviyeleri daha iyi izlenebilir ve optimize edilebilir. Özellikle hasta odalarının sıcaklık ve nem seviyeleri kişiselleştirilebilir.

4.6. İklimlendirme Sistemlerinin Entegrasyonu: Dijital teknolojiler, farklı iklimlendirme sistemlerini (ısıtma, soğutma, havalandırma, nem kontrolü) daha iyi entegre etmeyi sağlayabilir. Bu, binaların iç mekan kalitesini artırabilir.

4.7. Veri Güvenliği ve Uyumluluk: Dijitalleşme aynı zamanda veri güvenliği ve uyumluluk gereksinimlerini ele almayı içerir. Hastane verilerinin korunması ve tıbbi bilgilerin gizliliği kritik önem taşır.

Dijitalleşme, hastane iklimlendirmesini daha akıllı, verimli ve hasta odaklı hale getirerek hem hastaların konforunu artırabilir hem de hastane işletme maliyetlerini azaltabilir. Ancak bu süreç, iyi bir planlama, uygun altyapı ve uzmanlık gerektirir. Ayrıca, güvenlik ve veri gizliliği konuları da göz önünde bulundurulmalıdır [14], [15], [16].

5.Akıllı Sağlık İçin Nesnelerin İnterneti (Iot) Ve Yapay Zeka

Nesnelerin interneti kelimesi hızlı bir şekilde hayatımıza girmiş bulunmaktadır. Burada HIoT (Healthcare Internet of Things) uygulamaları, sağlık sektöründe dijital devrime ve tıbbi hizmet kalitesinin iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır. IoT teknolojisi, bir toplama hedefi olarak insan vücudundaki verileri algılamayı ve bir araya getirmeyi ifade etmektedir. Sağlık hizmetlerinde IoT tabanlı operasyon, teknolojinin çıkarımını ortadan kaldırmaktadır: Birbirine bağlı cihazlar, veri girişi olarak aktarım yapan bir hastadan sağlıkla ilgili bilgiler toplamaktadır. Bu cihazlar

arasında monitörler, kamera sistemleri, sensörler, aktüatörler ve dedektörler bulunabilir. Sensörlerden analog biçimde alınan verilerin toplanması ve dijital akışlara dönüştürülmesi gerekmektedir. IoT verileri sayısallaştırılıp bir araya getirildikten sonra, veri merkezine ulaşmadan önce daha fazla işlem yapılması gerekmektedir. Bundan sonra buluta veya veri merkezine aktarılmaktadır. Böylelikle hekimler, tıp uzmanları veya sanal asistanlar, IoT tabanlı cihazlar aracılığıyla alınan verilerle sonuç odaklı ve bilinçli kararlar alma fırsatı ortaya koyabilmektedir[13].



Sağlık kuruluşları, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Yapay Zeka kullanım hizmetleri ile yeniden daha önemli hale gelebilecektir. Hastaneye girer girmez hayati değerleriniz kalp atış hızınızı, sıcaklığınızı ve solunum hızınızı değerlendirebilen görüntüleme teknolojisi kullanılarak izlenebilecektir. Sensörler 10 saniye içinde kan basıncı ve elektrokardiyogram (EKG) testi yapabilecektir[13].

Hastane iklimlendirmesi, sağlık kurumlarının temel ihtiyaçlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Hem hastaların iyileşme süreçlerini etkileyen bir faktör olarak hem de sağlık personelinin verimliliğini artıran bir unsur olarak yer almaktadır. Bu nedenle, hastaneler için etkili bir iklimlendirme sistemi kritik bir öneme sahiptir. Ancak geleneksel iklimlendirme sistemleri, bu gereksinimleri karşılamak için yetersiz kalabilecektir.

hava kalitesi ve enerji tüketimi gibi kritik parametreleri sürekli olarak izlemekte ve yönetmektedir. Bu, hastane iç mekanlarının daha konforlu ve sağlıklı hale gelmesine olanak tanıyacaktır. Özellikle hastaların konforunu artırırken, sağlık personelinin de daha iyi bir çalışma ortamına sahip olmasına yardımcı olması hedeflenmektedir.

Enerji verimliliği de dijitalleşmenin getirdiği avantajlardan biridir. Geleneksel iklimlendirme sistemleri sıklıkla enerjiyi israf etmekte ve yüksek enerji maliyetlerine neden olmaktadır. Dijitalleşme, enerji tüketimini izleyerek ve optimize ederek hastanelerin enerji maliyetlerini azaltabilecektir. Bu, hem çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayacak hem de hastanelerin bütçelerini koruyacaktır.

Dijitalleşme ayrıca enfeksiyon kontrolü açısından kritik bir rol oynamaktadır. İç mekan hava kalitesinin sürekli izlenmesi, enfeksiyon riskini minimize etmeye yardımcı olabilecektir. Özellikle pandemi gibi acil durumlarda, dijitalleşme hastane iklimlendirmesinin hızla uyarlanması sağlayarak hastane personeli ve hastaların güvenliğini artırabilmektedir.

Hastane iklimlendirmesinde dijitalleşme, işletme verimliliğini de artırmaktadır. İklimlendirme sistemlerinin uzaktan izlenmesi ve yönetilmesi, bakım süreçlerini optimize etmekte ve acil durumlar için hazır olma kapasitesini artırmaktadır. Bu, hastane yöneticilerine daha iyi bir işletme kontrolü sağlamaktadır.

Sonuç olarak, hastane iklimlendirmesinde dijitalleşme, modern sağlık hizmetlerinin temel bir taşıyıcısıdır. Bu teknolojik ilerlemeler, hastaların iyileşme süreçlerini iyileştirirken hastane işletmelerinin maliyetlerini azaltarak sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunmaktadır. Ancak dijitalleşme süreci, veri güvenliği ve uyumluluk gereksinimleri göz önünde bulundurularak dikkatle yönetilmelidir. Bu nedenle, hastane yöneticileri ve tesisat uzmanları, dijital teknolojilerin bu alandaki potansiyelini tam anlamıyla anlamalı ve kullanmalıdır. İklimlendirme sistemlerinin dijitalleşmesi, hastane ortamlarını daha sağlıklı, daha konforlu ve daha sürdürülebilir hale getirirken, sağlık hizmetlerinin kalitesini yükseltmekte ve hastaların yaşam kalitesini artırmaktadır.

7.KAYNAKLAR

- ÖZCELEBİ, S., “Hastane İklimlendirme Sistemlerine Genel Bir Bakış”, 6. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi, syf: 17-27, 2009.<https://www.das.org.tr/kitaplar/kitap2009/pdf/017-27%20Salim%20Ozcelebi.pdf>(Erişim tarihi: 29.10.2023).
<https://www.air-tes.com/hastane-iklimlendirme-cozumleri/> (Erişim tarihi 12:11:2023).
- OĞUZALP, Ercan H., GENÇ, URKİYE A.,” *Ameliyathanelerin steril yapılanmasında mimari detaylar ve bir şartname altyapı çalışması*”, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Böl., İnşaat Daire Başkanlığı, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.
- KORKMAZ K.M., “*Temiz oda teknolojilerinde belirleyici parametreler*”, Fen bilimleri Enstitüsü makine mühendisliği anabilim dalı yüksek lisans tezi, mayıs 2019, Antalya, Türkiye
- Hastane İklimlendirme Sistemlerine Genel Bir Bakış (9lib.net)(Erişim tarihi: 11.12.2023)
- Hastane Bilgi Yönetim Sistemleri - Hastane (doczz.biz.tr)(Erişim tarihi:10.12.2023)
- Ders Notları - Havalandırma ve İklimlendirme Bölüm1 ~ İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlığı (isguzmanligisinavi.blogspot.com)) (Erişim tarihi 08.11.2023)
- [AVANER, T., FEDAİ, R “Sağlık hizmetlerinde dijitalleşme: sağlık yönetiminde bilgi sistemlerinin kullanılması,) (1014639 (dergipark.org.tr))
- (Enerji ve Tesisat- <https://www.das.org.tr/kitaplar/kitap2009/pdf/017-27%20Salim%20Ozcelebi.pdf> HSK, iklimlendirme sistemlerinde dijital dönüşümü ve sürdürülebilir yaklaşımları esas alıyor)
- ŞAHİNOL, M., BAŞKAVAK, G.,“Türkiye’de Biyomedikalizasyon: Sağlığın Dijitalleşmesi ve Öz-Takip Pratikleri1,(Tuerkiyede-Biyomedikalizasyon-Sagligin-Dijitallesmesi-ve-Oez-Takip-Biomedicalization-in-Turkey-Digitalization-of-Health-and-Self-Tracking-Practices.pdf (researchgate.net))
- BOZ, ERAVCI,D., “Kurumların dijital dönüşümü: büyük veri” Volume: 11 Issue: 1, 90 - 112, 30.06.2020.
<https://tr.wikipedia.org/wiki/Dijitalle%C5%9Fme> (Erişim tarihi:16.11.2023)
- AYDIN,N., “Akıllı hasatane konsepti”,International AcademicSocialResources (ASR Journal) Journal, Year 2021, Vol:6, Issue:30, pp:1537-1544 E-ISSN: 2636-7637,
- ÖZGÜR , B., “Yıldız teknik üniversitesi fen bilimleri enstitüsü hastanelerde ameliyathanelerin hijyenik olarak klimatize edilmesi”Yıldız Teknik Üniversitesi , F.B.E. Makine Mühendisliği Isı Proses Anabilim Dalındayüksek lisans tezi. İstanbul,2006.Türkiye

<https://www.artikelakademi.com/media/books/0ee18fafa6b0403f8f2751065511e69e.pdf#page=121> (Erişim tarihi: 10.11.2023)

DEMİRCİ,Ş.,“Sağlığın dijitalleşmesi”, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/612611> dıgitalization of health , (Erişim tarihi:10.10.2023)

<https://www.enerjivetesisat.com/tesisat/hvac/8274-systemair-hsk-iklimlendirme-sistemlerinde-dijital-donusumu-ve-surdurulebilir-yaklasimlari-esas-aliyor> (Erişim tarihi 09.10.2023)

<https://bafcoclean.ir/>Erişim tarihi 09.10.2023)

<https://www.das.org.tr/kitaplar/kitap2009/pdf/01727%20Salim%20Ozcelebi.pdf>Erişim tarihi 09.10.2023)

https://www.teledataict.com/7-examples-of-how-the-internet-of-things-is-facilitating-healthcare/healthcare_internet_of_things/Erişim tarihi 09.10.2023)

<https://www.entalpiproje.com/iklimlendirme-otomasyonu-nedir/> (Erişim tarihi 09.10.2023)

Bulut, H., 2008, “Isıtma sezonunda ofislerde iç hava kalitesinin araştırılması”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı 105, s28-37.(Erişim tarihi:10.10.2023)

https://mmo.org.tr/sites/default/files/012__0.pdf

<https://www.iso.org/standard/60598.html>

<https://www.iest.org/Standards-RPs/Recommended-Practices/IEST-RP-CC034>

<https://mmo.org.tr/kitaplar/hastane-ve-klinikler-icin-hvac-tasarim-kilavuzu>

Bölüm 2

ORANGE YAZILIMI KULLANARAK VERİ MADENCİLİĞİ

Bashar Alhajahmad¹

ÖZET

Bu bölüm, veri madenciliği (data mining) ve analizin önemini ve Orange veri madenciliği yazılımının kullanımını ele almaktadır. Orange, açık kaynaklı bir veri madenciliği aracıdır ve görsel programlama arayüzü sayesinde veri analizi ve keşif işlemlerini kolaylaştırmaktadır. Bölüm, Orange'ın özelliklerini ve avantajlarını vurgularken, bir örnek üzerinden Orange kullanarak veri modelleme ve sınıflandırma sürecini ayrıntılı bir şekilde açıklamaktadır. Bu örnek, Orange'ın veri analizi ve görselleştirme süreçlerini ne kadar verimli hale getirdiğini göstermektedir. Ayrıca, farklı veri madenciliği araçlarıyla Orange'ı karşılaştıran bir tablo sunulmaktadır. Bu karşılaştırma, okuyuculara farklı veri madenciliği araçları arasındaki farkları anlama konusunda yardımcı olmaktadır. Bu araçlar, veri madenciliği, veri analizi ve görselleştirmeye yönelik farklı özelliklere ve yeteneklere sahiptir. Her biri farklı işlemleri destekleyebilir ve farklı kullanım senaryolarına uygun olabilir. Araştırmacılar ve veri bilimcileri, ihtiyaçlarına ve tercihlerine göre bu araçlardan birini seçebilirler. Bölüm, Orange'ın açık kaynaklı, platform bağımsız ve kullanıcı dostu bir araç olduğunu belirtmektedir. Bu özellikler, veri bilimcileri ve analistler için önemli bir avantaj sunar ve büyük veri setlerinden değerli içgörüler elde etmelerine yardımcı olabilmektedir. Sonuç olarak, bölüm Orange yazılımının veri madenciliği alanında güçlü bir araç olduğunu ve veri analizi süreçlerini basitleştirdiğini vurgulamaktadır. Orange'ın açık kaynaklı olması, kullanıcı dostu arayüzü ve etkili özellikleri, veri madenciliği alanında çalışanlar için önemli bir kaynaktır. Bu yazılım, veri analizi ve bilgi çıkarma süreçlerini daha verimli hale getirirken, farklı veri madenciliği araçları arasındaki karşılaştırmalar da sağlanır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, Orange yazılımı, Derin öğrenme, Veri Madenciliği, Makine öğrenmesi.

1. GİRİŞ

Yapay zeka (AI) uygulamalarından, bir sorunu çözmek veya karar vermek için insan zekasını simüle etmek için yararlanılır. Yapay zeka, sağlık (Akalin vd., 2020, Ataş vd., 2013, Dilbilir, 2022), gıda güvenliği (Ataş vd., 2010, Ortaç vd., 2016), borsa

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

(Şişmanoğlu vd., 2020) , eğitim (Bıkmaz vd., 2016, Elmas vd., 2022), otonom araçlar (Muhammed, 2023, Çelebi, 2022), robotik (Andras vd., 2020), hukuk (Acar, 2023), uzaktan algılama (Tekeli, 2005) , bilimsel hesaplama (Aher vd., 2011, Ataş, 2016) gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Makine öğrenimi (Machine Learning), veri kümelerine istatistiksel algoritmalar uygulayarak, verilerdeki örüntüleri ve trendleri belirlemek için kullanılan Yapay Zeka'nın önemli bir parçasıdır. Denetimli öğrenme (Supervised Learning) ise, önceden bilinen verileri kullanarak modelleri eğitmekle ilgilenen Makine Öğrenimi dalının bir alt dalını temsil etmektedir. Bu süreçte, model, veri setinden belirli bir hacim üzerinde eğitilerek verilerin özelliklerini değerlendirir ve içerisindeki desenleri öğrenmektedir. Test verileri ise modelin yaptığı tahminlerin doğruluğunu değerlendirmek için kullanılmaktadır (Vaishnav vd., 2020).

Günümüz dünyasında, veri miktarı hızla artmaktadır. Bu nedenle, bu büyük veri kümelerini etkili bir şekilde analiz etme süreci insanlar için oldukça zorlu hale gelmiştir. Bu nedenle, bu büyük veri setlerinden değerli ve anlamlı bilgileri çıkarmak için veri madenciliği gereklidir. Veri madenciliği, veritabanları veya veri havuzları gibi büyük veri kaynaklarından en değerli bilgiyi çıkarmak için kullanılan bir süreçtir. Sınıflandırma, veri madenciliğinin temel zorluklarından biri olan, verileri farklı kategorilere ayırmak için kuralların oluşturulması işlemidir.

Dijital dünyada, farklı türlerde trilyonlarca veri bulunmaktadır ve bu verileri manuel olarak işlemek oldukça zaman alıcı bir görevdir. Bu nedenle, araştırmacıların bu veri dağınıklığını anlamlı bilgilere dönüştürmelerine yardımcı olan otomatik araçlara ihtiyaç vardır. Birkaç yıl önce, bu sorunun üstesinden gelmek için bir dizi veri madenciliği yazılım aracı geliştirilmiştir. Bu araçların bazıları, WEKA ve Orange gibi açık kaynaklı yazılımlar şeklinde ücretsiz olarak kullanılabilir (Ratra, 2020).

Bu bölüm, Orange programının en önemli avantajlarını ve özelliklerini ele almaktadır. Ayrıca bu aracın nasıl çalıştığını ve veri madenciliği sürecini basitleştirmeye nasıl yardımcı olduğunu gösteren bazı pratik örnekler sunmaktadır.

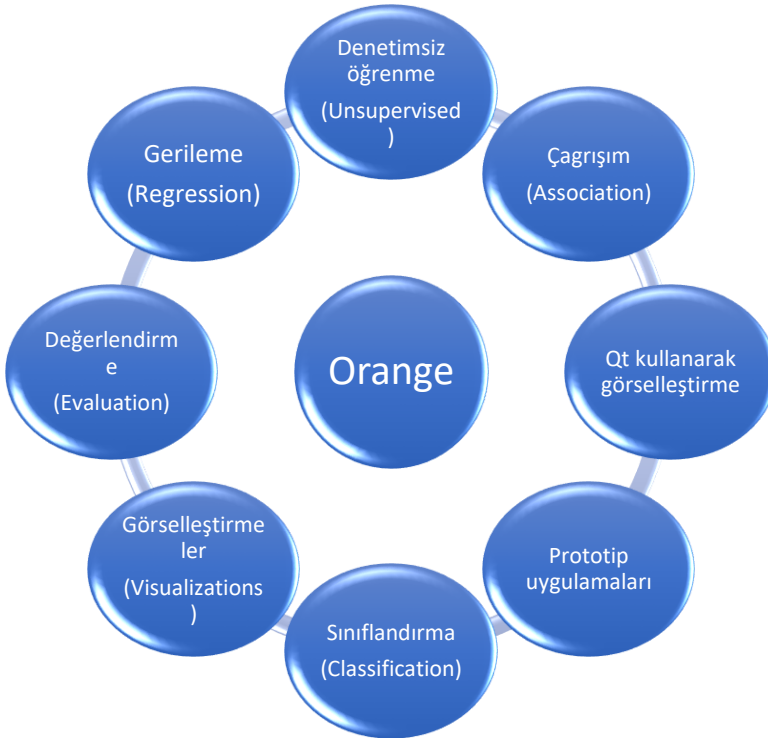
2. ORANGE NEDİR?

Orange, 1997 yılında Janez Demšar ve Blaž Zupan tarafından başlatılan bir veri madenciliği aracının gelişimiyle ortaya çıkmıştır. Geliştirme çalışmaları, Yapay Zeka Laboratuvarı'nda başladı ve şu anda her iki kurucu da Ljubljana Üniversitesi'nde bulunan Biyoinformatik Laboratuvarı'nda sürdürülmektedir. Orange'ın ilk tasarımı, bir C++ kütüphanesi olarak, makine öğrenimi algoritmaları, veri ön işleme, örnekleme ve diğer veri işleme prosedürlerini içermiştir. Orange, özellikle farklı ön işleme ve öğrenme algoritmalarının farklı kombinasyonlarının, çapraz doğrulama kullanılarak test edildiği ve puanlandığı veri keşfi için kullanılmıştır. Bu bileşenler

daha sonra komut satırı arayüzlerine sahip programlarda kullanılmıştır. Ancak bu sınırlı bir yaklaşım olduğu için, Orange'ın geliştiricileri bu bileşenleri Python ile uyumlu hale getirerek bir betik arabirimi sağlama kararı almışlar (Demšar vd., 2012).

Orange, ücretsiz olarak kullanılabilen ve Python'da yazılmış bir açık kaynaklı veri madenciliği yazılımıdır (<https://orangedatamining.com>). Orange, keşif amaçlı veri analizi ve görselleştirme için oldukça kullanışlıdır ve farklı deneyler yapmak için bir platform sunmaktadır. Orange, yenilik, güvenilirlik ve kalite konularında oldukça etkilidir (Pretnar, web sayfası). Özellikle Orange Canvas, görsel bir programlama arayüzü ve farklı özellikleri düzenli ve yapılandırılmış bir şekilde sunmaktadır. Bu özellikler şekil 1'de gösterildiği gibi kullanıcıya sunulmaktadır (Ratra vd., 2020). Orange ayrıca, kütüphanesi ve Orange modülleri üzerinden yöntemler kullanarak çok sayıda grafik düzenlemesini birleştirmektedir. Görsel programlama yoluyla, "Orange Canvas" adlı görsel bir programlama aracı kullanılarak cihazlar bir araya getirilebilmektedir (Wahbeh vd., 2011).

Bu, Orange'ın geçmişi ve özelliklerini daha ayrıntılı ve etkili bir şekilde açıklayan bir ifade olacaktır.



Şekil 1: Orange'ın ana özellikleri

Orange, veri ön işleme, model oluşturma ve değerlendirme gibi geniş bir

yelpazede görevleri desteklemektedir. Aşağıda bu görevlerin bazı örnekleri verilmektedir (Demšar vd., 2004):

- **Veri yönetimi ve ön işleme:** Örneklemme, filtreleme, ölçekleme, ayırıklaştırma, yeni özniteliklerin oluşturulması gibi veri yönetimi ve ön işleme işlemleri.

- **Sınıflandırma ve regresyon modellerinin indüksiyonu:** Ağaçlar, saf Bayes (naive Bayesian) sınıflandırıcı, örnek tabanlı (instance-based) yaklaşımlar, doğrusal ve lojistik regresyon, destek vektör makineleri gibi çeşitli yöntemlerle sınıflandırma ve regresyon modelleri oluşturulmasıdır.

- **Tanımlayıcı yöntemler:** İlişkilendirme kuralları ve kümeleme gibi tanımlayıcı analiz yöntemleridir.

- **Tahmin modellerinin değerlendirilmesi:** Farklı uzatma şemaları, çeşitli puanlama yöntemleri ve görselleştirme yaklaşımları dahil olmak üzere tahmin modellerinin değerlendirilmesi ve puanlanması için yöntemler.

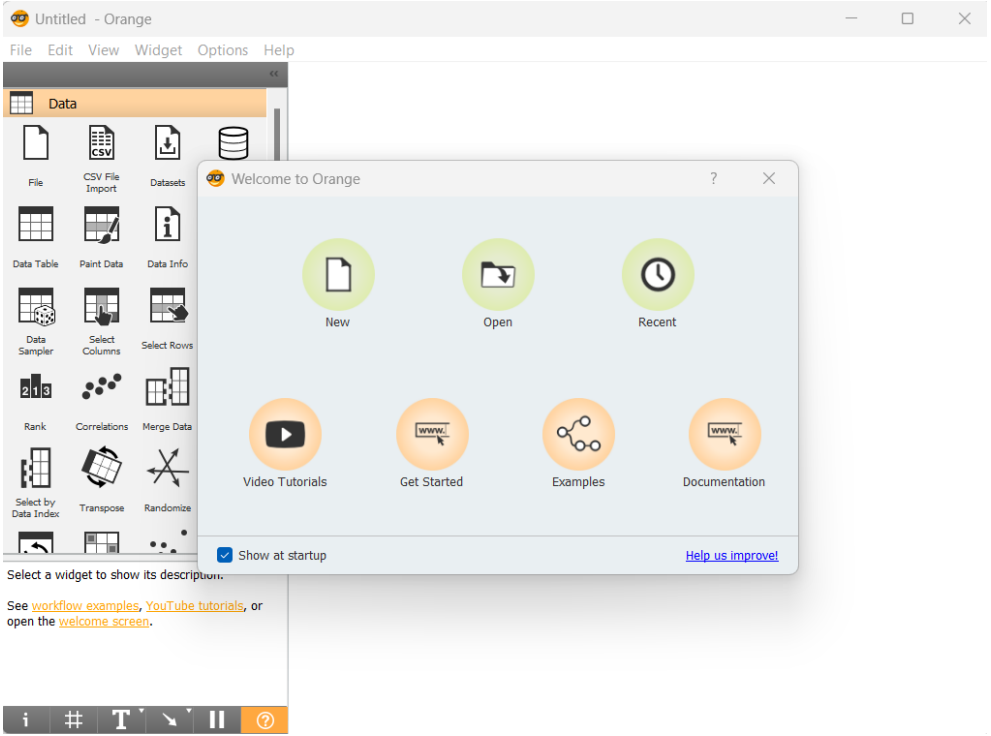
Bu açıklama, Orange'ın verileri işleme, model oluşturma ve sonuçların değerlendirilmesi gibi çeşitli veri madenciliği görevlerini destekleme yeteneğini daha iyi anlatmaktadır.

3. ORANGE İLE VERİ MODELLEME VE GÖRSELLEŞTİRME İŞLEMLERİ

Veri modelleme ve görselleştirme, veri bilimcileri ve analistlerin çalışmalarının temel taşlarıdır. Bu süreçler, veri kümelerinin içindeki kalıpları ve davranışları anlama amacını taşımaktadır. Orange Data Mining, veri görselleştirme ve analizin kapılarını açarak bu önemli alanlara erişim sağlamaktadır.

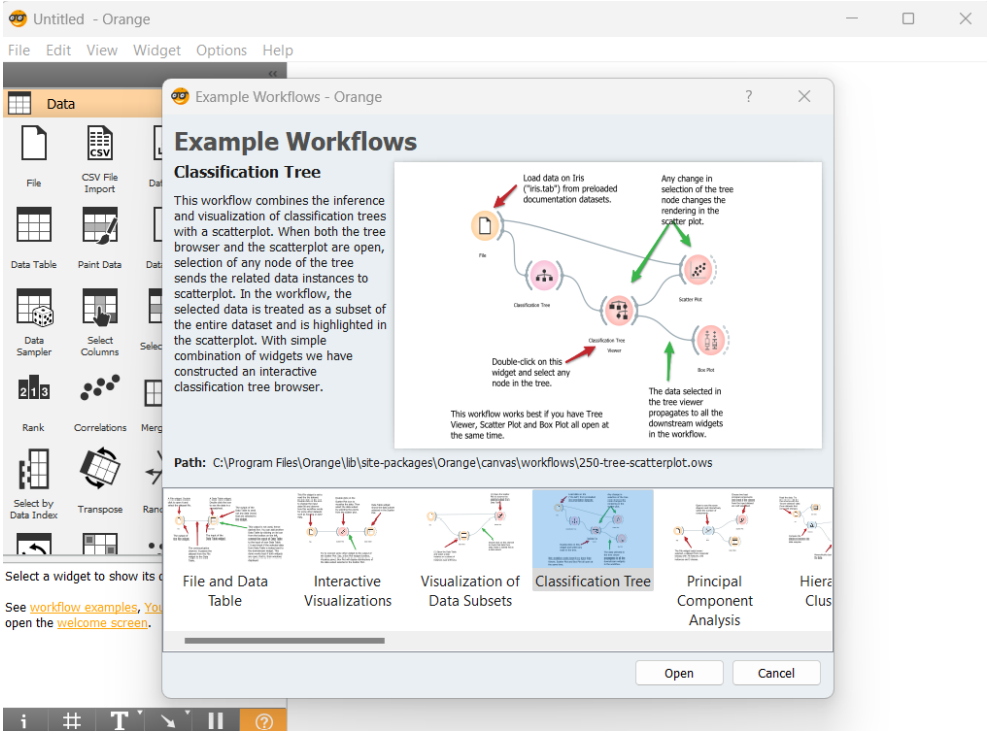
Örnek bir iş akışı olarak, Orange Data Mining'de varsayılan sınıflandırma ağacı işlemini ele alalım. Bu iş akışı, önceden bilinen "iris taç yaprağı uzunluğu" veri kümesi kullanılarak nasıl uygulanacağını aşağıda göstermektedir: (Dewarani, web sayfası)

- a. Orange Veri Madenciliği Uygulamasını Başlatın: Bilgisayarınızda Orange'ı açarak başlayın.



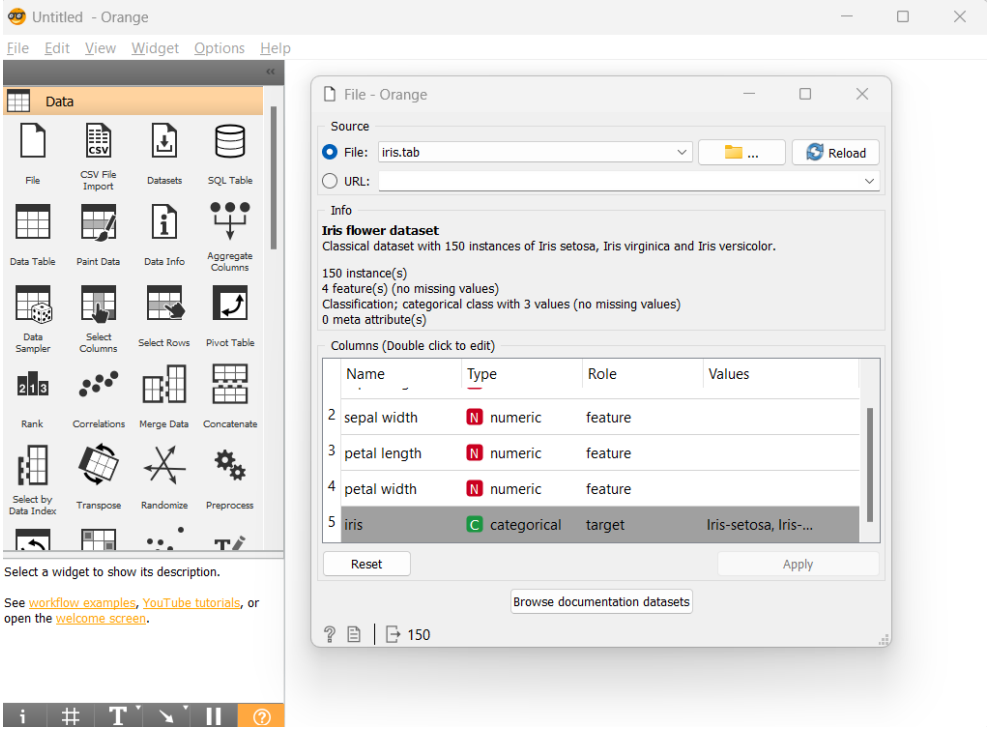
Şekil 2: Orange'in ana menüsü

b. Örnek İş Akışını Yükleme: Sınıflandırma için varsayılan örnek iş akışını açmak için menü çubuğunda "Example" seçeneğine tıklayın ve Classification Tree veya Sınıflandırma Ağacı'nı seçin. İş akışında, dairesel sembollerle temsil edilen birkaç düğüm göreceksiniz. Her düğüm, sınıflandırma sürecindeki bir adımı temsil etmektedir.



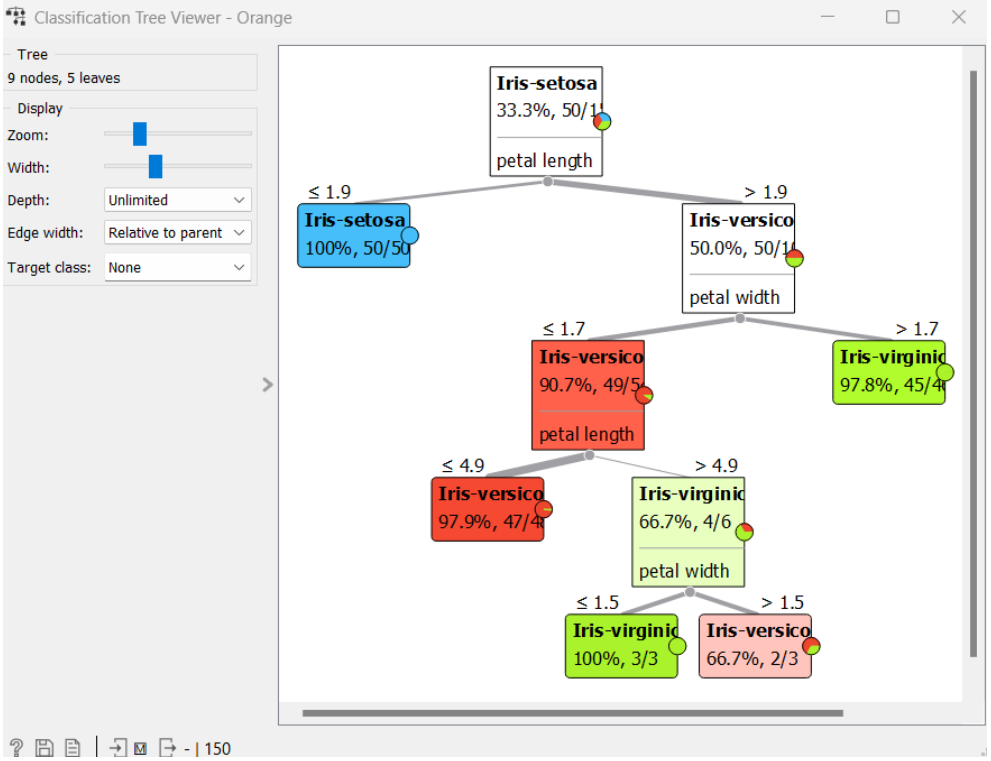
Şekil 3: Sınıflandırma Ağacı'nı seçmek

c. Iris veri setini yüklemek için, "File" düğümüne sağ tıklayın ve ardından "Open" seçeneğini belirleyin. Açılan menüden Iris veri kümesini seçin veya gerekiyorsa doğrudan sağlanan klasörden yükleyin.



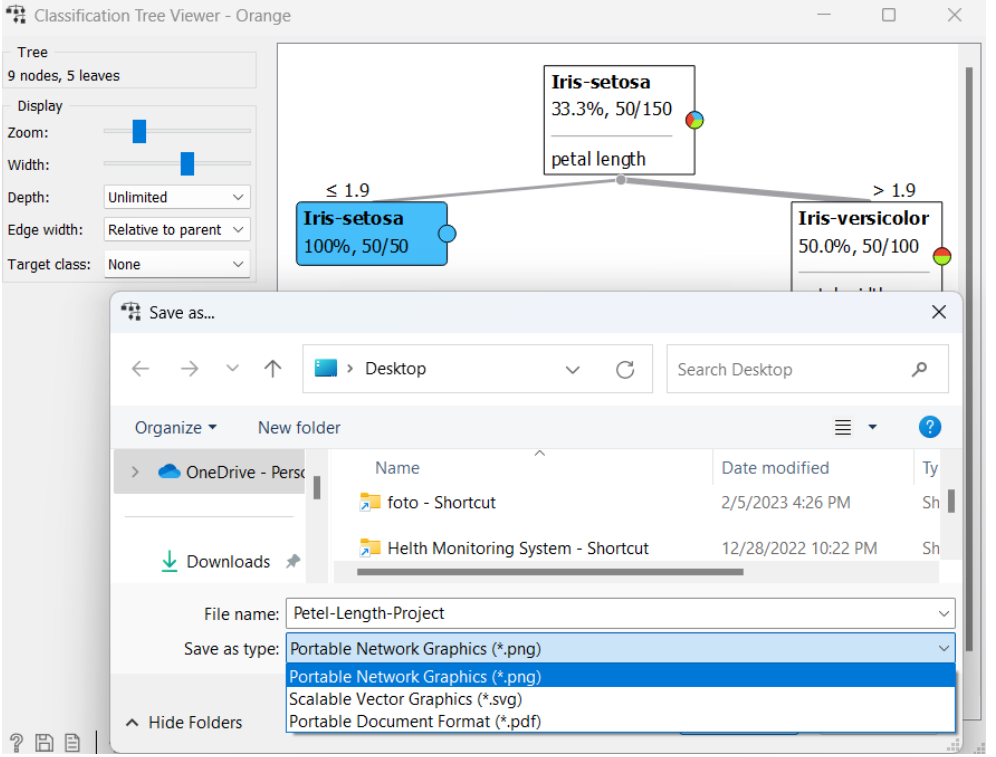
Şekil 4: İris veri setini yükleme işlemi

d. Model önceden oluşturulmuş olduğundan, sınıflandırma ağacının parametrelerini değiştirmek isterseniz, Sınıflandırma Ağacı Görüntüleyici (Classification Tree Viewer) düğümüne çift tıklayabilirsiniz. Sınıflandırma Ağacı Görüntüleyici düğünü, karar ağacını görsel olarak temsil etmektedir. Ağaçtaki her düğüm, sınıflandırmayı etkileyen farklı bir niteliği veya özelliği temsil etmektedir. Ağacı keşfetmek için bir düğme çift tıkladığınızda, düğümleri birbirine bağlayan kesikli çizgiler düz bir çizgiye dönüşmektedir.



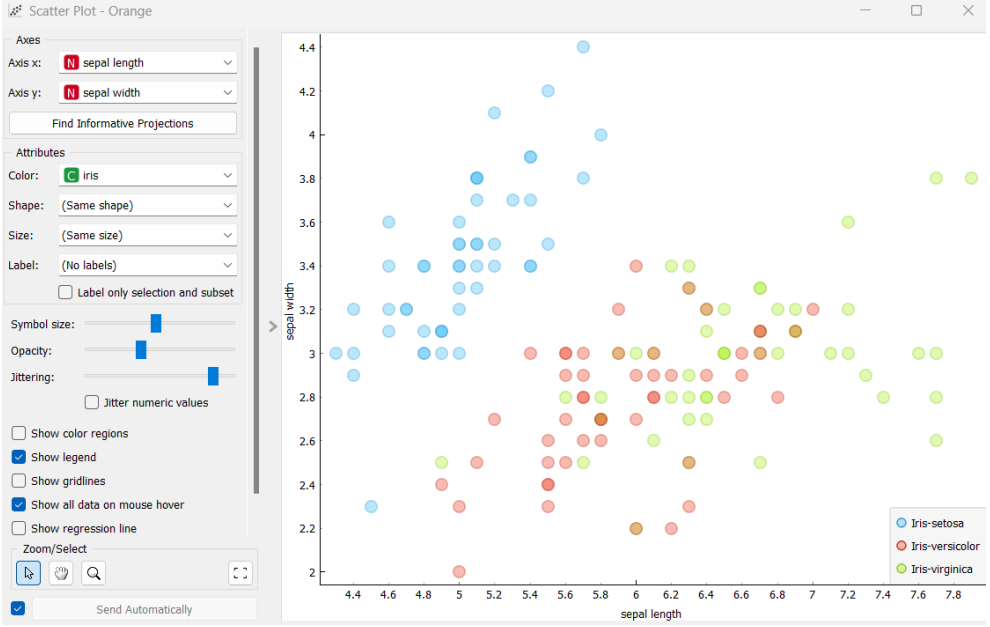
Şekil 5: Sınıflandırma Ağacı Görüntüleyici

Karar ağacını kaydetmek için PDF, PNG veya SVG formatlarında kullanılabilir simgesine tıklayınız.



Şekil 6: Sınıflandırma Ağacı Kaydetme Ekranı

e. Ayrıca, belirli düğümleri seçerek bu düğümlere özgü kutu grafikleri ve saçılım grafiklerini (Scatter Plots) görüntüleyebilirsiniz. Bu, daha fazla analiz ve karşılaştırma yapmanıza olanak tanımaktadır. Belirli bir düğümü seçerek, bu düğüme ait veri noktalarını vurgulayan saçılım grafiği üzerinde görebilirsiniz.



Şekil 7: Saçılım Grafiği (Scatter Plot)

f. Bunun yanı sıra, özel düğümleri seçip bu düğümlere özgü kutu grafikleri (Box Plots) ve saçılım grafiklerini (Scatter Plots) görüntüleyebilirsiniz. Bu özellik, daha derinlemesine analizler yapmanıza ve karşılaştırmalar yapmanıza imkan sağlamaktadır.

Görüldüğü gibi, yukarıdaki örnekte Orange Data Mining, manuel olarak Python not defterinde yapılan işlemlere kıyasla sınıflandırma modeli oluşturma sürecini büyük ölçüde basitleştiren görsel ve etkileşimli bir platform sunmaktadır. Kullanıcılar, kod yazma zorunluluğu olmadan önceden oluşturulmuş düğümleri ve bağlantıları kullanarak zaman ve çaba tasarrufu yapabilmektedir. Karar ağacının görsel temsili, veri analizi ve yorumlamayı kolaylaştırarak kullanıcılara veri kümelerindeki desenleri ve ilişkileri daha iyi anlama olanağı sunmaktadır. Ayrıca, kutu grafikleri (Box Plots) ve saçılım grafikleri (scatter plots) gibi görsel araçlarla veri analizi daha da geliştirilir, böylece daha bilinçli kararlar alınabilmektedir.

Orange Data Mining ayrıca otomasyon özellikleri sunarak işlemlerin tekrarlanabilirliğini artırmaktadır. Bu, manuel hataların ve tutarsızlıkların önüne geçer, böylece tutarlı sonuçlar elde etmeyi ve veri analizi sürecini kolaylaştırmayı sağlamaktadır. Genel olarak, Python not defteri üzerinde manuel çalışmaya kıyasla Orange Data Mining'in Karar Ağacı iş akışı, daha etkili, görsel olarak çekici ve kullanıcı dostu bir yaklaşım sunarak veri bilimcilerin değerli içgörüler elde etmeye odaklanmalarına yardımcı olmaktadır.

4. FARKLI VERİ MADENCİLİĞİ ARAÇLARI

Orange'e ek olarak, veri madenciliği yoluyla veri analizi, görselleştirme ve bilgi çıkarma amacıyla kullanılabilecek birçok araç bulunmaktadır. Ancak, her araç farklı analiz süreçlerini destekleyebilir ve uyumlu olmayabilmektedir (Kukasvadiya, 2017). Bu nedenle, bazı araştırmacılar verilerini analiz etmek ve görselleştirmek için farklı bir araç tercih edebilmektedir. İşte en yaygın olarak kullanılan veri madenciliği araçlarından bazıları ve özellikleri arasındaki bazı karşılaştırmalar: (Zhang vd., 2016)

a) **Orange**: Görsel programlama ve keşifsel veri analizi için kullanışlı bir veri madenciliği aracıdır. Python ile yazılabilen Orange, bir dizi bileşen veya Widget kullanır ve macOS, Windows ve Linux işletim sistemlerini desteklemektedir.

b) **Weka**: Weka, Java ile geliştirilen bir makine öğrenimi ve veri madenciliği aracıdır. Görselleştirme ve analiz yeteneklerine sahip olan Weka, veri ön işleme ve model oluşturma konularında geniş bir koleksiyona sahiptir.

c) **R**: R, açık kaynaklı bir veri madenciliği aracı olup, istatistiksel hesaplamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. R, istatistiksel analizlerin yanı sıra doğrusal ve doğrusal olmayan veri madenciliği tekniklerini uygulama yeteneğine sahiptir.

d) **RapidMiner**: Açık çekirdekli bir veri madenciliği aracı olan RapidMiner, hızlı madencilik yetenekleri sunmaktadır. İstemci/sunucu modelini kullanarak veri çıkarma, dönüşüm ve işleme işlemlerini gerçekleştirmektedir.

e) **KNIME**: KNIME (Konstanz Information Miner), açık kaynaklı bir veri madenciliği aracıdır. Başlangıçta ilaç araştırmalarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir.

f) **DataMelt**: DataMelt, bilimsel hesaplama ve çoklu platformlar için bir çerçeve olan Java ile yazılmış açık kaynaklı bir veri madenciliği aracıdır.

Bazı araçlar, diğerlerine göre belirli parametreleri daha iyi destekler ve daha iyi performans gösterirken, bazıları bu parametreleri destekleme konusunda yetersiz olabilmektedir. Tablo-1, her veri madenciliği aracının desteklediği veya desteklemediği parametreleri ayrıntılı olarak açıklamaktadır. Burada, "1" pozitif veya destekleyici bir değeri temsil ederken, "0" negatif veya destekleyici olmayan bir değeri temsil etmektedir.

Tablo 1: Veri madenciliği araçlarının karşılaştırılması

Veri Madenciliği araçlarının Özellikleri/Parametreleri	Veri Madenciliği Araçları					
	Orange	Weka	R	Rapid Miner	Knime	Data Melt
Açık kaynaklı	1	1	1	1	1	1
Veri Görselleştirme ve Analizi	1	1	0	1	0	1
Komut Dosyası Arayüzü (Scripting Interface)	1	1	1	0	1	1
Platform Bağımsızlığı	1	1	1	1	0	0
Büyük Alet kutusu (Tool box)	1	0	0	1	1	0
Etkileşim ve Veri Analizi	1	1	0	1	1	1
Kaplama Yöntemleri (Covering Methods)	0	1	0	1	0	1

Orange veri madenciliği, veri analizi için oldukça kullanışlıdır. Ayrıca, veri doğrulama, karşılaştırma ve tahmin gibi işlemleri de destekler ve C, C++, ve Python gibi yaygın programlama dilleriyle uyumlu çalışır. Orange, kolay öğrenilebilir bir araç olup, yukarıda karşılaştırıldığı gibi diğer alternatiflere göre daha üstün bir performans sunabilir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde veri madenciliği ve analiz süreçlerinin önemi vurgulanmış ve Orange veri madenciliği yazılımının kullanımı ele alınmıştır. Orange, açık kaynaklı ve görsel programlama arayüzüne sahip bir araç olarak veri analizi ve keşif işlemlerini kolaylaştırmaktadır. Bu yazılım, farklı veri madenciliği araçları ile karşılaştırılmış ve Orange'ın özelliklerinin ve avantajlarının altı çizilmiştir.

Orange, veri modelleme ve sınıflandırma süreçlerini örnek bir iş akışıyla açıklamış ve görsel programlama ile veri analizini basitleştirdiği gösterilmiştir. Karar ağaçları, kutu grafikleri ve saçılım grafikleri gibi görsel araçlarla kullanıcıların veri analizi ve yorumlama yetenekleri artırılmıştır.

Ayrıca, farklı veri madenciliği araçlarının karşılaştırıldığı bir tablo sunularak okuyuculara tercihlerine göre bir araç seçme konusunda yardımcı olunmuştur. Orange'ın açık kaynaklı, platform bağımsız ve kullanıcı dostu bir araç olduğu belirtilerek, veri bilimcileri ve analistler için önemli bir kaynak olduğu vurgulanmıştır.

Sonuç olarak, Orange veri madenciliği yazılımının veri analizi süreçlerini basitleştirdiği ve farklı veri madenciliği araçları arasında önemli bir seçenek sunduğu açıklanmıştır. Bu yazılım, veri madenciliği alanında çalışanlar için değerli bir araçtır ve büyük veri setlerinden anlamlı içgörüler elde etmelerine yardımcı olabilmektedir.

REFERANSLAR

- Acar, A. K. (2023). Din ve Teknoloji Etkileşiminde Yapay Zeka ve Transhümanizm'e Yaklaşımlar. Pamukkale Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi, 10(1), 380-406.
- Aher, S. B., & Lobo, L. M. R. J. (2011, March). Data mining in educational system using weka. In International conference on emerging technology trends (ICETT) (Vol. 3, pp. 20-25).
- Akalın, B., & Veranyurt, Ü. (2020). Sağlıkta Dijitalleşme Ve Yapay Zekâ. SdÜ Sağlık Yönetimi Dergisi, 2(2), 128-137.
- Andras, I., Mazzone, E., van Leeuwen, F. W., De Naeyer, G., van Oosterom, M. N., Beato, S., ... & Mottrie, A. (2020). Artificial intelligence and robotics: a combination that is changing the operating room. World journal of urology, 38, 2359-2366.
- Ataş, M. Said, (2023) “Farklı Otonom Sürüş Seviyeleri Ve Şerit Tespiti Arasındaki İlişkilerin Araştırılması”, 5. Anatolian Scientific Research Congress, July 21-23, Hakkari, Türkiye.
- Ataş, M., & Atas, (2016) İ. “Vectorization Operations in Open Cezeri Library”. International Engineering, Science and Education Conference, December 2016, Dicle University, Diyarbakır, Türkiye.
- Ataş, M., Dikici, A., & Tümay, A. (2013) “Ahbs İstemci Yazılımı Standardizasyonu Yol Haritası”. Akademik Bilişim 2013, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye.
- 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.
- Ataş, M., Temizel, A., & Yardımcı, Y. (2010, April). “Classification of aflatoxin contaminated chili pepper using hyperspectral imaging and artificial neural networks”. In 2010 IEEE 18th Signal Processing and Communications Applications Conference (pp. 9-12). IEEE.
- Bikmaz, İ., İşler, V., Kahyaoğlu, M., Akyüz, D., & Atas, M. (2016). KARMA: Karma Gerçeklik Teknolojisi (Mixed Reality) ile Öğretmenlerin Eğitilmesi.
- Çelebi, S., & Atas, M. (2022). “Otonom Araçlar İçin Java Tabanlı Yazılım Mimarisi Önerisi” II. International Siirt Scientific Research Congress 18-19 November 2022, Siirt, Türkiye.
- Demşar, J., & Zupan, B. (2012). Orange: Data mining fruitful and fun. Proceedings of the 15th International Multiconference Information Society – IS, Vol A.
- Demşar, J., Zupan, B., Leban, G., & Curk, T. (2004). Orange: From Experimental Machine Learning to Interactive Data Mining. In J. F. Boulicaut, F. Esposito,

- F. Giannotti, & D. Pedreschi (Eds.), Knowledge Discovery in Databases: PKDD 2004 (Vol. 3202, Lecture Notes in Computer Science, pp. -). Springer.
- Dewarani G., Simplifying Success: Supervised Classification with Orange Data Mining, Web Sayfası, Erişim Tarihi: 06.09.2023 Web adresi: <https://medium.com/@gdewarani/simplifying-success-supervised-classification-with-orange-data-mining-ae2217704ce6>.
- Dilbilir, Y., & Elasan, S. (2022). Systematic Review In Evidence-Based Medicine. Current Research In Health Sciences.
- Elmas, B., Dilbilir, Y., Demiralp, C., & Davut, A. Ç. A. R. (2022). Çocuklarda Beslenme Sürecinde Annelerin Tutumları İle Psikolojik İyi Oluşları Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. Çocuk Ve Gelişim Dergisi, 4(8), 88-103.
- Kukavadiya, M. S., & Divecha, N. H. (2017). Analysis of Data Using Data Mining Tool Orange. International Journal of Engineering Development and Research, 5(2).
- Ortaç, G., Bilgi, A. S., Taşdemir, K., & Kalkan, H. (2016). A hyperspectral imaging based control system for quality assessment of dried figs. Computers and Electronics in Agriculture, 130, 38-47.
- Pretnar, A., Top New Features in Orange 3 Data Mining Platform, Web Sayfası, Erişim Tarihi: 08.09.2023 Web adresi: <https://www.kdnuggets.com/2015/12/top-7-new-features-orange-3.html>.
- Ratra, R., & Gulia, P. (2020). Experimental evaluation of open-source data mining tools (WEKA and Orange). International Journal of Engineering Trends and Technology, 68, 30-35.
- Şişmanoğlu, G., Koçer, F., ÖNDE, M. A., & SAHİNGOZ, O. K. (2020). Derin öğrenme yöntemleri ile borsada fiyat tahmini. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(1), 434-445.
- Tekeli, A. E. (2005). Operational hydrological forecasting of snowmelt runoff by remote sensing and geographic information systems integration.
- Vaishnav, D., & Rama Rao, B. (2018). Comparison of machine learning algorithms and fruit classification using Orange data mining tool. 2018 3rd International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT). IEEE.
- Wahbeh, A. H., Al-Radaideh, Q. A., Al-Kabi, M. N., & AlShawakfa, E. (2011). A Comparison Study between Data Mining Tools over some Classification Methods. International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), Special Issue on Artificial Intelligence, 18-26.
- Zhang, H., Raitoharju, J., Kiranyaz, S., & Gabbouj, M. (2016). Limited random walk algorithm for big graph data clustering. Journal of Big Data, 3(1), 26.

Bölüm 3

PV DESTEKLİ DC ŞARJ ÜNİTELERİNDE SÜPER İLETKEN KABLO KULLANILMASINDAKİ GÜNCEL GELİŞMELER

Beren BAYRAM¹

Zuhal OKTAY²

Can COŞKUN³

1. GİRİŞ

Fosil yakıt stoğunun dünya nüfusunun hızla artması ve akabinde gelişen sanayileşmeyle enerji ihtiyacını karşılayamayacağı anlaşılmıştır. Alışkın olduğumuz enerji kaynaklarından sürdürülebilir ve temiz enerji kaynaklarına geçiş, büyük bir ehemmiyet taşımaktadır.

Enerji ihtiyacının yanı sıra fosil yakıt tüketimi sonucunda oluşan hava kirliliğinin insan sağlığına olumsuz etkileri bulunmaktadır. İnsan sağlığı dışında doğayı da olumsuz etkilemektedir ve küresel ısınma, iklim değişikliği gibi sonuçları da beraberinde getirmektedir. Enerji arayışıyla birlikte toplumun bilinçlenmesi sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim hızla artmıştır (Öter ve ark.,2022).

Fosil yakıtların en çok kullanım alanlarından birisi olan içten yanmalı motorlardır. İçten yanmalı motora sahip araçlara alternatif olarak elektrik motoruna sahip araçlar (EA) geliştirilmiştir. Elektrikli araçlar fosil yakıt ihtiyacını karşılayarak, ülkelerin enerji konusundaki dışa bağımlılıklarını azaltmak ve çevreye salınan zararlı gazlar nedeniyle iklim değişikliğinin önüne geçebilmek için önemli bir rolü üstleneceği düşünülmektedir (Kerem ve ark., 2020).

Fosil yakıtın neden olduğu problemlerin yanında, elektrikli araçlar teknolojisine yönelik sunulan pil teknolojisindeki gelişmeler de bu dönüşümün önemli pay sahiplerindendir. Honda, BMW, Renault ve Tesla gibi dünya çapında önemli sektöre yön veren firmaların elektrikli araçlar üzerine yaptıkları çalışmalar ve piyasaya sürdükleri ürünlerin yanı sıra ülkemizde de bu konu da

¹ İzmir Demokrasi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, 2217104007@std.idu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-0848-1518>

² İzmir Demokrasi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, zuhal.oktay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6167-7048>

³ İzmir Demokrasi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, can.coskun@idu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-4100-0296>

TOGG-Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubunun yaptığı çalışmalar bulunmaktadır (Çetin, 2021).

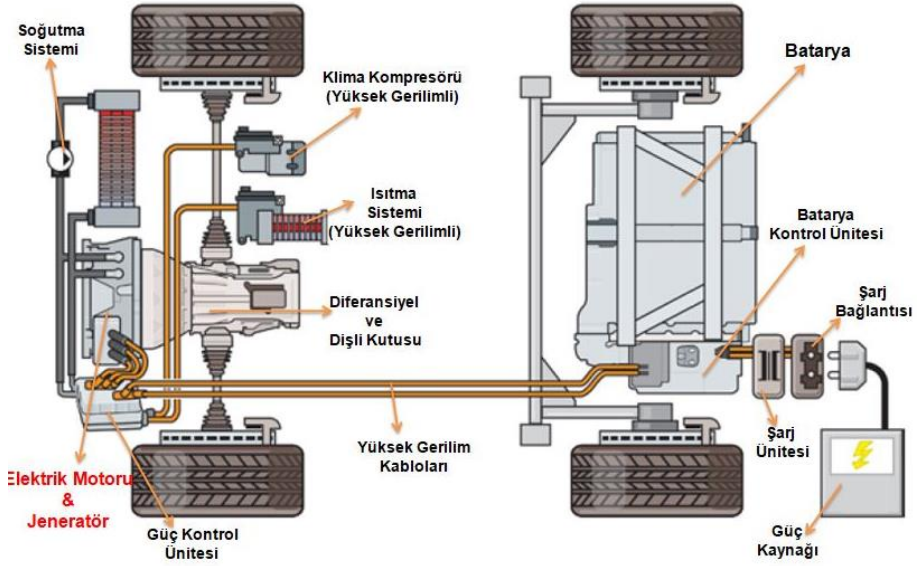
Elektrikli araçların piyasada yerini almasıyla benzin istasyonlarında da revizyonlara gidilmesi gerekmektedir ve şarj ünitelerinin/istasyonlarının olması gerekmektedir. Şarj istasyonlarının şebeke güç bağlantısı incelendiğinde şebeke de oluşacak ani yüklenmelerde özellikle akşam saatlerinde harmonik oluşumu sonucunda ana şebekede enerji kesintisi meydana gelebilir. Şarj istasyonlarının çevresinde bulunan yerleşim yerlerinde kullanılan elektronik aletlerde sorun teşkil edebilir.

Elektrikli araç şarj istasyonlarıyla ilgili literatürdeki çalışmalar genellikle şarj istasyonlarının konumlandırılması ve şebekeyle olan bağlantısını incelenmesine odaklanmaktadır. 10 kV ve 0,4 kV mevcut sistem portal sisteminde oluşmaktadır. Farklı elektrikli araç penetrasyon oranları ve belirli zaman dilimlerinde şarj edilen araç parçalarına göre çeşitli senaryolar mevcuttur. Oluşturulan senaryolarda, besleme noktalarındaki yüklenme durumları, gerilim profilleri ve akım akımları detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Elektrikli araç şarj istasyonlarının elektrik şebekesine olan etkileri üzerinde durulmuş, özellikle harmonikler üzerinde detaylı bir inceleme yapılmış (Tunçer ve ark., 2022).

Şarj istasyonlarının şebeke ile bağlantısı sonucu oluşan veya oluşabilecek problemler nedeniyle PV destekli şarj üniteleri araştırılmaya başlanmıştır. Fotovoltaik (PV) sistemler, güneş enerjisini elektriğe dönüştürmek için yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir. Çevre dostu PV sistemlerle elektrikli araç şarj istasyonu teknolojilerini birleştirerek PV destekli DC şarj üniteleri ortaya çıkarılmıştır, PV destekli DC şarj üniteleri geleceğin enerji ve ulaşım sektörü için önemli bir rol oynamaktadır.

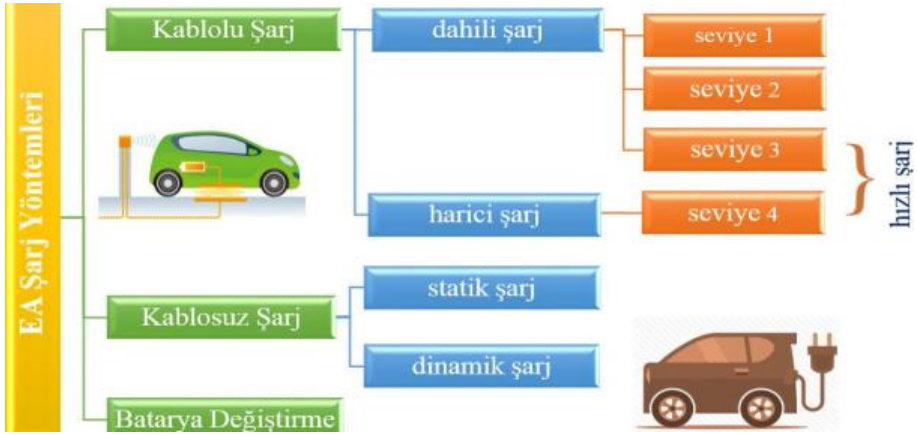
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE ŞARJ YÖNTEMLERİ

Elektrik araçlar bir rotor vasıtasıyla hareket eder. Elektrik motorunun içinde yer alan ve dönerek hareket halinde olan rotor adlı parça sayesinde elektrikli araç çalışır. Rotor döndükçe elektrik akımı iletilir, elektrik enerjisi hareket enerjisine dönüşür. Benzinli araçların aksine elektrikli araçtaki tork gücünün hissedilebilmesi için motorun belirli bir devire ulaşmasına ihtiyaç duyulmaz. Motora ek olarak sahip olunan batarya sayesinde elektrikli araç kullanılır. Şekil 1'de elektrikli araç iç yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1 Elektrik araç iç yapısı

Elektrikli araçların kablolu şarj, kablosuz (endüktif) şarj ve batarya değişimi olmak üzere üç farklı şarj yöntemi vardır. Bu yöntemler Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2 Elektrik araç şarj yöntemleri

Kablolu şarj yöntemi; şarj cihazı, enerji kaynağı ile araç arasında doğrudan etkileşimde bulunan bir şarj sistemi olarak kullanılabilir. Bu şarj sistemi, çeşitli güç iyileştirme faktörü ve bağlantı elemanlarından oluşur. Hem dahili hem de harici şarj yöntemleri bulunmaktadır (Ahmad ve ark., 2018).

Dahili şarj yöntemleri; şarj cihazının araç dışında olduğu ve üç tip şekilde şarj edilecek bir yöntemdir. Seviye 1 şarjda, güvenlik önlemleri alınmadan basit bir

uzatma kablosu ve standart bir priz kullanılır. Evlerde veya iş yerlerinde uzun süreli park halindeyken kullanılır bu nedenle yavaş şarj yöntemi olarak da bilinir. Seviye 2 şarjda, araçlar ev prizleriyle ana güç şebekesine bağlanır. Şarj işlemi tek fazlı/üç fazlı bir şebeke ve topraklama hattı ile gerçekleştirilir. Şehir içi kullanıma uygundur ve şarj süresi, seviye 1'e göre daha kısadır. Seviye 3 şarjda, kablolu alternatif akımlı şarj istasyonudur. Seviye 2'den daha yüksek bir güç seviyesine sahiptir ve özel bir batarya kontrol sistemi bulunmaktadır (Angelov ve ark., 2018).

Harici şarj yöntemi; seviye 4 olarak bilinen şarj yöntemi harici bir şarj cihazı ile ana güç kaynağına bağlanmaktadır (Angelov ve ark., 2018).

Kablosuz şarj yöntemi; elektromanyetik dalgalar kullanılarak araç bataryasına güç aktarılır. Araç, şarj yuvasının üstüne park edildiğinde şarj işlemi otomatik olarak başlar. Güç aktarımı için ana topraklama bobini (verici) ve ikincil bobin arasındaki değişken manyetik alan kullanılır. Bu sayede şarj işlemi basitleştirilir, elektronik devrelerde oluşabilecek olumsuz etkiler azaltılır ve batarya ömrü uzar. Alternatif güç, bataryayı şarj etmek ve manyetik rezonans sisteminin verimliliğini artırmak için kullanılır. Kablosuz şarj yöntemi, statik ve dinamik olarak iki kategoriye ayrılır. (Dericioglu ve ark., 2018).

Statik şarj yöntemi; sabit şarj yöntemi olarak da bilinmektedir. Birincil bobin güç dönüştürücülerle zeminin altına monte edilirken, alıcı veya ikincil bobin genellikle aracın ön, arka veya ortasının altına yerleştirilir. Güç dönüştürücüler kullanılarak enerji AA'dan DA'ya dönüştürülür ve bataryaya iletilir. Güç kontrolü ve batarya yönetim sistemleri, güvenlik sorunlarından kaçınmak ve geri bildirim almak için kablosuz iletişim ağına sahiptir. Şarj

süresi, şebeke gücü, batarya boyutları ve iki sargı arasındaki hava boşluğu mesafesine bağlı olarak değişir. Bu şarj cihazları park alanları, otoparklar, evler, alışveriş merkezleri gibi çeşitli yerlere kurulabilir (Panchal ve ark., 2018).

Dinamik şarj yöntemi; hareket halindeki elektrikli araçları şarj etmek için kullanılan bir yöntemdir, araçları sürekli olarak şarj etmeyi gerektirir. Bu durum, araçların daha sık şarj edilmesi veya daha büyük bir batarya kullanılması gerektiği anlamına gelir, bu da maliyet ve ağırlık gibi ek sorunlara neden olur. Sık şarj etmek ekonomik olmayabilir. Ancak, bu yöntem, elektrikli araçlardaki menzil ve maliyetle ilgili bazı sorunları azaltabilecek bir teknoloji olabilir. Verici bobinlerinin ve güç kaynaklarının belirlenmiş güzergahlara önceden konumlandırılması gerekmektedir. Temel problem, elektromanyetik alan şiddetinin mesafe arttıkça azalmasıdır (Panchal ve ark., 2018).

Batarya değiştirme yöntemi; elektrikli araç kullanıcılarının boş bataryalarını tamamen şarj edilmiş bir batarya ile değiştirebilmelerine olanak tanıyan bir yöntemdir. Bu yaklaşım, şarj sürelerinin saatler alabileceği durumlarda sıkıntı

yaşayan kullanıcılar için bir çözüm sunar. Batarya değiştirme yönteminin avantajları arasında uzun batarya ömrü, düşük kullanım süresi ve düşük işletme maliyeti bulunmaktadır. Batarya değiştirme tesisleri, çeşitli bileşenleri içerir, bunlar arasında dağıtım transformatörleri, AA-DA dönüştürücüler, batarya şarj cihazları, bataryalar, robotik kollar, şarj rafları, bakım sistemleri, kontrol sistemleri ve diğer ilgili cihazlar bulunmaktadır (Sutopo ve ark., 2018).

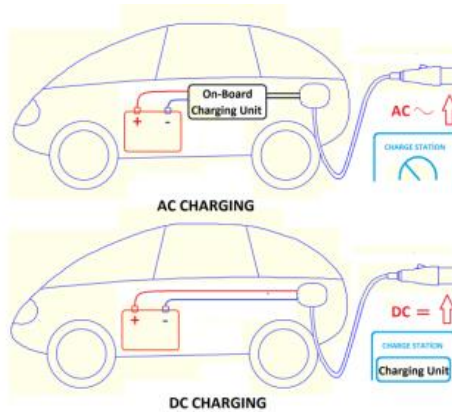
3. PV DESTEKLİ ŞARJ İSTASYONLARI

Elektrikli araçlar enerji talebinde önemli bir artışa neden olacaktır. Enerji talebindeki bu artış etkilerini öncelikle enerji dağıtım şebekesi üzerinde gösterecektir. Trafolar ve elemanlar aşırı yüklenmelere maruz kalacaktır. Bu nedenle, şarj istasyonları kurulurken kapasite ve yüklenmelerin projelendirilme kısmı önemlidir. Dağıtım şebekelerinin artan şarjlı istasyonlar tarafından tam kapasite kullanılması, iletim şebekesinde aşırı yüklenmeye neden olacaktır ve bunun sonucunda kayıplar ile gerilim düşmeleri meydana gelecektir. Bu durumda trafoların ve ana şebekelerin yeniden düzenlenmesi gerekecektir. Bu yenilenmenin maliyeti çok yüksek olacaktır.

Maliyet, enerji talepleri ve ana şebekede oluşabilecek sorunlar düşünüldüğünde şarj istasyonlarının PV destekli hale çevrilmesi fikri önem kazanmıştır.

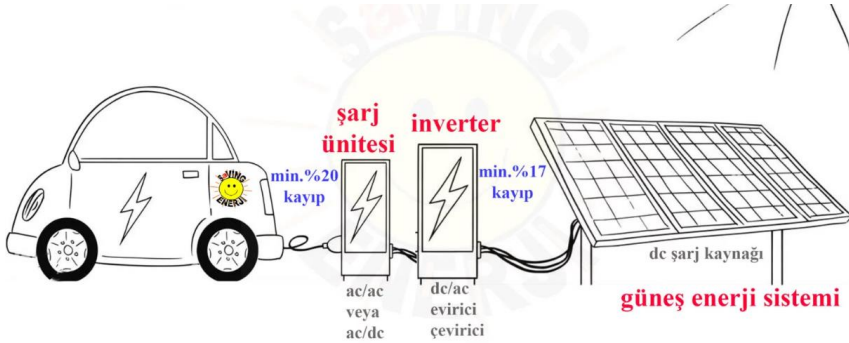
4. PV DESTEKLİ DC ŞARJ İSTASYONLARI

DC ve AC şarj istasyonları, elektrikli aracın dahili şarj (on-board charging) sistemine sahip olmasına bağlıdır (Şekil 4). Dahili şarj sistemine sahip elektrikli araçlar tek faz ya da üç faz gelen AC enerjiyi araç içerisindeki çeviri ile doğrultarak batarya şarj işlemini gerçekleştirir (Birleştirci ve ark., 2015).



Şekil 4 DC-AC şarj istasyonları

Güneş enerjisiyle çalışan elektrikli araç şarj istasyonları, güneş panelleri kullanarak elektrik üretirler. Güneş panelleri, güneşten gelen ışığı fotovoltaiik hücreler aracılığıyla elektriğe dönüştürür. Bu elektrik, bir şarj kontrol sistemi aracılığıyla araç şarj cihazlarına iletir.



Şekil 5 PV Destekli dc şarj ünitesi

Şarj istasyonunun çalışma prensibi genellikle şu adımları içerir:

1. Güneş ışığı toplama: Güneş panelleri, güneş ışığını toplar ve fotovoltaiik hücreler aracılığıyla elektriğe dönüştürür (Sahloul ve ark.,2023).
2. Elektrik üretimi: Güneş panellerinden gelen elektrik, genellikle bir aküye veya şebekeye bağlı olan bir invertör aracılığıyla uygun bir formata dönüştürülür (Sahloul ve ark.,2023).
3. Şarj kontrol sistemi: Üretilen elektrik, bir şarj kontrol sistemi tarafından yönetilir. Bu sistem, elektriğin depolanması, dağıtılması ve araç şarj cihazlarına iletilmesini sağlar (Sahloul ve ark.,2023).
4. Araç şarjı: Elektrikli araçlar, şarj olabilmesi için genellikle özel şarj cihazlarına bağlanır. Bu şarj cihazları, güneş panellerinden gelen elektriği kullanarak aracın bataryasını doldurur (Sahloul ve ark.,2023).

5. PV DESEKLİ DC ŞARJ İSTASYONLARINDA SÜPER İLETKEN KULLANILMASI

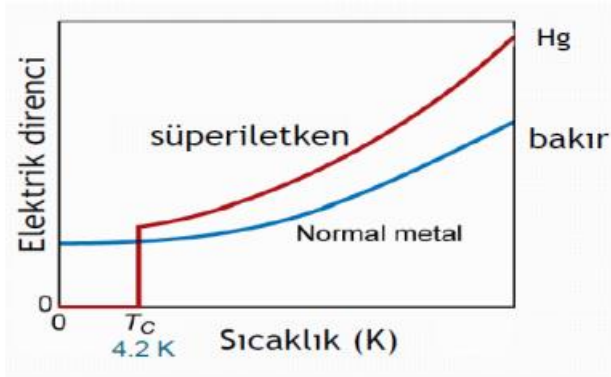
5.1SÜPER İLETKEN KABLolar

Süperiletkenlik, sıcaklık belli bir değerin altına düştüğünde bir malzemenin direncinin tamamen sıfır olmasıdır. 1911 yılında H.K. Onnes tarafından keşfedilmiştir.

Süperiletkenlik, elektrik devresinin bir iletken üzerinden geçilebilmesi için uygulanan gerilimin gerekliliğine direnç adı verilmektedir. Normal şartlarda iletken üzerinden akım geçtiğinde iletken ısınır. Bu durumda, dirençlere bağlı

olarak gereken gerilim ve kayıp enerji miktarı değişir. Ancak bazı iletkenlerde bu durum önemli ölçüde değişiklik gösterir. Bu özel iletkenler, kritik sıcaklık adı verilen belirli bir sıcaklıkta soğutulduklarında, içlerindeki elektronların özelliklerinin ısıya dönüştürme yeteneğinin değişmesi ve dirençleri sıfıra düşer. Bu durumda, yukarıda bahsedildiği gibi herhangi bir gerilim uygulamasından akım iletmek mümkün olur ve bu süreçte enerji kaybı yaşanmaz. Bu bilgilerin ayrıştığı, bu döngülerin kritik bileşenlerinin süperiletkenlik özelliği sergilediği güçler (Terzioğlu ve ark., 2020).

Süperiletkenlik sembolü, bir iletkenin belirli koşullar altında elektrik gücünün sıfırlanması olarak sağlanır. Bu belirli koşullar, kritik bir sıcaklık ve kritik bir manyetik alan içerir. Bazı iletkenlerin ve alaşımların belirli, yani kritik bir sıcaklıkta soğutulduğu dirençlerin ortadan kalkması ve süperiletkenlik özelliği gösterilmiştir.



Şekil 6 Süper iletken kablo

Süperiletkenlik gösteren bir madde, yüksek sıcaklıklarda normal elektriksel dirence sahip olup, maddenin kritik sıcaklığına kadar soğutulduğunda direnci sıfıra düşerek süperiletken durumuna geçmektedir. Bu tip malzemelere gerilim uygulandığında herhangi bir dirençle karşılaşmadığından akım sürekli akar ve herhangi bir kayıp da oluşmaz. Diğer malzemelerde bu durum farklıdır. Akım malzemeden geçerken enerji açığa çıktığından kayıplar meydana gelir (Gök, K., 2020).

6. YAPILAN ÇALIŞMALAR

EV hızlı şarj istasyonlarının tasarımını ele almakta olup, karlılığı artırmak ve enerji talebini en aza indirmek amacıyla enerji kaynaklarını (Rüzgâr ve fotovoltaik) ve depolama sistemini araştırmaktadır. Diğerlerinden farklı olarak, elektrikli araçların yanma süresi ve kullanım potansiyeli göz önüne alan ayrıntılı

bir şarj süreci modeli kullanılmaktadır. Monte Carlo yöntemi, EV talebini ve kısmi enerji üretimi için kullanılmıştır. Daha sonra, bir genetik güncelleme (GA), EV hızlı şarj istasyonunun kurulumunu ve yedeklemeyi optimize etmek için kullanılmıştır. Uygun çözümün bulunması için net gelecekte değer (NPV) kullanılarak kar maksimizasyonu hedeflenmiştir. Yenilenebilir enerji ve depolama verimlerinin analizi amacıyla çeşitli özelliklerin analizi yapılmıştır. Sonuç olarak değişim enerjisi ve depolama sonuçlarının bir analizinin en maliyet-etkin çözümü sağladığını göstermektedir (Dominguez ve ark., 2019).

Çevre kirliliğinin artması ve ekolojik dengenin sarsılmasından dolayı otomotiv sektöründe de gelişmeler yaşanmıştır. Daha temiz ve verimli yakıtlara yönelik ulaşım çözümleri geliştirilmeye başlanmıştır. Geleneksel içten yanmalı motorlu araçlara göre daha uygun bir seçenek olarak ortaya elektrikli araçlar çıkmıştır. Elektrikli araçların tercih edilmemesindeki en temel neden şarj süreleridir. Bu amaçla, hızlı şarj istasyonlarının kurulması ve entegrasyonu için çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Bu makalede, azaltılmış harmonik akımlarla kaliteli güç aktarımı sağlayan, şebekeye bağlı hızlı elektrikli araç şarj istasyonu tasarımı anlatılmaktadır. Bu model, EV'lerin akü şarj cihazlarıyla bağlı olduğu bir DC barasına güç sağlayan bir dönüştürücü içermektedir. Her aracın şarj süreci merkezi olmayan bir şekilde kontrol edilmekte ve AC şebekeden DC baraya güç transferi için ayrı bir kontrol mekanizması bulunmaktadır. Şarj istasyonuna güneş enerjisi üretim sisteminin dahil edilmesiyle, optimum güç akışına dayalı bir enerji yönetimi stratejisi de önerilmiştir. Bu sistem, şarj istasyonundaki EV filo akülerinin güç çıkışını da kullanarak, şebekeden alınan net enerjiyi azaltmakta, böylece şebeke yükünü düşürmekte ve dönüşüm kayıplarını minimize etmektedir (Khan ve ark. 2018).

Güneş fotovoltaik (PV) sistemlerinin büyük ölçekli entegrasyon potansiyeli , güç sistemlerindeki diğer yenilenebilir enerji kullanımlarıyla karşılaştırıldığında tam olarak araştırılmamıştır. Elektrikli araçların sürdürülebilir entegrasyonu ve güç sistemlerindeki güneş enerjisi kullanımı için önerilen yollardan biri, çatılarında güneş enerjisi sistemleriyle donatılmış otoparkların oluşturulmasını veya kurulmasını içerir. Araştırmalar EV'lerin çoğu zaman park halinde olduğunu gösterdiğinden, bu konsept güç sisteminin güvenilirliğini ve sağlamlığını artırıyor (Gough ve ark., 2021).

Yenilenebilir kaynaklar, özellikle güneş fotovoltaik (PV), elektrikli aletler (EV) şarj için çalıştırıldığında, teknik ve ekonomik fırsatlar sunan ilgi çekici bir seçenek olabilir. Bu yaklaşım, emisyonuz EV'leri düşük karbonlu PV enerjisiyle birleştirerek içten yanmalı motorlardan kaynaklanan sera gazlarına bağlı riskleri azaltma potansiyeli taşır. Önceki

Çalışmalarda genellikle elektrik kullanımı EV şarjını incelediği için, PV ile

EV şarjı üzerine odaklanılarak bir inceleme belgesinin eksik olması sağlanıyor. Bu inceleme, PV-EV kullanımının temel kayıtlarını özetleyip güncelleyerek, EV temelleri, pil bilgileri ve PV sistemlerine genel bir bakış sunarak daha geniş bir kitleye hitap etmeyi hedefliyor. PV-şebeke ve PV-bağımsız olmak üzere iki tür PV-EV şarjı ayrıntılı bir şekilde ele alınmakta, ayrıca Matlab işlemleri kullanılarak her iki türün teknik ve ekonomik fizibilitesini analiz etmek amacıyla şebeke şarjına odaklanan bir örnek olay çalışması yürütülmektedir (Salam ve ark., 2015).

Elektrikli araç otoparkının toplam enerji maliyetini düşürme amacı ile PV batarya hibrit sistemi tasarlanmıştır. Bataryaları hem PV'den artan enerji ile hem de elektriğin ucuz olduğu tarife dönemlerinde şarj ederek, pahalı olduğu dönemlerde kullanarak toplam maliyeti azaltmaya yönelik şarj yönetimi modeli oluşturmuşlardır (Çicek ve ark., 2019).

Güneş panellerinden gelen DC gerilimi araç bataryasına dönüştüren bir şarj ünitesinin tasarımı, modellemesi ve kontrolü anlatılmaktadır. Şarj ünitesi, üç adet DC-DC dönüştürücü ve bir adet DC-AC dönüştürücüden oluşmaktadır. Şarj ünitesinin performansı, MATLAB/Simulink ortamında simüle edilmiş ve deneysel olarak doğrulanmıştır (Kırat ve ark., 2023).

Elektrikli araçların şarj istasyonu konumu, ana şebeke hatlarıyla olan bağlantısı, %50 penetrasyon durumu, %100 penetrasyon durumu, örnek şebeke planlaması ve örnek şebekenin kısa devre akımlarının incelenmesi hakkında çalışma yapılmıştır (Tunçer ve ark., 2023).

7. SONUÇLAR

Güneş enerjili şarj istasyonları, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak elektrikli araçları çevre dostu bir şekilde şarj etmenin etkili bir yolunu sunar. Bu sistemler, özellikle güneş ışığı bol olduğu zamanlarda yüksek verimlilik sağlar, elektrikli araç sahiplerine düşük maliyetli ve çevre dostu bir şarj seçeneği sunar. Bu prensipler doğrultusunda, güneş enerjili şarj istasyonları, yenilenebilir enerji ve elektrikli araç teknolojilerinin birleşimini temsil eder, bu da daha sürdürülebilir bir ulaşım sistemine önemli bir katkı sağlar.

Elektrikli araçların geleceğini etkileyen şarj altyapısı, elektrik şebekesi ve haberleşme sistemleri ile entegre bir şekilde çalışır. Bu etkileşim çerçevesinde teknik problemler ön görülebilir ve bu sorunlara yönelik adımlar atılabilir. Adaptasyon sürecinde atılan her adım, ideal şarj sistemine katkıda bulunur. Bu süreçte ortaya çıkan ideal modeller ve uluslararası standartlar, adaptasyon sürecini hızlandırabilir ve olası teknik sorunları en aza indirebilir. Araç şarj ekipmanlarının kalitesi ve uyumluluğu, enerjinin güvenli bir şekilde araçlara aktarılması açısından bu alt yapı sisteminde kilit bir role sahiptir.

Süperiletken malzemelerin kullanımı ise, enerji transferini daha verimli hale getirerek büyük miktarlarda enerjiyi kayıpsız bir şekilde iletebilme avantajı sunar. Aynı zamanda, süperiletken kabloların hata sonrası kendini

hızlı bir şekilde düzeltebilme özelliği sayesinde enerji depolama ve iletim Sistemlerinde güvenilirliği artırır.

Şehir elektrik alt yapılarımızın birçok alanda elektrikli araç şarj istasyonlarıyla entegre çalışamayacağı birçok çalışmada ele alınmıştır. Mevcut sistemlerin revize edilmesi şarj istasyonların projelendirilerek ve şehir şebeke planlamaları yapılarak entegre bir şekilde çözümlenmesi gerekmektedir. Ancak bu çözümün maliyetleri çok yüksek olmakla birlikte iş yükü ile beraberinde getireceği kazı çalışmaları sonrasında yaşanabilecek mağduriyetlerde söz konusudur. Bu duruma alternatif olarak PV destekli DC şarj üniteleri geliştirilmesi çok doğru bir adımdır.

Sonuç olarak PV destekli DC şarj ünitelerinde süperiletken kablo kullanımı, enerji verimliliğini artırır, güç kayıplarını minimize eder ve sürdürülebilir enerji transfer çözümleri sunar. Bu, daha hızlı ve etkili bir şarj sürecini beraberinde getirirken emniyet ve çevre dostu avantajlar göz önüne alındığında, süperiletken kablo teknolojisi PV destekli DC şarj üniteleri için ideal bir seçenek olarak öne çıkar.

Yapmış olduğum incelemeler neticesinde PV verimliliği de düşünüldüğünde sadece PV destekli DC şarj ünitelerinin ayrı bir sistemle çalıştırılması sonucunda da problemlerle karşılaşmamak adına ana şebekeden ek bir bağlantı ile sistemin yeterli verimde çalışmaması halinde ana şebekeden desteklenerek de çalışabilmesi ek alternatif çözüm olarak değerlendirilmelidir.

REFERENCES

- Öter, A., Baltacı, F., 2022. *Elektrikli Araçlar İçin Akıllı Hibrit Şarj İstasyonu Örneği*. file:///C:/Users/User/Downloads/10.35193-bseufbd.1002649-2001912.pdf (Ziyaret tarihi: Ekim 2023).
- KEREM A, Gürbak H (2020). Elektrikli Araçlar İçin Hızlı Şarj İstasyonu Teknolojileri. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 8(3), 644 - 661. 10.29109/gujsc.713085 (Ziyaret tarihi: Ekim 2023).
- Çetin, E., 2021. Elektrikli araç şarj istasyonu entegre edilen mevcut bir elektrik tesisatındaki revizyon ihtiyacının Simaris ortamında incelenmesi. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2402637> (Ziyaret tarihi: Ekim 2023).
- Tunçer, B., Çetin, E., 2022. Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesi Üzerindeki Etkilerinin Örnek Bir Saha Üzerinde İncelenmesi. file:///C:/Users/User/Downloads/1A-2.pdf (Ziyaret tarihi: Ekim 2023)
- Ahmad, A., Khan, Z. A., Saad Alam, M., & Khateeb, S. (2018). A review of the electric vehicle charging techniques, standards, progression and evolution of EV technologies in Germany. Smart Science, (Ziyaret tarihi: Ekim 2023)
- Angelov, G., Andreev, M., & Hinov, N. (2018, May). Modelling of electric vehicle charging station for DC fast charging. In 2018 41st International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE) (Ziyaret tarihi: Ekim 2023).
- Dericioglu, C., Yirik, E., Unal, E., Cuma, M. U., Onur, B., & Tumay, M. (2018). A Review of Charging Technologies For Commercial Electric Vehicles. International Journal of Advances on Automotive and Technology, (Ziyaret tarihi: Ekim 2023).
- Panchal, C., Stegen, S., & Lu, J. (2018). Review of static and dynamic wireless electric vehicle charging system. Engineering science and technology, an international journal, (Ziyaret tarihi: Ekim 2023).
- Sutopo, W., Nizam, M., Rahmawatie, B., & Fahma, F. (2018, October). A Review of Electric Vehicles Charging Standard Development: Study Case in Indonesia. In 2018 5th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT) (Ziyaret tarihi: Ekim 2023).
- Birleştirici, A., Salcı, M., Dikkulak, A., Güler, F., Turhan, E., (2015) Elektrikli araç şarj istasyonları file:///C:/Users/User/Downloads/e05712f50f36d7c_ek.pdf (Ziyaret tarihi: Ekim 2023)
- Sahloul, MN , Deniz, A. & Hocaoglu, FO (2023). İzolesiz bir şebekeden

- bağımsız PV destekli elektrikli araç şarj istasyonunun şarj ünitesi tasarımı. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12 (1), 104-112. DOI: 10.28948/ngumuh.1128466 (Ziyaret tarihi: Ekim 2023)
- Terzioğlu, R., Çavuş, T., (2020) Enerji verimliliği ve süperiletken malzemeler https://www.emo.org.tr/ekler/47061d49e7e10d1_ek.pdf (Ziyaret tarihi: Kasım 2023)
- Gök, K., (Ocak 2020) *Süperiletken dağıtım şebekesi parametrelerinin incelenmesi: kocaali rabak fider uygulaması* <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/97028> (Ziyaret tarihi: Kasım 2023)
- Dominguez, N., Dufo, L., Yusta, L., Artal, S., Bernal, A., (Şubat 2019) *Uluslararası elektrik güç ve enerji sistemleri* dergisi Cilt 105, sayfa 46-58 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142061518308019#preview-section-abstract> (Ziyaret tarihi: Kasım 2023)
- Gough, M., Osorio, G., Lütfi, M., Santos, S., Espassandim, H., Shafie-khah, M., Catalao, J., (December 2021) *Rooftop photovoltaic parking lots to support electric vehicles charging: A comprehensive survey* Volume 133 107274 (Ziyaret tarihi: Ekim 2023).
- Salam, Z., Bhatti, A., Aziz, M., Yee, K., (December 2015) *A critical review of electric vehicle charging using solar photovoltaic* Volume 40, Issue 4 Pages 439-461 (Ziyaret tarihi: Ekim 2023).
- Elektrikli Araç Şarj İstasyonunun İşletimi: Bir Üniversite Örneği . Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi , 25 (75) , 659-674 (Ziyaret tarihi: Ekim 2023).
- Çiçek, A., & Erdiñç, O., (2019). *PV-Batarya Hibrit Sistemi İçeren Elektrikli Araç Otoparkının Şarj Yönetimi*. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi(15), 466-474 (Ziyaret tarihi: Ekim 2023).
- Tuncer, B., Çetin, E., *Elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekesi üzerindeki etkilerinin örnek bir saha üzerinde incelenmesi* file:///C:/Users/User/Downloads/1A-2.pdf, (Ziyaret tarihi: Ekim 2023).
- Khan,W., Ahmad, F., & Alam, M.S., (February 2019). *Fast EV charging station integration with grid ensuring optimal and quality power Exchange*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098617315057?via%3Dihub> (Ziyaret tarihi: Ekim 2023)

Bölüm 4

DONDURMA YAPIMINDA SÜT YAĞINA VE SÜT PROTEİNİNE ALTERNATİF BİTKİSEL KAYNAKLARIN KULLANIMI

Salih ÖZDEMİR¹

Cihat ÖZDEMİR²

ÖZET

Veganlık, et, süt ürünleri, bal, yumurta ve diğer ürünler de dahil olmak üzere tüm hayvansal ürünlerin tüketiminden kaçınan bir diyet ve yaşam tarzı seçimidir. Fonksiyonel gıdalar ve bazı biyoaktif gıda bileşenlerinin sağlıklı yaşama faydalı tesirleri, herkesin ilgisini çekmektedir. Dondurma, birçok yapısal bileşeni olan karmaşık bir gıdadır. Dondurma, sütlü buz ve sorbe gibi ürünler, dondurularak elde edilen sütlü tatlılar içerisinde en fazla severek tüketilen gıdalardan birisidir. Gıda formülasyonuna katılan doymuş yağ, kalp hastalığı riskiyle ilgili olduğundan, Dünya Sağlık Örgütü, doymuş yağ alımının günlük enerji alımının %10'undan fazla olmayacak şekilde sınırlandırılmasını önermektedir. Dondurma formülasyonunda süt yağını azaltmak ve bitkisel yağlar kullanmak isteyen dondurma üreticileri bu amaçla hurma çekirdeği yağı, hurma yağı veya hindistancevizi yağı gibi doğal olarak doymuş yağlardan yararlanabilirler. Nebati yağlarda, çerezlerde ve tohumlarda bulunan omega-6 yağ asitleri, yeterli ve sağlıklı beslenmenin önemli bir parçasıdır. Oleojelatörler, sıvı yağları, yağ asidi bileşimlerini değiştirmeden katı hale getirir, dolayısıyla oleojel formundaki sıvı yağlar, dondurma formülasyonunda doymuş yağı azaltmak için kullanılabilir. Dondurma formülasyonlarında sıvı yağların oleogelatör yardımıyla kullanılması dondurmaya hem yüksek düzeyde çoklu doymamış yağ asitleri ilavesi hem de yüksek düzeyde esansiyel yağ asitlerinin katılmasını sağlayacaktır. Bitkisel kaynaklı proteinler, dondurma formülasyonlarında süt proteinlerinin yerine kullanılabilir. Soya proteini katılan dondurmelerde viskozite ve sertliğin arttığı edildiğini belirlenmiştir. Soya bazlı dondurmaların düz bir dokuya sahip olmaları yanında erime direncinin yüksek olduğu tesbit edilmiş ancak bu dondurmelerde az miktarda kireç ve/veya çok hafif miktarda fasulye tadı belirlenmiştir. Bezelye proteini izolatları fonksiyonel ve besin değeri açısından süt ürünlerine benzerlik göstermektedir. İnülin, bağırsak mikrobiyotası için fermente edilebilir bir gıda olarak prebiyotik görevi görebilen bir diyet lifidir; mineral

¹ Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum, Türkiye, ozdemirs@atauni.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-9583-4379>
Sorumlu yazar: Salih ÖZDEMİR

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

emilimini iyileştirerek ve bağışıklık fonksiyonlarını uyararak, irritabl bağırsak hastalıkları ve kabızlık riskini azaltarak insan üzerinde yararlı bir etkiye sahiptir.

Anahtar kelimeler: Dondurma, vegan beslenme, bitkisel yağ, bitkisel protein, inülin, soya, bezelye

SUMMARY

Veganism is a diet and lifestyle choice that avoids the consumption of all animal products, including meat, dairy, honey, eggs and other products. Functional foods and the positive impact of some bioactive food ingredients on human health are attract the attention of consumers. Although many of the foods included in daily nutrition are rich in natural essential compounds, the market for foods enriched with nutraceutical ingredients that improve health quality is constantly growing. Ice cream is a complex food with many structural components. Products such as ice cream, milk ice and sorbet are among the most consumed foods in the frozen milk dessert category. Because saturated fat incorporated into food formulation is related to the risk of heart disease, the World Health Organization recommends limiting saturated fat intake to no more than 10% of daily energy intake. Ice cream producers who want to reduce milk fat and use vegetable oils in their ice cream formulation can use naturally saturated fats such as palm kernel oil, palm oil or coconut oil for this purpose. Omega-6 fatty acids, found in vegetable oils, nuts and seeds, form a beneficial part of a healthy diet. Oleogelators turn oils into solids without changing their fatty acid composition, so oils in oleogel form can be used to reduce saturated fat in ice cream formulation. The use of oleogels in ice cream formulations will ensure the addition of high levels of polyunsaturated fatty acids and high levels of essential fatty acids to the ice cream. Vegetable-derived proteins can be used instead of milk proteins in ice cream formulations. It was determined that viscosity and hardness increased in ice cream samples due to the addition of soy protein isolate, and a darker color was obtained compared to the control sample. It has been stated that soy-based ice creams have a smooth texture and high melting resistance, but these samples have a slightly chalky and/or slightly bean taste. The use of pea protein isolate may be an alternative to dairy products in terms of its functional and nutritional properties. Inulin is a dietary fiber that can act as a prebiotic as a fermentable food for the gut microbiota; It has a beneficial effect on humans by improving mineral absorption and stimulating immune functions, reducing the risk of irritable bowel diseases and constipation.

Key words: Ice cream, vegan nutrition, vegetable oil, vegetable protein, inulin, soy, peas

1.Giriş

Dondurma, süt ve ürünlerinin içerisine emülgatör, stabilizatör, tatlandırıcı (sakkaroz, glikoz vb.), renk, aroma ve çeşni maddeleri katılarak elde edilen miksin, dondurulması ile elde edilen bir süt ürünüdür. Dondurma, gıda ve süt teknolojisi alanında en hızlı büyüyen ve gün geçtikçe de ekonomik olarak pazar payı artan sektörlerden biridir. Dondurma, dünyanın her yerinde birçok insanın severek tükettiği, yağ açısından zengin, lezzetli bir gıdadır. Dondurma yüksek oranda süt yağı (yaklaşık %9) içerdiğinden, bu dondurmayı tüketen kişiler belirli düzeyde doymuş yağ asitleri ve kolesterolde almaktadır. Orta yağlı, az yağlı ve yağsız dondurma üretimi, doymuş yağ alımının daha düşük olması nedeniyle obezite ve kardiyovasküler hastalık riskini azaltır. Ancak, yağın azaltılması, dondurmanın yapısı üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Çünkü yağ, dondurma miksinin önemli bir bileşenidir ve dondurmanın yapısını önemli düzeyde etkiler.

Yeni dondurma ve dondurulmuş tatlı formülasyonlarının oluşturulması gıda sektöründe yenilikçi gelişmelerin ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır. Beslenmemizde genişçe yer alan gıdaların çoğu doğal bileşikler yönünden zengin olmasına rağmen, nutrasötik bileşenler ile katılanmış gıda pazarı sürekli olarak gelişmektedir. Dondurulmuş sütlü tatlılar içerisinde en fazla dondurma, sütlü buz ve sorbe gibi ürünler çokça tüketilmekte ve tercih edilmektedir. Donmuş tatlılarda da Konjuge linoleik asit (CLA), omega yağ asitleri, diyet lifleri ve antioksidanların insan sağlığı üzerindeki faydalı etkileri nedeniyle fonksiyonel bileşiklerin katılım seviyesini artırmaktadır (Goff ve Hartel, 2013). Omega-3 ve omega-6 yağ asitleri açısından dondurma ve diğer dondurulmuş tatlılar, zenginleştirme için en uygun gıdalar arasındadır. Çünkü, bu gıdalar soğuk şartlarda ve dondurulmuş koşullarda üretildiğinden, depolama ve dağıtım sırasında oksidasyona karşı muhafaza edilmektedir (Ullah vd., 2017, Minj ve Dogra, 2020). Veganizme dünya çapında ilgi son yıllarda artmış olup nüfusun %1 ila %5'i bitki bazlı gıdaları tükettiği tahmin edilmektedir (Radnitz vd., 2015). Veganlık, et, süt ürünleri, bal, yumurta ve diğer ürünler de dahil olmak üzere tüm hayvansal ürünlerin tüketiminden kaçınan bir diyet ve yaşam tarzı seçimini içerir. Veganlığın uygulanmasının ana nedenleri ahlaki, etik, hayvan refahı, diyet kısıtlamaları ve sağlık ve etik ile ilgili konulara vurgu yapılarak sağlıkta iyileştirme arayışdır (Dyett vd., 2013).

Yağlar ve yağ benzeri maddeler, gıdalarda tabii olarak bulunmakta, gıda teknolojisinde ve beslenme açısından çok önemlidir. Yağların, enerji vermeleri yanında, muhtevasında yağda çözünen vitaminleri (A, D, E ve K) içermekte, antioksidan ve terapötik bileşiklerin kaynağını teşkil etmektedir. Yağlar, ayrıca beyin ve hücre zarlarının yapısal bileşenleri olarak ta görev yapmaktadır. Dondurma formülasyonlarında süt yağını azaltarak yerine bitkisel yağlar

kullanmak isteyen dondurma üreticileri bu amaçla hurma çekirdeği yağı, hurma yağı veya hindistancevizi yağı gibi doğal olarak doymuş yağlardan yararlanabilirler. Bitkisel yağlarda bulunan omega-6 yağ asitleri, sağlıklı beslenmenin önemli bir parçasıdır. Yağlarda bulunan esansiyel yağ asitlerinden linoleik ve araşidonik asit, omega -6 yağ asitleri olup kolesterol seviyelerini düşürmede önemli rol oynar. Zeytinyağı ve keten tohumu yağı yüksek oranda omega-6 yağ asitlerinden linoleik asit'i bileşiminde bulundurmaktadır. Alfa linolenik ve dokosaheksaenoik asit (DHA), önerilen miktarlarda tüketildiğinde önemli sağlık yararları sağlar. Ancak, Hindistan cevizi yağında %92'ye kadar yüksek oranda doymuş yağ asitleri bulunurken, palm çekirdeği yağında %80 civarında doymuş yağ asitleri bulunur. Trans yağ asidi alımı hidrojenize edilmiş yağların tüketiminden kaynaklanmaktadır. Doymuş yağın azaltılmasının ve trans yağ üretiminin sınırlandırılmasının, kardiyovasküler hastalık riskini azaltacağı düşünülmektedir. Dondurma üreticileri açısından, doymuş yağın azaltılması ve dondurma formülasyonunda doğal yağların kullanılabilmesi çok önemlidir. Doymuş yağ asitleri oranı yüksek yağları içeren dondurmaların yapılarının daha kaliteli olduğu belirlenmiştir [Corradini vd.,2014].Katı yağ, dondurmanın yapısının korunmasında önemli bir rol oynar ve yapının gelişmesine olanak sağlar. Bu nedenle dondurmadaki katı yağın fonksiyonlarını sıvı yağ karşılayamaz. Bununla birlikte, doymuş yağ, kalp hastalığı riskiyle ilgili olduğundan, Dünya Sağlık Örgütü, doymuş yağ alımının günlük enerji alımının %10'undan fazla olmayacak şekilde sınırlandırılmasını önermektedir [Frederick vd.,2010]. Oleojel oluşturarak sıvı yenilebilir yağların dondurma yapımında kullanılması , doymuş yağların kullanımını azaltmanın bir yolu olarak büyük ilgi uyandırmıştır [Zetzl vd.,2012]. Oleojelatörler, sıvı yağları, yağ asidi bileşimlerini değiştirmeden katı hale getirir, dolayısıyla oleojel formundaki sıvı yağlar, dondurma formülasyonunda doymuş yağı azaltmak için kullanılabilir [Co ve Marangoni,2012]. Bal mumu (BM), kandelilla mumu (KM), karnauba mumu (KM) ve pirinç kepeği mumu (PKM) gibi gıda sınıfı mumların oleojelatörler olarak kristalleştirme özellikleri dondurmanın yapısında önemli bir rol oynayabilir. Bunların arasında pirinç kepeği mumu, yapılan çalışmalarda iyi sonuç veren mumlardan birisidir [Dassanayake vd. 2012]. Ancak oleojelatörlerin türleri ve oleojellerin gıdalara uygulanma alanları hala oldukça sınırlıdır. Balmumu oleojelasyonu da dondurma üretimine fayda sağlayabilir [Cove Marangoni,2012]. Dondurma formülasyonlarında sıvı yağların oleogelatör yardımıyla kullanılması dondurmaya hem yüksek düzeyde çoklu doymamış yağ asitleri ilavesi hem de yüksek düzeyde esansiyel yağ asitlerinin katılmasını sağlayacaktır.

2.Dondurmanın Bitkisel Yağ ve Protein Kaynakları İle Zenginleştirilmesi

2.1.Dondurmaya Süt Yağı Yerine Bitkisel Yağ Katılması

Dondurma, yarı donmuş bir çözelti içinde dağılmış yağ partikülleri, hava kabarcıkları ve küçük buz kristallerinden oluşan çok fazlı bir gıdadır. Dondurma, yapısal ve yapısal olarak önemli bir rol oynayan yaklaşık %12 yağ içerir. Öte yandan tüketiciler az yağlı gıdaları tüketmeye ilgi gösteriyor. Sonuç olarak, günümüzde az yağlı dondurmalarda yapısal ve duyu defektleri azaltabilen birçok yağ ikame maddesi kullanılmaktadır. Yağ ikame maddeleri bileşimlerine göre üç gruba ayrılır. Bunlar lipid, protein ve karbohidrat bazlıdır. Dondurmada kullanılan en yaygın yağ ikame maddeleri arasında inülin, maltodekstrin, polidekstroz, süt proteinleri, soya proteinleri, diyet lifleri ve nişastalardır(Akbari vd.,2019).

Güven vd.(2018) dondurma miks örneklerine süt yağı, fındık yağı ve zeytinyağını %12 yağ olacak şekilde ilave etmişler ve duyu analiz sonuçlarından %50 fındık yağı-%50 zeytinyağı karışımı ilave edilen dondurmalar en yüksek renk ve görünüm puanları aldığı tespit edilmiştir. Öte yandan en yüksek dondurma tekstür puanları %50 süt yağı-%50 fındık yağı ilave edilen örneklerde belirlenmiştir. Toplam kalite kriterinde %50 süt yağı-%50 zeytinyağı ilave edilen dondurmalar panelistlerce daha çok tercih edilmiştir.

Bezelye proteini bazlı vegan dondurmanın geliştirilmesi, en az alerjik bileşenlere besinsel ve fizyolojik özelliklere sahip bileşenler içeren, spesifik ürünlere yönelik artan talebi karşılamak için çekici bir sütlü dondurma alternatifi olabilir (Aboufazel vd.,2014). Vegan dondurma sağlık açısından faydalar getirir de yüksek düzeyde yağ içemesi, insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Patil ve Banerjee, 2017; Radnitz vd, 2015). Bu nedenle tüketici tarafından kabul edilebilir modifiye edilmiş az yağlı vegan dondurma formülasyonlarının geliştirilmesine yönelik çalışmaları yapılmalıdır. Bu bağlamda, geleneksel sütlü dondurma formülasyonlarının %10 ila %16 arasında yağ içerdiği göz önüne alındığında, bezelye proteinli dondurmalarda yağ ikame maddesi olarak inülin çok iyi bir seçenek olarak görülmektedir (Patil ve Banerjee, 2017). Ticari inülin türleri nötr, temiz bir tada sahiptir ve az yağlı dondurmaların ağız hissini, stabilitesini ve kabul edilebilirliğini geliştirmek için kullanılır ve dondurma dokusunu iyileştirmek için suyu tutarak jel benzeri bir ağ oluşturma konusunda benzersiz bir yeteneğe sahiptir (Karaca vd 2009).

Vegan gıdalara olan talep her geçen gün artmakta ve dondurma gibi süt ürünlerinin üretiminde bitki bazlı sütler de kullanılmaktadır. Bekiroğlu vd.(2022) yaptığı çalışmada dondurma üretiminde kurutulmuş ve taze olmak üzere iki tür ceviz sütü kullanmışlardır. Ceviz sütünün dondurma üretiminde kullanılması, dondurma örneklerinin fizikokimyasal özelliklerini fazla miktarda etkileyerek

cevizin yüksek yağ içeriğine sahip olması nedeniyle dondurma örneklerinin yağ muhtevası artmıştır. Ayrıca, ceviz sütü kullanılması, dondurma örneklerinin hacim artışını olumlu yönde etkileyerek değiştirmiştir. Dondurma üretiminde ceviz sütünün kullanılması dondurma örneklerinin parlaklık değerini düşürse de reolojik özelliklerini iyileştirmiştir. Tüm dondurma örneklerinde L-limonen ana uçucu bileşik olarak belirlenmiş ve ceviz sütü kullanımının farklı uçucu bileşikler oluşturduğu tespit edilmiştir. Son olarak duyuusal değerlendirme parametrelerine göre ceviz sütü kullanılarak üretilen dondurma örnekleri panelistler tarafından kontrole göre benzer yakın puanlar almış olup, bu çalışma ceviz sütünün dondurma üretiminde kullanılabileceğini göstermiştir.

Prindiville vd. (2000), kakao yağı ile PAS proteini kullanılarak ürettikleri az yağlı ve çikolatalı dondurmaların kimyasal, fiziksel ve duyuusal özelliklerini saptamışlardır. Araştırmacılar, kakao yağı içeren dondurma numunelerinin buzlu yapı oranının daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Kasapoğlu vd. (2023) soğuk preslenmiş Hindistan cevizi yağı yan ürünlerinin bitki bazlı içecek ve dondurma üretimi için düşük maliyetli bir alternatif kaynak olarak potansiyel kullanımını araştırmışlardır. Hindistan cevizi içeceği kullanılarak tam yağlı ve az yağlı bitkisel bazlı dondurma örnekleri üretilmiş ve reolojik, duyuusal ve termal özellikler açısından (ticari hindistan cevizi içeceği ile üretilen dondurma örneklerini kontrol dondurma örnekleriyle karşılaştırmıştır. Bu çalışma sonucunda, soğuk preslenmiş hindistancevizi yağı yan ürünlerinin tam yağlı ve yağı azaltılmış bitkisel bazlı dondurma üretiminde ucuz bir hammadde kaynağı olarak Hindistan cevizi yağının kullanılabileceği belirlenmiştir.

Soya dondurması, ana bileşen olarak soya sütü kullanılarak hazırlanan vegan dostu bir dondurulmuş tatlıdır. Bir araştırmada(Shrestha ve Maskey, 2018) soya sütü dondurma örnekleri, değişen seviyelerde soya sütü (%0-100) ve yağsız kuru madde(YKM) (%10-12) ile hazırlanmıştır. Duyusal değerlendirmede %50 soya sütü ve %12 YKM, tüm formülasyonlar arasında en iyi dondurma kalitesi ile sonuçlandı. Araştırma sonucunda, soya sütlü dondurmalarda hacim artışının olumlu ancak erime hızının olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir.

Özdemir (2023) yaptığı çalışmada, dondurma üretiminde yağ kaynağı olarak süt yağı yerine balmumu oleojellerinin ve salep yerine stabilizatör olarak konjak sakızının olası kullanım olanaklarını araştırmıştır. Süt yağı içeren dondurma numunelerinin hacim artışı oranının oleojel içeren numunelere göre daha yüksek olduğunu belirlenmiştir. Araştırmacı oleojel içeren örneklerin doymamış yağ asitleri (C18:1, C18:2 ve C18:3) oranının süt yağı içeren örneklerle göre anlamlı derecede yüksek ($p<0.01$) olduğunu tespit etmiştir. Ancak süt yağı yerine oleojel ilave edilen örneklerde alifatik yağ asitlerinden bütirik ve kaproik asitlerin eksik

olduğu tespit edilmiştir. Mikroskobik görünüm açısından oleojelli dondurma örneklerinde su ve yağ parçacıkları homojen olarak dağılmazken, süt yağı ilaveli dondurma örneklerinde tamamen homojen olarak dağılmıştır.

Wang vd.(2022)dondurma yapımında süt yağı yerine soya yağı kullanmış ve soya yağı katılan örneklerin viskozite ve üniformitesini artırdığını ve miksin partikül büyüklüğünü azalttığı saptanmıştır. Araştırmacılar %30 ve % 50 soya yağı ilave edilen dondurmaların daha iyi erime ve tekstür özelliklerine sahip olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca %40 soya yağı katılan örneklerin panelistlerce daha çok beğenildiğini tespit etmişlerdir. Dondurmaya süt yağı yerine soya yağı katılması doymamış yağ asitleri oranını artırarak halk sağlığı açısından daha güvenilir bir dondurma üretimi sağlanmış olacaktır.

Harputlugil (2023) bitkisel yağ içeren sütlü buz üretimi yapmışlar ve elde edilen ürünün bileşimi ile teknolojik özelliklerini tespit etmişlerdir. Araştırmacı, dondurmaya fonksiyonel yağ olarak palm yağı, fındık yağı, ceviz yağı, chia tohumu yağı, keten tohumu yağı ve kabak çekirdeği yağı ilave etmişlerdir. Sonuç olarak, panelistler fındık ve ceviz yağı ilave edilen dondurma örnekleri diğer dondurmalara örneklerine göre daha çok beğenilmiştir. Kabak çekirdeği yağı ile yapılan sütlü buz örnekleri ise daha az beğenilmiştir.

Narala vd. (2022) vegan dondurmanın geliştirilmesinde yağ ikame maddesi olarak inülinin kullanımlarını araştırmışlardır. Bu araştırmada bezelye proteinli dondurmaya kolza tohumu yağı yerine %2, 4, 6 ve 8 oranında inülin ilave edilmiş ve erime davranışı, sertlik, yapışkanlık ve duyu özellikler, inülin içermeyen bezelye proteinli dondurmayla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, formülasyonlardaki artan inulin içeriğinin dondurmanın ilk damlama süresini uzattığını ortaya koymuştur. Dondurmaya %4 oranında inülin ilavesiyle maksimum ($38,48 \pm 2,56$) hacim artışı elde edilmiştir. Dondurma formülasyonlarındaki yağ içeriğinin %6 ve %8 inülinle değiştirilmesi, lezzetin ve genel kabul edilebilirlik puanının düşmesine sebep olduğu saptanmıştır.

Goral vd. (2018), inülin ile keçiyoynuzu sakızının stabilizör olarak dondurma üretimi için dondurma kalitesi üzerine etkisini araştırmışlar; ayrıca Hindistan cevizi sütünün dondurmanın fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Stabilizörlerin miktarının artması dondurma örneklerinin donma noktası sıcaklığında düşüşe sebep olduğu, ayrıca kurumadde, kül, su ve karbonhidrat miktarını etkilediğini bununla birlikte yüksek miktarda protein içeriğine sahip olan Hindistan cevizi sütünün ise, dondurma miksinin yağ oranını artırdığını belirlenmişlerdir. Araştırmacılar hayvansal ürün kullanılmadan Hindistan cevizi sütü ile geleneksel dondurma üretimi gibi benzer üretim yapılabileceğini bildirmişlerdir.

Rrieskorn vd. (2016), ABD’de kardiyovasküler hastalık oranının artışı olduğunu bildirmişler ve diyetle doymuş yağın azaltılması yanı sıra diyet lifi oranındaki artışın bu hastalıkla mücadelede yardımcı olabileceğini tespit etmişlerdir. Dondurma üretiminde krem şanti yerine Hindistan cevizi sütü kullanmışlar fakat her iki örneğe de yağ içeriğini azaltarak besinsel değeri arttırmak için pancar küspesi ilave etmişlerdir. Yapılan analizlerin sonucunda ahududu ve pancar dondurması örneğinin, hindistan cevizi sütü ilaveli dondurma örneğine göre daha az yağlı, daha az asidik, vizkozitesi düşük ve sertliğinin düşük olduğunu, düşük yağlı ahududu ve pancar dondurmasının sağlıklı yaşam için iyi bir alternatif olabileceğini tespit etmişlerdir.

Türk Gıda Kodeksi Yenilebilir Buzlu Ürünler Tebliği (Tebliğ No: 2005/43)’nde yenilebilir buzlu ürünler, buz karışımları ve sütlü buz ürünlerini, buz karışımları ise; su, şeker ve izin verilen katkı maddelerini, aroma ve çeşni maddelerinin kullanımıyla hazırlanan ürünleri ifade etmektedir. Sütlü buz ürünleri ise: Süt ve/veya süt ürünleri, içme suyu, şeker, süt proteinleri, süt yağı ve/veya bitkisel yağ ve/veya yumurta yağı ile gerektiğinde izin verilen katkı maddeleri, tat ve aroma maddeleri gibi bileşenleri içeren ürünü tanımlamaktadır. Aynı tebliğde, bitkisel yağlı sütlü buz: Sütlü buz ürünleri genel tanımına uyan, bitkisel yağ ve/veya süt yağı ve/veya yumurta yağını ağırlıkça en az %5 oranında içeren ve süt proteini dışında protein içermeyen ve süt proteini içeriği ağırlıkça en az %2,2 olan sütlü buz ürünlerini tanımlamaktadır.

2.2. Dondurmaya Bitkisel Kaynaklı Protein Katılması

Bezelye proteini izolatının kullanımı (protein içeriğinin %80’inden fazlası), fonksiyonel ve besleyici özellikleri nedeniyle süt ürünleri alternatiflerinin geliştirilmesinde uygun fiyatlı ve sürdürülebilir yemotlardan biridir (Lu vd., 2020). Bezelye esas olarak %65 – 80 oranında globulin proteinlerinden, %10 – 20 oranında albumin proteinlerinden ve yüksek miktarda lisinden oluşur (Güler-Akin vd.,2021). Bezelye proteini (çoğu zaman bezelye proteini hidrolizatları ve spesifik peptid fraksiyonları) antioksidan, antihipertansif, antiinflamatuvar, kolesterol düşürücü ve bağırsak bakteri aktivitelerini artırıcı özelliklere sahiptir (Liu ve Wu, 2019). Ayrıca köpürme, emülsifiye etme, yağ tutma kapasitesi, su tutma kapasitesi, çözünürlük ve gıda tekstürü gibi fonksiyonel özellikler, bitki bazlı süt ürünleri alternatiflerinin üretiminde bezelye proteini izolatlarının diğer önemli özellikleridir (Güler-Akin vd., 2021; Liu ve Wu, 2019).

İnülin, bağırsak mikrobiyotası için fermente edilebilir bir gıda olarak prebiyotik görevi görebilen bir diyet lifidir; mineral emilimini iyileştirerek ve bağışıklık fonksiyonlarını uyararak, bağırsak hastalıkları ve kabızlık riskini azaltarak faydalı bir etkiye sahiptir. İnülin aynı zamanda düşük kalorili diyet

gıdalarında herhangi bir sınırlama olmaksızın hacim arttırıcı madde veya koyulaştırıcı ve çözünür lif olarak da güvenle kullanılabilir (Narala vd.,2022).

Igutti vd. (2011), dondurmanın bileşimini oluşturan süt, yağ, stabilizatör ve emülgatör yerine; yeşil hindistan cevizi küspesi, kakao tozu, sükroz, su, karagenan, guar ve hidrojene bitkisel yağ katılması ile dondurma miksi üretimi gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, yeşil Hindistan cevizinin, laktoz veya süt proteinleri içeren ürünleri tüketemeyen insanlara yönelik iyi bir alternatif olacağını ve dondurma formülasyonuna yeşil Hindistan cevizi küspesi katılmasının, az yağlı dondurma üretimine olumlu katkılar yapacağını bildirmişlerdir.

Akesowan vd (2009), dondurma örneklerine farklı oranlarda soya protein izolatu ve süt tozu ilave ederek dondurma yapmışlardır. Araştırmacılar, ilave edilen soya protein izolatu artışına paralel olarak dondurma örneklerinde viskozite ve sertliğin de arttığını bildirmişlerdir. Buna karşılık dondurmaya katılan soya protein izolatu miktarı azaltılınca, dondurma örneklerinin erime özellikleri olumsuz olarak etkilenmiştir. Araştırmacılar, yapılan duyusal analizlerde dondurmaya katılan soya protein izolatının pürüzsürlük özelliğini azalttığı buna karşılık sakızimsilik değerini arttırdığı belirlenmiştir.

Sutar vd. (2009) soya fasulyesi tozu katarak ürettikleri dondurmaların özelliklerini incelemişler ve soya bazlı dondurma örneklerinin homojen bir yapıya sahip olduğunu ve erimeye karşı yüksek direnç gösterdiklerini belirlemişlerdir. Araştırmacılar, soya dondurmasının organik bir ürün olarak değerlendirilebileceğini tespit etmişlerdir.

Lomolino vd. (2002) inülin ve patates proteinini dondurmaya katarak dondurma yapmışlardır. Araştırmacılar, süt proteinleri katılan dondurmalarda daha fazla hacim artışı ve daha küçük buz kristalleri oluştuğunu belirlemişlerdir. Buna karşılık patates proteinleri ilave edilen dondurma örneklerinin ısıl işleme karşı daha dayanıklı olduğunu saptamışlardır.

Ahanian vd. (2014), ürettikleri susamlı dondurmalarda yağsız süt yerine soya sütü kullanmışlar ve yaptıkları dondurma örneklerinde fiziksel, kimyasal ve duyusal özelliklerini araştırmışlardır. Araştırmacılar(Ahanian vd.,2014), soya sütünün dondurma miksine yüksek miktarda katılmasına bağlı olarak dondurma mikslerinin kurumadde, protein, pH, yağ, hacim artışı ve viskozite değerlerinin arttığı belirlemişlerdir. Ayrıca, dondurma miksine %50 'ye kadar soya sütü ilavesinin dondurmanın lezzet, doku, renk ve genel kabul edilebilirliğini önemli düzeyde etkilemediğini de tespit etmişlerdir.

Matias vd. (2016), PAS protein izolatu (PASPI) ve soya sütü ile dondurma miksi üretimleri yapmışlardır. Araştırmacılar, bu dondurma miksi örneklerinde *L. acidophilus* LA-5 ile *Bifidobacterium* BB-12'nin 7,5 log kob g⁻¹'in üzerinde

olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca soya sütü ile PASPI + inülin içeren dondurmaların laktoz intoleransı olan kişiler için uygun olabileceğini bildirmişlerdir.

Aboulfazli vd. (2016), inek sütüne alternatif olarak soya ve hindistan cevizi sütü içeren dondurma örnekleri üretmiş ve bu dondurma miksleri *Lactobacillus acidophilus* (LA-5) ve *Bifidobacterium bifidum* (BB-12) ile inoküle etmişlerdir. Bitkisel süttten yapılan dondurma örneklerinde pH değerinin, inek sütünden yapılan dondurma mikslerine göre daha hızlı düştüğünü belirlemişlerdir. Soya veya Hindistancevizi sütü ile yapılan dondurmaların probiyotik bakteri sayısının, inek sütü ile yapılan dondurmalarından daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Dervişoğlu vd. (2005) yağsız soya ununun, çilek aromalı dondurmaların fiziksel, kimyasal ve duysal özellikleri üzerine etkisini tespit etmişlerdir. Sonuç olarak soya ununun dondurma mikslerinde azot, pH ve b* renk değerini arttırdığını, buna karşılık titrasyon asitliği, hacim artışı, L* ve a* renk değerlerini ise düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Ayrıca, dondurma miksi içerisinde yağsız soya unu ilavesi arttıkça, dondurma miks örneklerinin viskozitesinin azaldığı da bildirilmiştir.

Sivasankari vd. (2019), dondurma örneklerine nohut ve bezelye proteinlerini %5 ve 10'luk oranında katmışlardır. %5 oranındaki protein konsantrati ilavesinin dondurmaların duysal özelliklerini iyileştirdiğini, buna karşılık %10 oranındaki protein konsantrati ilavesinin dondurmaların duysal özelliklerini olumsuz yönde etkilediğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar, bakliyat proteini ile katkılanmış dondurma mikslerinin protein miktarının (%11,76), kontrol miks örneğinin içerdiği protein miktarından (%4,9) yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Badıllı (2020), dondurma miksi yapımında süt tozu yerine nohut unu kullanım imkânlarını araştırmıştır. Dondurma örneklerine nohut unu ilavesinin miksin viskozite değerinin, ilk damlama ve tam erime zamanının kontrole göre daha yüksek olduğunu bildirmiştir.

Avkan(2020) fonksiyonel dondurma miksi yapımında farklı oranlarda bezelye proteini ilavesinin dondurmanın fiziksel, kimyasal, tekstürel ve duysal özellikleri üzerine etkileri araştırmıştır. Ayrıca, araştırmacılar bezelye proteini ve bitkisel yağ kullanılarak vejetaryen(vegan) dondurma üretilebilme olanakları araştırılmıştır. Mikse bezelye protein izolati katılmasının, dondurmaların fiziksel ve tekstürel özelliklerini iyileştirdiği, ancak duysal kalitesini olumsuz yönde etkilediğini belirlenmiştir. Buna karşılık, düşük oranlarda (%6 ve %12) bezelye protein izolati ilavesinin dondurmanın duysal özelliklerinde önemli değişikliklere neden olmadığı belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda sadece bezelye protein izolatının vegan tip dondurma üretimine duysal açıdan uygun olmadığı da belirlenmiştir.

Graças Pereira vd. (2011), yağsız süt tozu ve soya ekstraktının dondurmanın fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, mikse katılan artan soya ekstraktına bağlı olarak dondurma örneklerinin hacminin azaldığını, sertliğinin ise arttığını belirlemişlerdir. Soya ekstraktı içeren dondurmaların daha fazla erime direnci gösterdiğini ve daha fazla miktarda küçük buz kristali içerdiğini, %20 oranında soya ekstraktı ilave edilen dondurmanın panelistlerce kabul edilebilir olduğunu belirlemişlerdir.

Liu vd. (2018), soya proteini ve ksantan sakızını birlikte kullanarak dondurma üretmişlerdir. Araştırmacılar, dondurma örneklerinde soya proteini ilavesine bağlı olarak erime, yağ tutma ve köpükleme kapasitesinin arttığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, soya proteini ve ksantan sakızının birlikte katıldığı dondurmanın sıklığının arttığını saptamışlardır.

Sunal(2019) yaptığı bir çalışmada her geçen gün tüketimi ve çeşidi artan besleyici değeri yüksek, insanlar tarafından severek tercih edilen, keyif veren lezzetli ve sağlıklı bir süt ürünü olan dondurmanın fonksiyonel özelliğinin artırılması amacıyla fenolik maddelerce zengin yaban mersini meyvesi 6 farklı orandaki PAS protein jeli içerisine enkapsüle edilerek dondurmaya katılmış ve fenolik madde miktarı ve duyuşal kabul edilebilirliği belirlenmiştir. Protein jeli katılarak üretilen dondurma örneklerinin fenolik madde miktarının arttığını saptanmıştır.

Demir(2019) ayva çekirdeği ekstraktı tozunun, salebin ve guar gamin dondurma üretiminde kullanımı ve 60 günlük depolama zamanında dondurma kalitesini tespit etmişlerdir. Araştırmacı, ayva çekirdeği ekstraktının dondurma üretiminde ticari stabilizatörlerin yerine kullanılabileceğini tespit etmiştir.

Çınar(2015) dondurma miksine %3 ve %8 yağ içerecek şekilde krema ilave etmiş, melisa bitki ekstraktı (%0, %3, %6 ve %9) ekleyerek dondurma miks örnekleri üretmiştir. Dondurma miksine %3 melisa bitki ekstraktı ilavesinin, diğer ekstrakt oranlarına göre dondurmaların fiziksel ve kimyasal özelliklerine daha az olumsuz etki yapmıştır. Ayrıca, %3 melisa bitki ekstraktı katılan dondurma örneklerinin panelistler tarafından en yüksek kabul edilebilirlik puanı aldığı belirlenmiştir. Melisa bitki ekstraktının dondurma üretiminde doğal bir katkı maddesi olarak başarıyla kullanılabileceği belirlenmiştir.

Güler-Akın vd (2021)yaptıkları çalışmada, bezelye proteini izolatının fonksiyonel ve yağı azaltılmış dondurma ve vejetaryen/vegan dondurma üretiminde kullanım olanakları araştırmışlardır. Sonuçlar, süt tozu yerine bezelye proteini izolatının eklenmesinin dondurmanın fiziksel ve dokusal özelliklerini iyileştirdiğini, ancak yüksek miktarda bezelye proteini izolatının eklenmesinin duyuşal özellikleri olumsuz etkilediğini ve vegan tipi dondurma üretimi için uygun olmadığı belirlenmiştir.

3.SONUÇ VE ÖNERİLER

Doymuş yağ, kalp hastalığı riskiyle ilgili olduğundan, Dünya Sağlık Örgütü, doymuş yağ alımının günlük enerji alımının %10'undan fazla olmayacak şekilde sınırlandırılmasını önermektedir. Dondurma, yarı donmuş bir çözelti içinde dağılmış yağ kürecikleri, hava kabarcıkları ve buz kristallerinden oluşan karmaşık, çok fazlı bir gıdadır. Dondurma, yapısal ve yapısal olarak önemli bir rol oynayan yaklaşık %12 yağ içerir. Öte yandan tüketiciler az yağlı gıdaları tüketmeye ilgi göstermektedir. Günümüzde az yağlı dondurmalarda dokusal ve duysal kusurları azaltabilen birçok yağ ikame maddesi kullanılmaktadır. Yağ ikame maddeleri bileşimlerine göre üç gruba ayrılır. Bunlar lipit, protein ve karbonhidrat bazlıdır. Dondurmada kullanılan en yaygın yağ ikame maddeleri arasında inülin, maltodekstrin, polidekstroz, süt proteinleri, soya proteinleri, diyet lifleri ve nişastalardır. Dondurma yüksek oranda süt yağı içerdiğinden, bu dondurmayı tüketen kişiler belirli düzeyde doymuş yağ asitleri ve kolesterol de almaktadır. Süt yağı yerine mum ve bitkisel yağlarla üretilen oleojel katılan örneklerde çoklu doymamış yağ asitleri oranı yüksek bulunurken, alifatik yağ asitlerinden bütirik ve kaproik asitlerin eksik olduğu tespit edilmiştir. Süte %50 oranına kadar ilave edilen soya sütü ilavesinin dondurmanın lezzet, doku, renk ve genel kabul edilebilirliğini önemli düzeyde etkilemediği belirlenmiştir. Süt tozu yerine bezelye proteini izolatının eklenmesinin dondurmanın fiziksel ve dokusal özelliklerini iyileştirdiğini, ancak yüksek miktarda bezelye proteini izolatının eklenmesinin duysal özellikleri olumsuz etkilediğini ve vegan tipi dondurma üretimi için uygun olmadığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Aboulfazli, F., Bakr Shori, A., Baba, A.S., (2016). Effects of The Replacement of Cow Milk With Vegetable Milk On Probiotics and Nutritional Profile of Fermented Ice Cream. *LWT - Food Science and Technology*, 70: 261-270.
- Ahanian, B., Pourahmad, R., Mirahmadi, F.,(2014). Effect Of Substituting Soy Milk Instead of Skim Milk On Physicochemical and Sensory Properties of Sesame Ice Cream. *Indian Journal of Scientific Research*, 7(1): 1134-1143.
- Akbari, M ., Mohammad, H. E., Davoudi,Z.(2019). Application and functions of fat replacers in low-fat ice cream: A review." *Trends in food science & technology* 86 (2019): 34-40.
- Akesowan, A., (2009). Influence of Soy Protein Isolate on Physical and Sensory Properties of Ice Cream. *Thai Journal of Agricultural Science*, 42(1): 1-6.
- Avkan, F.2020. Dondurma üretiminde süt tozuna ikame olarak bezelye protein izolatı kullanım olanakları/Usage of pea protein isolate instead of milk powder in ice cream production. Diss. 2020.
- Badilli, A., 2020. Dondurma Üretiminde Süttozu Yerine Nohut Ununun Kullanılabilme Olanaklarının Araştırılması. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 104s.
- Bekiroglu, H., Goktas, H., Karaibrahim, D., Bozkurt, F., Sagdic, O. (2022). Determination of rheological, melting and sensorial properties and volatile compounds of vegan ice cream produced with fresh and dried walnut milk. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 28, 100521.
- Co, E.; Marangoni, A.G. (2012) Organogels: An alternative edible oil-structuring method. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* , 89, 749–780
- Corradini, S.A.S.; Madrona, G.S.; Visentainer, J.V.; Bonafe, E.G.; Carvalho, C.B.P.M. (2014) Roche, P.M.; Prado, I.N. Sensorial and fatty acid profile of ice cream manufactured with milk of crossbred cows fed palm oil and coconut fat. *J. Dairy Sci.*, 97, 6745–6753.
- Çınar, M .(2016). Melissa bitki ekstraktının dondurma üretiminde kullanım imkanının araştırılması/Investigation of possible use of Melissa officinalis extract in ice cream production. Diss.
- Dassanayake, L.S.K.; Kodali, D.R.; Sato, S.U.K (2011). Physical properties of organogels made of rice bran wax and vegetable oils. In *Edible Oleogels*; AOCS Press: Urbana, pp. 149–172.
- Demir, M. 2001. Kefir Dondurması Üretimi ve Üretilen Dondurmaların Duyusal, Fiziksel, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Antalya, 87s.

- Dervişoğlu, M., Yazıcı, F., Aydemir, O. (2005). The Effect of Soy Protein Concentrate Addition on the Physical, Chemical, and Sensory Properties of Strawberry Flavored Ice Cream. *European Food Research and Technology*, 221: 446-470.
- Dyett, P. A., Sabaté, J., Haddad, E., Rajaram, S., Shavlik, D. (2013). Vegan lifestyle behaviors. An exploration of congruence with health-related beliefs and assessed health indices. *Appetite*, 67, 119-124.
- Fredrick, E.; Walstra, P.; Dewettinck, K. (2010) Factors governing partial coalescence in oil-in-water emulsions. *Adv. Colloid Interfac.*, 153, 30–42.
- Goff, H.D., Hartel, R.W. (2013). Analyzing Frozen Desserts, Sensory Analyses. In *Ice Cream*; Springer: Boston, MA, USA,; pp. 423–431.
- Göral, B. S., Gündüz, G. T. (2018). Bitkisel Gıdalarda Probiyotik Mikroorganizmaların Kullanımı. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(12), 1741-1750.
- Guler-Akin, M. B., Avkan, F., Akin, M. S. (2021). A novel functional reduced fat ice cream produced with pea protein isolate instead of milk powder. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(11), e15901.
- Güven, M., Kalender, M., Taşpınar, T. (2018). Effect of using different kinds and ratios of vegetable oils on ice cream quality characteristics. *Foods*, 7(7), 104.
- Harputlugil, B. T. (2023). Yağ asitlerince zenginleştirilmiş bitkisel yağlı sütlu buz üretimi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Igutti, A.M., Pereira, A.C.I., Fabiano, L., Silva, R.A.F., Ribeiro, E.P. (2011). Substitution of Ingredients by Green Coconut (*Cocos nucifera* L) Pulp in Ice Cream Formulation. *Procedia Food Science*, 1610-1617.
- Karaca, H. E., Karaman, I., Basaran, B., Ren, Y., Chumlyakov, Y. I., Maier, H. J. (2009). Magnetic Field-Induced Phase Transformation in NiMnCoIn Magnetic Shape-Memory Alloys—A New Actuation Mechanism with Large Work Output. *Advanced Functional Materials*, 19(7), 983-998.
- Kasapoglu, M. Z., Sagdic, O., Avci, E., Tekin-Cakmak, Z. H., Karasu, S., Turker, R. S. (2023). The potential use of cold-pressed coconut oil by-product as an alternative source in the production of plant-based drink and plant-based low-fat ice cream: The rheological, thermal, and sensory properties of plant-based ice cream. *Foods*, 12(3), 650.
- Liu, R., Wang, L., Liu, Y., Wu, T., Zhang, M. (2018). Fabricating Soy Protein Hydrolysate/Xanthan Gum as Fat Replacer in Ice Cream By Combined Enzymatic And Heat-Shearing Treatment. *Food Hydrocolloids*, doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.01.031.

- Lomolino, G., Zannoni, S., Zabara, A., Da Lio, M., Iseppi, A.(2020). Ice recrystallisation and melting in ice cream with different proteins levels and subjected to thermal fluctuation. *International Dairy Journal*, <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104557>.
- Lu, J., Gu, J., Li, K., Xu, C., Su, W., Lai, Z., Yang, Z. (2020). COVID-19 outbreak associated with air conditioning in restaurant, Guangzhou, China, 2020. *Emerging infectious diseases*, 26(7), 1628.
- Matias, N.S., Padilha, M., Bedani, R., Saad, S.M.I., (2016). In vitro gastrointestinal resistance of *Lactobacillus acidophilus* La-5 and 95 *Bifidobacterium animalis* Bb-12 in soy and/or milk-based synbiotic apple ice creams. *International Journal of Food Microbiology*, 83-98.
- Minj, J., Dogra, S. (2020). Significance of fortification of beneficial natural ingredients in milk and milk products. *Dairy processing: Advanced research to applications*, 87-118.
- Narala, V. R., Orlovs, I., Jugbarde, M. A., Masin, M. (2022). Inulin as a fat replacer in pea protein vegan ice cream and its influence on textural properties and sensory attributes. *Applied Food Research*, 2(1), 100066.
- Ozdemir, C. (2023). An Investigation of Several Physicochemical Characteristics, as Well as the Cholesterol and Fatty Acid Profile of Ice Cream Samples Containing Oleogel, Various Stabilizers, and Emulsifiers. *Gels*, 9(7), 543.
- Patil, A. G., Banerjee, S. (2017). Variants of ice creams and their health effects. *MOJ Food Process. Technol*, 4(2), 58-64.
- Prindiville, E.A., Marshall, R.T., Heymann, H. (2000). Effect of Milk Fat, Cocoa Butter, and Whey Protein Fat Replacers on the Sensory Properties of Lowfat and Nonfat Chocolate Ice Cream¹. *Journal Dairy Science*, 83: 2216- 2223.
- Radnitz, C., Beezhold, B., DiMatteo, J. (2015). Investigation of lifestyle choices of individuals following a vegan diet for health and ethical reasons. *Appetite*, 90, 31-36.
- Rieskorn, C., Peters, K., Little, R., Terry, P. (2016). The Effects of Coconut Milk and Beet Puree on the Nutritional, Physical and Sensory Characteristics of Raspberry Ice Cream. Poster Session: Food/Nutrition Science; Education; Management; Food Services/Culinary; Research. *Journal Of The Academy Of Nutrition And Dietetics*. Samford University. September 2016 Suppl 1- Abstracts, (9): 116.
- Shrestha, M., Maskey, B. (2018). Effects of soymilk and milk solid not fat on soy ice cream quality. *Himalayan Journal of Science and Technology*, 2, 41-47.

- Sivasankari, R., Hemalatha, G., Amutha, S., Murugan, M., Vanniarajan, C., Umamahesvari, T.(2019). Physical and Sensory Properties of Ice Cream as Influenced by Pulse Protein Concentrates. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 9(4): 322-328.
- Sunal, Z. (2019). Protein jeliyle zenginleştirilmiş yaban mersini ilaveli fonksiyonel dondurmanın biyoerişebilirliğinin incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sutar, N., Sutar, P., Singh, G. (2009). Evaluation of different soybean varieties for manufacture of soy ice cream. *International Journal of Dairy Technology*, 63:136-142.
- Ullah, A., Ahmad, J., Muhammad, K., Sajjad, M., Baik, S. W. (2017). Action recognition in video sequences using deep bi-directional LSTM with CNN features. *IEEE access*, 6, 1155-1166.
- Wang, W., Wang, M., Xu, C., Liu, Z., Gu, L., Ma, J., Hou, J. (2022). Effects of soybean oil body as a milk fat substitute on ice cream: Physicochemical, sensory and digestive properties. *Foods*, 11(10), 1504.
- Zetzel, A.K.; Marangoni, A.G. Barbut, S. (2012) Mechanical properties of ethylcellulose oleogels and their potential for saturated fat reduction in comminuted meat products. *Food Funct.* , 3, 327–337.
- .

Bölüm 5

YAPI MALZEMELERİNDE KALİTE STANDARTLARI VE ÖNEMİ

Nazım Çağatay DEMİRAL¹

Özlem ÇALIŞKAN²

ÖZET

Kalite standartları yapı malzemeleri alanında çok önemli bir rol oynamakta; güvenli, dayanıklı ve sürdürülebilir inşaat için temel oluşturmaktadır. Bu standartların önemi, yapı malzemelerinin üretimine, test edilmesine ve uygulanmasına rehberlik eden ölçütleri oluşturma potansiyeline sahip olmasıdır. Bu çalışma, yapı malzemeleri için kalite standartlarını tanımlamakta ve standartların uygulamadaki çoklu etkilerini vurgulamaktadır. Çalışmada yapı malzemelerinin tedariki ve yönetimi hakkında bilgi verilmiş, tedarik edilen yapı malzemelerinin belirli standartlara uygun olmasının öneminden bahsedilmiş ve bu standartlarla ilgili detaylı açıklamalar yapılmıştır. TS-EN olarak adlandırılan Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazırlanan, malzemelerin Avrupa standartlarına uygunluğunu gösteren standartlar hakkında bilgiler verilmiş, dünyada en çok kullanılan yapı malzemesi olan betonun uygunluğunu belirleyen deneylerin standartları derlenmiş ve açıklanmıştır. Çalışma sonucunda kalite standartlarının yapı malzemelerinin performansında tutarlılık ve tekdüzelik sağladığı; mukavemet, dayanıklılık ve boyutsal doğruluk gibi nitelikler için belirli parametreleri tanımladığı, üreticiler, tedarikçiler ve inşaat profesyonelleri arasında ortak bir davranışı ortaya koyduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler – *Yapı malzemesi, Kalite standartları, TS-EN, Beton, İnşaat*

GİRİŞ

İnşaat kalitesi; hata sayılarının artması, inşaat ile ilişkili riskler ve karmaşık tesislerin güvenilirliğinin ve sürdürülebilirliğinin sağlanma ihtiyacı nedeniyle kritik önem kazanmıştır. Malzeme ve ekipman kalitesinin düşük olması sebebiyle; yüksek maliyetler, zaman çizelgelerinin gecikmesi, planlanan işin tekrarı, üretkenlik kaybı ve rekabet içinde kaybedilen işler gibi durumlar meydana gelebilir. İnşaat kalitesi, yüklenicilerin ve tedarikçilerin seçiminde ve nihai başarısında önemli bir faktördür.

¹ Arş. Gör.; Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü.

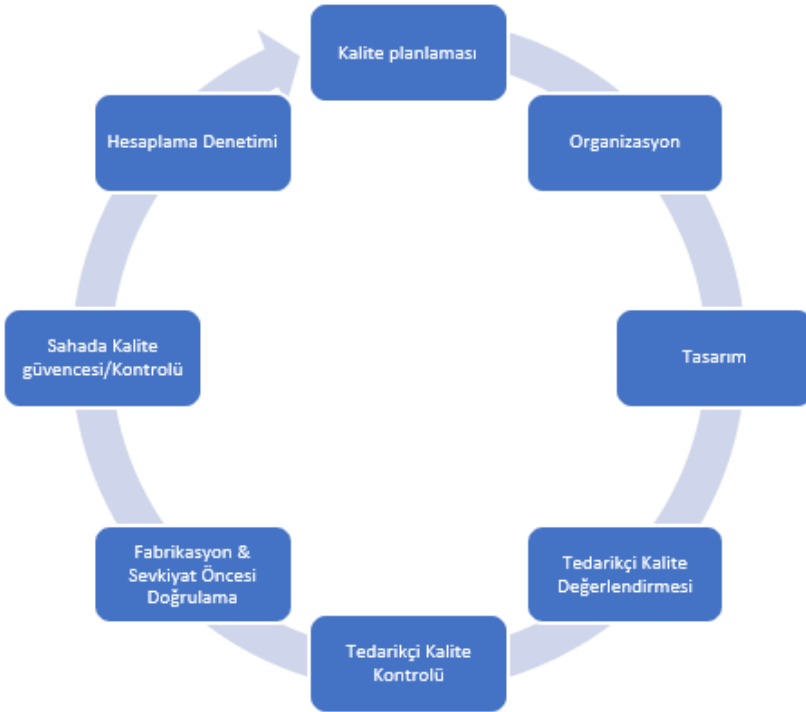
cagatay.demiral@bilecik.edu.tr ORCID No: 0000-0001-5927-7299

² Dr. Öğr. Üyesi; Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü.

ozlem.caliskan@bilecik.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5272-9552

İnşaat sektöründe faaliyet gösteren başarılı şirketler, deneyimlerinden dolayı kaliteli ürünler üreten yüklenicileri ve tedarikçileri seçmektedir.

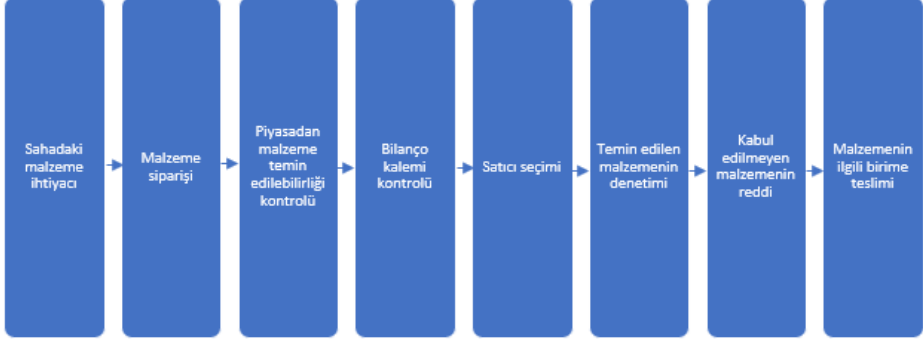
Zaman ve rekabet baskısını aşmak için, yüklenicilerin ve tedarikçilerin etkili kalite yönetim planları ve sistemleri olmalıdır. İnşaatla kalite izleme sürekli bir şekilde yapılmalı, bu sadece "kontrol" ile sınırlı kalmadan, organizasyonun tümünü kapsamalıdır. Yapı malzemeleri için kalite süreçleri Şekil 1’de gösterilmiştir. Şekilden anlaşılacağı üzere, üretim ve sevkiyat öncesi doğrulama, genel kalite programının sadece bir parçasıdır. Ayrıca, tedarikçinin kalite güvence ve kontrolü, süreçte yer alan önemli işlevlerden biridir. Bu güvence ve kontrol mekanizması, uygun olmayan malzemelerin sevkiyatını önlemek ve atölyede eksiklikleri düzeltmek için uygulanmalıdır. Herhangi bir inşaat sisteminde olduğu gibi, kalite güvencesi ve kalite kontrolü tedarikçi ile başlar, standartlar ve özelliklerden sorumlu olan mühendise kadar uzanır ve yüklenici, tedarikçi ve alt yüklenicilerden kaliteli ürünler talep edilir.



Şekil 1: Yapı Malzemelerinin Kalite Süreçleri

YAPI MALZEMELERİNİN YÖNETİMİ

Yapı malzemelerinin yönetimi, inşaat sahası ve ofis faaliyetlerinin planlanması, yürütülmesi ve kontrol edilmesi sürecidir. Malzeme yönetimi, inşaat malzemelerine ihtiyaç duyulduğunda hazır bulunmasını sağlamak amacıyla yapılır. Malzeme yönetim sistemi, doğru kalite ve miktarlarda malzemelerin uygun şekilde seçilmesi, satın alınması, teslim edilmesi ve sahada zamanında ve uygun maliyetle taşınması için oluşturulur. Malzeme yönetimi, malzemelerin doğru kalite ve miktarının zamanında belirlenmesi, uygun maliyetle tedarik edilmesi ve gerektiğinde kullanım noktasında hazır olması için planlama ve kontrol çabalarını içeren bir sistemdir. Projelerde inşaat maliyetlerinin büyük bir kısmını malzemelerin oluşturması sebebiyle bu süreç önemli bir rol oynar. Kötü malzeme yönetimi, maliyetlerin artmasına neden olabilirken, verimli bir malzeme yönetimi, önemli tasarruf fırsatları sunabilir. Malzemelerin zamanında tedarik edilmesi, saklanması ve kullanılması malzeme yönetiminin önemli parametreleridir. Malzeme yönetim sisteminin performansı ölçülmeli ve ölçümler, sistemin daha verimli çalışmasını sağlamak için kullanılmalıdır. Bu ölçümler, malzeme yönetim sistemini bölümlere ayırarak sistemin daha etkin bir şekilde çalışmasını sağlar. Tüm bu unsurların birleşmesi, eksiksiz bir malzeme yönetim sistemi oluşturur. Şekil 2’de malzeme temin yönetim süreçleri gösterilmektedir (Patel ve Vyas, 2011:2).



Şekil 2: Malzeme Temin Yönetim Süreçleri (Patel ve Vyas, 2011:2)

İnşaatlarda performansın olumsuz yönde etkilenmesine sebep olan faktörlerden biri malzemelerin uygunsuz yönetimidir. İnşaat projelerinde ana bileşen yapı malzemesidir. Bu nedenle, inşaat projelerinde malzeme yönetimi doğru sağlanmazsa, projede büyük maliyet farkları oluşacaktır. Projede meydana gelen maliyet sapmalarına yönelik düzeltici önlemler alınarak projenin toplam maliyeti iyi bir şekilde kontrol edilebilir (Phani ve Methew, 2019). İnşaat Endüstrisi Enstitüsü tarafından yapılan araştırmalar, malzemelerin ve kurulu ekipmanın toplam proje maliyetinin %50-60'ını oluşturabileceğini ve iş takviminin %80'ini

etkileyebileceğini göstermiştir (Ibn-Homaid, 2002). Malzeme yönetimi uygulamalarının etkin şekilde yönetilmemesi durumunda projelerde zaman ve para kaybına yol açtığı görülmektedir. Üretken ve uygun maliyetli inşaat projesi yönetmek için verimli malzeme yönetimi çok önemlidir. Herhangi bir projedeki malzeme yönetim sistemi; doğru kalitede, malzeme miktarının uygun şekilde seçilmesini, etkili bir şekilde satın alınmasını, uygun şekilde teslim edilmesini ve sahada zamanında ve makul bir maliyetle güvenli bir şekilde taşınmasını sağlar (Donyavi ve Flanagan, 2009). Herhangi bir kuruluşun, proje yürütmenin etkinliği için uygun malzeme yönetimi tekniklerini ortaya koyması gerekir. Malzeme yönetimi; depolama, ihtiyacı belirleme, geri alma, taşıma ve yapı malzemesinin standartlara uygunluğunu kontrol etme gibi kavramları içerir. Bunların her biri, güvenlik, üretkenlik ve program performansını sağlamak için göz ardı edilemez bir şekilde bağlantılıdır.

YAPI MALZEMELERİNDE KALİTE STANDARTLARI

İnşaat sektörü, binaların ve inşaat mühendisliği işlerinin yapımında kullanılan temel hammaddeyi oluşturan prefabrik inşaat malzemeleri ile dünya çapında en büyük ve en zorlu sektördür (Liu vd., 2007; Ofori, 2000; Tucker, 1986). Bu malzemeler arasında tuğlalar, duvarlarda veya döşemelerde kullanılan beton bloklar, yaya veya araç yolları için döşeme taşları ve petrol türevi malzemeler yer almaktadır. Bu tür malzemeler inşaat sektöründeki profesyonellere sayısız avantaj sunmaktadır. Nitekim, kaynakların optimizasyonu, maliyetlerin ve inşaat sürelerinin azaltılması gibi amaçlar bu malzemelerin yaygın kullanımının en geçerli sebebidir (Domone ve Illston, 2010). İnşaat malzemeleri teknik şartnamelere uygunluğa tabidir ve periyodik kalite kontrollerinden geçmeleri gerekmektedir.

Yapı malzemelerinin kalite standartları, inşaat malzemelerinin özelliklerini belirleyen bir dizi teknik kriterdir. Bu kriterler, malzemenin dayanıklılığı, dayanımı, yangın dayanımı, geçirimsizliği, ısı/ ses yalıtımı ve diğer özellikleri gibi faktörlere dayanır. Standartlar ayrıca malzemelerin üretimi, işlenmesi ve kullanımı için belirli yöntem, kural ve gereklilikleri içerir.

Birçok ülke, inşaat malzemeleri için kalite standartları belirlemek üzere ulusal veya uluslararası standart kuruluşlarına sahiptir. Örneğin, Avrupa Birliği'nde, yapı malzemeleri için kalite standartlarını belirleyen European Norm (EN) standartları mevcuttur. Ayrıca, Amerika Birleşik Devletleri'nde American Standard for Testing Materials (ASTM) ve Kanada'da Canadian Standards Association (CSA) gibi standart kuruluşları da vardır. Yapı malzemeleri için kalite standartları, malzemelerin üreticilerinin belirli özellikleri karşılamasını sağlar. Bu özellikler, ürünün dayanıklılığı, aşınma direnci, yalıtım özellikleri ve güvenliği gibi faktörlere dayanır. Standartlar ayrıca, malzemelerin kalitesinin doğrulanması için test

yöntemlerini de belirler. Bu testler, malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi için yapılan fiziksel ve kimyasal testleri içerir. Testler, malzemelerin üretiminde ve kullanımında standartların karşılanmasını sağlamak için düzenli olarak yapılmalıdır. Yapı malzemeleri için kalite standartları, inşaat projelerinin güvenli ve dayanıklı bir şekilde tamamlanmasını sağlamak için hazırlanmıştır. Malzemelerin kalitesi, projenin ömrünü ve maliyetini de etkiler. Kalitesiz malzemeler, projenin başarısız olmasına, can ve mal kaybına neden olabilir. Kalite standartları ayrıca, inşaat sektöründe rekabeti arttırmak için de kullanılabilir. Yüksek kaliteli malzemeler kullanan üreticiler, projelerde daha güvenilir bir şekilde çalışabilecekleri için diğerlerine göre daha fazla talep görebilirler. Yapı malzemeleri kalite standartları, tüm sektörlerde olduğu gibi, inşaat endüstrisinde de sürekli olarak değişmektedir. Teknolojideki gelişmeler, yapı malzemelerindeki yenilikler ve daha iyi test yöntemleri gibi faktörler, standartların yenilenmesini ve güncellenmesini gerektirebilir. Örneğin, enerji tasarrufu ve sürdürülebilirliğe artan ilgi, malzemelerin enerji verimliliği ve çevresel etkilerinin daha fazla dikkate alınmasını gerektirmektedir. Yapı malzemeleri kalite standartları, inşaat endüstrisindeki düzenlemelerin bir parçasıdır.

Beton, dünya çapında en çok kullanılan yapı malzemelerinden birisi olmakla birlikte inşaat sektörünün en önemli bileşenlerinden biridir. Yüksek mukavemeti, dayanıklı, ekonomik ve kolay kullanımı nedeniyle, beton çeşitli yapılar için ideal bir seçenek olarak kabul edilir. Günümüzde en yaygın olarak üretilen ve yapılarda kullanılan geleneksel beton; agrega, su ve çimentonun birleşimi ile üretilir. Betonun bileşimi, belirli yapıların ihtiyaçlarına ve kullanım amaçlarına göre değişebilir. Betonun kullanım şekline göre ihtiyaç duyduğu özellikler değiştiğinden, üretim aşamasında birçok parametre göz önünde bulundurularak üretilmektedir. Bu yüzden ülkemizde Türk Standardı Avrupa Normu anlamına gelen TS EN standartları beton üretimi aşamasında uygulanmaktadır. TS EN, Türkiye'de üretilen veya kullanılan ürünlerin, Avrupa Birliği'nin (AB) yasal gerekliliklerine uygun olduğunu göstermek için kullanılan bir işaret sistemidir. TS EN, Türkiye'deki standartlarla AB standartları arasında bir denge sağlamayı amaçlar.

Beton üretimi sırasında Türkiye'de uyulması gereken bazı standartlar aşağıda listelenmiştir:

TS 802: Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları

Bu standart; normal beton agregaları ile üretilen ve vibratör ile sıkıştırılan beton türlerinin karışım hesaplarını açıklar. Standartta en büyük agrega boyutunun seçilmesi, agrega tane boyut dağılımı, karışımında kullanılacak su miktarının ve karışımın hava oranının belirlenmesi, kıvam sınıfı, çimento dozajı, agregalarda uygulanacak su düzeltmesi gibi bilgiler yer almaktadır.

TS EN 206+A2: Beton- Özellik, performans, imalat ve uygunluk

Bu standart; çeşitli tiplerde betonların taze ve sertleşmiş hal özelliklerinden, uygunluk ve üretim kontrolünden, taze, sertleşmiş ve hafif betonun yoğunluk açısından sınıflandırma kriterlerinden bahseder. Bunun yanı sıra betonun performans gereksinimlerini ve uygunluk kriterlerini belirler. Betonun malzeme özellikleri, çimento seçimi, agrega özellikleri, karışım suyu kullanımı, klor içeriği, katkı kullanımı, dayanıklılık, priz süresi, donma çözünme direnci ve diğer özelliklerin yanı sıra üretim, kalite kontrol ve uygunluk kriterlerinden de bahseden kapsamlı bir standarttır.

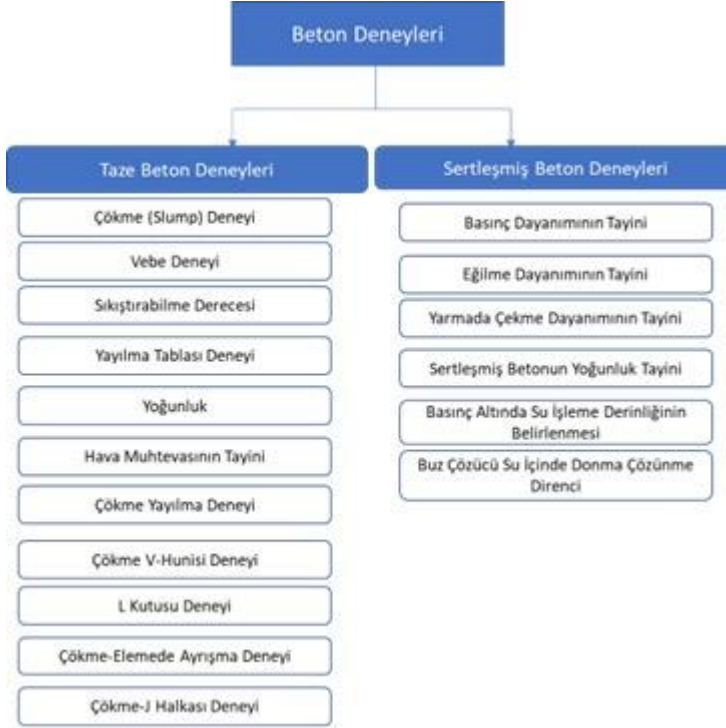
TS 706 EN 12620+A1: Beton Agregaları

Bu standart; beton yapımında kullanılan agregaların üretimi, özellikleri ve etiketlenmesiyle ilgili gereksinimleri belirler. Agrega özellikleri arasında boyut dağılımı, mukavemet, şekil, yüzey özellikleri ve aşınma direnci bulunur.

TS EN 1008: Beton, Karma suyu, Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları

Bu standart; betonda kullanılacak karma suyunun azami klorür muhtevası, alkali içeriği, seçilen karma suyu türü ile üretilen betonların priz süresinin hangi aralıklarda olması gerektiği ve betonda geri kazanılmış su kullanımında uygulanması gereken kurallar hakkında bilgiler verir.

Beton üretiminden sonra uygunluk kriterlerini belirlemek için beton testleri bulunmaktadır. Beton deneyleri, betonun kalitesini ve dayanıklılığını belirlemek için yapılan testlerdir. Bu deneyler, inşaat endüstrisinde kullanılan betonun kalitesini ve dayanıklılığını arttırmak için önemlidir. Beton deneyleri, TS EN beton standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmelidir. Taze ve sertleşmiş hal özelliklerine göre iki gruba ayrılır (Şekil 3). TS EN 12350 standardının bölümleri betonun taze hal özelliklerini belirleme sırasında kullanılan deney yöntemleri hakkında bilgi verirken, TS EN 12390, beton numunelerinin çeşitli sertleşmiş hal özelliklerini belirlemek için yapılan deneyler için bir dizi standart içerir. Bu standartlar, betonun kalite kontrolü ve inşaat projelerinde kullanım özelliklerinin belirlenmesi için önemlidir.



Şekil 3: Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri

TS EN 12350 Standardı

Bölüm 1: Numune alma ve yaygın kullanılan cihazlar

Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi

Bölüm 3: Vebe deneyi

Bölüm 4: Sıkıştırılabilirlik derecesi

Bölüm 5: Yayılma tablası deneyi

Bölüm 6: Yoğunluk

Bölüm 7: Hava muhtevasının tayini

Bölüm 8: Çökme yayılma deneyi

Bölüm 9: Çökme-V hunisi deneyi

Bölüm 10: L kutusu deneyi

Bölüm 11: Çökme-Elemente ayrışma deneyi

Bölüm 12: Çökme-J halkası deneyi

Bölüm 1: Numune alma ve yaygın kullanılan cihazlar – Standardın bu bölümünde taze haldeki betondan numune almak için uyulması gereken kurallara yer verilmiştir. Numune alma şekli karma ve spot numune olarak iki grupta

sunulmuştur. Ayrıca numune alma sırasında taze betonun sıcaklık ölçümü, numunenin nakliyesi ve bakımı hakkında da bilgiler yer almaktadır.

Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi – Bu bölümde taze haldeki betonun 10 ile 200 mm arasındaki çökme değerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan deney hakkında detaylı bilgi verilmektedir. Çökme deney düzeneği Şekil 4’te gösterilmiştir. Standartta, deney uygulandıktan sonraki bir dakikalık süre sonunda taze haldeki betonun çökme özelliği göstermesi gerektiği aksi takdirde bahsedilen sınırlar içinde olmayan çökme özelliği gösteren numuneler için ise uygun olmadığı belirtilmiştir. Bölüm 2’de ayrıca deney sırasında kullanılan malzemeler (kalıp, şişleme çubuğu, huni doldurma başlığı, cetvel, taban plakası, tekrar sıkıştırma kabı, kürek, nemli bez, kepçe ve kronometre) tanıtılmıştır. Taze haldeki betonun kalıba doldurma ve şişleme işlemi hakkında detaylı bilgi verilmiş ve daha sonra deneyin nasıl uygulanacağı anlatılmıştır.



Şekil 4: Çökme (Slump) Deneyi

Bölüm 3: Vebe deneyi – Standartta en büyük agrega çapı 63 mm olan taze betonun kıvam tayinini sağlamak amacıyla gerçekleştirilen Vebe deneyi hakkında detaylı bilgi verilmektedir. Vebe süresi 5 ile 30 saniye arasında olmayan taze karışımların bu deneye uygun olmadığı bildirilmektedir. Bölümde ayrıca kullanılan aletler ve deneyin yapılışı hakkında detaylı bilgi verilmektedir. Vebe deney düzeneği Şekil 5’te görülmektedir.



Şekil 5: Vebe Deney Düzeneği

Bölüm 4: Sıkıştırılabilirlik derecesi – Bu standartın, maksimum agrega çapı 63 mm olan ve sıkıştırılabilirlik derecesi 1.04 ile 1.46 arasında kıvama sahip taze haldeki betonlar için uygulanabileceği bildirilmiştir. Standartta, prizma şeklindeki bir kaba taze haldeki beton doldurularak vibrasyon uygulaması sonrası kap içerisindeki numunenin boy değişimi ölçülerek sıkıştırma derecesi hesaplanmasına dayalı test yönteminden bahsedilmektedir (Şekil 6). Bölümde ayrıca elde edilen boy değişimi değerinden sıkıştırma derecesinin elde edileceği formülasyon da sunulmaktadır.



Şekil 6: Sıkıştırılabilirlik Derecesi Deney Düzeneği

Bölüm 5: Yayılma tablası deneyi – Standardın bu bölümünde 63 mm maksimum agrega çapına sahip ve yayılma değeri sonucunun 340 ile 600 mm arasında olduğu karışımların deneyi için uygun olduğundan bahsedilmektedir. Standartta, yayılma tablası, kalıp, sıkıştırma çubuğu, cetvel, karıştırma kabı, kürek, nemli bez, kepçe ve kronometre gibi deney sırasında kullanılacak aletler, taze haldeki betonun deney kabına yerleştirilme metodu ve deney yapılışı hakkında detaylı bilgi verilmektedir. Deney sonucunda yayılma miktarlarının ölçümü ve deney sonucunun elde edilmesi için kullanılan formülasyona da yer verilmiştir. Yayılma tablası deneyi Şekil 7’de sunulmuştur.



Şekil 3: Yayılma Tablası Deneyi

Bölüm 6: Yoğunluk – Standardın bu bölümünde taze haldeki betonun laboratuvar ortamında ve şantiyede yoğunluk değerinin belirlenmesi için gerekli kurallardan bahsedilmektedir. Deney sırasında kullanılan aletler (kap, doldurma başlığı, beton sıkıştırma cihazı, kollu veya göstergeli terazi, düz kenarlı master, kepçe, çelik mala, tekrar sıkıştırma kabı, kürek ve tokmak) hakkında kısaca bilgiler verilmiş ve bahsedilen yöntemde yoğunluğu belirlenecek numunenin kaba doldurulması ve sıkıştırılması sırasında dikkat edilecek hususlardan bahsedilmiştir. Doldurma ve sıkıştırma işleminden sonra yoğunluk tayini için ölçülecek kütle değerleri ve yoğunluk değerinin belirlenmesi için gerekli olan matematiksel denkleme de yer verilmiştir.

Bölüm 7: Hava muhtevasının tayini – Standardın bu bölümü maksimum agrega çapının 63 mm olduğu betonların taze halde hava içeriğinin ölçülmesi için yapılan deney hakkında bilgiler vermektedir. Standartta yapılan deneyin hafif, yüksek fırın

cürufu veya yüksek boşluk oranına sahip agregalarla üretilen betonlarda agrega düzeltmesinin yapılamaması nedeniyle uygun olmadığı belirtilmiştir. Hava içeriğinin belirlenmesi için su sütunu yöntemi ve basınç ölçme yöntemi adında iki adet metot hakkında bilgi verilmiştir. Su sütunu yönteminde kabın doldurulma ve sıkıştırılma işlemleri detaylandırılmıştır. Doldurulan betonun sıkıştırılma işlemi tamamlandıktan sonra hava muhtevasının ölçülmesi için cihaza su doldurulup su seviyeleri ölçülerek betonun hava muhtevası elde edilir. Basınç ölçme yönteminde yine kaba su doldurulup hava ölçerdeki basınç değeri ölçülür. Standartta elde edilen değerlerin hava muhtevasına dönüştürülmesi için kullanılacak formüllere de yer verilmektedir. Şekil 8’de hava muhtevası tayini deney cihazı gösterilmektedir.



Şekil 8: Hava Muhtevası Tayini Deney Cihazı

TS EN 12350 standardının geri kalan bölümleri (Bölüm 8-12) kendiliğinden yerleşen betonun taze hal özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler hakkında bilgiler vermektedir.

Bölüm 8: Çökme yayılma deneyi – Standardın bu bölümünde kendiliğinden yerleşen betonun çökme yayılma değerinin tayin edilmesi için uygulanan deney hakkında bilgiler verilmektedir. Deneyde betonun maksimum agreg a çapının 40 mm’den büyük olmaması gerektiği bildirilmiştir. Standartta taze haldeki kendiliğinden yerleşen betonun koniye yerleştirilme ve sıkıştırılma aşamaları, numunenin istenilen çapa geldiği anda geçen süre ve yayılan numunenin çapının nasıl ölçüleceği hakkında detaylar sunulmuştur. Çökme yayılma deney düzeneği Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9: Çökme Yayılma Deneyi

Bölüm 9: Çökme-V hunisi deneyi – Bu bölümde maksimum agrega çapı 22.4 mm olan kendiliğinden yerleşen betonun V hunisi deneyinin nasıl yapılacağı, deney sırasında kullanılan ekipman, V hunisinin doldurulduktan ve huni kapağı açıldıktan sonra ölçülecek süre hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Çökme-V hunisi deney düzeneği Şekil 10’da gösterilmiştir.



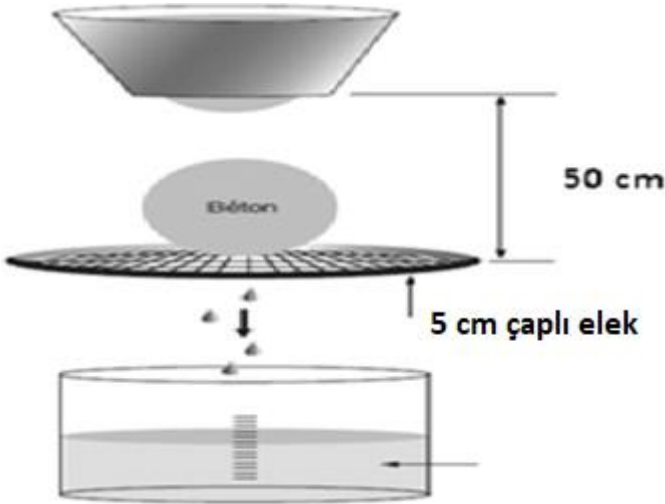
Şekil 10: Çökme-V Hunisi Deneyi

Bölüm 10: L kutusu deneyi – Standardın bu bölümünde kendiliğinden yerleşen betonun taze haldeki L kutusu deneyi ve kullanılan ekipman hakkında bilgi verilmektedir. Taze haldeki numune ile doldurulan L şeklinde kutunun kapağı açılarak düşey ve yatay bölümdeki yükseklikler ölçülür (Şekil 11).



Şekil 11: L Kutusu Deney Düzeneği

Bölüm 11: Çökme-Elemede ayrışma deneyi – Standart kendiliğinden yerleşen betonun ayrışmaya karşı gösterdiği direncin ölçülmesi için yapılan deney hakkında detaylar sunmaktadır. Deneyde kullanılan aletler hakkında bilgi verilmiştir. Numune hazırlandıktan sonra taze beton 15 dakika bekletilir ve herhangi bir sızıntı suyu ayrışması not edilir. Daha sonra numunenin belirlenen üst kısmı 5 mm çapındaki eleğe dökülür ve 2 dakika sonra geçen beton kütlesi ölçülür. Ölçülen değerler kullanılarak kendiliğinden yerleşen betonun elemede ayrışma sonucu elde edildiği anlatılmıştır. Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 12’de gösterilmiştir (Benaicha vd., 2015).



Şekil 12: Çökme-Elemede Ayrışma Deneyi Düzeneği Şematiği (Benaicha vd., 2015)

Bölüm 12: Çökme-J halkası deneyi – Bu standartta kendiliğinden yerleşen betonun engellerden geçme yeteneğini ölçen J halkası deneyi hakkında detaylı bilgi

verilmektedir. Bu deneyin 40 mm ve altında maksimum agregâ çapına sahip kendiliğinden yerleşen betonlar için uygun olduğu belirtilmiştir. Standardın bu bölümünde kendiliğinden yerleşen betonun dar aralıklı donatıların arasından ayrılmaya uğramadan geçebilme potansiyelini ölçme yöntemi anlatılmaktadır. Betonun huniye yerleştirilme ve sıkıştırılma detayları, huni kaldırıldıktan sonra istenilen çapa geldiğİ anda geçen sürenin ölçülmesi ve hesaplama yöntemleri hakkında detaylı bilgilere yer verilmektedir. Şekil 13’de J halkası deney düzeneğİ gösterilmiştir.



Şekil 13: J Halkası Deney Düzeneğİ

TS EN 12390 Standardı

Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğİer özellikleri

Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin yapımı ve küre tâbi tutulması

Bölüm 3: Basınç Dayanımının Tayini

Bölüm 4: Deney makinelerinin özellikleri

Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımı tayini

Bölüm 6: Yarmada çekme dayanımının tayini

Bölüm 7: Sertleşmiş betonun yoğunluk tayini

Bölüm 8: Basınç altında su işleme derinliğinin belirlenmesi

Bölüm 9: Buz özücü tuz içinde donma çözünme direnci

Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğİer özellikleri- Beton numunelerinin hazırlanması için gereksinimleri belirler. Bu bölüm, beton numunelerinin doğru şekilde hazırlanması için yönergeler içerir. Kalıplara dökülerek üretilen küp, silindir ya da prizmatik beton numunelerinin ve kalıplarının boyut ve biçimleri hakkında bilgi verir.

Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin yapımı ve küre tâbi tutulması- Beton numunelerinin yapımı ve depolanması için gereksinimleri

belirler. Beton numunelerinin uygun kür koşullarında depolanması gerektiğini belirtir (Şekil 14).



Şekil 14: Beton Numunelerinin Kür Edilmesi

Bölüm 3: Basınç Dayanımının Tayini- Beton numunelerinin basınç dayanımının belirlenmesi için gereksinimleri belirler. Basınç dayanımı deneyi yapmak için gerekli olan ekipmanların ve yöntemlerin tanımlarını içerir. Numunenin hazırlanması ve deney cihazına yerleştirilmesi, yükleme ve kırılma tipinin belirlenmesi bölümlerinden oluşur. Şekil 15’te basınç dayanımı test cihazı sunulmuştur.



Şekil 15: Basınç Dayanımı Deneyi

Bölüm 4: Deney makinelerinin özellikleri- Beton numunelerinin dayanımı için ölçüm sırasında kullanılan makinelerin performans özellikleri hakkında bilgilendirmeler yapar. Yükleme sırasında kullanılan makinenin parçaları, yükün ölçülmesi ve makine kalibrasyonu hakkında bilgiler verir.

Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımı tayini- Beton numunelerinin eğilme dayanımlarının belirlenmesinde uygulanması gereken deney yöntemlerinden bahsetmektedir. Deney numunesinin eğilme dayanımı testi için hazırlanması, cihaza yerleştirilmesi ve yüklemesi hakkında bilgiler verir. 3 noktalı ve 4 noktalı eğilme deneyleri için de detaylandırmalar yapılmıştır. 3 noktalı eğilme deneyi Şekil 16’da gösterilmiştir.



Şekil 16: 3 Noktalı Eğilme Deneyi

Bölüm 6: Yarmada çekme dayanımının tayini – Standardın bu bölümünde silindir şeklinde hazırlanmış beton numunesinin yarmada çekme dayanımının belirlenmesi için uygulanması gereken adımlardan bahsedilmiştir. Standartta, silindir şekilli numuneye uzunluğu boyunca dar bir bölgeden basınç gerilmesi oluşturulması ile betonda oluşan çekme gerilmesi numunenin çekme gerilmesinin olduğu bölge boyunca parçalanması prensibine dayandığı belirtilmiştir. Standartta, numunenin yükleme cihazına yerleştirilmesi, yükleme hızı, sonuçların belirlenmesi için kullanılan hesap yöntemi hakkında bilgilendirmeler bulunmaktadır. Şekil 17’de yarmada çekme test cihazı gösterilmiştir (Taha vd., 2014).



Şekil 4: Yarmada Çekme Deneyi

Bölüm 7: Sertleşmiş betonun yoğunluk tayini – Sertleşmiş beton numunelerinin tabii, suya doymuş ve etüv kurusu durumundaki yoğunluklarının belirlenmesi için uyulması gereken kurallar hakkında bilgi vermektedir. Bu standart hafif, normal ağırlıklı ve ağır betonda da uygulanabilir. Deneyde kullanılacak cihazlar, kütle ve hacim tayini hakkında bilgilendirmeler yapar. Standartta, elde edilen sonuçlardan yoğunluk tayininin nasıl elde edileceğine dair hesap yöntemi de sunulmuştur.

Bölüm 8: Basınç altında su işleme derinliğinin belirlenmesi – Bu standartta su kürüne tabi tutulmuş sertleşmiş betona basınç altında suyun nüfuz etme derinliğinin belirlenmesi için gerekli kurallar sunulmuştur. Standart kullanılan cihazlardan, deney numunesinin şeklinden, su basıncının ne kadar süreyle ve kaç kPa basınçla uygulanacağından ve numunenin incelenme yönteminden bahsetmektedir. Deney aleti Şekil 18’de sunulmuştur.



Şekil 18: Basınç Altında Su İşleme Derinliği Deney Cihazı

Bölüm 9: Buz çözücü tuz içinde donma çözünme direnci – Yüzeysel hasarın tespiti yoluyla- Beton numunelerinin donma-çözünme dayanımının belirlenmesi için gereksinimleri belirler. Deney yöntemi su ve sodyum klorür çözeltisine yerleştirilen ve donma çözünme döngüsü içine alınan numunenin yerel tecrübeler veya donma çözünme konusunda iyi performans verdiği bilinen bir numune ile karşılaştırılarak uzman tarafından yorumlanma esasına dayanır. Bu bölüm, donma-çözülme dayanımı deneyi yapmak için gerekli olan ekipmanların ve yöntemlerin tanımlarını içerir. Donma-çözünme dolabı Şekil 19’da sunulmuştur.



Şekil 19: Donma-Çözünme Dolabı

TS EN 12390 standardı, beton numunelerinin farklı özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan farklı deneylerin yapılması için gereksinimleri belirler. Bu sayede,

beton numunelerinin performansı ve dayanıklılığı hakkında bilgi edinmek ve betonun kalitesinin değerlendirilmesini sağlamak mümkün hale gelir. Bu standarda uygun olarak yapılan beton deneyleri, inşaat sektöründe güvenli ve sağlam yapıların inşa edilmesine yardımcı olur. Ayrıca, yapısal betonun kalitesinin belirlenmesinde ve beton üretiminde kullanılan malzemelerin kalitesinin kontrol edilmesinde de bu standart önemli bir rol oynar. Beton özellikleri, betonun kullanıldığı ortama, yapısal gereksinimlere ve üretim yöntemlerine bağlı olarak farklılık gösterebilir. TS EN 12390 standardının uygulanması, beton numunelerinin doğru bir şekilde hazırlanmasını, deneylerin standartlara uygun bir şekilde yapılmasını ve sonuçların doğru bir şekilde yorumlanmasını gerektirir. Bu sayede, beton numunelerinin gerçek performansına ilişkin doğru bir plan yapılabilir ve yapısal betonun kalitesi hakkında bilgi edinilebilir. Sonuç olarak, TS EN 12390 standardı, beton numunelerinin çeşitli özelliklerini belirlemek için kullanılan farklı test yöntemlerini belirler. Bu standarda uygun olarak yapılan beton deneyleri, yapısal betonun kalitesinin değerlendirilmesine ve güvenli ve sağlam yapıların inşasına yardımcı olur. Bu nedenle, inşaat sektöründe kullanılan betonların kalitesinin kontrol edilmesi için bu standardın uygulanması büyük önem taşır.

SONUÇ

Beton üretiminde standartlar, betonun kalitesini ve dayanıklılığını arttırmayı amaçlar. Betonun kalitesi ve dayanıklılığı, çeşitli faktörlerin bir araya gelmesiyle elde edilir. Bu faktörler arasında, kullanılan malzemelerin kalitesi, karışım oranları, su-çimento oranı ve betonun hazırlanma süreci yer alır. Bu faktörlerin her biri, betonun kalitesini ve dayanıklılığını etkileyebilir. Beton üretiminde standartlar, bu faktörlerin düzenlenmesi ve kontrol edilmesi için tasarlanmıştır. Betonun üretiminde kullanılan malzemelerin kalitesini, karışım oranlarını, su-çimento oranını ve diğer önemli parametreleri belirler. Betonun hazırlanma sürecindeki adımların da standartlara uygun olarak yapılması gerekmektedir. Standartlara uygun olarak üretilen beton, daha yüksek bir dayanıklılığa ve hizmet ömrüne sahiptir. Ayrıca, standartlara uygun olarak hazırlanmış beton, işçilik maliyetlerinde tasarruf sağlar. Bu nedenle, beton üreticileri ve inşaat firmaları için standartların uygulanması önemli bir maliyet avantajı sağlar. Beton standartlarının uygulanması, yapıların güvenliği açısından da önemlidir. Standartlara uygun olarak hazırlanmamış beton, yapıların dayanıklılığına zarar verebilir ve hizmet ömrü boyunca tasarımda göz önüne alınan performans özelliklerini gösteremeyebilir. Bu nedenle, standartların uygulanması, inşaat sektöründe güvenliği artırır. Beton standartlarının uygulanması aynı zamanda çevre açısından da önemlidir. Beton üretimi, çevreye zarar verebilecek birçok atık üretebilir. Beton, modern inşaat sektöründe önemli bir malzeme olup, kalitesi ve dayanıklılığı yapıların dayanıklılığı açısından kritik öneme sahiptir.

Betonun kalitesini ve dayanıklılığını artırmak için, beton üretiminde standartların varlığı ve uygulanması büyük önem taşır. Sonuç olarak yapı malzemelerinin üretiminde standartların bulunması ve uygulamasının önemi şu şekilde sıralanabilir;

- Malzeme kalitesinin belirlenmesi ve uygun şekilde kullanılması, beton standartları vasıtasıyla sağlanabilmektedir. Böylece betonun kullanılacağı alanın gerektirdiği dayanım ve dayanıklılık özelliği göstermesini ve yapıların daha uzun ömürlü olmasını sağlar.

- Standartlar, yapıların inşa ve tasarımı sürecinde güvenli özellikler kazanmasını ve yapıların doğal afetler veya acil durumlarda daha güvenli olmasını sağlar.

- Beton standartları, yapıların tasarımı ve inşaatı için belirli kurallar ve yönergeleri belirler. Bu, yapıların daha kolay, daha hızlı ve daha verimli bir şekilde inşa edilmesine yardımcı olur.

- Beton standartları yapıların kullanım alanlarına göre ihtiyaç duyduğu işlevsellik özelliklerinin karşılanması için gereklilikleri belirlemektedir. Örneğin betonun yüksek sıcaklık altında dayanıklı olmasını, donma etkisi altında olan betonun donma-çözünme direncinin yüksek olmasını ya da ıslanma-kuruma etkisi altındaki betonun bu direncinin yüksek olmasını sağlayacak gereklilikleri belirlemektedir.

- Beton standartları, betonun belirli bir yaşam süresi boyunca dayanıklı kalmasını sağlamak için gerekli gereksinimleri belirler. Bu, betonun çatlama, korozyon veya bozulma gibi sorunlarla karşılaşmasını engeller.

- Beton standartları, kalite kontrolü için gereken prosedürleri ve testleri belirler. Bu, yapı malzemelerinin üreticilerinin ürettikleri malzemelerin belirli özellikleri karşıladığından emin olmalarını sağlar.

- Beton standartları, farklı ülkelerdeki inşaat sektöründe çalışanlar ve mühendisler arasında uyum sağlar. Bu sayede, betonun kalitesi ve özellikleri hakkında ortak bir anlayış oluşur ve uluslararası inşaat projeleri daha kolay bir şekilde yürütülebilir.

- Beton standartları, çevresel faktörlere duyarlılığı artırmak için beton üretiminde kullanılacak malzemelerin belirlenmesini sağlar. Bu sayede, sürdürülebilir beton üretimi için gerekli adımlar atılabilir.

- Beton standartları, betonun daha düşük maliyetli bir biçimde üretilmesi için ihtiyaç duyulan yöntemleri belirler. Böylece, inşaat projelerinin maliyeti azaltılabilir ve daha uygun fiyatlarla ihtiyaca yönelik yapılar inşa edilebilir.

- Beton standartları, beton teknolojisi alanında yenilikçi yöntemlerin keşfedilmesi ve uygulanmasını sağlar. Bu sayede, betonun özellikleri ve performansı geliştirilebilir ve inşaat sektörü daha ileri bir seviyeye taşınabilir.

REFERANSLAR

- Benaicha, M., Roguiez, X., Jalbaud, O., Burtschell, Y., ve Alaoui, A. H. (2015). Influence of silica fume and viscosity modifying agent on the mechanical and rheological behavior of self compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 84, 103-110.
- Donyavi, S., & Flanagan, R. (2009). The impact of effective material management on construction site performance for small and medium sized construction enterprises. In *Proceedings of the 25th Annual ARCOM Conference*, Nottingham, UK, 11-20.
- Ibn-Homaid, N. T. (2002). A comparative evaluation of construction and manufacturing materials management. *International Journal of Project Management*, 20(4), 263-270.
- Liu, J., Li, B., Lin, B., Nguyen, V. (2007). Key issues and challenges of risk management and insurance in Chinas construction industry – an empirical study. *Industrial Management and Data Systems*, 107(3): 382–396.
- Ofori, G. (2000). Challenges of Construction Industries in Developing Countries: Lessons from Various Countries. Conference Paper, Challenges Facing Construction Industries in Developing Countries, 2nd International Conference on Construction in Developing Countries: Challenges facing the construction industry in developing countries 15-17 November 2000, Gabarone, Botswana.
- Patel, K. V., & Vyas, C. M. (2011). Construction materials management on project sites. In *National Conference on Recent Trends in Engineering & Technology*, 1-5.
- Phani, M., & Methew, S. V. (2019). Material management in construction-a case study.
- Taha, R., Alnuaimi, N., Kilayli, A., ve Salem, A. (2014). Use of Local Discarded Materials in Concrete. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 3. 10.1016/j.ijsbe.2014.04.005.
- TS 706 EN 12620+A1. (2009). Beton agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 802. (2016). Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 1: Numune alma ve yaygın kullanılan cihazlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1008. (2003). Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-1. (2019). Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 1: Numune alma ve yaygın kullanılan cihazlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 12350-2. (2019). Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-3. (2019). Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 3: Vebe deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-4. (2019). Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 4: Sıkıştırılabilirlik derecesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-5. (2019). Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 5: Yayılma tablası deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-6. (2019). Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 6: Birim hacim kütlesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-7. (2019). Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 7: Hava içeriğinin tayini- Basınç metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-8. (2019). Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 8: Kendiliğinden yerleşen beton- Çökme yayılma deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-9. (2011). Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 9: Kendiliğinden yerleşen beton- V hunisi deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-10. (2011). Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 10: Kendiliğinden yerleşen beton- L kutusu deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-11. (2011). Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 11: Kendiliğinden yerleşen beton- Elekte ayrışma deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-12. (2011). Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 12: Kendiliğinden yerleşen beton- J halkası deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-1. (2021). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-2. (2019). Beton- Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3. (2019). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-4. (2019). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 4: Basınç dayanımı- Deney makinelerinin özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-5. (2019). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 12390-6. (2010). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-7. (2019). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 7: Sertleşmiş betonun birim hacim kütlelerinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-8. (2019). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 8: Basınç altında su işleme derinliğinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206+A2. (2021). Beton- Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE CEN/TS 12390-9 (2017). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 9: Buz çözücü tuz içinde donma-çözülme direncinin tayini- Yüzeysel hasarın tespiti yoluyla, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tucker, R.L. (1986). Management of construction productivity. Journal of Management in Engineering, 2(3): 148–156.

Bölüm 6

ÇİFT BORULU BİR AMORTİSÖRÜN YAPISAL PARAMETRELERİNİN GÜRÜLTÜ SEVİYESİNE OLAN ETKİLERİNİN DENEYSEL YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

Serdar GÜNEY¹
Elif ERZAN TOPÇU²

-Bu çalışma Doç. Dr. Elif ERZAN TOPÇU danışmanlığında Serdar GÜNEY tarafından 2020 yılında tamamlanan “Çift borulu amortisörlerin gürültü seviyesine etki eden parametrelerin incelenmesi” başlıklı ve 621537 tez no’lu yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

-Maysan Mando Otomotiv Parçaları San. Tic. A.Ş. ye teşekkür ederiz.

GİRİŞ

Süspansiyon sistemleri araç gövdesi ile tekerlekleri birbirine bağlayan sistemlerdir. Bir araçtaki süspansiyon sisteminin görevleri yoldan gelen düzgünlükleri ve araç dinamiğinden kaynaklı hareketleri kontrol altına alma, ortaya çıkabilecek gürültüleri azaltma, aracın statik ağırlığını taşıma, yüksekliğini dengeleme, sürüş güvenliğini ve konforunu iyileştirme olarak sıralanabilir (Putgül ve Altıparmak, 2016:195). Bu sistemler temel bileşenleri yay ve amortisör olmak üzere burç, denge çubuğu ile bağlantı elemanları ve kollardan oluşan bütünleşik bir yapıya sahiptirler. Yaylar aracın ağırlığını taşır ve hareket esnasında enerjiyi depolar, amortisörler de enerjiyi sönümleme görevini yerine getirirler. Yaylar sıkışma miktarları ile orantılı bir kuvvet oluştururken, amortisörlerin sönümleme kuvveti hareketin hızı ile değişmektedir (Emekli, 2008:133).

Aracın çalışması esnasında amortisörün gürültü gibi olumsuz bir etki oluşturmaması istenir. Günümüzde amortisörlerle ilgili yapılan gürültü değerlendirmesi subjektif ve objektif test yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Süspansiyon sistemi çalışırken aracın içerisine gürültü aktarımı istenmemektedir. Bu gürültü süspansiyon sistemlerinin farklı bileşenlerinden

¹ Yüksek Mühendis; Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bilim Dalı, Bursa, TÜRKİYE, serdar.guney@icloud.com ORCID No: 0000-0003-3564-6015

² Doç. Dr.; Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, erzan@uludag.edu.tr ORCID No: 0000-0002-6115-3110

kaynaklanabilmektedir. Yayların temas yüzeyleri ve çalışma durumları, kauçuk burçların sertlikleri, amortisörlerin alt bileşenleri potansiyel gürültü kaynakları arasında sayılabilirler. Çalışmamızda amortisör elemanı kaynaklı gürültü konusunda incelemeler yapılmıştır.

Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde Bogema vd. (2009) arka süspansiyonda kullanılan amortisör kaynaklı gürültünün 4-post test makinesinde incelemesini yapmış ve farklı frekans aralıklarında ortaya çıkan gürültüleri incelemiştir. Daha çok mekanik boşluklar üzerinde incelemeler yapmışlar ve bu durumdaki seslerin çoğunlukla 200-1000 Hz frekans aralığında ortaya çıktığını görmüşlerdir. Kim vd. (2012) arka süspansiyon üzerinde gürültü iyileştirmeleri konusunda çalışmışlardır. Yolcu kabinindeki vuruntu gürültüsünde burçların lastik sertliklerinin, amortisörün açılma ve kapanma durumundaki sönümleme karakteristiklerinin önemli olduğunu tespit etmişlerdir. Benaziz vd. (2013;1177) amortisör kaynaklı gürültülerin taşıtların kabinlerinde duyulan, istenmeyen gürültülerden olduklarını ve amortisör kaynaklı titreşimlerin taşıtın diğer sistemlerini de olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında 700 Hz'e kadar olan aralıkta çift borulu bir amortisörün modelini geliştirmişler ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Huang vd. (2015:18) yapısal sesleri değerlendirmek için geliştirdikleri "Wigner-Ville" isimli yöntemin sonuçlarını sübjektif değerlendirmeye tutarak gürültü etkilerini yolcu psikolojisi ve fizyolojisi açısından değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda geleneksel gürültü değerlendirme kriterlerinin insan hissiyatı ile zayıf ilişkiler gösterdiğini vurgulamakla birlikte elde edilen sonuçların satış sonrası iadeler ile paralellik gösterdiğini belirtmişlerdir. Bu sebeple yöntemin gürültünün değerlendirilmesi ve azaltılması için uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir. Huang vd. (2019:439) elektrikli bir araçta amortisör kaynaklı yapısal ve gıcırta seslerinin önceden tahmin edilmesi için yapay sinir ağları metotlarından yararlanarak iki farklı model geliştirmişlerdir. Bu modellerin geleneksel araç üstü sübjektif değerlendirme testleri ile kıyaslamalarını gerçekleştirerek modellerin etkinliğini değerlendirmişlerdir. Kruse (2002:1622) çalışmasında gürültünün azaltılması için titreşim özelliklerini incelemiş ve amortisör modülünün optimize edilmesini araştırmıştır. Gürültüyü yolcu değerlendirmesi açısından incelemiş ve psikoakustik gürültüyü değerlendirebilmek için yeni bir teknolojiyi kullanıma sunmuştur. Çalışmasında ölçüm ve değerlendirme yöntemlerini kullanarak gürültü azaltma için damper simülasyonlarını kullanmıştır. Güney ve Tüfekçi (2020) hafif ticari araç amortisörünün çalışma koşulları altındaki yapısal analizini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlarla, testleri beraber değerlendirerek sonuçların korelasyonunu yapmışlardır. Güney (2020:83)

çalışmasında çift borulu amortisörlerin gürültü seviyesine etki eden tasarımsal değişikliklerin etkisini ve amortisör performansına etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Anaç ve Kocabıçak (2023:1) hafif ticari araçlar için konfor kanallı ve kanalsız yapıya sahip iki adet amortisörün taşıt konforuna etkisini incelemiştir.

Bu çalışmada hafif ticari bir aracın arka amortisöründen kaynaklanan gürültü probleminin ele alınmış, tasarım değişiklikleri ile gürültü seviyesine etki eden parametrelerin deneysel incelenmesi ve problemin giderilmesi amacıyla yapılan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın ilk kısmında amortisör sistemleri ve temel elemanlar tanımlanmış, amortisörlere uygulanan deneysel yöntemler ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Daha sonra amortisör parçaları ve valfler üzerinde tasarımsal değişiklikler uygulanarak dokuz farklı potansiyel çözüm önerisi değerlendirilmiştir. Bu çözüm önerilerinin etkinliği otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan “araç üstü subjektif değerlendirme” testi ile uzman test mühendisleri tarafından da değerlendirilerek sonuçlandırılmıştır. İkinci aşamada bu değerlendirme sonuçlarından gürültüyü azaltmak için olumlu etki yaratabileceği görülen dört yöntem amortisör kullanımında gürültü dışında talep edilen sönümleme ve hidrolik gecikmesi gibi performans kriterleri açısından da değerlendirilerek önerilen değişikliklerin amortisör performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca bu kısımda amortisör kaynaklı gürültü problemlerinin laboratuvar ortamında yapılabilmesi konusunda geliştirilen gürültü test yönteminin uygunluğu da değerlendirilmiştir.

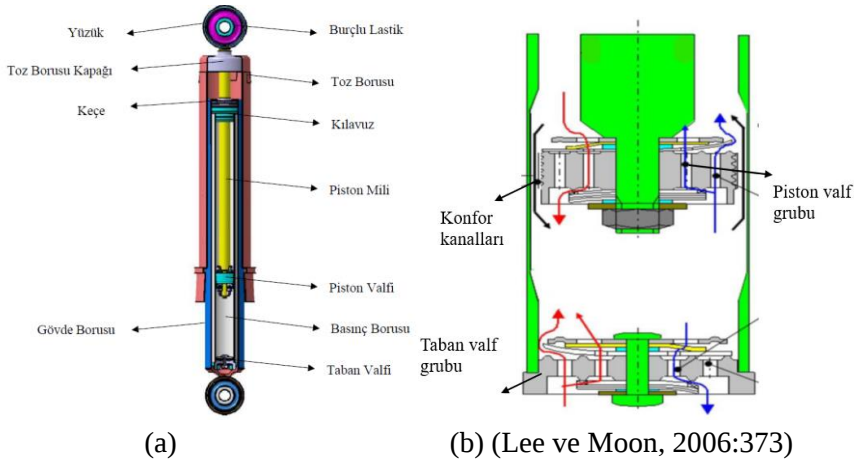
MATERYAL VE METOT

1. Amortisör Sisteminin Tanımlanması

Çalışmada kullanılan çift borulu amortisör elemanı ve bileşenleri Şekil 1’ de gösterilmiştir. Bu yapı hafif ticari bir aracın arka süspansiyon sisteminde yer almaktadır. Amortisör teleskobik tipte, çift borulu, düşey tasarıma sahip, gaz ihtiva eden, piston mili çapı 12,5 mm, basınç tüpü çapı 30 mm, rezervuar borusu çapı 45 mm, basınç tüpü üzerinde konfor kanalı açılmış, düşük hız kontrollü piston ve taban valfine sahip, plastik toz borulu ve alt ve üst bağlantı tasarımları doğal kauçuk malzeme içeren burçlu lastikli yapıya sahiptir (Güney, 2020:83).

Amortisörün sönümleme işlemini yerine getirmesi için akışkanın dar kanallardan geçerken direnç oluşturmamasını sağlayan valfler amortisörün en önemli parçalarındandır. Çift borulu bir amortisör içinde iki adet valf grubu bulunmaktadır. Bunlardan birisi pistonun alt ve üst bölgesine çoğunlukla pul ve yaprak yay şeklinde parçalar eklenerek oluşturulmuş piston valf grubudur.

Diğeri ise taban valf grubudur. Şekil 2’ de piston valfini ve taban valfini oluşturan alt parçalar ve konfor kanalı gösterilmiştir.

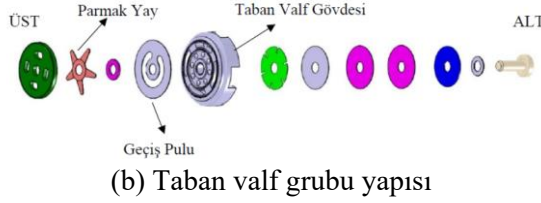


Şekil 1. Amortisörün sisteminin yapısı

(a) Amortisörün bileşenleri

(b) Amortisörün konfor kanalları ve valf grupları

Piston valf grubunun üst kısmı açılma-kapanma valfi olarak çalışmakla birlikte aynı zamanda taban valf grubunun toplam sönümleme kuvvetine de katkı sağlamaktadır. Pistonun alt kısmında konumlanmış parçalar asıl piston valf grubunun oluşturduğu sönümleme kuvvetini sağlamaktadırlar. Taban valfi amortisör içinde basınç borusuna sıkı geçme ile montajlanmış şekilde gövde borusunun en altında alt kapak üstünde sabitlenmiş şekilde çalışmaktadır. Bu taban valfi, gövde ile bu gövdenin altında ve üstünde yer alan yaprak yay ve pullardan oluşmaktadır. Üst bölgedeki parçalar açılma-kapanma görevi görmektedir. Aynı zamanda sönümleme kuvvetine az miktarda etki etmektedirler. Gövdenin alt kısmında bulunan pullar bu valf grubunun ürettiği asıl sönümleme kuvvetini sağlamaktadırlar. Taban valf grubu aynı zamanda rezervuar kısmıyla basınç borusunu ayırmakta ve iki kısım arasında yağ geçişini sağlamaktadır. Amortisörün kapanması sırasında içeri giren mil hacmi kadar yağı üzerinden geçirerek rezervuar hacmine gönderirken, amortisörün açılma hareketi sırasında dışarı çıkan mil hacmi kadar yağı rezervuardan basınç borusu içine geçirmektedir.



Şekil 2. Amortisör elemanı piston ve taban valf grubu yapısı (Çetin vd., 2016)

2. Deneysel Yöntemler

Bu kısımda çalışma kapsamında amortisör sistemlerine uygulanan gürültü ve performans testleri hakkında detaylı bilgi sunulmuştur.

Çalışma kapsamında amortisör gürültü probleminin incelenmesi için yapılan deneysel çalışmaları iki sınıfa ayırmak mümkündür. Birinci grup deneyler parametre değişimlerinin gürültü probleminin giderilmesine katkısını ölçmeye yöneliktir. İkinci grup deneyler ise amortisörün performansının incelenmesine yönelik gerçekleştirilen deneylerdir. Bu deneyler gürültü probleminin çözümü için amortisör üzerinde önerilen değişikliklerin amortisörün asli görevi açısından olumsuz bir etkiye sebep olup olmadığının tespiti için gerçekleştirilmektedirler.

İlk gruptaki ana test gürültü konusunda kabul koşulu olan “araç üstü subjektif değerlendirme” testleridir. Bu değerlendirme testleri gürültü konusunda karar verme açısından öncelikli bir kriter olsa da zaman alıcı maliyetli testlerdir. Bu yüzden laboratuvar şartlarında amortisör gürültüsünün test edilmesine dair yeni bir gürültü değerlendirme yönteminin uygulanabilirliği de çalışma kapsamında incelenmiştir. Çalışmamızda bu yöntem Kısım 2.2.1. “Gürültü Deneyi” kısmında detaylı sunulmuştur.

İkinci grup performans deneyleri “sönümleme kuvveti” ve “hidrolik gecikmesi” deneyleri olarak sınıflandırılabilir. Sönümleme kuvveti, gürültü ve hidrolik gecikmesi testleri laboratuvar ortamında yapılırken, subjektif değerlendirme testi pistte araç ile yapılmaktadır. Laboratuvar ortamında yapılan deneylerde amortisörler test makinesine aracın diğer bileşenleri olmadan bağlanmakta ve sadece amortisör elemanı incelenmektedir. Pistte araç ile yapılan deneylerdeyse amortisörün yanında aracın diğer bileşenlerin etkileri de doğal olarak değerlendirilmekte olup yapısal değişikliklerin sistem üzerine olan toplam etkisi incelenmektedir. Çalışma süresince tasarım değişiklikleri sırası ile

uygulanarak öncelikle gürültü etkileri incelenmiş sonrasında performans testleri uygulanarak bu yapısal değişikliklerin performans üzerindeki etkileri gözlenmiştir.

2. 1. Araç Üstü Subjektif Uzman Değerlendirmesi

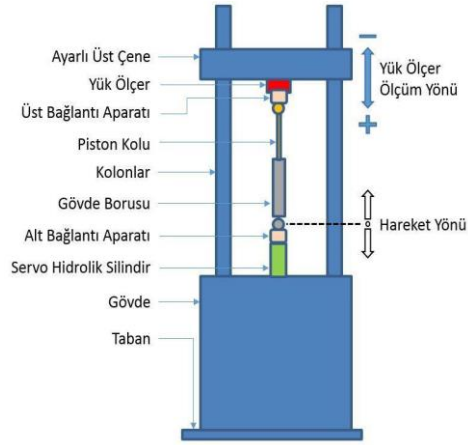
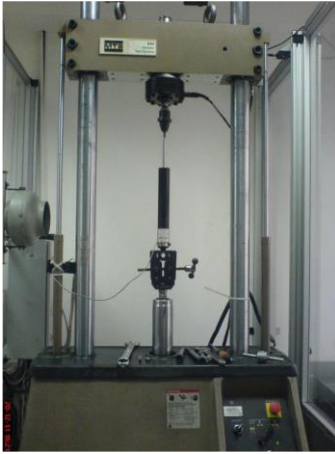
Bir amortisörün tasarım aşamasından başlayarak seri üretim şartlarında dahi bitmeden devam eden ve farklı araç üreticilerine göre farklı koşul ve sıklıkla devam eden subjektif değerlendirme testleri amortisörlerdeki gürültünün değerlendirilmesinde önemli bir adımdır. Bu testler araç üreticilerinin yıllara dayanan tecrübeleri sonucunda belirli şartnameler ile detayları netleştirilmiş olup uzman test mühendisleri tarafından yapılmaktadır. SAE (Society of Automotive Engineering)'nin J1441_201609 numaralı “Subjective Rating Scale for Vehicle Ride and Handling” standardı bu değerlendirme için kılavuz niteliği taşımaktadır. Bu standarda göre yapılan değerlendirmeler sonucunda amortisörler nihai olarak onaylanırlar.

Araç üstü gürültü değerlendirmeleri sadece amortisör ile ilgili bir konu olmamakla birlikte bir aracın tüm sistem ve parçaları bu teste dahil edilmektedir. Bu tür testlerin sonuçları yol tipi, mevsimsel değişiklikler, aracın hızı, aracın yük durumu gibi birçok parametreye bağlı olup bu testler uzman kişiler tarafından yapılmaktadır. Bu testin uygulanmasındaki ana amaç gürültü tespitinin ve nitelendirilmesinin son kullanıcılar açısından değerlendirmesini göstermesidir. Farklı araçlardan müşterilerin beklentileri de farklı olabilmektedir. Bu açıdan incelendiğinde farklı iki müşteri aynı aracı değerlendirdiğinde dahi farklı tatmin seviyeleri raporlayabilmektedirler. Huang vd. (2015:18) çalışmalarında amortisör kaynaklı yapısal bir gürültü olan tıkırtı gürültülerini geleneksel değerlendirme kriterlerine göre jüri tarafından değerlendirmişler ve elde edilen verileri geliştirdikleri modelin sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmada özellikle gürültünün yolcu psikolojisi ve fizyolojisi açısından değerlendirmesinin subjektif değerlendirmenin ve insan hissiyatının önemini vurgular nitelikte olduğunu göstermiştir. Otomotiv sektöründe artan maliyet ve zaman baskısı sebebiyle yeni yöntemler geliştirilmeye çalışılsa da insani hissiyatlar ve tecrübeye dayalı uzman görüşleri halen önemini korumaktadır. Birçok geliştirme çalışmaları ve yeni tasarım ürünler subjektif değerlendirmelere bağlı olarak değerlendirilmekte ve onaylanmaktadır.

2.2. Laboratuvar Testleri

Amortisörlerin performans ve ömür testleri genellikle servo hidrolik test makinelerinde gerçekleştirilmektedir. Uygulanan tüm testler servo hidrolik bir

test makinesi ile yapılmıştır. Testlerde kullanılan MTS test makinesinin yük kapasitesi 25kN, hız kapasitesi 4 m/s, strok ± 125 mm’ dir. Amortisörlerin performans testleri dikey şekilde alttan tahrik verilmesi şeklinde yapılmaktadır. Amortisörün sönümleme kuvveti üst bağlantı bölgesinde bulunan yük hücresi vasıtasıyla ölçülür. Test makinesinin görünümü ve şematik gösterimi Şekil 3’ te verilmiştir. Test makinesinde yapılan testleri “gürültü” testi, “sönümleme kuvvet” testi ve “hidrolik gecikmesi” testi olarak 3 ana grupta sınıflandırmak mümkündür. Aşağıda yapılan testler hakkında bilgi verilmiştir. Bulgular kısmında sunulan sonuçlar bu test yöntemleri uygulanarak elde edilmiştir.

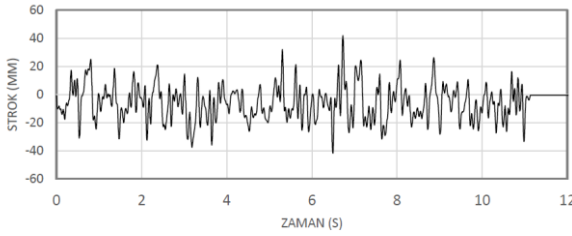


Şekil 3. Amortisör test makinesinin yapısı

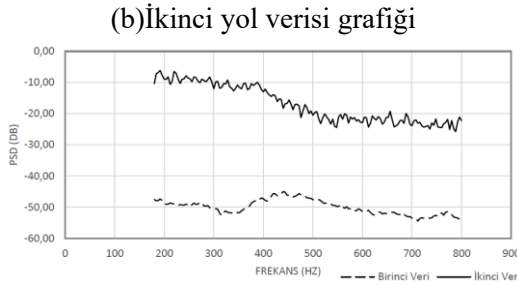
2.2.1. Gürültü Testi

Bu test için gerekli olan yol bilgisi verileri aracın seyri sırasında tekerlek merkezine bağlanan konum algılayıcıları ile elde edilmektedir. Bu veriler Şekil 3’de gösterilen test makinesinde koşularak amortisörün alt bağlantı bölgesinden giriş olarak verilmektedir. Amortisörün üst bağlantı noktasına bağlanan ivme algılayıcısı ile de amortisörün ivmesi ölçülmektedir. Gerçek yol verileri kullanıldığı için deney düzeneği üzerinde amortisör üzerinde bu verilerin etkisi doğrudan görülebilmekte ve farklı amortisörlerin tepkileri de karşılaştırılabilmektedir. Test makinesinde amortisörün üst bağlantı bölgesinden toplanılan ivme değerleri makinenin yazılımı olan PULSE LabShop paket programı aracılığıyla dönüştürülerek sonuçlar dB cinsinden grafiğe aktarılmaktadır. Çalışmaya konu olan şartnamede giderilmesi gereken gürültünün duyulduğu aralığın 300-550 Hz arasında olduğu bilinmektedir. Buna göre laboratuvarında uygulanacak gürültü testi için uygun yol verisinin

belirlenmesi de önem arz etmektedir. Gürültü testi için yol verisi seçimi için iki farklı veri üzerinden deneme yapılmıştır. Birinci veri olarak isimlendirilen yol girdisi bir otomobil üreticisi firmanın test standardından alınmıştır. İkinci veri olarak isimlendirilen yol girdisi verileri ise pistten toplanan verilerdir. Şekil 4a ve 4b’ de bu veriler gösterilmiştir. Şekil 4c’ de her iki girişe göre amortisör gürültü testinden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. İki farklı yol verisi eğrilerinin gürültü karakteristiğini de değiştirdiği görülmektedir. Sesin tespiti için birinci veri eğrisinde görülebilen 330-550 Hz arasındaki geniş tepeciğin oluşması yeterli olmaktadır. Araç üstü sübjektif değerlendirmeler ile tespit edilen gürültü ikinci yol verisi ile elde edilemediğinden, uygun yol verisi olarak birinci verinin deneylerde kullanılmasına karar verilmiştir.



(a) Birinci yol verisi grafiği



(b) İkinci yol verisi grafiği

(c) Ölçülen gürültü değerleri

Şekil 4. Yol verisi grafikleri ve ölçülen gürültü değerleri

2.2.2. Sönümleme Kuvveti Testi

Amortisör tasarımında valflerin performans gerekliliklerini karşılayacak şekilde tasarlanmasının yanında amortisörün kullanılacağı araç türü, toplam

stroku, boru ölçüleri ve bağlantı noktalarının detayları gibi farklı parametreler de önem arz etmektedir. Amortisörden gerçekleştirilmesi beklenen en önemli görev sönümlleme olduğu için açılma ve kapanma sırasında ortaya çıkan sönümlleme kuvvetlerinin istenilen gereklilikleri sağlaması gerekmektedir. Valf tasarımı yapılan doğru seçimlerle istenilen kuvvetler elde edilebilir ve testler sonrasında elde edilen grafiklerle kontroller sağlanabilir (Dixon, 2007).

Amortisörün sönümlleme kuvveti ölçümleri amortisör tipine, araç üreticilerinin taleplerine ya da amortisör üreticilerinin tecrübelerine dayanarak belirledikleri şartlara göre yapılmaktadır. Ürünün tasarım aşaması sonrası doğrulama testlerinde amortisör farklı hız değerinde testlere tabi tutulmaktadır. Sonrasında amortisörün sönümlleme kuvvet değerlerinin ölçümünde 0,052-1,048 m/s arasındaki altı farklı hız değerinde amortisörün hem açılma hem de kapanma yönünde çalışırken ölçümler yapılmaktadır. Şekil 3’ de gösterilen test makinesinin istenilen koşullarda çalıştırılması ve sonuçların okunması test makinesine bağlı bir bilgisayarda yüklü yazılım yardımıyla yapılmaktadır.

Test için belirlenen şartlarda amortisörün açılma-kapanma hareketlerine izin verecek şekilde sinüs dalgalarına benzer bir giriş sinyali verilmektedir. Bu test ile amortisörün kuvvet- hız ve kuvvet-yer değiştirme eğrileri elde edilerek amortisörün sönümlleme performansı değerlendirilir. Kuvvet- hız eğrileri de iki şekilde elde edilir. Birinci kuvvet-hız grafiği ile belirli maksimum hız değerlerinde amortisörün ulaştığı maksimum sönümlleme kuvveti kontrol edilir. İkinci kuvvet-hız grafiği “histeresiz eğrisi” dir. Bu eğri ile amortisörün stroğu boyunca oluşan kuvvetlerin hıza bağlı değişimi incelenir. Bu şekilde amortisörün strok boyunca yer değiştirmesine bağlı olarak kuvvet-yer değiştirme eğrisi de elde edilir. Bu eğriye de “loop eğrisi” adı verilmektedir. Bu eğri ile hızdan bağımsız olarak strok boyunca valf performanslarını değerlendirmek, çalışma hatalarını, kavitasyon oluşumunu, yağ geçişlerini, açılma-kapanma arasındaki geçişler incelenebilmektedir. Bu eğrilerin sürekliliği ve dikey eksene göre simetrikliği amortisörde bir problem olmadığının göstergesi olarak kabul edilir.

2.2.3. Hidrolik Gecikmesi Testi

Amortisörlerde sıcaklığa bağlı olarak hidrolik yağın özelliklerinin değişmesi sebebiyle açılma hareketinin kapanma hareketine döndüğü anda bir hidrolik gecikmesi yaşanabilmektedir. Bu durum amortisörde performans kaybı yaratır ve oluşması istenmez. Bu gecikme belirli bir kabul kriterine bağlı kalınarak değerlendirilmektedir. Amortisörün araç üzerindeki performansı açısından kritik öneme sahip olan bu gecikme ile ilgili çalışmalar da Şekil 3’ te gösterilen cihaz üzerinde yapılmaktadır. Hidrolik gecikmesi değerinin onay alabilmesi için

kuvvet-yer değiştirme eğrisi üzerinde yumuşak geçişler olmalı, boşluk olmamalı ve kapalı bir eğri şeklinde olmalıdır. Hidrolik gecikme mesafesi maksimum 10 mm olmalı ve maksimum kuvvet amortisör için belirlenen kuvvet değerinin %20'sinden fazla olmamalıdır.

BULGULAR

Bu çalışmada bir hafif ticari araç üzerinde yapılan sübjektif değerlendirme sonucunda tespit edilen gürültü problemi incelenmiştir. Bu durumun çözümlenebilmesi için amortisör tasarımında değişiklikler yapılması ve problemin giderilmesi hedeflenmiştir. Sübjektif değerlendirme sonucu tespit edilen bu gürültü endüstriyel anlamda ‐lıkırtı‐ olarak tanımlanabilen bir gürültüdür. Bu gürültü şekli ne sadece katı-katı etkileşimli ne de sadece akışkan kaynaklı durumdur. Araç üzerinde tespit edilen bu gürültüye sebep olabilecek etkilerin incelenmesi için farklı çözüm önerileri deneysel çalışmalarla değerlendirilmiştir.

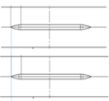
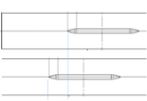
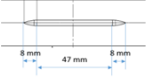
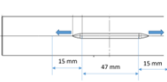
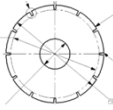
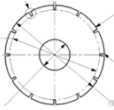
Gürültünün şiddeti akışkan geçişlerini etkileyen tasarım değişiklikleri ile değişmektedir. Bilindiği üzere akışkanlar daralan kanallardan geçerken hızları ve ortaya çıkan ses artmaktadır. Bu sebeple amortisör içindeki akışkanın akış etkisini değiştirebilecek parametreler öncelikli olarak değerlendirilmiştir.

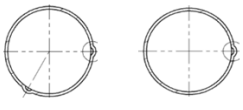
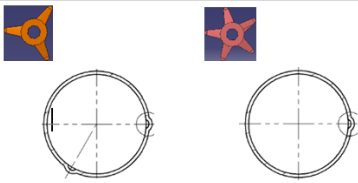
Uygulanan dokuz öneri araç üstü sübjektif değerlendirmeye tabi tutulmuş ve bu değerlendirmenin sonuçları Tablo 1' de gösterilmiştir. Önerilen çözümlerden araç üstü sübjektif değerlendirme testi sonucunda olumlu değerlendirilen dört iyileştirme önerisi laboratuvarda geliştirilen gürültü testinin uygunluğunun değerlendirilmesi için gürültü testine, amortisör performans kriterlerinin değerlendirilmesi için de sönümleme kuvveti testi ve hidrolik gecikmesi testine tabi tutulmuştur.

Olumlu etkiye sahip olanlar yay katsayısı daha yüksek olan parmak yay, yay katsayısı daha yüksek olan geçiş pulu, basınç tüpü üzerinde yer alan konfor kanalının ikiden teke düşürülmesi uygulamalarıdır. Bu uygulamaların her biri yapılan değerlendirmelerde tek başına yeterli sonuçlar vermediğinden dokuzuncu uygulamada iki olumlu etki birlikte uygulanmıştır. Olumlu sonuçlar veren dört adet denemenin uygulandığı prototipler üzerinde diğer laboratuvar testleri yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir.

Aşağıda yapısal değişiklikler ve test sonuçlarıyla ilgili detaylı bilgiler verilerek, sonuçlar toplu olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Gürültü üzerindeki hidrolik etkileri değiştirecek çözüm önerileri ve araç üstü değerlendirme sonuçları

Çözüm Önerisi	Açıklama	Öncesi	Sonrası	Araç Üstü Değerlendirme
I	Mevcuttan Daha Yüksek Yay Katsayısına Sahip Yay Kullanılması			Olumlu Etki Yeterli Değil
II	Mevcuttan Daha Yüksek Yay Katsayısına Sahip Geçiş Pulu Kullanılması			Olumlu Etki Yeterli Değil
III	Yüksek Yay Katsayısına Sahip Puldan İki Adet Kullanılması			Olumsuz Etki
IV	Konfor Kanalı Konumlarının Birbirine Göre Başlangıç Noktalarının Farklaştırılması			Etkin Değil
V	Konfor Kanalı Başlangıç Bölgelerinin Uzatılması			Etkin Değil
VI	I. Çözüm ile birlikte Amortisör İçindeki Yağ Miktarının Artırılması	 +240 cc	 +260 cc	Olumlu Etki Yeterli Değil
VII	Piston Tarafında Çentikli Diskin Çentik Genişliği (B) ve Çentik Sayısının (N) Değiştirilmesi	 B=0,35mm N=12	 B=0,35mm N=18	Etkin Değil

VIII	İki Adet Yerine Bir Adet Konfor Kanalı Tasarımı (Toplam Kesit Alanı Sabit Kalmak Koşulu İle)		Olumlu Etki Yeterli Değil
IX	I. ve VIII. Önerilerin Birlikte Uygulanması		Olumlu Etki Yeterli

Öneri I: Parmak Yayın Yaylılık Katsayısının Arttırılması

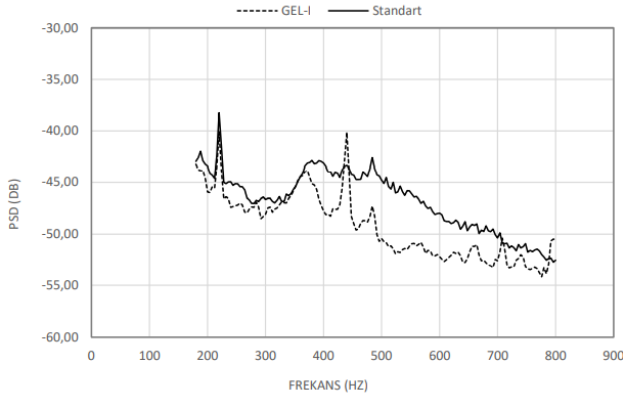
Amortisörün Şekil 2’ de gösterilen taban valf grubunun üst bölgesinde bulunan, açılma-kapanma valfinde görev yapan en önemli parçalardan biri parmak yaydır. Bu elemanın bacakları altındaki geçiş pulu üstüne baskı yapacak şekilde konumlandırılarak, bir ön gerilmeyle montajlanmaktadır. Bacakların oluşturduğu kuvvet geçiş pulunun akışkana olan direncine önemli bir katkı yapmakta ve akışkan geçişini kontrol altında tutmaktadır. Bu yöntemle açılma kapanma valfinin akışa olan direncinin artması sağlanmış olmaktadır. Üç bacaklı olan parmak yayın yaylılık katsayısı 5 N/mm, beş bacaklı olan parmak yayın 25 N/mm’dir. Tablo 1’ de Öneri I’ de sunulan bu yöntemle üç bacaklı parmak yay yerine beş bacaklı parmak yay kullanılarak yaylılık katsayısı arttırılmış ve testler yapılmıştır.

Araç üstü subjektif gürültü değerlendirmeleri sonunda gürültünün azaldığı ancak farklı bir hidrolik gürültüsünün meydana geldiği tespit edilmiştir. Beş parmaklı yayın kullanıldığı prototipe laboratuvar da gürültü testi yapılmış ve Şekil 5’ te gösterilen eğri elde edilmiştir. Grafikten gürültü probleminin oluştuğu 350-500 Hz aralığında gürültü seviyesinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Standart valf performansına göre bu yapının gürültü açısından iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir. Laboratuvar testlerinde gürültü seviyesinde iyileşme sağlayan bu çözümün amortisörün sönümleme kuvveti-hız performansına etkisinin incelenmesi için yapılan testlerin sonuçları Şekil 6’ da gösterilmiştir. Grafikte noktalı çizgilerle belirtilen değerler amortisörün sönümleme kuvvetinin olması gereken aralığı göstermektedir. İlgili çözüm önerisinin amortisörün sönümleme karakteristiği üzerinde olumsuz bir durum yaratmadığı görülmüştür. Hidrolik gecikmesi testi uygulamasıyla sonuçlar Şekil 7’ deki gibi elde edilmiştir. Genel olarak grafiğin simetrikliğinde bir problem olmadığı gözlemlenmiştir. Amortisörün açılma hareketinde piston maksimum noktaya ulaştıktan sonra kapanma hareketine başlarken içindeki hidrolik

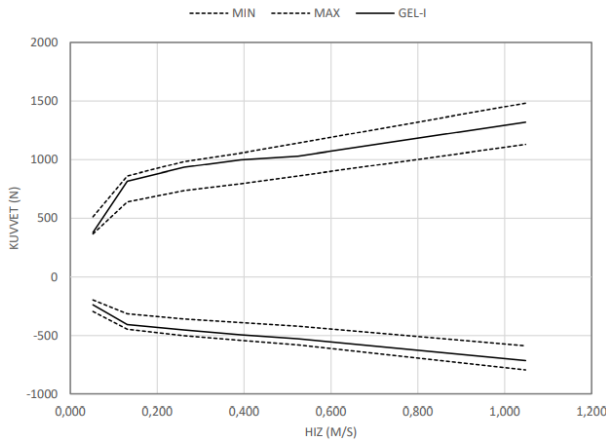
akışkanın bu harekete cevap verememesi durumu tespit edilmiştir. Birçok amortisörde sıcaklık arttıkça görülebilen bu etki taban valfindeki parmak yayın yay katsayısının artışıyla kabul edilebilir sınırı geçmiştir.

Grafiğin sağ alt köşesinde bulunan kesikli çizgi kaybın artması sebebiyle grafiğin dışına taşmakta ve kabul edilebilir olan 10 mm sınırının üstüne çıkmaktadır. Bu önerinin uygulanmasının riskli olduğu ve amortisörün araç üzerinde çalışması süresince bazı geçiş durumlarında görevini tam olarak yapamayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

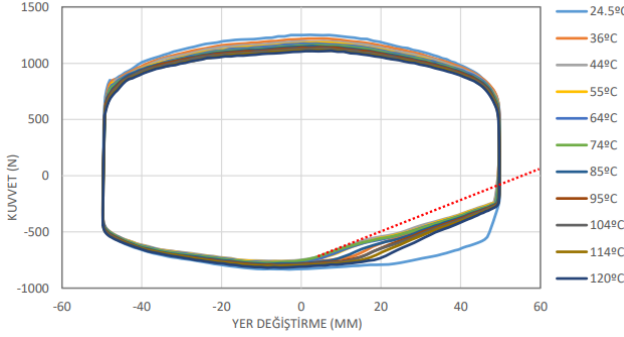
Araç üstü denemelerde ses seviyesinin azalmasına karşın farklı seslerin ortaya çıkması ve hidrolik gecikmesi testinin olumsuz sonuçlanması sebebiyle bu çözüm uygun görülmemiştir.



Şekil 5. Öneri I ve standart amortisör için gürültü testi sonuçları



Şekil 6. Öneri I için kuvvet-hız grafiği

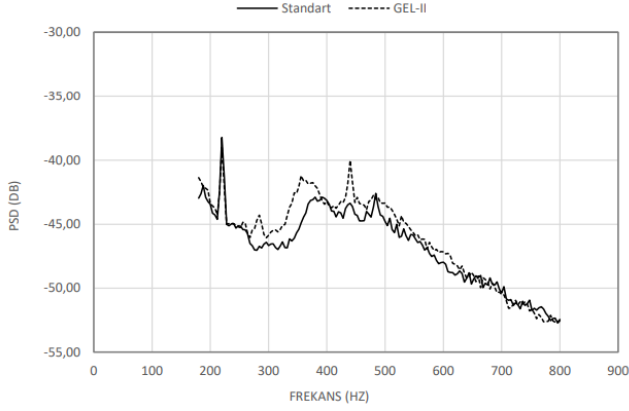


Şekil 7. Öneri I için amortisörün hidrolik gecikmesi testi grafiği

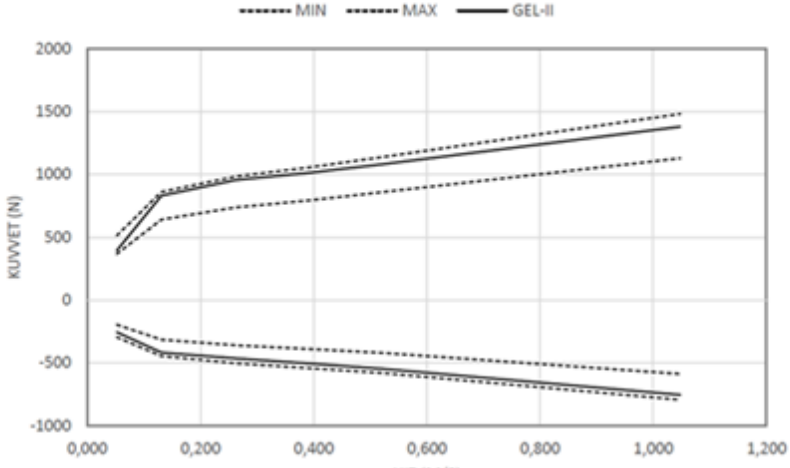
Öneri II: Geçiş Pulunun Yaylılık Katsayısının Arttırılması

Bir önceki kısımda detayı verilen çözüm önerisinin araç üstü deneme sonuçlarında gürültüde azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmesi sebebiyle farklı bir parça ile aynı bölgede akışkan geçişini engellemeye yönelik çözüm önerisi değerlendirilmiştir. Parmak yayın geometrisi belirli bir noktaya kadar baskıyı arttırmaya müsaade etmektedir. Aynı bölgede aynı görevi yerine getiren bir diğer parça olan geçiş puludur. Bu baskıyla birlikte geçiş pulunun geometrisinden kaynaklı harici bir yay kuvveti sağlamasından dolayı ikinci seçenek olarak daha yüksek yay katsayısına sahip geçiş pulu ile valf tasarımı revize edilmiş ve prototip üzerinde deneyler yapılmıştır. Tablo 1, Öneri II' de görüleceği gibi merkezine tek bir şerit yerine üç şerit ile bağlanması kaynaklı daha mukavim geçiş pulu ile gürültünün azaltılması hedeflenmiştir. Sübjektif değerlendirme ve laboratuvar test sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Bu çözüm önerisinin uygulandığı araç üstü sübjektif değerlendirme testinde ana problem olan lıkırtı gürültüsünde azalmanın yeterli seviyede olmadığı, Öneri I' de de ortaya çıkan ikincil gürültünün de devam ettiği görülmüştür. Öneriye göre hazırlanan amortisör prototipine uygulanan gürültü testi sonuçları Şekil 8'de sunulmuştur. Bu grafikten mevcut valf performansına göre laboratuvar gürültü testine göre yeterli bir iyileşme görülememiştir. 350-500 Hz aralığında birçok noktada değerlerin standart sisteme göre yüksek olması etkin sonuçlara ulaşması konusunda yeterli görülmemiştir. Amortisör sönümlleme kuvveti ölçümleri sonucunda elde edilen değerlerin uygun aralıkta olduğu tespit edilmiş olup, sönümlleme kuvveti- hız karakteristiği grafiği Şekil 9' da gösterilmiştir.

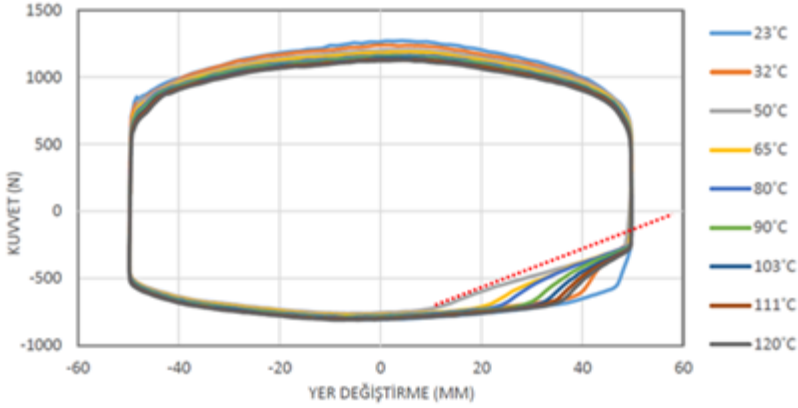


Şekil 8. Öneri II ve standart amortisör için gürültü testi sonuçları



Şekil 9. Öneri II için kuvvet-hız grafiği

Hidrolik gecikmesi testi bir önceki çözüm önerisi ile aynı amaca hizmet eden geçiş pulu değişikliğinde beklenildiği gibi gerçekleşmiştir. Taban valfinin açılma-kapanma valfi olarak görev yapan üst taraftaki geçişin zorlaştırılmasının amortisör performansı üzerindeki olumsuz etkisi açıkça görülmektedir. Buradan açılma-kapanma arasındaki geçişi zorlaştıracak bir tasarım değişikliğinin hidrolik gecikmeye ve dolayısıyla performans kaybına sebep olduğu görülmüştür. Şekil 10' da gösterilen grafiğin sağ alt tarafında görülen ve en içteki eğriye teğet olan doğrunun yatay eksenini kestiği nokta grafik dışına taşmıştırdan testin sonucu olumsuz olarak değerlendirilmiştir.

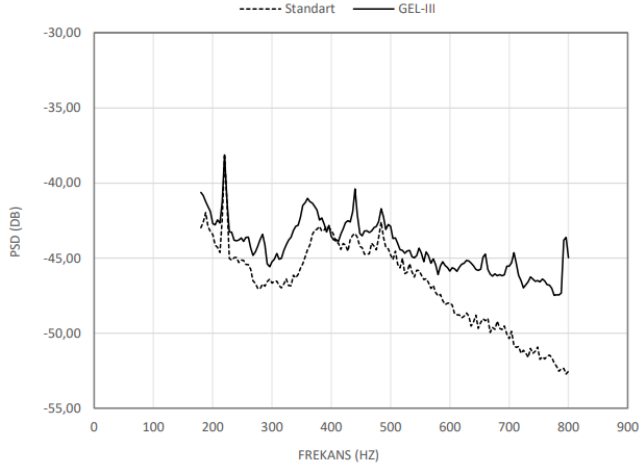


Şekil 10. Öneri II için amortisörün hidrolik gecikmesi testi grafiği

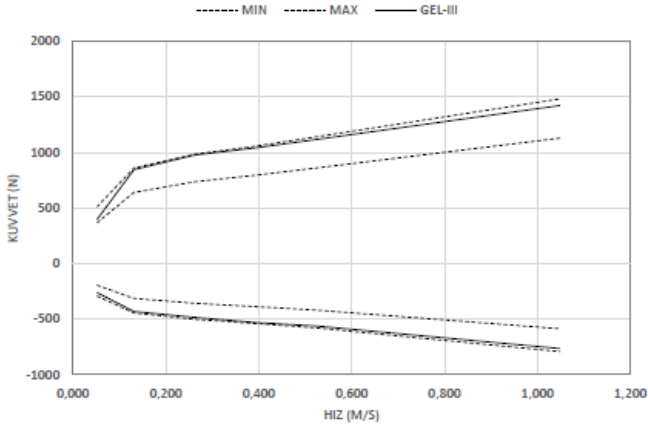
Öneri VIII: Tek Geniş Kanallı Silindir Değişikliği

Amortisör basınç tüpü üzerinde yer değiştirmeye ve stroğa bağlı olarak çalışan konfor kanalı uygulaması bulunmaktadır. Basınç borusu üstünde bulunan ve akışkanın piston valfi dışından geçişine izin vererek daha düşük sönümlleme kuvveti ortaya çıkmasına olanak veren iki adet kanalın sayısı bire düşürülmüş ancak toplam kesit alanı korunmuştur. Bu sayede akışkan iki adet dar kanal yerine bir adet geniş bir kanaldan geçmesi sağlanarak gürültünün azaltılması hedeflenmiştir. Değerlendirme sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Tek geniş kesitli konfor kanalı uygulaması ile ikinci gürültüde iyileşme tespit edilmesine karşın lıkırtı gürültüsünün devam ettiği tespit edilmiştir. Laboratuvar ortamındaki gürültü testi sonucunda ortaya çıkan Şekil 11'deki grafik incelendiğinde tespit edilen gürültüye yönelik bir iyileşmenin bu testte de olmadığı görülmüştür. Şekil 12'deki sönümlleme testi sonucunda elde edilen grafik incelendiğinde amortisörün açılma-kapanma hareketinde değerlerin toleranslar içinde olmasına karşın maksimum seviyelere çok yaklaştığı görülmektedir.

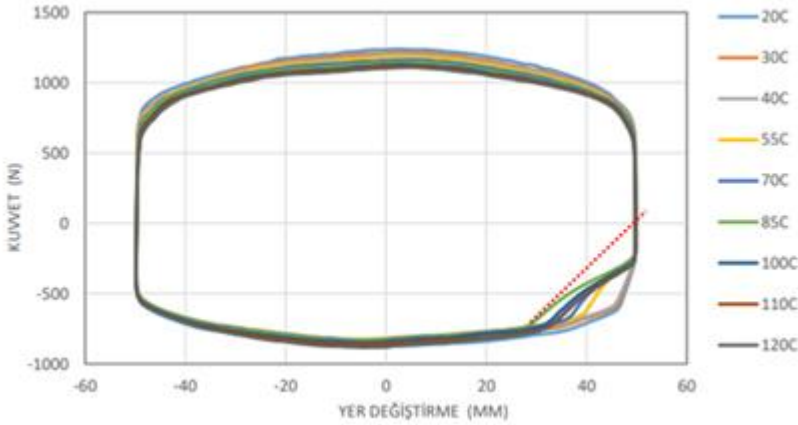


Şekil 11. Öneri VIII ve standart amortisör için gürültü testi sonuçları



Şekil 12. Öneri VIII için kuvvet-hız grafiği

Maksimum kuvvet değerlerinin kontrolü sonrasında hidrolik gecikmesi testi sonuçları incelenmiş olup test sonuçları olumlu olarak değerlendirilmiştir. Şekil 13'deki grafiğin sağ alt köşesinde bulunan ve en içteki eğriye teğet olan doğrunun yatay eksenini kestiği nokta ile grafik eğrilerinin kestiği nokta arasında 10 mm'den daha az mesafe olduğundan kabul kriterleri yerine getirilmiş olmaktadır.

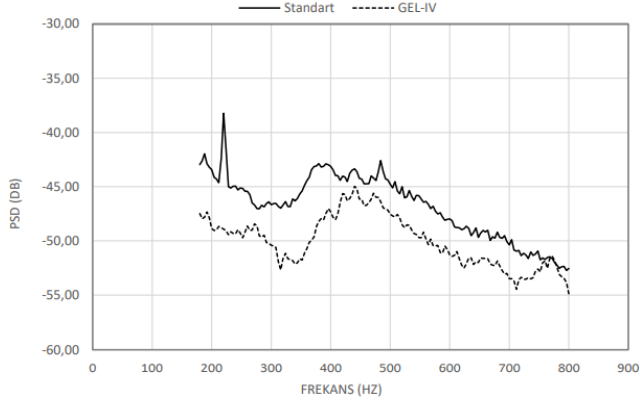


Şekil 13. Öneri VIII için amortisörün hidrolik gecikmesi testi grafiği

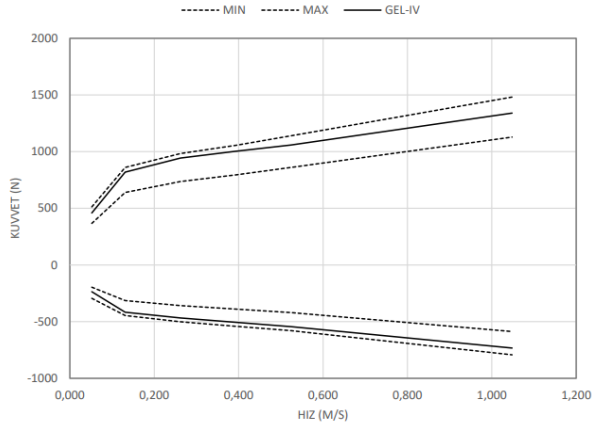
Öneri IX: Öneri I ve Öneri VIII' in Birlikte Uygulandığı Durum

Beş bacaklı parmak yay ve tek geniş kanallı konfor uygulamasının ayrı ayrı problemin çözümüne olumlu etkilerinin olduğu test sonuçları ile tespit edilmiştir. Yeni üretilen bir prototipte Öneri I ve Öneri VIII bir arada uygulanacak şekilde düzenleme yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.

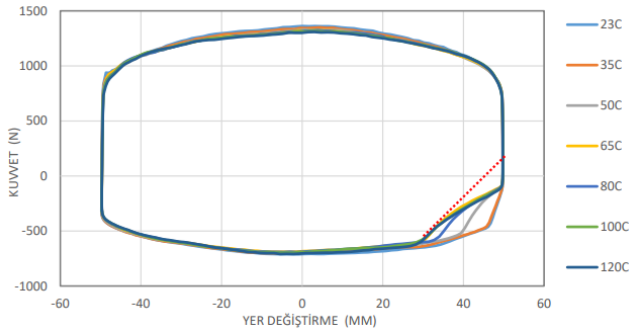
Subjektif değerlendirmede iki önerinin bir arada uygulanmasıyla gürültü açısından olumlu sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Şekil 14'deki gürültü testi sonuçları incelendiğinde gürültü seviyesinde önemli bir iyileşme olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç iki çözüm önerisini birlikte uygulamanın gürültü seviyesinde istenilen iyileştirmeyi sağlayabileceği görüşünü ortaya çıkarmıştır. İki farklı çözüm önerisini içeren amortisör prototipi sönümleme kuvveti ölçüm değerleri Şekil 15'deki grafik üzerinden incelenmiştir. Kuvvet değerlerinin istenilen aralıkta olduğunun tespit edilmesi ile testlere devam edilmiştir. Maksimum kuvvet değerlerinin kontrolü sonrasında hidrolik gecikmesi testi sonuçları incelenmiş ve sonuçlar olumlu olarak değerlendirilmiştir. Şekil 16'daki grafiğin sağ alt köşesinde bulunan ve en içteki eğriye teğet olan doğrunun yatay eksenini kestiği nokta ile grafik eğrilerinin kestiği nokta arasında 10 mm'den daha az mesafe olduğundan kabul kriterleri yerine getirilmiştir. Bu sonuç parmak yay değişikliğinin olumsuz çıkan test sonucuna göre bir iyileşme olduğunu göstermekle birlikte konfor uygulamasının tek başına uygulandığı duruma göre iyileşmenin tersi yönünde bir etki olduğunu göstermektedir. Bu değerlendirmeden hareketle iki farklı çözümün birbirini dengelediği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 14. Öneri IX ve standart amortisör için gürültü testi sonuçları



Şekil 15. Öneri IX için kuvvet-hız grafiği



Şekil 16. Öneri IX için amortisörün hidrolik gecikmesi testi grafiği

SONUÇ

Günümüz araçlarında yaygın olarak kullanılan pasif süspansiyon sistemlerinde kullanılan amortisörlerin kapalı bir sistem olarak dışarıdan bir müdahale olmaksızın çalışmaları ve bakım gerekliliklerinin olmaması avantajlı bir durum olmaktadır. Bu sebeple tasarım aşamasında belirlenen detaylar prototip üretimi sırasında ürüne dahil edilmeli ve etkileri izlenmelidir. Ürün çalışırken ürün tasarımında değişiklik yapmak mümkün değildir.

Günümüzde araç çeşitliliğinin ve satışların giderek artması ile müşterilerin araçlardan beklentilerinin de değiştiği görülmektedir. Yüksek sürüş güvenliği ve konfor bu beklentilerin süspansiyon ve amortisörle ilgili olanların başında gelmektedir. Özellikle konfor isteği birçok müşteri için ortak beklenti olmakla birlikte araç satışlarını ve satış sonrası memnuniyeti önemli ölçüde etkilemektedir. Düşük gürültü seviyesi araçlardan beklenen konfor gereklilikleri içinde yüksek öneme sahip bir ölçüt olup son yıllarda bu konuda yapılan çalışmaların da arttığı görülmektedir. Amortisör kaynaklı gürültü problemleri amortisörün karmaşık yapısından dolayı farklı alt parçalardan kaynaklanabilmektedir.

Bu çalışmada da incelendiği üzere bir hafif ticari araç amortisöründe üründe bir arıza olmamasına rağmen çalışma sırasında işitilen gürültü, müşteri memnuniyetsizliği yaratan bir durum oluşturabilmektedir. Çalışmada subjektif değerlendirme ile tanımlanan gürültünün tespiti sonrasında amortisör tasarımı incelenerek dokuz adet potansiyel çözüm önerisi uygulanmış, test edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Olumlu sonuç verme durumu olanlar ayrıca amortisör performans testleri ile de değerlendirilmiş ve bu önerilerin kullanımlarının uygunluğu değerlendirilmiştir.

Uygulanan birinci çözüm önerisinde taban valfinde açılma-kapanma valfi olarak görev yapan elemanların arasında yer alan parmak yay parçası daha sert yaylılık davranışı gösteren farklı bir parmak yay ile değiştirilmiş ve etkileri incelenmiştir. Araç üstü subjektif değerlendirmelerde tespit edilen gürültüyü kesmesine karşın farklı hidrolik gürültülerin ortaya çıkması ve hidrolik gecikmesi performansında negatif bir etki yaratması sebebiyle bu uygulamanın kullanımı uygun görülmemiştir.

Parmak yay ile aynı etkiyi daha güçlü bir şekilde yaratabilecek bir parça olan ve valf grubunda parmak yayın altında bulunan geçiş pulu yaylılık seviyesi daha yüksek olanıyla değiştirilmiştir. Bu değişiklik sonrasında yapılan testlerde gürültü performansında yeterli seviyede iyileşme olmadığı ve hidrolik gecikmesi testinin sonuçlarının uygunsuz olduğu tespit edilmiştir.

Parmak yay değişikliğinde araç üstünden farklı bir hidrolik gürültünün oluşması sebebiyle amortisör tasarımında yer alan konfor uygulaması ele

alınmış iki adet dar kesit yerine tek geniş bir kesit kullanılmıştır. Bu değişikliğin testlerle değerlendirilmesi sonrasında uygunsuzluk tespit edilmemesine ve araç üstü değerlendirmelerde hidrolik gürültülerini önlemesine karşın ilk gürültüyü önlemediği tespit edilmiştir.

Bu noktadan sonra ilk gürültü problemini çözen parmak yay değişikliği ile hidrolik gürültülere çözüm olan farklı konfor uygulanmasıyla devam edilmiş ve prototipler üzerinde testler yapılmıştır. Yapılan araç üstü subjektif değerlendirme test sonuçları olumlu ve yeterli olarak raporlanmıştır. Prototipler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda farklı bir olumsuz etki görülmediğinden bu çözüm önerisi onaylanmıştır.

Çalışmaya esas olan gürültünün incelendiği frekans aralığında standart duruma göre Öneri IX un gürültü değerlerinin hem subjektif değerlendirmede hem de laboratuvar ortamında yapılan gürültü testi sonuçlarında gürültü değerini azaltıcı yönde sonuçlandığı görülmüştür. Ancak insan hissiyatının ön planda olduğu ve araç üzerinde yapılan subjektif gürültü değerlendirme kriterleri ile laboratuvar ortamındaki testlerin her ölçüm ve değerlendirme için bire bir eşleşmediği gözlenmiştir. Laboratuvar testleriyle elde edilen gürültü testi sonuçlarının amortisörün hangi elemanında nasıl bir gürültü ve performans etkisi yaratabileceğinin tanımlanabilmesi için faydalı olduğu görülmüştür. Subjektif değerlendirme sonuçları araç üzerinde ve doğrudan yol üzerinde yapılan çalışmalara dayalı olarak elde edilen sonuçları vermektedir. Laboratuvar testlerinde ise ilgili amortisör test cihazına bağlanarak yol verisine tabi tutulmaktadır. Dolayısıyla araç gövde ve bileşenlerine dair bir eleman cihaz üzerinde bulunmamaktadır. Test cihazının bu yönde özellikler sağlayacak şekilde geliştirilmesiyle gürültü probleminin çözümü için daha verimli ve hızlı sonuçlar alınabileceği görülmüştür.

Çalışmada amortisörün bazı alt parçalarının “lıkırtı” gürültüsünün oluşumuna etkileri incelenmiş ve bu gürültünün giderilmesine yönelik olarak uygulamaya geçilmiştir. Bu çalışma ile amortisörlerdeki gürültü probleminin subjektif ve deneysel çalışmalarla incelenmesi sağlanmış olup bundan sonraki çalışmalar için özellikle amortisör sistemlerine uygulanan deneyler konusunda bilgi vermesi açısından ulusal literatüre bir kaynak sağlamış olması beklenmektedir.

REFERANSLAR

- Benaziz M., Nacivet, S., Deak, J., ve Thouverez, F., (2013). Double Tube Shock Absorber Model for Noise and Vibration Analysis. SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst, 6(2), 1177-1185.
- Bogema D., Goodes, P., Apelian, C. ve Csakan, M. (2009). Noise Path Analysis Process Evaluation of Automotive Shock Absorber Transient Noise. SAE Technical Paper, 2009-01-2091.
- Çetin H., Kurtuluş, O., Ulu, E. (2016). Binek bir araç için geliştirilmiş arka aks amortisörünün sönümlleme kuvvet performansının deneysel olarak incelenmesi. *1. Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresine sunulmuş bildiri.*
- Dixon J.C. (2007). *The shock absorber handbook (Second edition)*, England: John Wiley& Sons Ltd.
- Emekli M. E. (2008). *Hafif ticari bir araç için yarı aktif süspansiyon sistemi tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi. Türkiye: İstanbul Üniversitesi.
- Güney S. ve Tüfekçi, M. (2016). Hafif ticari araç amortisörünün *çalışma koşulları altındaki yapısal analizi, testleri ve sonuçların korelasyonu*. *1. Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresinde sunulmuş bildiri.*
- Güney S., “Çift borulu amortisörlerin gürültü seviyesine etki eden parametrelerin incelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2020.
- Huang X.R., Huang, J.H., Wu, Yang, M.L. ve Ding, W.P. (2015). Sound quality evaluation of vehicle suspension shock absorber rattling noise based on the Wigner–Ville distribution. Applied Acoustics, 100, 18–25.
- Huang X.R., Huang, J.H., Wu, Yang, M.L. ve Ding, W.P. (2019). Novel method for identifying and diagnosing electric vehicle shock absorber squeak noise based on a DNN. Mechanical Systems and Signal Processing, 124, 439–458.
- Kamış Kocacıbağ, Z. ve Anaç, H. (2023). Konfor Kanallarının Amortisör Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 11(1), 1-9.
- Kim, B., Bae, K., Chang, S., Ryu, J. vd. (2012). Optimal Rear Suspension Design for the Improvement of Ride Comfort and Suspension Noise. SAE Technical Paper, 2012-01-0975.
- Kruse, A. (2002). Characterizing and Reducing Structural Noises of Vehicle Shock Absorber Systems. SAE Technical Paper, 2002-01-1234.
- Lee, C., Moon, B. (2006). Simulation and experimental validation of vehicle dynamic characteristics for displacement-sensitive shock absorber using

fluid-flow modelling. Mechanical Systems and Signal Processing, 20:2,373–388.

Putgöl Y. ve Altıparmak, D. (2016). Taşıt süspansiyon sistemi çeşitleri ve ön düzen geometrisine etkileri. Politeknik Dergisi, 19(2), 195-202.

Subjective Rating Scale for Vehicle Ride and Handling, SAE Standard, J1441_201609, 2016.

Bölüm 7

TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE SOĞUTMA VE YAĞLAMA YÖNTEMİNİN YÜZEY BÜTÜNLÜĞÜNE ETKİSİ

Emin ÖZDEMİR¹

1. GİRİŞ

Talaşlı imalat çelik alaşımları başta olmak üzere metalik malzemelerin istenen geometrik şekle ve boyutlara getirilmesinde yararlanılan imalat işlemlerinden birdir (M'Saoubi vd., 1999; Outeiro vd., 2006; Outeiro vd., 2008; Maranhão ve Davim, 2010; Habak ve Lebrun, 2011). Talaş kaldırma işleminde iş parçası ile kesici takım arasındaki sürtünmenin indüklediği ısı oluşumu, talaş kaldırma mekanizmasını, işlenebilirliği ve yüzey bütünlüğü özelliklerini önemli derecede etkiler. Yüzey bütünlüğü, işlenmiş yüzeyin ve yüzey altı tabakanın mekanik, metalurjik ve kimyasal durum özelliklerini tanımlar. Bu nedenle yüzey bütünlüğü, işlenmiş yüzey ve yüzey altı tabakanın; yüzey kalitesi, mikroyapı, tane büyüklüğü, mikrosertlik, kalıntı gerilme vb. özelliklerinden oluşmakta olup, işlenen parça performansı konusunda kritik bir etkiye sahiptir (Jawahir vd., 2011). Ayrıca üretilen komponentlerin yorulma ömrünü, aşınma direncini ve korozyon direncini etkiler (M'Saoubi vd., 2008).

Üretilen komponentlerin yüzey bütünlüğü karakteristikleri, kullanımlarına ve fonksiyonlarına bağlı olarak servis ömrü açısından oldukça önemlidir. Aşınma, korozyon ve yorulma gibi fonksiyonel performans kriterlerini etkileyen yüzey bütünlüğü özellikleri sonuç olarak üretilen bileşenlerin çeşitli endüstrilerdeki etkin ömrünü belirlemektedir. Gelişmiş ürün ömrü ve performansı elde etmek için bileşenlerin yüzey bütünlüğü özelliklerini kontrol ederek yeni işleme yöntemleri ve öngörücü modeller geliştirmek, gelişen imalatla önemli bir alandır (Jawahir vd., 2014).

Talaşlı imalatla kesme işlemi için harcanan enerjinin neredeyse tamamı kesme bölgesinde ısı enerjisine dönüşür. Bu durum kesme kuvvetleri, kesici takım ömrü, talaş formu ve işlenen yüzeyin kalitesi bakımından oldukça önemlidir (Özçatalbaş ve Baş 2006). Talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesme sıvıları, verimliliğin yükselmesini sağlayan önemli bir parametredir. Kesme sıvıları; soğutma, yağlama, talaş yapışmasını önleme ve talaş kesme bölgesinden uzaklaştırma işlevlerinin yanı sıra sürtünmeyi, kesme kuvvetlerini

¹ Öğr. Gör. Dr.; İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Bölümü.
emin.ozdemir@iuc.edu.tr ORCID No: 0000-0002-6517-9270

ve kesme bölgesi sıcaklığını düşürerek kesici takım ömrünü ve işlenen yüzeylerin kalitesini geliştirir (Çetin ve Özçelik, 2011). Talaşlı imalat işlemlerinde gerek Northcott (Northcott, 1868) tarafından yapılan ilk kesme sıvısı uygulamasında ve gerekse daha sonra Taylor'ın (Taylor, 1907) suyu kesme sıvı olarak kullanıldığı başka bir çalışmada kesme sıvılarının verimliliği artırdığı bildirilmiştir.

Endüstride talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesme sıvıları; mineral, bitkisel ve hayvansal yağ bazlı sıvılar, sentetik ve yarı sentetik su bazlı sıvılar ve gaz bazlı sıvılar olmak üzere üç gruba ayrılır. Talaşlı imalatatta kullanılan mineral yağlar rafine petrolden elde edilirken, sentetik ve yarı sentetik yağlar laboratuvar koşullarında kimyasal süreçlerin sonucunda elde edilir. Hava, toprak ve su yolu ile ekolojik döngüye karışan madeni yağ bazlı kesme sıvıları içerdikleri hidrokarbonlardan dolayı tabiattaki canlı hayat için tehlike arz ederler (Birova vd., 1998; Çetin vd., 2010; Çetin ve Özçelik, 2011). Kesme sıvıları çevre açısından zararlı olmalarının yanı sıra insan sağlığı açısından da tehlikelidirler (Hong ve Broomer, 2000; Groover, 2010). Kesme bölgesine basınçlı bir şekilde püskürtülen kesme sıvıları, kesme bölgesinde meydana gelen ısıdan dolayı buharlaşarak mikro partiküllere ayrılır. Çalışma ortamında çevreye yayılan kesme sıvısı partikülleri, özellikle makine operatörleri başta olmak üzere çalışanlarda ciddi akciğer ve solunum yolları hastalıkları ile dermatolojik ve kalıtsal problemlere sebep olmaktadır (Bennet, 1983; Çetin vd., 2010; Çetin ve Özçelik, 2011). Bu problemler nedeniyle, kesme sıvısı kullanımını en aza indirmek hatta önlemek için çevre dostu alternatif yöntemler araştırılmaktadır (Hong ve Broomer, 2000; Kaçal, 2017).

Günümüzde talaşlı imalatatta eğilim kuru kesmeden yana olmasına rağmen, süper alaşımlar, paslanmaz çelikler ve sertleştirilmiş çelikler gibi işlenmesi zor olan malzemelerin kuru kesme koşulunda talaşlı imalatının kötü yüzey kalitesine ve kısa takım ömrüne neden olması, kesme sıvısı kullanımını zorunlu kılmaktadır (Özdemir, 2020). Talaşlı imalat işlemlerinde zor işlenen malzemelerin işlenebilirlik performansını yükseltmenin yanı sıra hızlı kesici takım aşınması, yüksek kesme kuvvetleri, yüksek kesme bölgesi sıcaklığı ve düşük talaş kırılabilirliği problemlerini gidermek amacı ile konvasiyonel soğutma, yüksek basınçlı soğutma (HPC), minimum miktarda yağlama (MQL) ve kriyojenik soğutma gibi farklı soğutma ve yağlama teknikleri sanayiciler ve araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir (Debnath vd., 2014; Duman ve Kaynak, 2016).

2. YÜZEY BÜTÜNLÜĞÜ

Yüzey bütünlüğü; talaşlı imalat işlemlerinde işlenen yüzeylere ve yüzey altı tabakaya ait farklı karakteristiklerin incelenmesini içerir. İlk kez 1964 yılında Field ve Kahles tarafından ileri sürülen yüzey bütünlüğü terimi genelde yüzey kalitesini ifade etmek için kullanılır. Genel olarak yüzey bütünlüğü talaşlı imalat veya farklı yüzey hazırlama operasyonları ile üretilen yüzeylerin; yüzey pürüzlülüğü ve kalitesi, üç boyutlu yüzey topografyası, yüzeye malzeme bulaşması, mikroyapısı, mikrosertliği, aşınma özellikleri, kalıntı gerilmeler, faz dönüşümü, yorulma testi ve diğer mekanik testleri içeren çeşitli özelliklerini ifade etmektedir (Field ve Kahles, 1964). Yüzey bütünlüğü karakteristikleri, endüstride kullanılan kritik yapı komponentlerinin performansının öngörülmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle yüzey bütünlüğünün, komponentlerin fonksiyonel servis performansı üstündeki etkilerini detaylı bir şekilde incelemek ve akabinde yüzey bütünlüğünü geliştirici önlemler almak birçok araştırmacının hedefi ve konusudur. Field ve arkadaşları (Field vd., 1972) işlenmiş yüzeylerin karakteristik özelliklerini üç farklı seviyede incelemek ve değerlendirmek için Tablo 1’de ifade edilen sistematik bir yöntem sunmuşlardır.

Tablo 1. Yüzey bütünlüğü (YB) özelliklerinin seviyeleri (Field vd., 1972)

Minimum YB verileri	Standart YB verileri	Genişletilmiş YB verileri
Yüzey bitirme Makroyapı ($\leq 10\times$) Makro çatlaklar Makro aşınma Makro dağlama Mikroyapı Mikro çatlaklar Plastik deformasyon Faz dönüşümü Tanelerarası korozyon Çukur, yarık, çıkıntı BUE (yığıntı talaş) Birikmiş katman Seçici dağlama Mikrosertlik	Minimum YB veri. Yorulma testleri (tarama) Gerilmeli korozyon testleri Kalıntı gerilme ve çarpılma	Standart YB verileri Yorulma testleri (tasarım verilerini elde etmek için genişletilmiş) İlave mekanik testler Çekme Stres kırılması Sürünme Diğer spesifik testler (Yataklama performansı kayma sürtünmesinin değerlendirilmesi, yüzeylerin sızdırmazlık özellikleri)

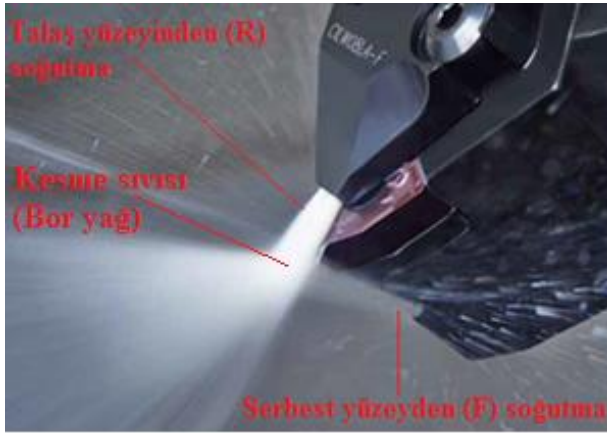
İşlenmiş bir yüzeyin yapısı, üretilen komponentin kalitesi açısından başlıca kriterlerdendir. İşlenmiş yüzeylerin tribolojik özellikleri, birinci derecede yüzey dokusundan etkilenmekte olup, komponentlerin işlenmesi sürecinde tercih edilen kesme koşulları yüzey kalitesini etkiler (Griffiths, 2001; Tekaslan vd., 2008).

3. SOĞUTMA VE YAĞLAMA YÖNTEMLERİ

Talaşlı imalat işleminde soğutma uygulamasının hedefi, kesme bölgesinde meydana gelen ısıyı taşınım ile ortamdan uzaklaştırmaktır. Yağlamanın hedefi ise takım-ış parçası ara yüzü veya takım-talaş ara yüzüne nüfuz ederek sürtünmeyi azaltmak ve kesici takım aşınmasını geciktirmektir (Dal, 2009; Kuram, 2009; Şimşek, 2010).

3.1. Konvansiyonel Soğutma

Talaşlı imalat, kesici ve iş parçası arasındaki mekanik hareketler sonucu oluşan yüksek kesme sıcaklığının işleme performansı ve üretilen komponentrin kalitesi üzerindeki negatif etkilerini bertaraf etmek amacı ile genellikle konvansiyonel soğutma işlemi yapılır (Şekil 1). Konvansiyonel soğutmada uygulamalarında mineral yağların yanı sıra sentetik ve yarı sentetik kesme sıvıları çokça kullanılır. Konvansiyonel soğutmada kesme sıvısının görevi esas olarak soğutma ve yağlama yapmanın yanı sıra belli bir talaş tipinin oluşturulması, oluşan talaşların kesme bölgesinden uzaklaştırılması, tedrici kesici takım aşınmasını geciktirme ve takım ömrünü uzatma, takım tezgahını korozyona karşı koruma, harcanan gücü ve enerjiyi azaltma, işlenen komponentlerin kalitesini yükseltme ve imalat verimliliğinin artırılmasıdır (Byers, 2006; Akben ve Erten, 2009).



Şekil 1. Tornada kesici takımdan kesme sıvısı uygulaması (Özdemir, 2020)

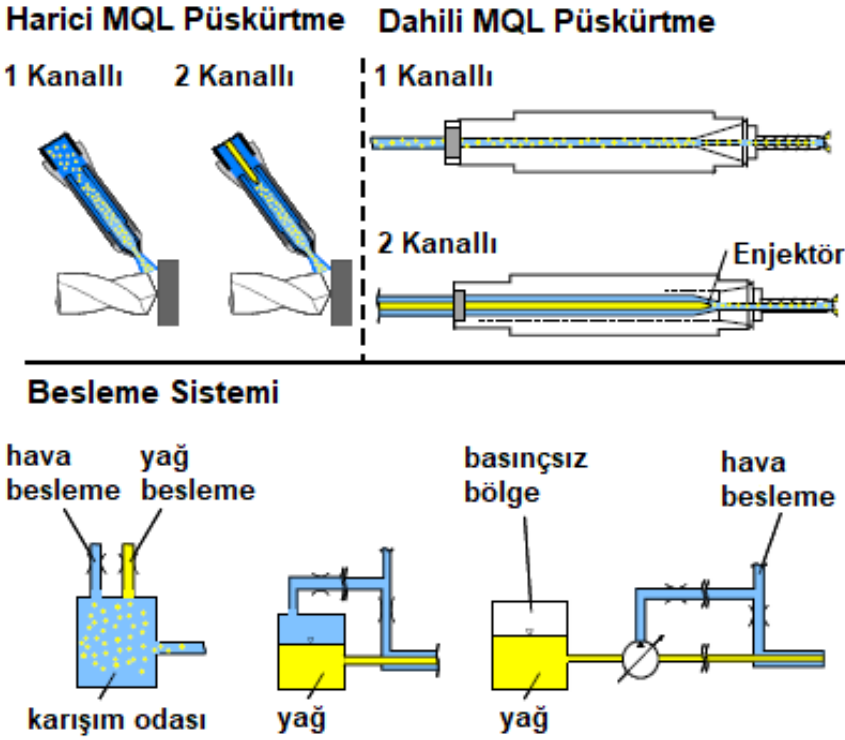
3.2. Yüksek Basıncılı Soğutma (HPC)

Talaşlı imalat endüstrisinde komponentlerin çeşitli takım tezgahlarında işlenmesi sürecinde kesme sıvılarının rolü gün geçtikçe artarak gelişmektedir. Uzun yıllardır endüstride gerek harici boru vasıtası ile gerekse takım içinden kesme bölgesine iletilen konvansiyonel kesme sıvısı uygulaması kullanılmaktadır.

Modern talaşlı imalat süreçlerinde kesme sıvılarının etkisini artırmak ve bir fark yaratabilmek için, sıvı akışkanın sadece kesme bölgesine iletilmesinin yanı sıra akışkanın doğru yönde yeterli debi ve basınç altında püskürtülmesi gerekir. Kesme sıvısının yüksek basınç altında kesme bölgesine püskürtülmesi, talaşlı imalat işlemlerinde fark yaratan yeni avantajlar sağlamıştır. Yüksek basınçlı soğutma tekniğinde de konvansiyonel soğutmada kullanılan mineral yağlar veya sentetik-yarı sentetik kesme sıvıları kullanılır. Yüksek basınçlı soğutma, önemli miktarda kesme sıvısı içeren büyük tanklara sahip CNC takım tezgahlarında kesici takım içinden veya harici soğutma uygulamalarına uygun takım konseptleriyle daha mümkün hale gelmektedir.

3.3. Minimum Miktarda Yağlama (MQL)

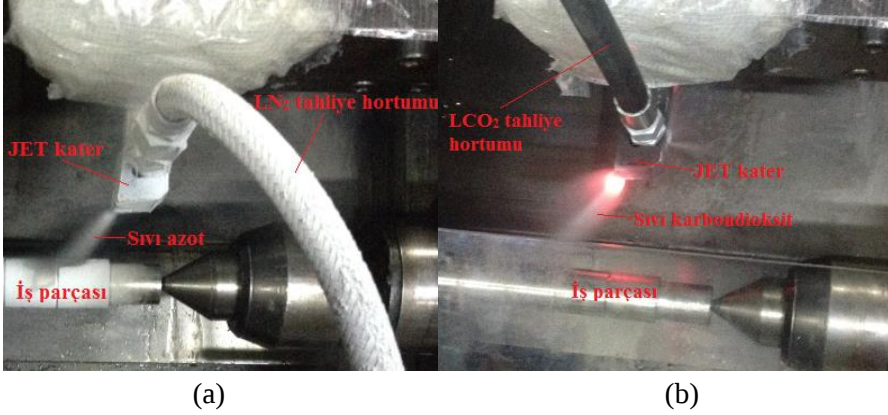
Minumum miktarda yağlama (MQL), çok küçük mineral veya bitkisel yağ damlalarının basınçlı hava ile birlikte kesme bölgesine püskürtülmesidir. Diğer yöntemlere nazaran çok daha az kesme sıvısının kullanıldığı kuruya yakın bir yöntemdir. MQL tekniği, Şekil 2’de görüldüğü üzere dahili (içten) ve harici (dıştan) olmak üzere iki farklı şekilde uygulanır. Dahili MQL tekniğinde, kullanılan kesici takımın ve takım tezgahının, MQL sistemin entegrasyonuna uygun olması gereklidir. Dahili uygulamada, MQL sisteminde hazırlanıp depolanan hava-yag karışımı direkt iş milinin içinden veya üzerine takımların bağlandığı taret vasıtası ile kesici takım içinden püskürtülür. Harici uygulamada ise MQL sisteminde hazırlanan hava-yag karışımı, üniteden borular vasıtası ile kesici takım çevresine gelir ve kesici takımın dışından boruların ucundaki nozül ile kesme bölgesine püskürtülür (İlhan, 2014). MQL sistemleri kullanılan nozül tipinden dolayı tek ve çift kanallı olmak üzere iki gruba ayrılır. Tek kanallı nozül sisteminde, dışarıda bir tankta hazırlanan hava-yag karışımı harici borular vasıtası ile nozüle iletilip oradan kesme bölgesine püskürtülürken, çift kanallı nozül sisteminde ise hava ve yağ iki farklı yoldan kesici takım içine veya nozül içine iletilip orada karıştırıldıktan sonra kesici takım veya nozül vasıtası ile kesme bölgesine püskürtülür (Yıldırım vd., 2015; Suzuki, 2020).



Şekil 2. MQL Sistemleri (Weinert, 2004)

3.4. Kriyojenik Soğutma

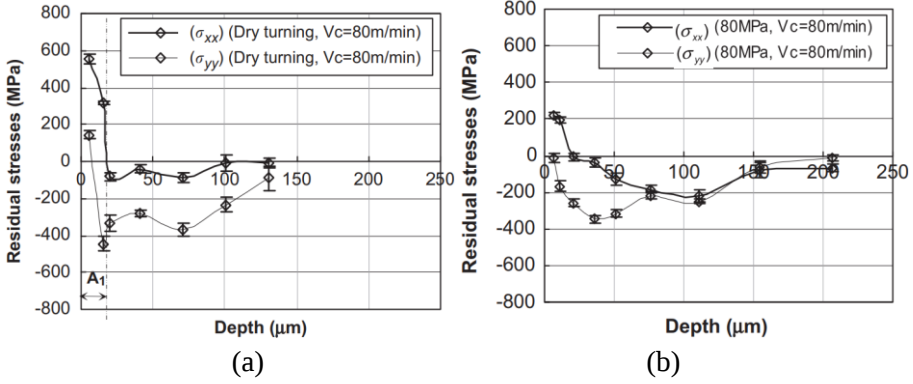
Petrol türevi yağ bazlı soğutucu ve yağlayıcılara alternatif olacak ekonomik açıdan kazançlı ve çevre dostu kesme sıvılarına olan talepten dolayı (Hong ve Broome, 2000) kullanılmaya başlanan kriyojenik soğutma uygulamaları, kesme bölgesi sıcaklığını çok düşük seviyelere indiren alternatif bir yöntemdir (Duman ve Kaynak, 2016). Diğer soğutma ve yağlama metodları ile kıyaslandığında insan sağlığı ve çevre yönünden kriyojenik soğutmanın etkili bir yöntem olduğu görülmektedir. Talaşlı imalatla ilk kriyojenik soğutma uygulamalarında soğutucu olarak karbondioksit gazı (CO_2) kullanılırken, karbondioksitin depolanmasında büyük hacimli tankların gerekliliği ve akışkan kontrolünün sorunlu olması nedeniyle azot gazı (N_2) kullanımına geçilmiştir (Çakır ve Kılıçkap, 2001; Özçatalbaş ve Baş, 2006). Talaşlı imalat işlemlerinde genelde kriyojenik soğutucu akışkan olarak sıvı azot (LN_2) kullanılırken, son zamanlarda gerçekleştirilen araştırmalarda sıvı karbondioksitinde (LCO_2) kullanıldığı görülmüştür (Şekil 3). Kriyojenik sıvı karbondioksit -78.5°C sıcaklıkta ve 57 bar basınçta özel tanklarda depolanırken, kriyojenik sıvı azot ise -196°C sıcaklıkta izole tanklarda depolanmaktadır (Blau vd., 2015; Jawahir vd., 2016; Busch vd., 2016; Duman ve Kaynak, 2016).



Şekil 3. Kriyojenik soğutma uygulamaları, a) LN₂, b) LCO₂ (Özdemir, 2020)

4. SOĞUTMA VE YAĞLAMANIN YÜZEY BÜTÜNLÜĞÜNE ETKİSİ

Yüzey bütünlüğü, talaşlı imalat süreçlerinde kalite ile ilgili en önemli çıktıdır. Özellikle kesilmesi zor malzemelerin işlenmesi sürecinde takım ömründeki büyük azalma, işleme sürecini daha da zorlaştırır (Pusavec vd., 2011). Ayrıca işlenen komponentlerin yüzey bütünlüğü karakteristikleri soğutma ve yağlama stratejilerinden önemli ölçüde etkilenir (Bertolini vd., 2009; Bruschia vd., 2019). Soğutma ve yağlamanın başlıca rolü, kesme bölgesindeki ısıyı etkili bir şekilde uzaklaştırarak kesme sıcaklıklarını düşürmek, takım-talaş ve takım-iş parçası ara yüzündeki sürtünmeyi azaltarak aşınmayı önlemek ve kesici takımın özelliklerini korumak olarak tanımlanmıştır (Hong and Zhao, 1999). Ayrıca soğutmanın tercih edilmesine neden olarak işlenmiş parçanın yüzey tabakasında meydana getirdiği mikroyapı başkalaşması, mikrosertlik değişimi, kalıntı gerilme oluşumu ve faz dönüşümü gibi yüzey bütünlüğü özelliklerinde meydana getirdiği değişim sonucu fonksiyonel performansı doğrudan etkileyen yorulma ömrü, korozyon direnci ve aşınma direnci gibi özellikleri geliştirmesi gösterilebilir (Jawahir vd., 2011; Umbrello vd., 2011; Umbrello vd., 2012; Yang vd., 2015; Kaynak vd., 2017). Arzu edilen yüzey kalitesini sağlamak ve talaşlı imalat sonrası zaman alıcı, pahalı yüzey işlemlerinden tasarruf etmek için talaşlı imalatın bitirme-finish adımında işlenen yüzeyde tane incelmesi elde edilerek yüzey bütünlüğünün geliştirilebileceği belirtilmiştir (Klocke vd., 2018).

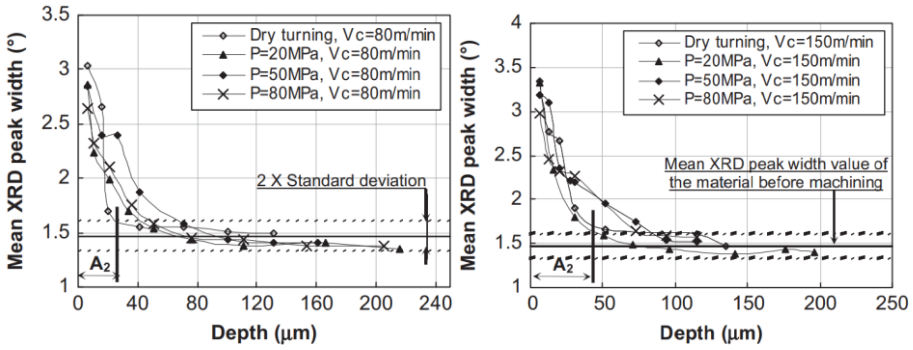


Şekil 4. Kalıntı gerilme profilleri, a) Kuru kesme, b) Yüksek basınçlı su jeti soğutma ($f = 0.1$ mm/rev, $a_p = 1$ mm) (Habak ve Lebrun, 2011)

Son zamanlarda yapılan araştırmalar, takım-talaş ara yüzüne yüksek basınçlı kesme sıvısı uygulamanın (HPC), talaşlı imalat uygulamaları için çok tatmin edici bir yöntem olduğunu göstermiştir. AISI 316L malzemenin talaşlı imalatında yüksek basınçlı su jeti yardımıyla soğutma yönteminin yüzey bütünlüğü üzerindeki etkisi Habak ve Lebrun tarafından araştırılmıştır (Habak ve Lebrun, 2011). Elde edilen sonuçlar, jet basıncının ve kesme parametrelerinin kalıntı gerilmeleri etkilediğini göstermektedir (Şekil 4). Yüzeydeki kalıntı gerilmelerin jet basıncındaki artışla azalırken, kesme hızındaki artışla arttığı bildirilmiştir. Kuru kesmeye nazaran uygulanan jet basınçlı soğutma, kesici takım-talaş ara yüzünde oluşan ısıyı ve dolayısıyla termal etkileri azaltarak yüzey tabakasındaki çekme tipi kalıntı gerilmeleri de azaltmış, basma tipinde kalıntı gerilme oluşumu ve yüzey bütünlüğünde iyileşme sağlamıştır. Ayrıca, çekme kalıntı gerilmesinden ve sertleşmeden etkilenen derinlik üzerinde jet basıncının çok az etkisinin olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, yüksek basınçlı su jeti ile yüzeydeki kalıntı gerilmelerin azaltılabileceği raporlanmıştır (Habak ve Lebrun, 2011).

Şekil 5'deki grafik, AISI 316L malzemenin işlenmesi sonucu meydana gelen pekleşme analizi XRD verileri kullanılarak hazırlanmıştır. Kristalit (tane) boyutu ve kafes distorsiyonu ile doğrudan ilişkili olan XRD piklerinin genişliği, bu grafikte pekleşme seviyesini ve pekleşmeden etkilenen derinliği belirtmek için kullanılmıştır. Pекleşmeye maruz kalmamış (sertleşmemiş) ve kristalit boyutu $0.2 \mu\text{m}$ den daha küçük malzemeler hariç XRD analizinde doğru bir şekilde ölçülemeyen yüksek plastik deformasyona uğramış malzemede dislokasyonlardan dolayı kafes distorsiyonunun etkisi boyut etkisinden daha yüksektir. AISI 316L'nin işlendiği çalışmada malzemenin sertleşmesine kıyasla boyut etkisinin önemsiz düzeyde kaldığı belirtilmiştir. Kuru ve farklı yüksek

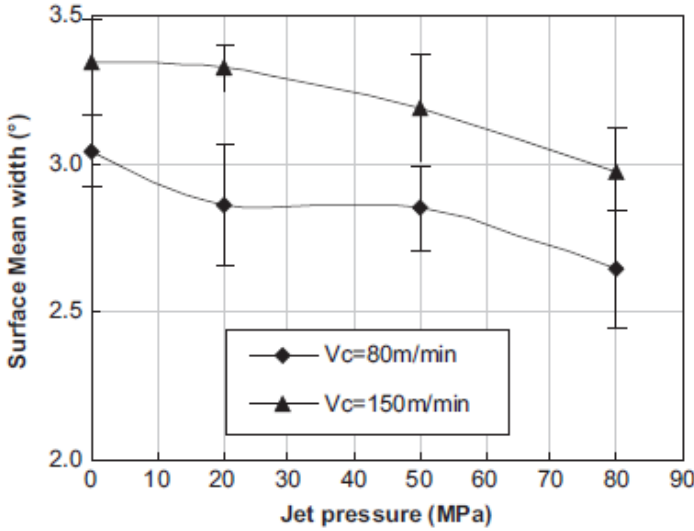
basıncılı soğutma şartlarında, 80 m/min ve 150 m/min kesme hızlarında işlenen parçaların XRD pik yarı genişliği ve derinlik profili Şekil 5’de görülmektedir. Şekil 5’deki grafikten, tüm kesme şartlarında XRD pik yarı genişliği eğrilerinin benzer olduğu ve pekleşmeden etkilenen bölgenin derinliğinin A_2 olarak tanımlandığı anlaşılmaktadır. Bütün kesme koşullarında işlenen parçanın yüzey tabakasındaki çekme gerilmelerinin iş parçasının yüzeyindeki pekleşme ile kuvvetli ilişkisi olduğu belirtilmiştir Şekil 5’deki grafikte, en büyük ortalama XRD pik genişliğinin 3° ’den büyük ve değerlerin derinlik ile sürekli azalarak en son işlenmemiş malzeme değerine karşılık gelen 1.5° ’de dengelendiği anlaşılmaktadır. İşlenmemiş malzeme ile karşılaştırıldığında, maksimum XRD pik yarı genişliği değerinin 3° ’den büyük olması, tornalamadan sonra yüzeydeki belirgin pekleşmeyi gösterir. İş parçası yüzeyindeki XRD pik yarı genişliğine kesme hızının ve jet basıncının etkisi Şekil 6’dan anlaşılabacağı üzere çok güçlüdür (Habak ve Lebrun, 2011).



Şekil 5. Kuru ve yüksek basınçlı su jeti kesme şartlarında elde edilen ortalama XRD pik yarı genişlik profilleri ($f = 0.1$ mm/rev ve $a_p = 1$ mm) (Habak ve Lebrun, 2011)

Petrol türevi kesme sıvıları, depolama ve bertaraf masraflarından dolayı maliyetleri yükselmelerinin yanı sıra çalışan sağlığı ve çevre bakımından ciddi tehlikeler arz etmektedirler (Raj vd., 2016; Kaçal, 2017). Bu problemlerden dolayı petrol türevi kesme sıvısı sarfiyatını düşürmek hatta hiç kullanmamak için alternatif soğutma ve yağlama metodları araştırılmaktadır (Kaçal, 2017). Araştırmalar neticesinde kesici takım-talaş ara yüz sıcaklığının yükselmesini önlemek için kesme bölgesine hava-yag karışımı püskürtme tekniğinin (MQL) ısı taşınım kapasitesinin, konvansiyonel soğutma yönteminden daha üstün olduğu belirtilmiştir. MQL tekniği, yüksek kesme bölgesi sıcaklığı, hızlı kesici takım aşınması ve zayıf yüzey kalitesi gibi problemleri en aza indirmenin yanı sıra çevre dostu bir teknik olarak kabul edilir (Priarone vd., 2015; Uysal vd.,

2015; Kaçal 2017). Havanın yanında az miktarda yağın basınç altında takım-talaş ara yüzüne püskürtülmesi neticesinde talaş kaldırmada esaslı gelişmeler kaydedilmiştir (Nguyen ve Zhang, 2003; Özçatalbaş ve Baş, 2006).

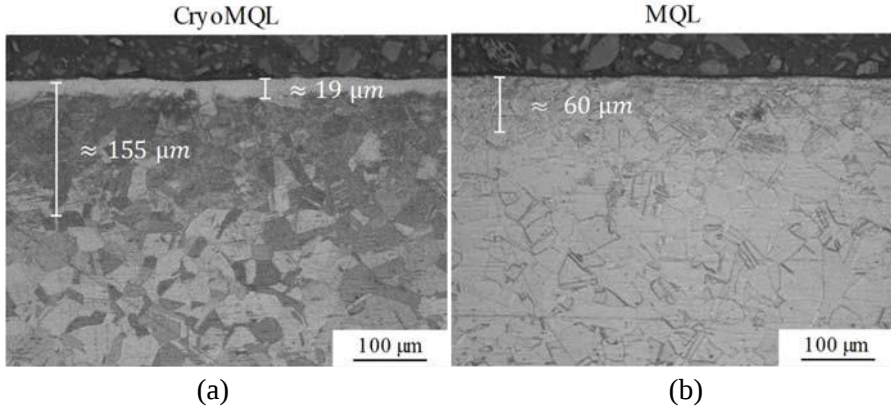


Şekil 6. Kesme hızının ve jet basıncının işlenen yüzeylerin XRD pik yarı genişliğine etkisi ($V_c = 80$ ve 150 m/min, $f = 0.1$ mm/rev ve $a_p = 1$ mm) (Habak ve Lebrun, 2011)

Yazid ve arkadaşları (Yazid vd., 2011) tarafından yapılan çalışmada, yüksek korozyon dirençli nikel esaslı süper alaşım Inconel 718'in finiş tornalama işleminde kesme parametrelerinin ve şartlarının (kuru, MQL 50 mL/h, MQL 100 mL/h) yüzey bütünlüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İşlenmiş yüzeylerde ve birkaç mikron kalınlığındaki yüzey altı tabakada aşırı deformasyon sonucu mikroyapı başkalaşması oluşmuştur. Yüzey altı tabakada yapılan mikrosertlik ölçümleri sonucu yüzeye yakın yerlerde daha yüksek sertlik değerlerinin ölçülmesi, yüzey altı tabakada pekleşme olduğunun kanıtıdır. Sonuç olarak MQL yönteminin yüzey bütünlüğü özelliklerini geliştirebileceği gösterilmiştir.

AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin, MQL ve LN₂-MQL (CryoMQL) kombinasyonu soğutma şartları altındaki işleme sürecinin mikroyapı üzerindeki etkisi Şekil 7'de görülmektedir. MQL işleme ile CryoMQL karşılaştırıldığında mikroyapı görüntülerindeki tabaka kalınlığında önemli bir fark olduğu görülmektedir. Her iki soğutma stratejisi için aynı kesme parametreleri uygulandığından operasyonların mekanik yükleri aynıdır. Kriyojenik soğutma uygulamasının, kesme bölgesinden işlenen parça yüzeyine geçmeye çalışan ısıyı

çok hızlı bir şekilde ortadan kaldırarak mikroyapının dinamik toparlanmasını bastırıp, daha büyük etkilenmiş yüzey tabakası oluşturduğu bildirilmiştir. Ayrıca Şekil 7(a)'da görüldüğü üzere yüzey altında yaklaşık 19 μm kalınlığında beyaz bir tabaka oluşmuştur. Aşırı plastik deformasyon (APD) katmanları olarak da adlandırılan bu beyaz tabakaların, yüksek plastik deformasyon ve yüksek soğutma hızlarından sonra ortaya çıktığı belirtilmiştir (Fredj ve Sidhom, 2006; Klocke vd., 2018).

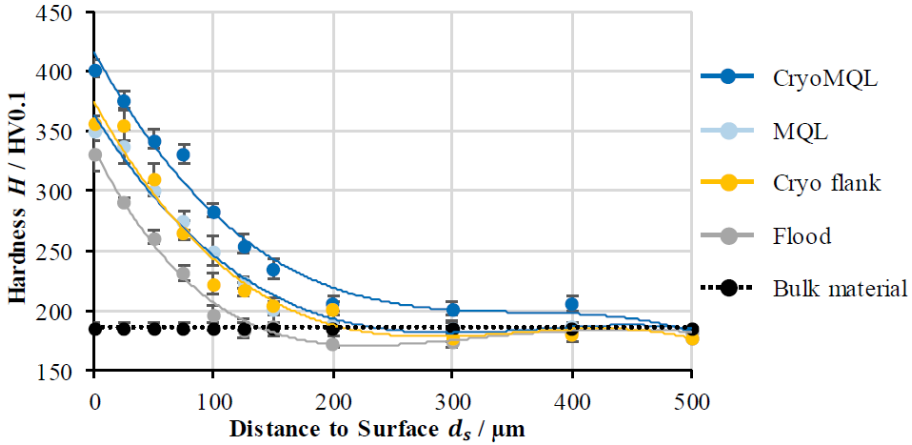


Şekil 7. Farklı soğutma stratejilerinin mikro yapıya etkisi (Klocke vd., 2018)

Talaşlı imalat işleminde soğutma-yağlama için kullanılan madeni yağlar ve sentetik-yarı sentetik kesme sıvıları tabiata ve personel sağlığına olan olumsuz etkilerinin yanında toplam üretim maliyetini de yükseltmektedirler. Ayrıca kesme sıvılarının şirketlere ve personeline, pahalı çevresel ve sağlık yükümlülükleri getirdiği açıkça görülmektedir. Bu nedenle insan sağlığına zararı olmayan ve yan etki içermeyen, sıvı atık oluşumuna neden olmayacak tekniklerin yanı sıra mineral yağ esaslı soğutuculara alternatif olabilecek ekonomik ve çevre dostu soğutma metotları araştırılmaktadır (Hong ve Broomer, 2000). Yapılan araştırmalar neticesinde yüzey tabakada tane inceltme için ümit vaat eden bir yaklaşım olarak kriyojenik soğutma bildirilmiştir. Ayrıca talaşlı imalat operasyonundaki aşırı plastik deformasyon (APD) sonucu parça yüzey tabakasında elde edilen incelmış taneler, özellikle kuru kesme işleminde kesme bölgesinde oluşan yüksek ısıdan dolayı sıcaklığın etkisi ile büyüme sürecine girerler. Buna karşın kriyojenik soğutma ile çok ince/nano boyutta tanelerden oluşan daha kalın bir yüzey tabakası elde edildiği bildirilmiştir (Klocke vd., 2018). Kriyojenik soğutma altında işlenen malzemede, daha derin, daha sert ve daha çok sıkıştırılmış bir yüzey tabakası oluştuğu bildirilmiştir. Ayrıca kriyojenik soğutucular kullanılarak yapılan işlemlerin, yüksek

dayanıklılığa sahip komponentler üretmek için uygun bir teknik olduğu belirtilmiştir (Bertolini vd., 2009; Bruschia vd., 2019).

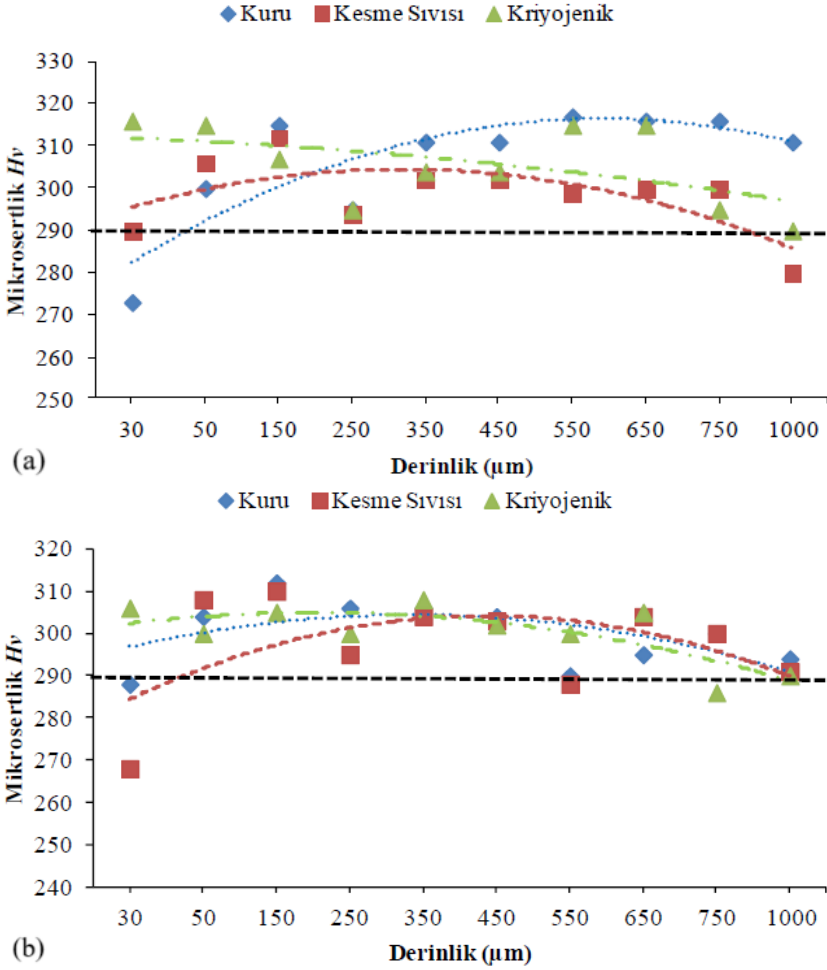
Klocke ve arkadaşları (Klocke vd., 2018), AISI 304 östenitik paslanmaz çeliği kriyojenik sıvı azot (LN_2) soğutma sıvısı, minimum miktarda yağlama (MQL), LN_2 -MQL kombinasyonu ve konvansiyonel soğutma koşullarında istenen yüzey bütünlüğünü indüklemek için bitirme-finish adımını kullanmışlardır. Yüzey bütünlüğü hem mikroyapısal hem de topoğrafik düzeylerde değerlendirilerek, yüzey tabakasının görüntülenmesi ve işlenmiş yüzey tabakasında değişen derinliklerde sertlik ölçümleri dâhil olmak üzere mikroyapının ayrıntılı bir analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, ortaya çıkan mikroyapının kuvvetli bir şekilde soğutma durumuna bağlı olduğu ve kriyojenik işleme ile üst yüzey tabakadaki mikro sertliği önemli ölçüde arttırmanın mümkün olduğu bildirilmiştir.



Şekil 8. Farklı soğutma yöntemleri ile işlenmiş AISI 304 malzemenin yüzey altında değişen derinliklerde sertlik değişimi (Klocke vd., 2018)

Yüzey tabakanın sertliği, pekleşme ve tane incelmesi ile arttırılabilir (Schino ve Kenny, 2002; Klocke vd., 2018). Şekil 8, yüzey tabaka sertliği üzerinde soğutma ve/veya yağlama stratejisinin büyük bir etkisini göstermektedir. Tüm numuneler için maksimum sertlik işlenen yüzey üzerinde ölçülmüş ve ardından iç kısımlara doğru azalan değerler elde edilmiştir. Yüzeyde en düşük sertlik değerinin elde edildiği konvansiyonel soğutmada, sertliğin hızlı bir şekilde azaldığı görülmüştür. Sertlik artışının, pekleşme ve tane ufalanmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü üzere, kesme sıvısı ile işlenen numunenin sertlik eğrisi, işlenmemiş malzemenin sertlik çizgisinden aşağı geçmektedir. İşlenmemiş malzemeye kıyasla sertlikteki bu azalmanın, termal

yumuşama ile ilişkili olabileceği belirtilmiştir. Aynı gelişme, serbest yüzeyden yapılan kriyojenik soğutmadan (Cryo flank) sonra ve MQL ile yağlama işleminden sonra görülmüştür. En yüksek sertlik değerlerinin bulunduğu CryoMQL ile işlemede sertlik eğrisi, ölçü skalasının sonundaki 500 μm derinliğe yakın yerde taban çizgisine ulaşmıştır (Klocke vd., 2018).



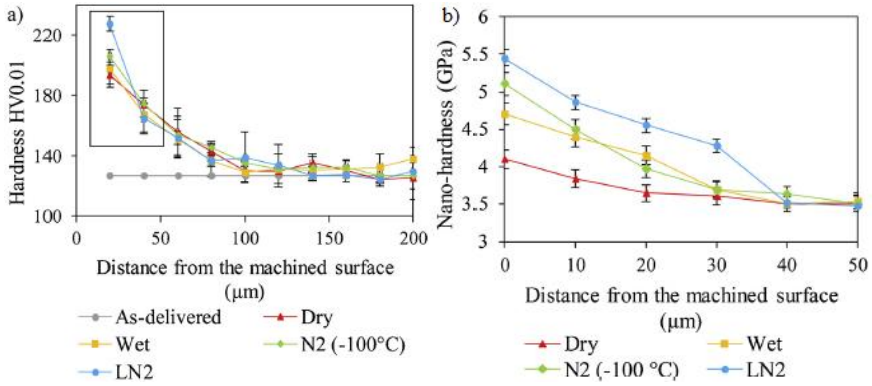
Şekil 9. AISI 316L malzemede kesme şartlarına bağlı olarak mikrosertlik değişimi, a) 20 m/min, b) 270 m/min (Duman ve Kaynak, 2016)

Duman ve Kaynak (Duman ve Kaynak, 2016), 316L paslanmaz çelik malzemesinin kriyojenik soğutma altında işlenmiş yüzeyinde ve yüzey altı tabakasında oluşan deformasyon derinliği, faz dönüşümü, mikro sertlik değişimi ve yüzey pürüzlülüğü gibi yüzey bütünlüğü özelliklerini inceleyerek elde edilen sonuçları kuru ve konvansiyonel soğutma yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. Düşük kesme hızlarında, diğer soğutma yöntemlerine kıyasla sıvı azot

kriyojenik soğutma yöntemi ile yapılan kesme deneyleri neticesinde ortaya çıkan termo-mekanik etkilerin işlenen yüzey tabakada östenit-martenzit faz dönüşümüne neden olarak mikro sertlikte artışa neden olduğu bildirilmiştir. Kriyojenik ve konvansiyonel soğutma koşullarında, düşük kesme hızlarında yapılan talaşlı imalat deneyleri sonucunda iş parçasının yüzey tabaka sertliği, yüksek kesme hızında işlenen numunelerinkinden daha fazla çıkmıştır. Fakat kuru kesmede tam tersi bir sonuç söz konusu olup bu durum iş parçası malzemesinin yüksek sıcaklıklarda olası faz dönüşümüne uğraması sonucu mikro sertlik değerlerindeki değişime bağlanmıştır. Özellikle 20 m/min kesme hızında kuru kesmede işlenen yüzeyde oluşan yüksek ısı yoğunluğu, AISI 316L malzemenin düşük termal iletim katsayısından (13 W/mK) (Hussein vd., 2013; Duman ve Kaynak 2016) dolayı malzemenin iç bölgelerine yeterince transfer olamadığından dolayı yüzeyden 50 µm derinlikte ve daha derinlerde yüksek mikrosertlik değeri ölçülmüştür (Şekil 9). Yüksek kesme bölgesi sıcaklığının olduğu kuru kesme ile mukayese edildiğinde kriyojenik metod, ısının kesme bölgesinden hızlıca soğurulduğu ve mekanik etkinin dominant olduğu bir yaklaşımdır. Etkin soğuk deformasyon sonucu diğer soğutma koşullarına kıyasla özellikle yüzey tabakadaki sertlik değerlerinin daha yüksek çıktığı belirtilmiştir. Benzer sonuçlar yüksek kesme hızlarında yapılan deneylerde de elde edilmiş olup, 270 m/min kesme hızında yapılan testler neticesinde kriyojenik soğutma ile iş parçasının yüzey tabaka sertliğinin diğer soğutma şartlarına kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Fakat burada göze çarpan husus, yüksek kesme hızlarında kriyojenik soğutma altında yapılan talaş kaldırma işleminde iş parçası yüzeyinde oluşan pekleşmenin düşük kesme hızlarındaki kadar olmamasıdır. Bunun sebebi olarak kriyojenik soğutma ile kesme işleminde dahi yüksek kesme hızlarında kısmi termal yumuşamanın etkisinin olduğu bildirilmiştir. Diğer yandan yüksek kesme hızında (270 m/min) kuru kesme işleminde yüzey tabakasının mikrosertlik değerinin işlenmemiş iş parçası malzemesinin mikrosertlik değerinden (290 HV) daha az olmasının nedeni kesme bölgesinde meydana gelen yüksek ısı konsantrasyonu nedeniyle oluşan termal yumuşamaya bağlanmıştır. Ayrıca talaşların incelenmesinde, işlenen yüzeylerden elde edilen verilere benzer neticeler elde edilmiştir. Optik mikroskop altında yapılan mikroyapı incelemeleri sonucunda, tane ufalanması, taneler arasında yönelim, deformasyon ve beyaz tabaka oluşumuna rastlanmadığı belirtilmiştir. Sonuç olarak kriyojenik soğutma altında işlenen numunelerin yüzey ve yüzey altı tabakalarının mikro sertlik değerlerinin diğer koşullara kıyasla daha yüksek olduğu raporlanmıştır.

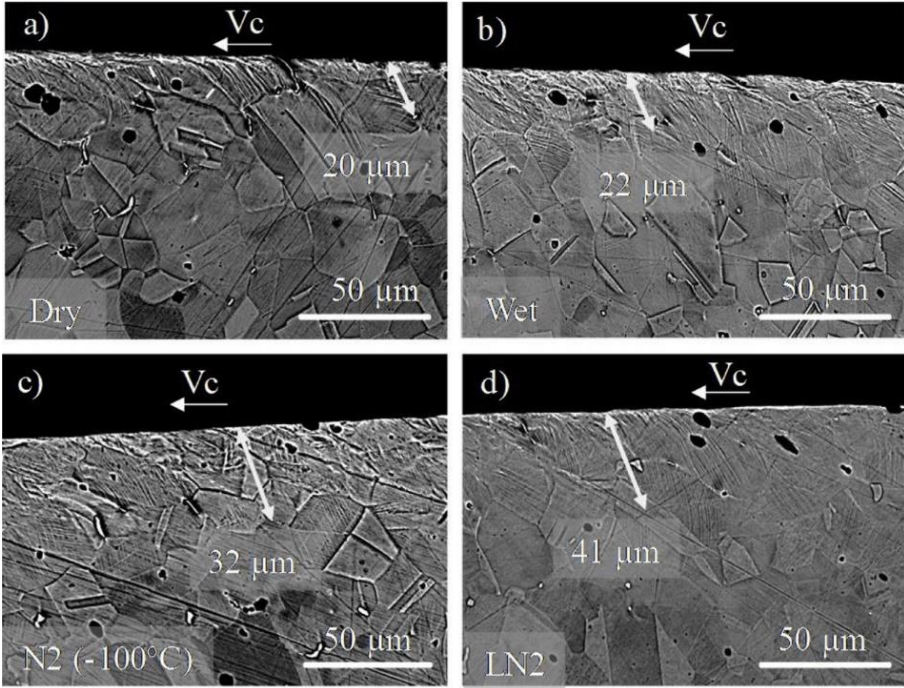
Bruschia ve arkadaşları (Bruschia vd., 2019), AISI 316L malzemenin işlenmiş yüzeye yakın mikroyapısının soğutma stratejilerinden önemli ölçüde

etkilendiğini bildirmiştir. Kriyojenik sıvı azot (LN₂) soğutma ile işlenen yüzey altında elde edilen maksimum APD katman derinliği, yüzey tabakada nano sertliğin daha fazla yükselmesine yol açmıştır (Şekil 10). Kriyojenik işlenmiş örnekler, azaltılmış termal yumuşama etkisi ve daha fazla tane incelme işleminin bir sonucu olarak daha yüksek sertlik sergilemişlerdir. Yüksek yüzey ve yüzey altı sertliğinin malzemenin aşınma hızını düşürmesi, yüksek basma kalıntı gerilmelerin yorulma direncini artırması gibi gelişmelerin, komponentlerin dayanıklılığı üzerinde önemli etkileri vardır.



Şekil 10. AISI 316L sertlik profillerine soğutma stratejisinin etkisi; a) Mikro sertlik profili, b) Nano sertlik profili (Bruschia vd., 2019)

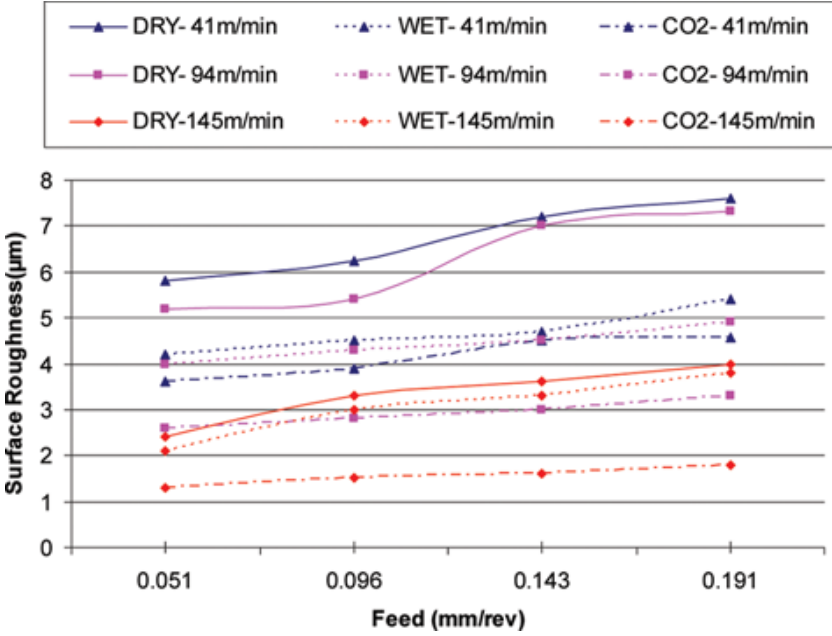
Genel olarak, ön işleme ve son işleme teknikleri (bilye kumlama, lazerle kumlama, ezme (burnishing) vb.); hem sertliği hem de basma kalıntı gerilmeleri geliştirmek, arttırmak için kullanılır. Bununla birlikte, bu teknikler ürün işlem zincirinde gerçekleştirilecek ilave bir adımı temsil etmektedir. Fakat aynı sonuçların ek işlemlere gerek olmadan bitirme işleminde düşük sıcaklıktaki soğutucuların kullanılmasıyla elde edilebileceği anlaşılmıştır (Bruschia vd., 2019).



Şekil 11. Soğutma stratejisinin bir işlevi olarak işlenmiş AISI 316L'nin mikro yapıları (Bruschia vd., 2019)

Şekil 11(a-d), farklı soğutma koşullarında işlenmiş AISI 316L numunelerin mikro yapılarını göstermektedir. Tanelerin kesme yönü boyunca deforme olduğu bir APD katmanı tüm örneklerde açıkça görülmektedir. Bununla birlikte, kuru ve ıslak koşullarda işlenen numunelere kıyasla, $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ N_2 ve LN_2 kullanılarak işlenen numunelerde, yüzey altı mikro yapısındaki başkalaşmış tabaka derinliğinin daha fazla olduğu görülmüştür (Bruschia vd., 2019).

Dilip Jerold ve Pradeep Kumar (Dilip Jerold ve Pradeep Kumar, 2014), AISI 316 paslanmaz çeliğin kuru, konvansiyonel soğutma ve kriyojenik karbondioksit soğutma koşulları altında tornalama operasyonunda, yüzeydeki pürüzlülüğün yükselen ilerleme ile arttığı, yükselen kesme hızı ile azaldığını bildirmişlerdir (Şekil 12). Konvansiyonel soğutma sıvısı ile karşılaştırıldığında CO_2 ile soğutmada azalan takım aşınması sonucu yüzey kalitesinde %4-52 arasında artış sağlanmıştır.



Şekil 12. Farklı kesme koşullarında yüzey pürüzlülüğünün karşılaştırması (Dilip Jerold ve Pradeep Kumar 2014)

Duman ve Kaynak tarafından yapılan çalışmada (Duman ve Kaynak, 2017), 15-5 PH paslanmaz çelik malzemenin kriyojenik sıvı karbondioksit ile talaşlı imalat sürecinin yüzey bütünlüğü karakteristiklerine (yüzey pürüzlülüğü, yüzey altı tabakada oluşan mikroyapı başkalaşması, mikrosertlik, aşırı deformasyon ve faz dönüşümü) etkisi kuru ve konvansiyonel soğutma şartlarına kıyasla deneysel olarak incelenmiştir. Düşük kesme hızında (30 m/min) kriyojenik soğutma ile yapılan deneyler sonucunda işlenmiş yüzey tabakada plastik deformasyona uğramış bir alan ve bunun sonucu olarak mikrosertlik artışı meydana geldiği belirtilmiştir. Diğer yandan kuru kesme ve konvansiyonel soğutma yöntemlerinde, yüksek kesme bölgesi sıcaklığının etkisi sonucu mikrosertlik değerinde düşme olduğu görülmüştür. Ayrıca yüksek kesme hızında (240 m/min), tüm soğutma şartlarında etkilenmiş bir alana rastlanmaz iken termal yumuşama nedeniyle mikrosertlik değerinde azalma olduğu görülmüştür. XRD analizi sonuçlarından, işlenen parçanın yüzey tabakasındaki mekanik etkiler nedeni ile pik şiddetlerinde düşmenin yanı sıra tane ufalanmasının sonucu olarak da piklerde genişleme olduğu tespit edilmiştir. Diğer kesme şartlarına kıyasla kriyojenik soğutmada kesici takımında oluşan bölgesel kırılmaların daha pürüzlü yüzeylerin oluşmasına sebep olduğu bildirilmiştir.

Pusavec ve arkadaşları (Pusavec vd., 2011), Inconel 718'in kriyojenik sıvı azot soğutma altında işlenmesinin yüzey bütünlüğü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Farklı soğutma-yağlama koşullarında işlenmiş yüzey ve yüzey altı tabaka sertliği, yüzey pürüzlülüğü ve kalıntı gerilmeler bu çalışmada ele alınan önemli özellikler arasındadır. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar, kriyojenik soğutma altında talaşlı imalatın mikrosertliği ve basma kalıntı gerilmeleri yükselttiğini, yüzey pürüzlülüğünü ise düşürdüğünü göstermiştir. Sonuç olarak; temiz bir süreç sunmasının yanında yüzey bütünlüğü özelliklerini iyileştirmek için kriyojenik talaşlı imalat işlemlerinin uygulanabileceğini ve böylece nihai ürünün kalite-performans seviyesinin geliştirilebileceğini bildirmişlerdir.

Magnezyum alaşımı malzemeler hafifliğinden dolayı ulaştırma endüstrisinde tercih edilmesinin yanı sıra geçici biyomedikal implant uygulamalarında kullanılmak üzere potansiyel bir malzeme olarak görünmektedir. Fakat yetersiz korozyon direnci uygulama alanlarını büyük ölçüde sınırlandırmaktadır. Tanecik boyutu, kristalografik yönelim ve kalıntı gerilmeler gibi yüzey bütünlüğü faktörlerini, AZ31 Mg alaşımlarının korozyon direncini önemli ölçüde etkiler (Pu vd., 2011). Pu ve arkadaşları (Pu vd., 2011), AZ31B-O Mg alaşımlarının farklı kesici kenar yarıçaplı takımlar ile kuru ve kriyojenik koşulların indüklediği yüzey bütünlüğü özelliklerini incelemişlerdir. Deneylerde kriyojenik işleme, çelikler üzerinde oluşan beyaz tabakaya benzer bir görüntüye sahip ufalanmış tanelerden oluşan bir yüzey tabakasına yol açmıştır. Aynı özellikteki katman, işlenmiş talaşların takım-talaş arayüzünde bulunmuştur. Sonuç olarak kriyojenik soğutma işlemi ile tane ufalanması içeren daha kalın bir yüzey tabakası, daha yüksek basma kalıntı gerilmeler ve daha güçlü yoğunluğa sahip bazal doku elde edilerek magnezyum alaşımlarının korozyon performansının artırılabilirliği vurgulamışlardır.

Umbrello ve arkadaşları (Umbrello vd., 2011), sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin dik kesme operasyonunda, yüzey bütünlüğü üzerinde kriyojenik soğutmanın etkisini araştırmışlardır. Deneyler kuru ve kriyojenik koşullar altında pah kırılmış CBN kesici uçlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapmış oldukları deneyler neticesinde, kriyojenik soğutma altında işlemenin kalıntı gerilmeler ve beyaz katman oluşumu üzerinde etkili olduğunu ve özellikle olası beyaz katman kalınlığını azalttığını tespit etmişlerdir. Buna karşılık kuru işlemede ürünün performansı ve nispi maliyeti açısından zararlı olan daha kalın bir beyaz katman kalınlığı oluşmuştur. Basma kalıntı gerilmeler daha derin olmasına rağmen, beyaz tabaka içindeki etki derinliğinin pozisyonu ürünün yorulma ömrüne zarar verir. Kriyojenik soğutmanın, sert işlenmiş parçaların

yüzey bütünlüğünün geliştirilmesine yardımcı olduğu sonucuna varılmıştır (Umbrello vd., 2011).

Kaynak ve arkadaşları (Kaynak vd., 2017), şekil hafızalı NiTi alaşımın kriyojenik soğutma altındaki talaşlı imalat sürecinde faz dönüşümü oluştuğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kriyojenik soğutma altında işlenen iş parçasının sertlik değerlerinin ve yüzey altı deforme olmuş tabaka kalınlığının kuru işlemeye oranla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Diğer yandan Uçak ve Çiçek tarafından yapılan bir çalışmada (Uçak ve Çiçek, 2019) kriyojenik şartlarda daha iyi yüzey kalitesi elde edilebileceğini, fakat düşük kesme sıcaklıklarının işlenebilirlik performansını negatif etkilediği bildirilmiştir. Araştırmada Inconel 718 süper alaşımının kaplamalı (TiAlN) ve kaplamasız karbür matkaplar ile delinme işleminde farklı koşulların (kuru, konvansiyonel, kriyojenik), yüzey pürüzlülüğü, pekleşme ve mikrosertlik değişimi, yüzey-altı deforme olmuş tabaka derinliği gibi yüzey bütünlüğü parametreleri üzerine etkileri incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, kesme sıcaklıklarını önemli derecede düşüren kriyojenik soğutma şartlarında, iş parçası malzemesinin gevrekleşmesi sonucu, genel olarak daha az yüzey altı deforme olmuş tabaka kalınlığı ve düşük mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Bu bağlamda sünek bir malzemenin işlenmiş yüzeyinin altında oluşan plastik deformasyonun soğutma/yağlama şartlarından ziyade daha çok kesme parametrelerinden etkilendiği, kesme sıcaklığı ve eksenel kuvvetlerin deformasyon tabakası kalınlığının artmasında etkili olduğu (Zhou vd., 2012), yüzey tabakasındaki mikrosertlik değişiminin de plastik deformasyona uğramış bölge kalınlığı ile ilgili olduğu (Thakur ve Gangopadhyay, 2016) açıklanmıştır. Takım aşınmasının en az olduğu konvansiyonel soğutma şartında en iyi yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.

5. SONUÇ

Talaşlı imalat işlemleri ile üretilen komponentlerin kalitesi işlenmiş parçanın yüzey bütünlüğü ile doğrudan ilgilidir. Yüzey bütünlüğü karakterizasyonlarından yüksek yüzey ve yüzey altı sertliğinin malzemenin aşınma hızını düşürmesi, yüksek basma kalıntı gerilmelerin yorulma direncini arttırması gibi gelişmelerin, komponentlerin dayanıklılığı üzerinde önemli etkileri vardır. Genel olarak, talaşlı imalat sonrası bilye kumlama, lazerle kumlama, ezme (burnishing) vb. son işleme teknikleri ile işlenen yüzeylerin sertlik ve basma kalıntı gerilme özellikleri geliştirilir. İşlem zincirinde ilave bir adımı ve masrafı temsil eden bu tekniklere gerek kalmadan talaşlı imalatın bitirme-finiş işleminde düşük sıcaklıktaki soğutucuların kullanılması ile aynı özelliklere sahip yüzeylerin elde edilebileceği anlaşılmıştır.

Kesme sıvıları, talaşlı imalat işlemlerinde soğutmanın yanı sıra yağlamada yaparak üretim verimliliğinin ve kalitesinin artmasını sağlarlar. Ayrıca talaşlı imalat ile üretilen parçaların yüzey bütünlüğü kuvvetli bir şekilde soğutma durumuna bağlıdır. Örneğin kuru kesmeye nazaran yüksek basınçlı soğutma (HPC) ile yüzeydeki çekme tipi kalıntı gerilmelerin azaltılabileceği görülmüştür. Fakat talaşlı imalat işleminde kesme sıvıları, çevre ve insan sağlığına olan negatif etkilerinin yanında şirketlere ve personeline pahalı çevresel ve sağlık sorumlulukları yüklemektedir. Bu sorunun aşılmasında minimum miktarda yağlama (MQL) tekniğinin uygulanması, alternatif bir çözüm ve yeşil işleme yolunda önemli bir adımdır. MQL yönteminin yüzey bütünlüğü özelliklerini geliştirebileceği görülmüştür. Sürdürülebilir işleme performansı göz önüne alındığında ise kriyojenik işleme alternatif olarak değerlendirilebilir. Kriyojenik soğutma uygulaması çok hızlı bir şekilde kesme bölgesinden işlenen parça yüzeyine geçen ısıyı ortadan kaldırarak, mikroyapının dinamik toparlanmasını bastırıp, daha büyük etkilenmiş yüzey tabakası oluşmasını sağlar. Bunun yanında kriyojenik soğutma ile işlenen yüzey ve yüzey altı tabaka mikro sertliğini önemli ölçüde artırmanın mümkün olduğu görülmüştür. Kriyojenik soğutmanın, östenitik paslanmaz çelikler, Inconel 718 ve NiTi gibi süper alaşımlar ve AISI 52100 gibi sertleştirilmiş çelikler gibi işlenmesi zor malzemelerin yanı sıra magnezyum alaşımlarının ve diğer metalik malzemelerin yüzey bütünlüğünün geliştirilmesine yardımcı olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak, temiz bir süreç sunmasının yanında yüzey bütünlüğü özelliklerini iyileştirmek için kriyojenik talaşlı imalat işlemlerinin uygulanabileceği ve böylece nihai ürünün kalite-performans seviyesinin geliştirilebileceği fakat düşük kesme sıcaklıklarında işleme performansının bazen olumsuz etkilendiği görülmüştür.

REFERANSLAR

- Akben, U. ve Erten, M. (2009, 2-3 Ekim). Minimum miktarda yağlama yöntemi ile sulu kesme yönteminin takıma ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi. 1. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu. İstanbul.
- Bennett, E.O. (1983). Water based cutting fluids and human health. *Tribology international*, 16(3), 133-136.
- Bertolini, R. Bruschi, S. and Ghiotti, A. (2009). Enhancement of corrosion resistance to sterilization stages of a biomedical grade AISI 316L stainless steel by means of low temperature machining. *Materialstoday: Proceedings*, 7(1), 552-559.
- Birova, A. Pavlovičová, A. and Cvenroš, J. (2002). Lubricating oils based on chemically modified vegetable oils. *Journal of Synthetic Lubrication*, 18(4), 291-299.
- Blau, P. Busch, K. Dix, M. Hochmuth, C. Stoll, A. and Wertheim, R. (2015). Flushing strategies for high performance, efficient and environmentally friendly cutting. *Procedia CIRP*, 26, 361-366.
- Bruschia, S. Pezzatob, L. Ghiottia, A. Dabalàb, M. and Bertolinia R. (2019). Effectiveness of using low-temperature coolants in machining to enhance durability of AISI 316L stainless steel for reusable biomedical devices. *Journal of Manufacturing Processes*, 39: 295–304.
- Busch, K. Hochmuth, C. Pause, B. Stoll, A. and Wertheim, R. (2016). Investigation of cooling and lubrication strategies for machining high-temperature alloys. *Procedia CIRP*, 41, 835-840.
- Byers, J.P. (2006). *Metalworking Fluids*, Second Edition. Boca Raton: CRC Press.
- Çakır, O. ve Kılıçkap, E. (2001, 2-3 Kasım). Metallerin soğuk talaşlı işlenmesi. *Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi*, Konya, 279-283
- Çetin, M.H. and Özçelik, B. (2011). AISI 304 çeliklerin tornalanmasında EP katkılı karma bitkisel esaslı kesme sıvılarının performansı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 581-589.
- Çetin, M.H. Özçelik, B. Kuram, E. Şimşek, B.T. ve Demirbaş, E. (2010, 11-12 Kasım). AISI 304L çeliğin EP katkılı bitkisel esaslı kesme sıvıları kullanılarak tornalanmasında ilerleme hızının aşınma üstüne etkisi. 2. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, 230-241.
- Dal, M. (2009). Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Frezelemedeki Performansının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

- Debnath, S. Reddy, M.M. and Yi, Q.S. (2014). Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review. *Journal of cleaner production*, 83, 33-47.
- Dilip Jerold, B. and Pradeep Kumar, M. (2012). Machining of AISI 316 stainless steel under carbon-di-oxide cooling. *Journal of Materials and Manufacturing Processes*, 27(10), 1059-1065.
- Duman, E. ve Kaynak Y. (2016, 3-5 November). 316L paslanmaz çelik malzemesinin kriyojenik talaşlı imalat sürecinde yüzey bütünlüğü analizi. 7th International Symposium on Machining, İstanbul, 253-265.
- Duman, E. ve Kaynak Y. (2017). 15-5 ph çelik malzemesinin kriyojenik talaşlı imalat sürecinde yüzey bütünlüğü analizi. *Makine Tasarım ve İmalat Dergisi*, 15(1), 19-26.
- Field, M. and Kahles, J.F. (1964). The surface integrity of machined and ground high strength steels. DMIC Report, Cornell University, 210, 54-77.
- Field, M. Kahles, J. and Cammett, J. (1972). Review of measuring methods for surface integrity. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 21(2), 219-238.
- Fredj, N.B. and Sidhom, H. (2006). Effects of the cryogenic cooling on the fatigue strength of the AISI 304 stainless steel ground components, *Cryogenics*, 46(6), 439-448.
- Griffiths, B.J. (2001). *Manufacturing Surface Technology in: Surface Integrity and Functional Performance*. London: Penton Press.
- Groover, M.P. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems* (5th ed.). NJ: John Wiley & Sons Inc.
- Habak, M. and Lebrun, J.L. (2011). An experimental study of the effect of high-pressure water jet assisted turning (HPWJAT) on the surface integrity. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51(9), 661-669.
- Hong, S.Y. and Broomer, M. (2000). Economical and ecological cryogenic machining of AISI 304 austenitic stainless steel. *Clean Products and Processes*, 2, 157-166.
- Hong, S.Y. and Zhao, Z. (1999). Thermal aspects, material considerations and cooling strategies incryogenic machining. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 1(2), 107-116.
- Hussein A. Hao L. Yan C. and Everson R. (2013). Finite element simulation of the temperature and stress fields in single layers built without-support in selective laser melting. *Materials & Design*, 52, 638-647.
- İlhan, M. (2014). Talaş kaldırma işlemlerinde minimum miktarda yağlama (mql) uygulamasının kesme hızı ve yağlama debisinin yüzey pürüzlülüğü

- ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Jawahir, I.S. Attia, H. Biermann, D. Duflou, J. Klocke, F. and Meyer, D. (2016). Cryogenic manufacturing processes. CIRP Annals, Manufacturing Technology, 65(2), 713-736.
- Jawahir, I.S. Brinksmeier, E. M'Saoubi, R. Aspinwall, D.K. Outeiro, J.C. Meyer, D. Umbrello, D. and Jayala, A.D. (2011). Surface integrity in material removal processes: recent advances. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 60(2), 603-626.
- Jawahir, I.J. Kaynak, Y. and Lu, T. (2014). The impact of novel material processing methods on component quality life and performance. Procedia CIRP, 22, 33-34.
- Kaçal, A. (2017, 2-4 November). PMD 23 Çeliğin tornalanmasında % 0,15 Nano-MoS₂ Katkılı minimum miktarda yağlama (MMY) performansının incelenmesi. 8th International Symposium on Machining, Antalya, 340-351.
- Kaynak, Y. Gharibi, A. Taşcıoğlu, E. Kurt, M. ve Ay, M. (2017, 2-4 November). 316L paslanmaz çeliklerin kriyojenik talaşlı imalatında nozul konumlarının etkisi. 8th International Symposium on Machining, Antalya, 479-489.
- Kaynak, Y. Tobe, H. Noebe, R. Karaca, H. and Jawahir, I.S. (2014). The effects of machining on the microstructure and transformation behavior of NiTi alloy. Scripta Materialia, 74, 60-63.
- Klocke F. Döbbeler, B. Lung, S. Seelbach, T. and Jawahir, I.S. (2018). Analysis of surface integrity in machining of AISI 304 stainless steel under various cooling and cutting conditions. Proceedings of The 21. International ESAFORM Conference on Material Forming, AIP Conference Proceedings 1960, 070015, 1-6.
- Kuram, E. (2009). Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Delmedeki Performansının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Maranhão, C. and Davim, P.J. (2010). Finite element modeling of machining of AISI 316 steel: Numerical simulation and experimental validation. Simulation Modelling Practice and Theory, 18, 139-156.
- M'Saoubi, R. Outeiro, J.C. Changeux, B. Lebrun, J.L. and Morão Dias, A. (1999). Residual stress analysis in orthogonal machining of standard and resulfurized AISI 316L steels. Journal of Materials Processing Technology, 96(1-3), 225-233.

- M'Saoubi, R. Outeiro, J.C. Chandrasekaran, H. Dillon Jr, O.W. and Jawahir I.S. (2008). A review of surface integrity in machining and its impact on functional performance and life of machined products, *International Journal of Sustainable Manufacturing*, 1(1-2), 203-236.
- Nguyen, T. and Zhang, L.C. (2003). An assessment of the applicability of cold air and oil mist in surface grinding. *Journal of Materials Processing Technology*, 140(1-3), 224-230.
- Northcott, W.H.A. (1868). A treatise on Lathes and turning. Longmans Green and Company, London.
- Outeiro, J.C. Umbrello, D. and M'Saoubi, R. (2006). Experimental and numerical modeling of the residual stresses induced in orthogonal cutting of AISI 316L steel. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46(14), 1786-1794.
- Outeiro, J.C. Pina, J.C. M'Saoubi, R. Pusavec, F. and Jawahir, I.S. (2008). Analysis of residual stresses induced by dry turning of difficult to machine materials. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 57(1), 77-80.
- Özçatalbaş, Y. and Baş, A. (2006). Effect of cooling by air spraying on cutting forces and tool life in turning. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21(3), 451-455.
- Özdemir, E. (2020). *Biyomedikal Endüstrisinde Kullanılan Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Talaşlı İmalat Sürecinde Yüzey Bütünlüğü ve Fonksiyonel Performansının Geliştirilmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Priarone, P.C. Robiglio, M. Settineri, L. and Tebald, V. (2015). Effectiveness of minimizing cutting fluid use when turning difficult-to-cut alloys. *Procedia CIRP*, 29, 341-346.
- Pu, Z. Outeiro, J.C. Batista A.C. Dillon Jr., O.W. Puleo, D.A. and Jawahir, I.S. (2011). Surface integrity in dry and cryogenic machining of AZ31B Mg alloy with varying cutting edge radius tools. *Procedia Engineering*, 19, 282-287.
- Pusavec, F. Hamdi, H. Kopac, J. and Jawahir, I.S. (2011). Surface integrity in cryogenic machining of nickel based alloy-Inconel 718. *Journal of Materials Processing Technology*, 211(4), 773-783.
- Raj, A. Wins, K.L.D. and Varadarajan, A.S. (2016, September). Evaluation of the performance during hard turning of OHNS steel with minimal cutting fluid application and its comparison with minimum quantity lubrication. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 149, No. 1, p. 012021). IOP Publishing.

- Schino, A.D. and Kenny, J.M. (2002). Effects of the grain size on the corrosion behavior of refined AISI 304 austenitic stainless steels, *Journal of Materials Science Letters*, 21, 1631-1634.
- Suzuki, S. (2002). Developments in Oil Supplying Systems for MQL Cutting. *Journal of Japanese Society of Tribologists*, 47, 538-543.
- Şimşek, B.T. (2010). Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının ve Takım Tutucularının Frezelemedeki Performansının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Taylor, F.W. (1907). *On The Art of Cutting Metals*. American Society of Mechanical Engineers, New York, pp. 138-143.
- Tekaslan, Ö. Gerger, N. ve Şeker, U. (2008). AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin araştırılması. *BAÜ FBE Dergisi*, 10(2), 3-12.
- Thakur, A. and Gangopadhyay, S. (2016). State-of-the-art in surface integrity in machining of nickelbased super alloys. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 100, 25-54.
- Uçak, N. and Çiçek, A. (2019). Investigation of the effects of cryogenic cooling on drilling performance in drilling of Inconel 718 superalloy. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(3), 1241-1252.
- Umbrello, D. Micari, F. and Jawahir, I.S. (2012). The effects of cryogenic cooling on surface integrity in hard machining: A comparison with dry machining. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 61(1), 103-106.
- Umbrello, D. Pu, Z. Caruso, S. Outeiro, J.C. Jayal, A.D. Dillon, O.W. and Jawahir, I.S. (2011). The effects of cryogenic cooling on surface integrity in hard machining. *Procedia Engineering*, 19, 371-376.
- Uysal, A. Demiren F. ve Altan, A. (2015, 5-7 Kasım). AISI 304 paslanmaz çeliğin nano grafen katkılı bitkisel esaslı kesme sıvısı ve MQL yöntemi kullanılarak frezelenmesinde takım aşınması. 6. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, İstanbul, 356-363.
- Weinert, K. Inasaki, I. Sutherland, J.W. and Wakabayash, T. (2004), Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 53(2), 511-537.
- Yang, S. Umbrello, D. Dillon, O.W. Puleo, D.A. and Jawahir, I.S. (2015). Cryogenic cooling effect on surface and subsurface microstructural modifications in burnishing of Co–Cr–Mo biomaterial. *Journal of Materials Processing Technology*, 217, 211-221.

- Yazid, M.Z.A. İbrahim, G.A. Said, A.Y.M. CheHaron, C.H. and Ghani J.A. (2011). Surface integrity of Inconel 718 when finish turning with PVD coated carbide tool under MQL. *Procedia Engineering*, 19, 396-401.
- Yıldırım, Ç.V. Kıvak T. ve Erzincanlı, F. (2015, 5-7 Kasım). Minimum miktarda yağlama tekniğinin delme ve taşlama operasyonlarındaki uygulamaları üzerine bir derleme. 6. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, İstanbul, 247-263.
- Zhou, J.M. Bushlya, V. and Stahl, J.E. (2012). An investigation of surface damage in the high speed turning of Inconel 718 with use of whisker reinforced ceramic tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(2), 372-384.

Bölüm 8

BİYOMEDİKAL UYGULAMALAR İÇİN BAKIR VE/VEYA ÇİNKO İÇEREN FOSFOR KATKILI MEZOGÖZENEKLİ BİYOAKTİF SİLİKAT SENTEZİ

Fatma TOMUL¹,
Vahide Tuğçe ADIGÜZEL²,
Filiz AKTI³

ÖZET

Bu çalışmada CTAB ve PEG gözenek yönlendiriciler kullanılarak fosfor katkılı mezogözenekli ve bakır, çinko ve bakır/çinko kombinasyonlu metal yüklemeli mezogözenekli biyoaktif silika (MBS) malzemeler başarılı bir şekilde sentezlenmiştir. FTIR sonuçları farklı gözenek yönlendiriciler kullanılarak farklı yapılar sahip biyoaktif silikat malzemelerin elde edildiğini göstermiştir. Biyolojik aktivite çalışmaları, biyolojik aktivite üzerinde gözenek yönlendirici çeşidi, metal türü ve metal kombinasyonunun önemli olduğunu göstermiştir. PEG ve Zn ve Cu/Zn kullanılan malzemelerin biyolojik aktivite (in vitro) test sonuçlarında yapay vücut sıvısı (SBF)'nin pH değerlerinin daha yüksek olduğu buna bağlı olarak hidroksiapatit oluşumun yüksek olduğu belirlenmiştir. Mevcut çalışmada elde edilen biyoaktif malzemelerin umut verici biyoaktivite özellikleri nedeniyle biyomedikal uygulamalar ve rejeneratif tıp için alternatif olarak kullanılabileceği öngörülmüştür.

Anahtar kelimeler: Mezogözenekli, biyoaktif silikat, bakır, çinko, biyoaktivite

GİRİŞ

İnsanoğlu varoluşundan bu tarafa yaşam kalitesini artırmak ya da sürdürmek için yoğun bir çaba sarf etmiştir. M.Ö. bile vücudun zarar gören veya işlevini yitiren parçalarının onarımı, yeniden yapılandırılması ya da yerini alması için

¹ Prof. Dr. Fatma TOMUL Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Türkiye ftomul@mehmetakif.edu.tr ORCID No: 0000-0001-6771-3943.

² Vahide Tuğçe ADIGÜZEL Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Türkiye vt.adiguzel@gmail.com ORCID No: 0000-0002-4773-2159

³ Doç. Dr. Filiz AKTI Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Türkiye filizakti@hitit.edu.tr ORCID No: 0000-0003-4455-514X.

birçok malzeme geliştirmiştir. Mısır mumyalarında kullanılan yapay göz, burun ve dişlerin, yine diş tedavisinde altının, kemik tedavisinde bronz ve bakırın kullanımı bu malzemelerin eski çağlardan beri kullanımını kanıtlar niteliktedir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte geliştirilen bu malzemelerin çeşitliği giderek artmış ve günümüzde biyoaktif malzemeler olarak yerini almıştır (Hartmut F. Hildebrand 2013). Biyoaktif malzemeler vücut içinde kendilerini saran dokuların işlevsel özelliklerini kaybettirmeden ve dokularda iltihaplanma, pıhtı oluşma vb. gibi istenmeyen etkiler oluşturmeyen malzemelerdir. Son yıllarda vücut içi implantların üretilmesi, kalça protezi üretilmesi, damar değiştirilmesi, kalp pillerinin üretilmesi, sentetik ameliyat ipliği üretilmesi, yapay organ üretilmesi dışında vücut dışına yerleştirilen ama yine de vücutla etkileşim halinde olan cihazlar ve teşhis kitlerinde de yaygın olarak kullanılmaya başlanılmış ve biyoaktif malzeme sektöru büyük gelişme göstererek güncel araştırma konuları arasında yerini almıştır (Hildebrand, H. F. 2013). Bu araştırma konularından bazıları biyotıp için oldukça önemli olan, insanların vücutlarında hasar görmüş olan kemik dokuların iyileştirilmesine odaklanmıştır (Zhu vd., 2013, Sathain vd. 2021, Namdar vd., 2023, Ding vd., 2023).

Kemik dokuda kullanılan biyomalzemeler mekanik ve yorulma dayanımlarına, biyoyumluluk ve biyoaktifliklerine göre değerlendirilmektedir. Biyoyumluluk, vücuda konulan yabancı malzemenin vücut ile uyumu iken biyoaktiflik, doku ile bağ kurup yeni hücre ve doku meydana gelmesine yardımcı olabilme özelliğidir ve bu özellik biyomalzemelerin en önemli özelliğidir (LeGeros, 2008, Bains 2020). Kemik, iç organlarımızı dış darbelerle karşı koruyan, vücudumuza mekanik destek sağlayan, kaslarla birlikte hareket etmemizi sağlayan, vücudumuzun kalsiyum deposu olan, oldukça karmaşık bir doku olup hasar gördüğünde yara izi kalmayacak kadar kendini onarabilen canlı bir malzemedir (Srinath vd., 2020). Ancak kemik ciddi hasar aldığı ve kendini onarıp yenileyemediği zaman, dışarıdan müdahale edilmesi gereklidir. Silisyum (Si), kemiğin iyileşme süreci, yeni kemik oluşumu ve büyümesi için katkı sağlayabilecek önemli bir elementtir. Son yıllarda gerçeķleştirilmiř alışmalar Si-esaslı malzemelerin kemik oluşumu üzerine olumlu etkilerde bulunduğunu göstermiştir. Dolayısıyla, elementel Si ve Si içerikli bileşiklerin osteokondüktif (bir malzemenin iskele veya şablon olarak kullanıldığında yüzeyinde, kanallarında ve porların içine doğru kemik oluşturabilme yeteneği) ve/veya osteoindüktif (bir malzemenin osteojenik faktörler olmadan yeni kemik oluşumunu başlatabilme yeteneği) kapasiteleri açısından incelenmelerinde büyük fayda vardır (Ha vd., 2019, LeGeros, 2008, Güngör vd., 2020).

Günümüzde mezogözenekli biyoaktif kalsiyum silikat malzemeler sert doku oluşumu için diğer biyoaktif malzemelerden daha çok ilgi çekmektedir (Neščáková vd 2019, Jiménez-Holguín vd 2020, Leng vd., 2020). Bunun nedeni ise biyoaktif silikat malzemelerin, yüksek yüzey alan, büyük gözenek hacmi ve mezogözenekli yapıları süper kemik oluşturma biyoaktivitesi ve ilaç salım özelliğine sahip olmalarıdır (Heras vd., 2020). Mezogözenekli kalsiyum silikat yapıların oluşturulmasında kalsiyum kaynağı olarak genellikle kalsiyum nitrat, kalsiyum klorür, silika kaynağı olarak ise tetraetilortosilikat (TEOS), gözenek yönlendirici olarak Pluronik 123, Pluronik F-127, CTAB (setil trimetil amonyum bromür), PEG (polietilen glikol) gibi değişik yüzey aktif maddeler kullanılmaktadır (Kim ve Sun 2014, Tomul vd., 2019, Zhu vd., 2021, Namdar vd., 2023). Biyoaktif kalsiyum silikat malzemelerin biyoaktivite karakteristikleri bileşimine ve bileşimini oluşturan metal türüne ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak biyoaktif kalsiyum silikat malzemelerin ana bileşenleri değişen oranlarda SiO_2 , CaO , Na_2O ve P_2O_5 içerir. Bu iyonlar vücudun hücre içi ve hücre dışı tepkisini etkileyerek hızlı kemik oluşumuna yardımcı olur (Punj ve Singh 2020). CaO-SiO_2 malzemelerinin mikro yapısındaki ve spesifik yüzey alanındaki farklılıkların, hidroksiapatitin (HAp) birikme sürecini ve kemik oluşturan biyoaktiviteyi büyük ölçüde etkileyebileceği görülürken, kemiğin inorganik fazına sahip olan fosforun biyoaktif malzemelere katkılamanın biyouyumluluk, biyolojik olarak emilebilirlik üzerinde olumlu etkileri olduğu bilinmektedir (Babu vd. 2019). Ayrıca bu ana bileşenler dışında Ag, Zn ve Cu gibi elementlerde kullanılmaktadır. Bileşiminde gümüş içeren biyoaktif malzemeler antibakteriyal özellik gösterirken, ZnO ve CuO bileşiklerini içeren biyoaktif malzemeler ise kronik inflamasyon işlemlerinde oldukça yüksek anti-inflamasyon özellik göstermektedirler. Diğer taraftan bileşimlerinde çinko varlığı kemik oluşumunu/gelişimini artırmakta iken belirli miktarda bakır varlığı ise kemik yıkımını önlemektedir (Zhu et al., 2017). Ayrıca çinko ve bakır antibakteriyel aktivite artırıcı özelliği, osteoplastik hücrelerdeki çoğalma davranışı gibi çok fonksiyonlu özelliklere sahiptir (Salinas vd., 2011, Wu vd., 2013, Atkinson vd., 2016, Srinath vd., 2020).

Bu nedenle bu çalışmada mezogözenekli biyoaktif bakır ve/veya çinko yüklemeli kalsiyum silikat malzemeler basit ve çevre dostu sentez yöntemi ile sentezlenmiştir. Bakır ve çinkonun ikili kombinasyonlarının MBS özellikleri üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışma bulunmaması mevcut çalışmaya artı bir değer katmaktadır. Sentez şartlarının, ürünlerin yüzey fonksiyonel grupları üzerine etkileri FTIR analiz tekniği ile biyolojik aktivite üzerinde etkileri ise yapay vücut sıvısında test edilerek belirlenmiştir.

MALZEME ve METOT

Kimyasallar

Mezogözenekli biyoaktif silikat (MBS) ve tekli ve ikili kombinasyonlarda bakır ve/veya çinko yüklemeli mezogözenekli biyoaktif silikat (M/MBS, M=Cu, Zn veya Cu/Zn) malzemelerin sentez sürecinde setil trimetilamonyum bromür [CTAB, $C_{19}H_{42}BrN$], poli(etilenglikol) metil eter [PEG, $CH_3(OCH_2CH_2)_nOH$], tetraetil ortosilikat [TEOS, $Si(OC_2H_5)_4$], trietil fosfat [TEP, $(C_2H_5O)_3PO$], kalsiyum nitrat [$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$], bakır nitrat [$Cu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$], çinko nitrat [$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$], sitrik asit ($C_6H_8O_7$) ve sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Bütün kimyasallar Sigma-Aldrich'ten sağlanmış ve saflaştırılmadan kullanılmıştır. Çözeltilerin hazırlanmasında ultra saf su kullanılmıştır.

Kullanılan Aletler ve Cihazlar

Mezogözenekli biyoaktif silikat malzemeleri hazırlama sürecinde ısıtma ve karıştırma işlemlerinde Heidolph MR 3001 model ve Labart SH5 model ısıtmalı manyetik karıştırıcılar kullanılmıştır. Tüm tartımlar AND marka hassas terazi ile yapılmıştır. Hazırlanan karışımların homojenizasyonu Bandelin Sanorex banyo tipi ultrasonikatör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen malzemelerin kurutulmasında Nüve FN 300 model etüv, kalsine edilmesinde ise Prometheus RMP-8 model kül fırını kullanılmıştır. Biyolojik aktivite çalışmalarında Memmert WB 22 model çalkalamalı su banyosu kullanılmıştır. pH ölçümleri WTW İmolab pH 720 model pH-metre ile gerçekleştirilmiştir. Ayırma işlemlerinde Hettich marka Universal 320 model santrifüj kullanılmıştır.

Malzeme Sentezi

Mezogözenekli biyoaktif silikat sentez çalışmaları CTAB ve PEG gözenek yönlendirici şablonları kullanılarak ve fosfor ilavesi yapılarak Anand vd. (2019)'nin yaptığı çalışma modifiye edilerek yürütülmüştür (Şekil 1). Sentezlerde hidrotermal yöntem (CTAB kullanıldığında) ve sol-jel yöntemi (PEG kullanıldığında) olmak üzere iki farklı sentez yöntemi kullanılmıştır. MBS sentezinde Si/Ca/P kütle oranı 60/35/5, metal yüklemeli MBS sentezinde ise Si/Ca+M/P (M=Cu, Zn ve Cu/Zn) kütle oranı 60/35/5 olarak alınmıştır.

CTAB gözenek yönlendiricinin kullanıldığı MBS sentezinde; 100 mL suya 2,64 g CTAB ve 3,5 mL 2 M NaOH eklenmiş ve 30 dakika manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Karıştırmanın ardından örnekler 30 dakika 40 °C

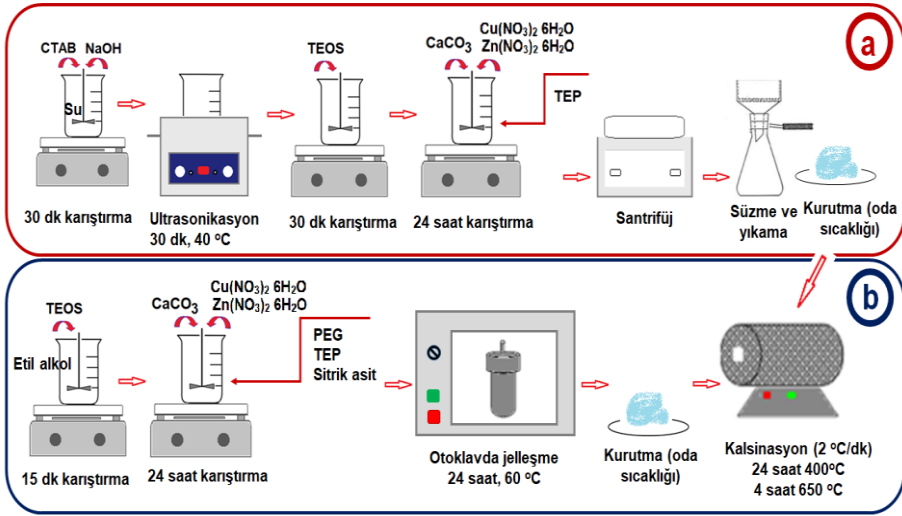
ultrasonik banyoda bekletilmiş ardından 11,2 g TEOS eklenip 30 dakika daha karıştırılmıştır. 15 dakika aralıklarla belirlenen miktarlarda TEP ve kalsiyum nitrat ilave edilmiş ve 24 saat manyetik karıştırıcıda karıştırmaya bırakılmıştır. Daha sonra katı faz santrifüj ile sıvı fazdan ayrılmış ve üç kez saf su ile yıkandıktan sonra elde edilen ürün ortam sıcaklığında kurutulmuştur. Kuruyan malzeme iki basamaklı ısıtma işlemi i) 2°C/min ısıtma hızında 400°C'ye ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 2 saat ii) 2°C/min ısıtma hızında 650°C'ye ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 4 saat kalsine edilmiştir. Elde edilen numune MBS-CTAB olarak kodlanmıştır.

PEG gözenek yönlendiricinin kullanıldığı MBS sentezinde, CTAB kullanılarak sentezlenen ürünler için belirtilen oranlarda sentezler yürütülmüştür. 30 mL etil alkol içine 12,90 mL TEOS ilave edilmiş ve 15 dakika karıştırıldıktan sonra Si/Ca/P kütlece oranları 60/35/5 olacak şekilde 20 dakika aralıklarla sırasıyla kalsiyum nitrat, PEG, TEP ve sitrik asit ilavesi yapılmıştır. Hazırlanan karışımlar 24 saat daha karıştırıldıktan sonra jel oluşumu için kapaklı kaplarda 60°C'de etüvde 24 saat bekletilmiştir. Elde edilen ıslak jeller ortam sıcaklığında kuruyuncaya kadar bekletilmiştir. Kalsinasyon işlemi MBS-CTAB sentezinde yapıldığı şekilde uygulanmıştır. Bu numune MBS-PEG olarak kodlanmıştır.

CTAB ve PEG gözenek yönlendiricinin kullanıldığı metal yüklemeli MBS sentezlerinde ise, Ca+M toplamı kütlece 35 olacak şekilde sabit tutulmuş, Cu, Zn ve Cu/Zn oranı 3 olarak alınmıştır. Bakır nitrat ve/veya çinko nitrat metal kaynakları sentez çözeltisine kalsiyum nitrat ilavesinden hemen sonra eklenmiş ve MBS-CTAB ve MBS-PEG sentez adımları aynen takip edilmiştir. Benzer şekilde elde edilen ürünlerin kurutma ve kalsinasyon işlemleride aynen uygulanmıştır. Metal yüklemeli numunelerin kodlamaları CTAB kullanıldığında Cu@MBS-CTAB, Zn@MBS-CTAB, Cu/Zn@MBS-CTAB şeklinde, PEG kullanıldığında Cu@MBS-PEG, Zn@MBS-PEG Cu/Zn@MBS-PEG şeklinde kodlanmıştır.

Karakterizasyon Çalışmaları

Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi (FTIR) spektrumları Perkin Elmer Frontier model FTIR cihazı ile elde edilmiştir. Analizler oda sıcaklığında, KBr pellet tekniği ile 4 cm⁻¹ çözünürlükte, 4000-400 cm⁻¹ orta infrared bölgesinde, 2 cm⁻¹ aralıklarla 16 tarama sayısıyla yapılmıştır. Yapay vücut sıvısında 28 gün bekletilen örnekler için aynı koşullarda FTIR analizleri yürütülmüştür.



Şekil 1. MBS ve metal@MBS malzemelerinin sentez prosedürünün şematik gösterimi (a) Hidrotermal metot (b) Sol-jel metot

Yapay Vücut Sıvısında (in vitro) Biyolojik Aktivite Çalışmaları

Sentezlenen malzemelerin biyolojik aktiviteleri Kokubo ve Takadama, 2006 tarafından önerilen reçeteye göre hazırlanan yapay vücut sıvısında (Simulated Body Fluid, SBF, pH 7.4, $T=37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $V_{\text{SBF}}/m_{\text{MBG}}=200\text{ mL/g}$) 28 gün bekletilmeleri sürecinde yüzeylerinde hidroksiapatit oluşumu ile değerlendirilmiştir. SBF’de bekletilen örnekler SBF’den süzme ile ayrıldıktan sonra su ile yıkanmış ve $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de 24 saat kurutulmuştur. Hidroksiapatit oluşumunu doğrulamak için FTIR analizleri yapılmıştır.

Numuneler yapay vücut sıvısında 28 gün bekletildikten sonra SBF’nin pH değerleri ölçülerek hidroksiapatit oluşumları incelenmiştir (Punj ve Singh 2020).

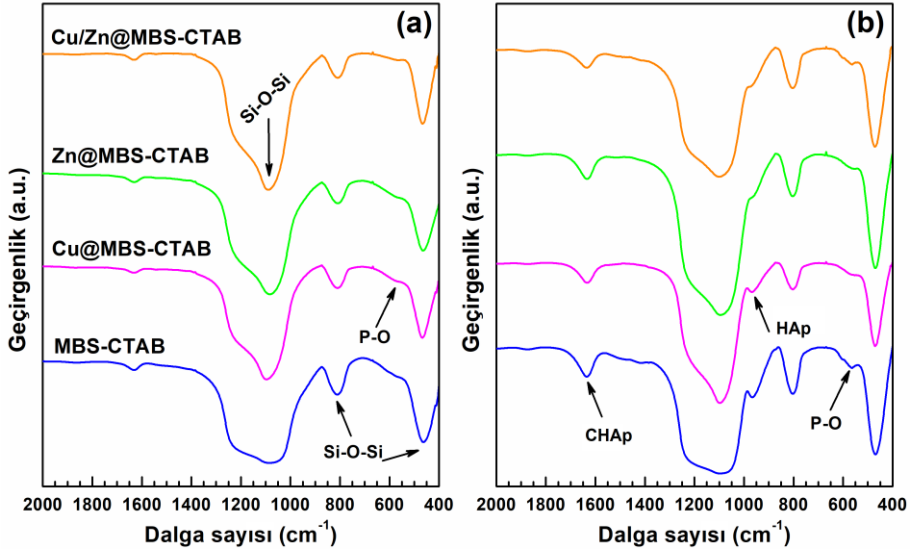
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Fosfor Katkılı Mezogözenekli Biyoaktif Silikat Malzemelerin Karakterizasyonu ve Biyolojik Aktivite Sonuçları

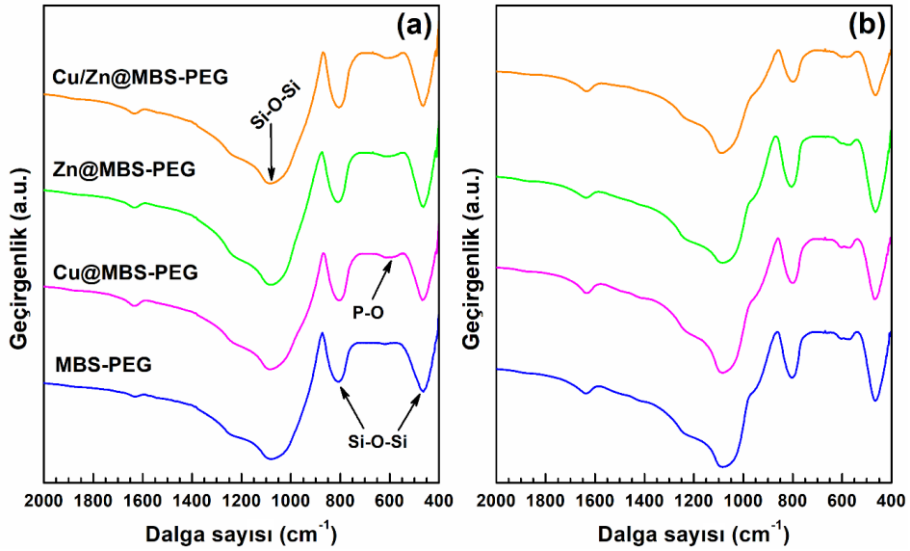
CTAB ve PEG gözenek yönlendiriciler kullanılarak fosfor katkı mezogözenekli biyoaktif silikat ve bakır ve/veya çinko yüklemeli mezogözenekli biyoaktif silikat örneklerin FTIR spektrumları sırasıyla Şekil 2a ve Şekil 3a’de verilmiştir. MBS-CTAB (Şekil 2a) ve MBS-PEG (Şekil 3a) örneklerinin FTIR spektrumlarında 1092 cm^{-1} , 794 cm^{-1} ve 468 cm^{-1} dalga sayılarında elde edilen pikler Si-O gruplarının 3 karakteristik pikini

göstermektedir (Li vd., 2008b). Yüzey veya adsorbe edilmiş sudan kaynaklanan OH gerilim titreşim piki düşük şiddetli olarak bütün örneklerde gözlenmiştir (Anand vd., 2019). Diğer taraftan $\sim 550\text{--}570\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlen bant P-O bağının antisimetrik titreşimini göstermektedir (Anand vd., 2019, Punj ve Singh 2020). Kullanılan gözenek yönlendirici türüne bağlı olmaksızın bütün örneklerde $400\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı aralığında gözlenen geniş bantlar düzensiz silikat ağ yapısının oluştuğuna işaret etmektedir (Ma vd., 2018). Ayrıca her iki gözenek yönlendirici ile gerçekleştirilen sentezlerde yapıya metal yüklemenin silikat ağ yapısında ilave değişiklikler oluşturmadığı gözlenmiştir. 1630 cm^{-1} 'de elde edilen pik yapıdaki suyun varlığını göstermektedir (Punj ve Singh 2020).

Örneklerin yapay vücut sıvısında 28 gün bekletildikten sonraki FTIR spektrumları Şekil 2b ve Şekil 3b'de verilmiştir. Yapay vücut sıvısında 28 gün bekletilen CTAB bazlı örneklerde 977 , 806 ve 565 cm^{-1} dalgasayılarında hidroksiapatitten kaynaklanan düşük şiddetli piklerin varlığı görülmüştür (Tas 2000; Salinas vd., 2011; Koohkan vd., 2017; Babu vd., 2019). PEG bazlı örneklerin FTIR spektrumlarında hidroksiapatit oluşumundan kaynaklanan pikler 605 ve 579 cm^{-1} dalga sayılarında çok düşük şiddetli olarak gözlenmiştir. Ayrıca her iki gözenek yönlendirici ile hazırlanan örneklerin yapay vücut sıvısında 28 gün bekletildikten sonraki FTIR spektrumlarında (Şekil 2b, 3b) bekletilmeden önceki FTIR spektrumlarından farklı olarak 1640 cm^{-1} de gözlenen pik şiddetlerinin arttığı görülmüştür. Bu artış CTAB bazlı ürünlerde daha belirgin iken PEG bazlı ürünlerdeki artışın daha az olduğu gözlenmiştir. 1640 cm^{-1} dalga sayısında gözlenen bu pikin varlığı mezogözenekli biyoaktif silikat malzemelerin yüzeyinde karbonat hidroksiapatit (CHAp) oluşumunu göstermektedir.



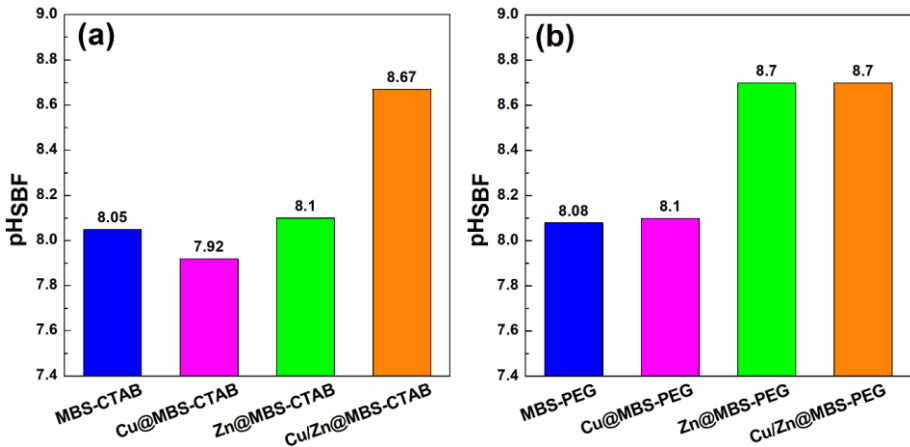
Şekil 2. CTAB Kullanılarak Sentezlenen Malzemelerin FTIR Spektrumları (a) Yapay Vücut Sıvısında 28 Gün Bekletilmeden Önce (b) Yapay Vücut Sıvısında 28 Gün Bekletildikten Sonra



Şekil 3. PEG Kullanılarak Sentezlenen Malzemelerin FTIR Spektrumları (a) Yapay Vücut Sıvısında 28 Gün Bekletilmeden Önce (b) Yapay Vücut Sıvısında 28 Gün Bekletildikten Sonra

Örneklerin yapay vücut sıvısında 28 gün bekletildikten sonraki pH değişimleri Şekil 4'de görülmektedir. pH değişiminin örnek yüzeylerinde

hidroksiapatit tabakasının oluşumuyla ilişkili ardışık adımlarda meydana geldiği bilinmektedir. 28 günlük bekletme sonrasında SBF'deki pH değeri, MBS-CTAB, Cu@MBS-CTAB, Zn@MBS-CTAB ve Cu/Zn@MBS-CTAB için sırasıyla maksimum 8,05, 7,92, 8,10 ve 8,67 değerlerine ulaşmıştır (Şekil 4a). Benzer şekilde MBS-PEG, Cu@MBS-PEG, Zn@MBS-PEG ve Cu/Zn@MBS-PEG için sırasıyla maksimum 8,08, 8,10, 8,70 ve 8,70 değerlerine ulaşmıştır (Şekil 4b). Örneklerin SBF'deki çözünme hızı, farklı bağlanma kuvveti ve karakterine sahip farklı metal ve katyonların varlığından etkilenmektedir. Ortama salınan katyonlar SBF çözeltisinin H^+ iyonları ile yer değiştirerek hidroksil derişiminde (OH^-) bir artışa, yani SBF'nin pH'ında bir artışa yol açmıştır (Punj ve Singh 2020). PEG kullanılan örneklerde SBF'nin pH değerleri daha yüksek elde edilmiş buda çökeltmenin daha fazla olduğu dolayısıyla hidroksiapatit oluşumunun daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca gözenek yönlendirici etkisine bakılmaksızın metal türü ve metallerin kullanım şeklinin (tekli ve ikili) pH değişimi üzerinde etkili olduğu, özellikle Zn ve Cu/Zn kullanılan örneklerin daha yüksek pH değişimi sergilediği görülmüştür.



Şekil 4. (a) CTAB ve (b) PEG Kullanılarak Sentezlenen Malzemelerin Yapay Vücut Sıvısında 28 Gün Bekletildikten Sonra pH Değerleri (Başlangıç pH=7.4)

SONUÇ

Mezogözenekli biyoaktif silikat, bakır, çinko ve bakır/çinko kombinasyonlu metal yüklemeli mezogözenekli biyoaktif silikat malzemeler CTAB ve PEG olmak üzere iki farklı gözenek yönlendirici kullanarak ve fosfor katkılandırılarak hazırlanmış, karakterize edilmiş ve biyolojik aktiviteleri yapay vücut sıvısında 28 gün bekletilerek in vitro incelenmiştir. Sentezlenen örneklerin FTIR spektrumlarında silikatlar için karakteristik bantların varlığı

mezogözenekli silikatların oluştuğunu göstermiştir. PEG gözenek yönlendirici kullanılarak sentezlenen ürünlerin biyolojik aktivitelerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Metal yüklemeli ürünlerin biyolojik aktiviteleri karşılaştırıldığında Zn ve Cu/Zn yüklenen örneklerin biyolojik aktivitesinin bakır veya çinkonun tekli yüklendiği ürünlerden daha yüksek olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 0581-YL-2019 nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Anand A., Lalzawmliana V., Kumar V., Das P., Devi KB., Maji AK., Kundu N., Roy M., Nandi S.K. (2019). Preparation and in vivo biocompatibility studies of different mesoporous bioactive glasses. *Journal of The Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 89, 89-98.
- Atkinson, I., Anghel, E. M., Predoana, L., Mocioiu, O. C., Jecu, L., Raut, I., Zaharescu, M. (2016). Influence of ZnO addition on the structural, in vitro behavior and antimicrobial activity of sol-gel derived CaO-P2O5-SiO2 bioactive glasses. *Ceramics International*, 42, 3033-3045.
- Babu, M. M., Prasad, P. S., Rao, P. V., Govindan, N. P., Singh, R. K., Kim, H. W., Veeraiah, N. (2019). Titanium incorporated Zinc-Phosphate bioactive glasses for bone tissue repair and regeneration: impact of Ti4+ on physico-mechanical and in vitro bioactivity. *Ceramics International*, 45, 23715-23727.
- Baino, F. (2020). Copper-doped ordered mesoporous bioactive glass: a promising multifunctional platform for bone tissue engineering”, *Bioengineering*, 7(2), 45).
- Ding, J., Zhao, J., Wang, L., Chen, X., Jiang, D., Qin, M., Jia, W. (2023). Regulated contribution of local and systemic immunity to new bone regeneration by modulating B/Sr concentration of bioactive borosilicate glass, *Materials Today Bio*, 19, 100585.
- Ersöz Güngör, F., Karasu, B. (2020). Biyo-seramik bileşimine silisyum katkısının osteokondüktif ve osteoindüktif özelliklere etkisi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 724-742.
- Ha, S. W., Weiss, D., Weitzmann, M. N., & Beck Jr, G. R. (2019). Applications of silica-based nanomaterials in dental and skeletal biology. In *Nanobiomaterials in Clinical Dentistry* (pp. 77-112). Elsevier.
- Hildebrand, H. F. (2013). Biomaterials—a history of 7000 years. *BioNanoMaterials*, 14(3-4), 119-133.
- Heras, C., Jiménez-Holguín, J., Doadrio, A. L., Vallet-Regí, M., Sánchez-Salcedo, S., Salinas, A.J. (2020). Multifunctional antibiotic-and zinc-containing mesoporous bioactive glass scaffolds to fight bone infection. *Acta Biomaterialia*, 114, 395-406.
- Jiménez-Holguín, J., Sánchez-Salcedo, S., Vallet-Regí, M., Salinas, A. J. (2020). Development and evaluation of copper-containing mesoporous bioactive glasses for bone defects therapy. *Microporous and Mesoporous Materials*, 308, 110454.

- Kim, M. J., Sun, X. S. (2014). Adhesion properties of soy protein crosslinked with organic calcium silicate hydrate hybrids. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(17).
- Kokubo, T., Takadama, H. (2006). How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity? *Biomaterials*, 27, 2907-2915.
- Koohkan, R., Hooshmand, T., Tahriri, M., Mohebbi-Kalhari, D. (2018). Synthesis, characterization and in vitro bioactivity of mesoporous copper silicate bioactive glasses. *Ceramics International*, 44, 2390-2399.
- LeGeros, R. Z. (2008). Calcium phosphate-based osteoinductive materials. *Chemical reviews*, 108(11), 4742-4753.
- Leng, D., Li, Y., Zhu, J., Liang, R., Zhang, C., Zhou, Y., Mingming, L., Ying, W., Di, R., Daming, W., Li, J. (2020). The antibiofilm activity and mechanism of nanosilver-and nanozinc-incorporated mesoporous calcium-silicate nanoparticles. *International Journal of Nanomedicine*, 15, 3921-3936.
- Li, X., Wang, X., He, D., Shi, J. (2008b). Synthesis and characterization of mesoporous $\text{CaO-MO-SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ (M= Mg, Zn, Cu) bioactive glasses/composites. *Journal of Materials Chemistry*, 18, 4103-4109.
- Ma, J., Huang, B.X., Zhao, X. C., Ban, C.L., Han, X.H., Wang, C. Z. (2018). Substitutions of zinc in mesoporous silicate-based glasses and their physicochemical and biological properties. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 491, 98-105.
- Namdar, A., Salahinejad, E. (2023). “Advances in ion-doping of Ca-Mg silicate bioceramics for bone tissue engineering”. *Coordination Chemistry Reviews*, 478, 215001.
- Neščáková, Z., Zheng, K., Liverani, L., Nawaz, Q., Galusková, D., Kaňková, H., Michálek M., Galusek D., Boccaccini, A. R. (2019). Multifunctional zinc ion doped sol-gel derived mesoporous bioactive glass nanoparticles for biomedical applications. *Bioactive materials*, 4, 312-321.
- Punj S., Singh K. (2020). Bioactive calcium silicate glass synthesized from sustainable biomass wastes, *Biofuels*, *Bioprod. Bioref.* 14:1141–1151.
- Salinas, A.J., Shruti, S., Malavasi, G., Menabue, L., Vallet-Regí, M. (2011). Substitutions of cerium, gallium and zinc in ordered mesoporous bioactive glasses. *Acta Biomaterialia*, 7, 3452-3458.
- Sathain, A., Monvisade, P., Siriphannon, P. (2021). Bioactive alginate/carrageenan/calcium silicate porous scaffolds for bone tissue engineering, *Materials Today Communications*, 26, 102165.

- Srinath, P., Abdul Azeem, P., Venugopal Reddy, K. (2020). Review on calcium silicate-based bioceramics in bone tissue engineering. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 17, 2450-2464.
- Tas, A.C. (2001). X-ray diffraction data for flux-grown calcium hydroxyapatite whiskers. *Powder Diffraction*, 16, 102-106.
- Tomul, F., Arslan, Y., & Tran, H. N. (2019). Metal-loaded carbonated mesoporous calcium silicates: synthesis, characterization, and application for diclofenac removal from water. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(48), 22084-22093.
- Wu, C., Zhou, Y., Xu, M., Han, P., Chen, L., Chang, J., Xiao, Y. (2013). Copper-containing mesoporous bioactive glass scaffolds with multifunctional properties of angiogenesis capacity, osteostimulation and antibacterial activity. *Biomaterials*, 34, 422-433.
- Zhu, Y., Zhu, M., He, X., Zhang, J., Tao, C. (2013). Substitutions of strontium in mesoporous calcium silicate and their physicochemical and biological properties. *Acta Biomaterialia*, 9, 6723-6731.
- Zhu, J., Liang, R., Sun, C., Xie, L., Wang, J., Leng, D., Liu, W. (2017). Effects of nanosilver and nanozinc incorporated mesoporous calcium-silicate nanoparticles on the mechanical properties of dentin. *PloS one*, 12, e0182583.
- Zhu, Z., Wang, Z., Zhou, Y., Wei, Y., She, A. (2021). Synthesis and structure of calcium silicate hydrate (CSH) modified by hydroxyl-terminated polydimethylsiloxane (PDMS). *Construction and Building Materials*, 267, 120731.

Bölüm 9

VOLKANİK KAYAÇLARIN ISIL İŞLEM SONRASI KAYMA DİRENCİNİN ARAŞTIRILMASI

Gencay SARIİŞİK¹, Gültekin ÇOŞKUN²

1. GİRİŞ

Ülkemizde farklı orijinlere sahip birçok kayaç türü, doğal kaplama ve yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Doğal taşlar metamorfik, sedimanter ve magmatik kökenli kayaçlar olarak sınıflandırılmaktadır. Andezit ve bazalt türü kayaçlar magmatik kökenli kayaçların alt grubu olan volkanik kayaçlar içerisinde yer almaktadır. Bu kayaçlar kaldırımlarda özellikle mimaride dış zemin ve cephe kaplaması olarak kullanılmaktadır (Şentürk et al. 1996; Kulaksız, 2007). Türkiye'nin birçok ilinde (Ankara, Afyon, Kütahya, Çorlu, Elazığ, Gaziantep, Kastamonu, Kahramanmaraş, Sivas, Diyarbakır, Şanlıurfa gibi) volkanik kayaç rezervi bulunmaktadır. Özellikle Diyarbakır-Şanlıurfa ovasında 1.5 trilyon m³ rezerve sahiptir (Erkan 1995).

Volkanik kayaçları mineralojik ve petrografik özelliklerine bakıldığında plajioklas, piroksen ve biyotit mineralleri içermektedir (Williams ve ark., 1982; Koca ve ark., 2001; Aydar ve ark., 1998; 2003). Kimyasal mineral bileşiminde bazalt kayaçları yaklaşık %50 SiO₂ andezit kayaçları yaklaşık % 60 SiO₂ içermektedir. Bazalt ve andezitlerin büyük çoğunluğu porfirik ve akma dokuludur. Bu kayaçların karakteristik özelliklerine göre yapı ve dolgu malzemesi olarak kullanıldığı gibi kompozit malzeme ve mineral yünü üretiminde kullanılmaktadır (Erkan 2006; Beall ve Rittler 1976; Yılmaz 1996; Znidarsic ve Kolar 1991; Karamanov ve ark., 2009).

Son yıllarda doğaltaş sektöründe hammaddelerin kontrolsüz kullanımı ve her geçen gün rezervin azalması yeni doğal ürünlerin araştırılmasına neden olmuştur. Bu alanda yapılan çalışmalarda iç ve dış mekanlarda kullanılabilecek alternatif ürünlerin tasarımı ve üretimine yönlendirmiştir. Geçmiş yıllarda volkanik kayaçların sır ve seramik bünye karışımında kullanımı ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır (Çetin ve Kılınç 2004; Cetin ve ark., 2007; Çetin ve ark., 2015;

¹ Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Şanlıurfa / Türkiye, e-mail: gsariisik@gmail.com, Orcid No: 0000-0002-1112-3933

² Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas MYO, Şanlıurfa / Türkiye, e-mail: coskunc@gmail.com, Orcid No: 0000-0002-4182-2372

Prstić ve ark., 2007; Andrić ve ark., 2012; Fomichev ve ark., 2010; Levitskii ve ark., 2013; Vichaphund ve ark., 2016). Bu çalışmalardan yola çıkarak volkanik kayaçların ısıtma işlemi karşı dayanımından yararlanılarak volkanik kayaçların yüzeyleri sırlanarak doğaltaş seramik ürünleri imal edilmiştir (Sarışık 2010; Sarışık ve ark., 2011; Sarışık ve ark., 2013).

Ülkemizde 07 Temmuz 2015 tarihinde Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren 5378 sayılı Engelliler Hakkında Kanun ile özellikle ıslak ortamda kullanılan zemin kaplamalarının ve eğimli rampaların kaymaz özellikte olması istenmektedir. Buradan yola çıkarak, son dönemde çıkan yasa ve yönetmelikler çerçevesinde zemin kaplamalarında kullanılacak zemin kaplamalarının kayma tehlikelerinin üreticiler tarafından son kullanıcıya bildirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu kanun ve yönetmeliklere mimarların, inşaat sektörünün, belediyelerin ve ilgili tüm özel ve kamu kurumlarının uyması artık yasal bir zorunluluk olmuştur (Çoşkun 2013; Çoşkun vd, 2017; Çoşkun 2018; Çoşkun vd, 2020).

Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda, yürüme alanlarda kayma vakalarının başta çevresel faktörler olmak üzere, kişi, zaman, sıcaklık, aydınlatma, zemin özellikleri, ayakkabı tabanı ile ortamın koşullarından kaynaklandığı belirtilmiştir (Kim 2001). Ayrıca, yayaların yaya yürüme yollarında meydana gelen kazaların artmasından dolayı zemin kaplamalarının kayma tehlikelerinin belirlenmesi çalışmaları büyük önem kazanmıştır (Adams, 1997). Bazı araştırmacılar tarafından kayma direncinin, çıplak ayak ve ayakkabı tabanı ile yaya yürüme zemin kaplaması yüzeyinin etkileşiminden kaynaklandığı tespit edilmiştir (Grönqvist, 1995; Grönqvist vd, 1999; Kim, 1996; Chang, 1999; Chang ve Matz 2001; Chang vd, 2001; Mannig vd, 1998; Sarışık 2009; Çoşkun vd, 2017).

Bu çalışmada, kuru ve ıslak ortamlarda yüzeyi honlu ve ısıtma işlemi sonrası sır ile kaplanmış volkanik kayaç örnekleri Pandül (Sarkaç) cihazı kullanılarak, kayma risklerinin (potansiyelinin) belirlenmiştir. Değerlendirmede TS EN 16165 Ek-C standardına göre çalışan taşınabilir ölçekli pandül test cihazı kullanılarak volkanik kayaç örneklerinin kayma direnci değerleri ölçülmüştür. Bu deneyler, volkanik kayaçların en çok kullanılan yüzey biçimi olan honlu örnekleri yanında ısıtma işlemi ile yüzeyi sırlanan yeni ürünler üzerinde de gerçekleştirilmiştir. Yüzeyi honlu kayaçların kuru ve ıslak zeminlerde kayma direnci düşük olduğu için güvenli bir şekilde kullanılabilir. Yeni ürün olarak ısıtma işlemi sonrası yüzeyi sır ile kaplandığı zaman piyasada yaygın olarak kullanılan zemin seramik karolarına göre kayma direncinin kuru ve ıslak zeminlerde daha güvenli olduğu belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Afyonkarahisar-İscehisar yöresinde ocaklarından elde edilen volkanik kayalar plaka haline getirilmiştir. Seramik malzeme yerine volkanik doğal taş kullanılmıştır. Kullanılan volkanik doğaltaş plakaları üzerine Na-feldspat, K- feldspat, kuvars, yıkanmış uşak kaoleni, üleksit ve kurşun oksit içeren sır reçetesi yapılmıştır. Volkanik kayaç üzerine sırlama işlemi pistole yardımı ile yüzeye uygulanmıştır. Yüzeyi sırlanmış kayaç plakaları elektrikli kamara tipi fırında 1000 °C’de ısıtılarak işlem uygulanmıştır. Volkanik kayaçların honlu ve sırlanmış yüzeylerinin kuru ve ıslak ortamda kayma direnci değerleri ölçülmüştür. Elde edilen kayma direnci değerlerine göre güvenlik sınıflaması yapılmıştır. Deneylerde kullanılan zemin kaplamalarının türü ve yüzey işlemleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan zemin kaplaması türü ve yüzey işleme

Zemin Kodu	Zemin Kaplama Türü	Yüzey İşlemi
A1	Andezit	Honlu
A2	Andezit	Sırlı
A3	Seramik	Cilalı

Bu çalışmada zemin kaplamalarından andezitlerin mineralojik ve petrografik özellikleri, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Zemin kaplamalarının kayma direncinin belirlenmesinde Ulusal Zemin Güvenliği Enstitüsü (UZGE), laboratuvarında bulunan pandül test cihazı saha ölçüm çalışmalarında kullanılmıştır. Pandül test cihazı, zemin kaplaması ve kaydırıcı yüzey arasındaki sürtünmeyi ölçmek ve bir güvenlik sınıflaması yapmak üzere tasarlanmış bir cihazdır. Pandül test cihazı TS EN 16165 Ek-C standardına göre çalışan bir test cihazı olup, kuru ve ıslak ortamda ölçüm yapmaktadır (Şekil 2).



Şekil 1. Pandül test cihazı

Zemin kaplama örnekleri test işlemlerine başlamadan önce yüzeyleri bir fırça ile temizlenir ve standartta yazan ortam sıcaklıkları dikkate alınarak ölçümler yapılır. İlgili standartta yazan ölçüm kurallarına göre test cihazı ayarlanır ve ölçümler kuru ve ıslak ortamda yapılır. Zemin kaplama örnekleri standartta yazan test ölçüm kurallarına göre kuru ve ıslak ortamda ölçümleri yapılmaktadır. Bu ölçümler doğal taş örneklerinin 180° döndürülüp sonra yeniden bütün işlemler tekrar kontrol edilerek tekrarlanır. Çizelge 2’de verilen sınıflama deney sonucunda elde edilen verilerin kayma potansiyelinde kullanılmıştır.

Çizelge 2.Pandül deney metoduna göre kayma potansiyelinin sınıflandırması
(TS EN 16165 Ek-C)

Sınıflama	Pandül Değeri	Kayma Potansiyeli
P5	> 54	Çok Düşük
P4	45-54	Düşük
P3	35 - 44	Orta Düşük
P2	25 - 34	Orta
P1	12-24	Yüksek

Pandül test değerinde elde edilen kayma direnci (PTV) aşağıdaki formül kullanılarak sürtünme katsayısına (COF) çevrilmiştir.

$$\mu = \left[\frac{110}{PTV} - \frac{1}{3} \right]^{-1}$$

(1)

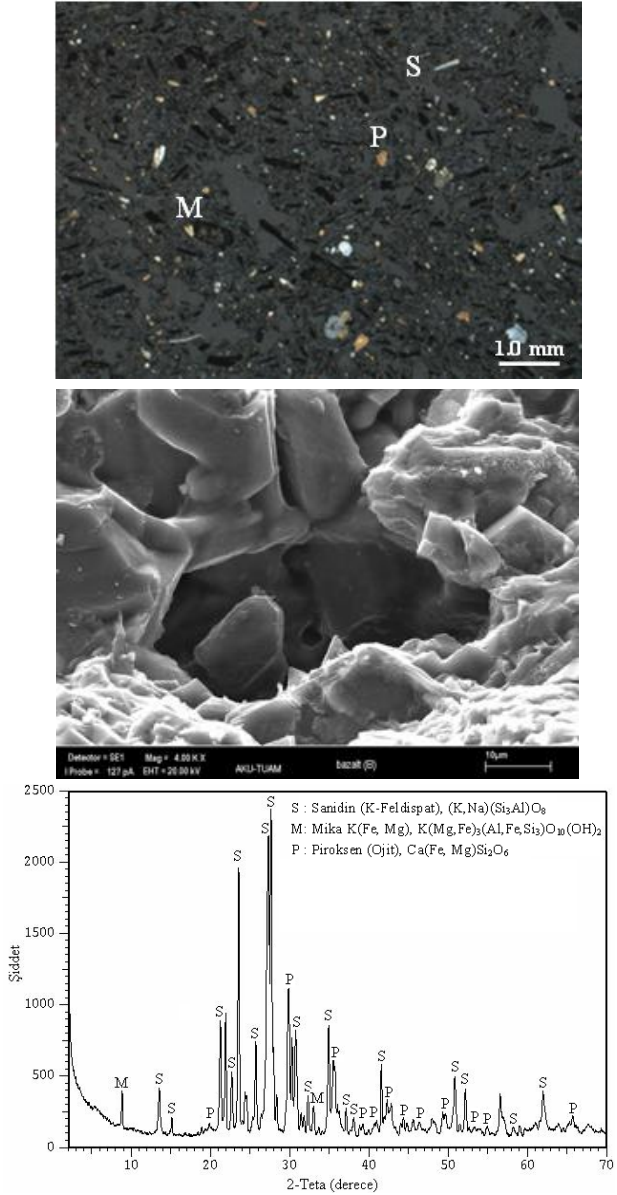
3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

3.1. Volkanik Kayaçların Karakteristik Özellikleri

Çalışmada volkanik kayaç örneklerinin mineralojik özellikleri incelenerek mineral bileşimi ince kesitte, XRD difraksiyonu analizi ile mineralojik bileşimleri, SEM analizi ile mikro yapısı Şekil 2’de verilmiştir.

Şekil 2. Volkanik kayaç örneğinin ince kesit görünümü (Tek Nikol, X5), XRD difraksiyonu ve SEM görüntüsü (Sarıışık 2010)

Volkanik kayaç örneği, porfirik dokulu olup, ince ve yer yer de orta taneli, plajiyok, biyotit, piroksen ve olivin mineralleri içermektedir. Volkanik kayaçların XRD analizinde $2\theta=20^{\circ}-40^{\circ}$ pik arasında sanidin minerali, $2\theta=8^{\circ}-35^{\circ}$ arasında mika ve $2\theta=20^{\circ}-70^{\circ}$ arasında piroksen minerali bulunmuştur. Kayaçlarda SEM analizinde tanecikler arasında 20-1000 μm gözenekler görülmektedir.

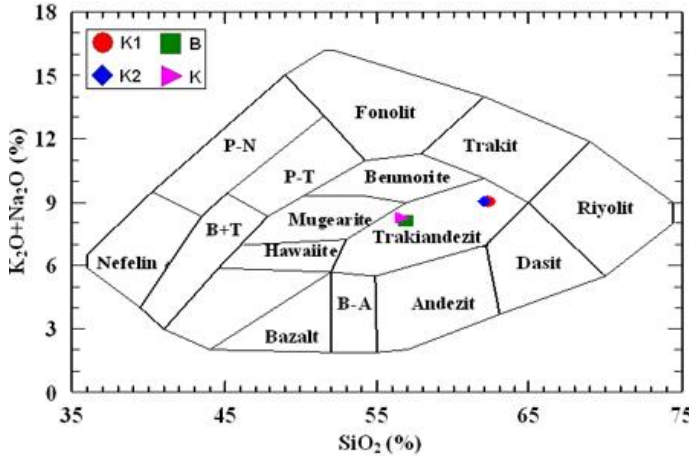


Volkanik kayaç örneklerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Volkanik kayaç örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal Bileşen	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO
Yüzdelik Değeri	56,90	14,84	5,65	3,83	6,17
	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
	2,59	5,55	1,24	0,93	0,09

Volkanik kayaç örneklerinde SiO_2 ve $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ diyagramları analiz edilmiştir (Şekil 3). Bu analize göre kayaç örneklerinin trakiandezit bileşiminde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.
Volkanik
kayaçların
 SiO_2 -
($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$)
diyagramı (Le
Bas ve ark.,
1986)

Kayaçların yüksek sıcaklığa karşı gösterdiği değişimi görebilmek için ısıtım işlem öncesi ve sonrası fiziksel ve mekanik özellikleri test edilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Kayaçların ısıtım işlem öncesi ve sonrası fiziksel ve mekanik özellikleri

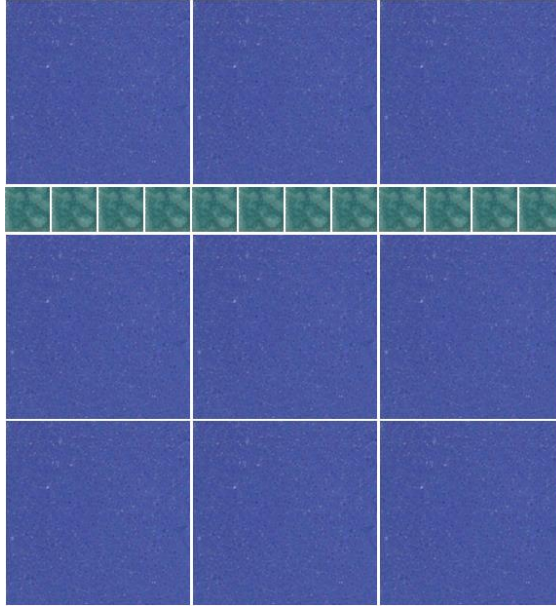
Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	Isıtım İşlem Öncesi	Isıtım İşlem Sonrası
Özgül ağırlık (g/cm^3),	2,66	2,65
Porozite (%),	10,34	10,08
Su Emme (%),	4,90	4,80
Basınç Dayanımı (MPa),	46,24	59,21
Eğilme Dayanımı (MPa),	11,75	12,68
Çarpma Dayanımı (kPa)	9,98	10,75

Kayaçların ısıtım işleminde yüksek sıcaklığın etkisi ile özgül ağırlık, porozite ve su emme değerleri düşerken basınç, eğilme ve çarpma dayanımı değerleri yükselme görülmektedir.

3.2. Sır Uygulamaları

Bu çalışmada iç ve dış mekânlarda kullanılan volkanik kayaçlarda yüzey kayacı olan andezit-bazalt türü taşların, alternatif doğal sır hammaddeleri kullanılarak sırlanmıştır. Daha sonra 1000°C 'de elektrikli ve doğalgazlı kamara tipi seramik, tünel fırınlarında kademeli olarak pişirim işlemi gerçekleştirilerek, yeni ürün doğal taş seramikleri sanatsal ve dekoratif amaçlı kullanıma sunulmuştur. Pişirim sıcaklığı 1160°C - 1200°C 'de yapılan ilk uygulamalar bor türevi olan üleksit minerali % 10-55 arasında kullanılarak 1000°C 'ye kadar

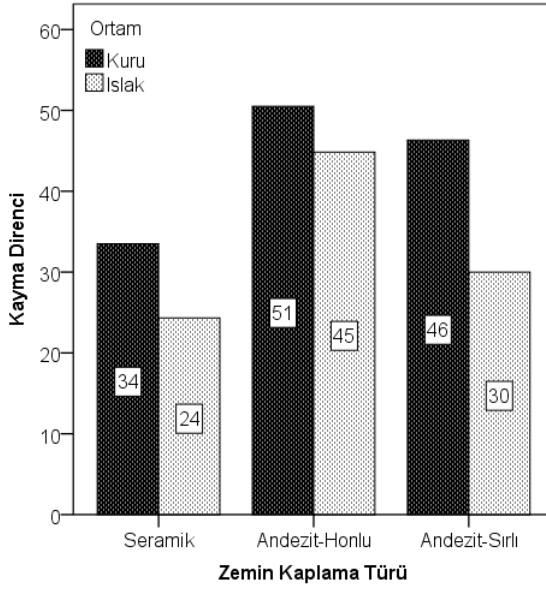
düşürülmüştür. Bu uygulama çalışmaları bor türevlerinin sinterleme sıcaklığını düşürdüğü tespit edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Doğal taş seramiğinin duvar karosu uygulaması

3.3. Kuru ve Islak Ortamda Zemin Kaplamalarının Kayma Dirençlerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada zemin kaplaması olarak kullanılan seramik, andezit ve andezit sırlı ürünlerin pandül test cihazı kullanılarak kuru ve ıslak ortamda zemin kaplamalarının kayma direnci değerleri ölçülmüştür. Her bir bölümde yapılan ölçümlerde, zemin kaplamaları altı defa ölçülmüş ve aritmetik ortalama değerleri alınarak yapılan istatistiksel analiz sonuçları Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Kuru – ıslak ortamda yüzey işlemlerine göre zemin kaplamalarının kayma direnci ikili karşılaştırmaları.

Genel olarak bakıldığında zemin kaplaması olarak kullanılan güvenlik sınıflamasının bazı kısımların uymadığı ve albenisi olması açısından birçok alanda cilalı yüzey işleminde doğal taşların tercih edildiği görülmektedir. Özellikle ıslak ortamda cilalı seramik ürünleri son derece düşük kayma direnci değerine sahip olurken, honlu ve sırlı yüzey işlemindeki andezitlerin ise yüksek kayma direnci değerleri elde edilmiştir.

Binalarda kullanılan zemin kaplamaların yüzey işlemlerine göre kuru ve ıslak ortamda elde edilen kayma direnci değerleri dikkate alınarak güvenlik sınıflaması Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5. Kuru ve ıslak ortamda kullanılan zemin kaplamalarının sınıflandırılması

Zemin Kaplam Türü ve Ortamı				Kayma Direnci	COF	Sınıflama	Uygun
Tür	Seramik	Ortam	Kuru	34	0,34	P2	-
			Islak	24	0,24	P1	-
	Andezit-Honlu	Ortam	Kuru	51	0,54	P4	+
			Islak	45	0,47	P4	+
	Andezit-Sırlı	Ortam	Kuru	46	0,49	P4	+
			Islak	35	0,36	P3	+

Genel olarak bakıldığında kuru ve ıslak ortamda seramik zeminlerde olması gereken güvenlik sınıflamasının altında bir güvenlik sınıflaması tespit edilmesinden dolayı tehlikeli sınıfında olup bu bölümlerde insanların kayıp düşmesinin meydana gelme olasılığı çok yüksektir. Buna karşın honlu yüzeyli andezitlerde kuru ortamda kayma potansiyeli çok düşük, ıslak ortamda ise kayma potansiyeli düşük seviyededir. Andezitlerin ısıtma işlem sonrası yüzeyleri sırlanmasına rağmen seramik ürünlere göre kayma potansiyeli daha iyi olduğu ortaya konulmuştur. Andezit sırlı ürünlerde kuru ortamda kayma potansiyeli düşük, ıslak ortamda ise orta seviyede olduğu tespit edilmiştir. Buna göre seramik zemin kaplamalarında elde edilen kayma direnci değerlerinin daha yüksek çıkmasından dolayı insanların bu zemin kaplaması üzerinde sağlıklı ve güvenli hareket edebilmeleri mümkün kılmaktadır. Bu nedenle bu zemin kaplamalarının seramik teknolojisindeki sırlama tekniği uygulayarak elde edilen yeni andezit sır kaplı ürünler daha güvenli hale getirilmiştir. Kayma ve düşme sonucu oluşan kazaların birçoğu uygun zemin kaplamalarının kullanılmamasından meydana gelmektedir. Bu nedenle binalarda özellikle ıslak ortamlara kullanılan zemin kaplamalarının doğru kullanımı son derece önemlidir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Volkanik kayaç yüzeylerine hazırlanan sır reçetesi ile kaplanan ürünün 1000°C'de pişirilmesinden sonra yer kaplaması olarak kullanılabilirliği öngörülmüştür. Sır uygulaması yapılan andezit sırlı ürünlerin döşendikleri yerde kuru ve ıslak ortamda kayma direnci değerleri ölçülmüş ve elde edilen verilere göre emniyetli kullanım alanlarına göre güvenlik sınıflaması yapılmıştır. Kuru ve özellikle ıslak ortamda kullanılan seramik zemin kaplamalarının standartlara göre uygun olmadığı ve yüksek kayma direnci değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, zemin kaplamalarının elde edilen kayma direnci değeri verileri TS EN 16165 Ek-C standartta sınıflaması dikkate alınarak güvenlik sınıflaması yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda kuru ve ıslak ortamda seramik zemin kaplamasının kayma direnci değerlerinin standarda uymadığı ve son derece riskli olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın andezit plakaların yüzeylerine ısıtma işlemi ile uygulanan sırlama sonrası kayma direncinin standartta daha uygun olduğu kayma riskinin daha az olduğu görülmektedir. Binalarda kuru, ıslak ve yağlı ortamlarda kullanılacak olan zemin kaplamalarının kullanıcı tarafından güvenlik sınıflamasına uygun olan yüzey işlemlerini seçmeleri gerekmektedir.

Kaynaklar

- Adams, N., 1997; "Slips and Falls-Some Arguments About Measuring Coefficients of Friction (COF)", *Ergonomics* [2] Bowman, R., 2003; "Slip Resistance Ignorance: A Recipe for Costly Falls", www.infotile.com/tiletoday/issues/pdf/40article.pdf.
- Andrić, L., Aćimović-Pavlović, Z., Trumić, M., Prstić, A., Tanasković, Z. 2012. "Specific Characteristics of Coating Glazes Based on Basalt", *Materials and Design*, 39, 9-13.
- Aydar, E., Bayhan, H. and Gourgaud, A., 1998. Koroglu caldera, mid-west Anatolia, Turkey: volcanological and magmatological evolution. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 85, 83–98.
- Aydar, E., Bayhan, H. and Gourgaud, A., 2003. The lamprophyres of Afyon stratovolcano, western Anatolia, Turkey: description and genesis. *C. R. Geoscience*, 335, 279–288.
- Beall G.H., Rittler H.L. (1976) Basalt Glass-Ceramics, *Am. Ceram. Soc. Bull.* 55, 579–582.
- Chang, W.R., 1999; "The effect of surface roughness on the measurement of slip resistance", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24, 299-313.
- Chang WR, Matz S (2001) The slip resistance of common footwear materials measured with two slipmeters. *Applied Ergonomics* 32(6): 540-558.
- Chang WR, Kim IJ, Manning DP, Bunternghit Y (2001) The role of surface roughness in the measurement of slipperiness. *Ergonomics* 44(13): 1200-1216.
- Çoşkun, G., 2013. Karbonat Kökenli Bazı Doğal Taşlarda Yüzey İşleme Tekniklerinin ve Pürüzlülüğün Kayma Direncine Etkileri", *Doktora Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 293, 2013.
- Çoşkun, G., Sarıışık, G., & Sarıışık, A. (2017). Slip safety risk analysis of surface properties using the coefficients of friction of rocks. *International journal of occupational safety and ergonomics*.
- Çoşkun, G. (2018). A new slip safety risk scale of natural stones with statistical K-means clustering analysis. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 1-14.
- Çoşkun, G., & Sarıışık, G. (2020). Analysis of slip safety risk by portable floor slipperiness tester in state institutions. *Journal of Building Engineering*, 27, 100953.
- Cetin, S., Marangoni, M., Bernardo, E. 2015. "Lightweight Glass-ceramic Tiles from the Sintering of Mining Tailings", *Ceramics International*, 41, 5294-5300.
- Çetin, S., Kılınç Mirdalı, N., Halefoğlu, Y. Z. 2007. "The Use of Basaltic Tuff as Colouring Agent in the Wall-Tile Glazes", *Sil. Ind.*, 72 (7-8), 109-112.

- Çetin, S., Kılınç, N. 2004. “Tüysüz Köyü Bazaltının Duvar Karosu Sırlarında Kullanım Olanakları”, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 13 (2), 89-96.
- Erkan, Y. (1995) Magmatik Petrografi. Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendislik Bölümü Raporu 44s. Ankara
- Erkan, Y. (2006) Magmatik Petrografi, (5. Baskı), TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 93, Ankara, 35-45.
- Fomichev, S. V., Dergacheva, N. P., Steblevskii, A. V., Krenev, V. A. 2010. “Production of Ceramic Materials by the Sintering of Ground Basalt”, Theoretical Foundations of Chemical Engineering, 45 (4), 526-529.
- Grönqvist, R., 1995; “Mechanisms of friction and assessment of slip resistance of new and used footwear soles on contaminated metals”, Ergonomics, 38, 224-41.
- Grönqvist R, Hirvonen M, Toivonen A (1999) Evaluation of three portable floor slipperiness testers. International Journal of Industrial Ergonomics 25, 85-95.
- Karamanov A., Arrizza L., Ergul S. (2009) Sintered Material from Alkaline Basaltic Tuffs. Journal of the European Ceramic Society 29, 4, 595-601.
- Kim, I.J., 2001; “Microscopic observations of the progressive wear on shoe surfaces that affect the slip resistance characteristics”, International Journal of Industrial Ergonomics, 28, 17-29
- Kim, I.J., 1996; “Microscopic investigation to analyze the slip resistance of shoes”, Proceedings of the Fourth Pan Pacific Conference on Occupational Ergonomics, November. Taiwan, ROC, 68-73
- Koca, M.Y., Yavuz, A.B. ve Kınal, C., 2001. Andezitlerin dış mekan kaplama taşı olarak kullanımında Bergama örneği. Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiri Kitabı, s. 99-111.
- Kulaksız, S. (2007) Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri. Ankara, 55-60.
- Levitskii, I. A., Pozniak, A. I., Baranceva, S. E. 2013. “Effects of the Basaltic Tuff Additions on the Properties, Structure and Phase Composition of the Ceramic Tiles for Interior Wall Facing”, Procedia Engineering, 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2013, 57, 707-713.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B. (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. J Petrol. 27, 74-750.

- Manning, D.P., Jones, C., Rowland, F.J., Roff, M., 1998; "The surface roughness of a rubber soling material determines the coefficient of friction on water-lubricated surfaces", *Journal of Safety Research*, 29, 275–283.
- Prstić, A., Aćimović-Pavlović, Z., Pavlović, L., Andrić, L., Terzić, A. 2007. "The Application of Basalt in the Manufacturing of Ceramic Glazes", *Journal of Mining and Metallurgy*, 43 A, 53- 60.
- Sarıışık A (2009) Safety analysis of slipping barefoot on marble covered wet areas. *Safety Science* 47(10): 417-1428.
- Sarıışık, G. (2010). Investigation of glazability of Afyon–İscehisar volcanic rocks and glaze materials (Doctoral dissertation, Ph. D. thesis, SU, Konya, Turkey).
- Sarıışık, A., Sarıışık, G., & Şentürk, A. (2011). Applications of glaze and decor on dimensioned andesites used in construction sector. *Construction and Building Materials*, 25(9), 3694-3702.
- Sarıışık, G., Sarıışık, A., & Gökay, M. K. (2013). Investigation the glazability of dimension andesites with glaze coating materials containing boron minerals in construction sector. *Materials and structures*, 46(9), 1507-1517.
- Şentürk, A., Gündüz L., Tosun Y.I., Sarıışık A. (1996) *Mermer Teknolojisi*. Tuğra Matbaa, Isparta, 10-20.
- TS EN 16165 Ek-C "Döşemelerin Kontrol Edilmesi - Kaymayı Önleme Özelliğinin Belirlenmesi - Kayma Sürtünmesi Katsayısının Ölçümü İçin Yöntem" 2018. Aralık 2016
- Vichaphund, S., Somton, K., Wonglom, T., Rodchom, M., Atong, D. 2016. "Utilization of Basalt Fibers as a Raw Material for Clay Ceramic Production", *Ceramics-Silikáty*, 60 (2), 72- 76.
- Yılmaz S., Ozkan O.T., Gunay V. (1996) Crystallization Kinetics of Basalt Glass. *Ceramic International* 22, 477–481.
- Znidarsic V., Kolar D. (1991). The Crystallization of Diabase Glass. *J. Mater. Sci.* 26, 2490– 2494.
- Williams, H., Turner, F.J. and Gilbert, C.M., 1982. *Petrography: An Introduction to the study of Rocks in Thin Sections* Freeman, W.H., and Company New York 137 s.

Bölüm 10

HELAL GIDA SERTİFİKALANDIRMA İŞLEMLERİNDE, KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Savaş FINDIK¹
Halime PEHLİVANOĞLU²

Halime PEHLİVANOĞLU danışmanlığında Savaş FINDIK'ın tez çalışmasının bir bölümünden hazırlanmıştır.

GİRİŞ

Helal gıda; Bir gıdanın tohumdan çatala kadar olan tüm girdi ve proses basamaklarının temizlik ve sağlık kuralları yanında, şer'i olarak da İslam dinine uygunluğunu ifade eder (Batu, 2012; Özdemir ve Yaylı,2014). Helal gıda koşulları, Kuran-ı Kerim'de yer alan bazı ayetler ile peygamber efendimizin sünneti ve hadisleri temel alınarak oluşturulmuştur. Kuran-ı Kerim ve hadislerde açıklanan yasak gıdaların dışındaki Allah'ın verdiği tüm nimetler helal olarak kabul edilmektedir (Tayar ve Doğan, 2019; Yetim,2020). Helal gıda sertifikalandırması ise; bu tanım çerçevesinde üretilen ürünleri belgelendiren bir gıda kalite kontrol sistemini ifade etmektedir. Gıda sektöründe bulunan diğer kalite sertifikalandırma sistemleri işletmelere kendi sistematiklerini, standartta yer alan madde ve gerekliliklerini bir tehlike planı ve risk analizi temelinde yaptırarak, girdi ve son ürün anlamında yasal limitlere uyum dışında, ürün içine katılacak girdiler için herhangi bir gereklilik talep etmemektedir. Helal sertifikalandırma sistematiğinde ise farklı bir gereklilik olan İslami kurallar kapsamında tüm işlemlerin değerlendirilmesi beklenmektedir. Girdilerin, proseslerin elden geçirilmesi ve bir takım şüpheli durumlar nedeni ile her girdinin fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve mevcut yasal limitler dâhilinde olması durumu “helal” diyebilmek için yeterli olmayabilmektedir.

Helal Sertifikalandırmada sınır olarak görülen haramlar Kur'an-ı Kerim'de beş ana grup adı altında toplanmaktadır. Bunlar; Leş(Kendiliğinden ölen hayvan), kan, domuz eti, Allah'ın dışında başkası adına kesilen hayvanlar, şarap

¹ Gıda Güvenliği Şefi,Aydın Kuruyemiş San ve Tic A.Ş., savas_fndk@hotmail.com Orcid : 0000-0002-9676-1298,

² Assist. Prof., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Veterinerlik Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, hpehlivanoglu@nku.edu.tr Orcid :0000-0003-3138-9568,

(sarhoşluk veren her türlü içki) tır. (Özdemir, 2009). Sağlıklı ve güvenli gıda, gıda maddesinin besin değerleri ve fonksiyonel özelliklerini kaybetmemiş , fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik açıdan hiçbir sağlık riski taşımayan yiyecek ve içeceklerdir (Bozyiğit ve Kılınç, 2019). Sağlıklı ve helal gıdaya erişmek evrensel bir haktır. Bu konuda UNESCO’nun 2005 yılında *Helâl Gıda Üretimi ve Tüketimi* 73 Genel konferansında kabul edilen İnsan Hakları Beyannamesinde “*Her insan yaşamını sürdürebilmek amacıyla yeterli miktar ve kalitede, kendi kültür ve inancına uygun, güvenli ve sağlıklı gıdaya ulaşma hakkına sahiptir*” ifadesi yer almaktadır(Türker, 2020). Helal sertifikalandırma sistemi ile ilgili çalışmalar her geçen gün önemini arttırmaktadır. Ancak sertifikalandırma kurumlarında ortak bir standart bulunmaması bir çok problemi beraberinde getirmektedir. Helal sertifikalandırma kuruluşlarında standartlar iki kurul tarafından oluşturulmaktadır. Bunlardan bir tanesi fıkıh kurulu, diğeri ise bilim kuruludur. Fıkıh kurulu günümüzde birçok yeni üretim teknolojisi ve metodolojisinin tüm girdi ve çıktılarını inceleyerek 4 basamaklı fetva yolunu takip etmekte ve üretilen ürün hakkında hüküm(fetva) vermektedir. Kurulun verdiği karara göre ürüne helal sertifikası verilebilmekte ya da verilmemektedir. Bu durum sertifikalandırma kurumlarının standart farklılıklarında önemli rol oynamaktadır.

2020 yılı itibariyle Türkiye’de 60 civarında, Dünya’da ise 1500’ün üzerinde helal sertifikalandırma kuruluşunun olduğu tahmin edilmektedir.

Sonuç olarak bu kuruluşların sertifikalandırma kuralları arasında bir çok farklılıklar bulunmaktadır. Bu çalışmada helal gıda sertifikalandırma aşamalarında karşılaşılan problemler ve çözüm önerilerinin sunulması amaçlanmıştır.

2. HELAL GIDA SERTİFİKALANDIRMA İŞLEMLERİNİN TARİHÇESİ

Helal gıda sertifikalanma sisteminin oluşmasında ve helal sertifikalandırmada ilk ülke Malezya olup bu alanda Dünyada lider konumundadır. Ayrıca üniversitelerde Helal gıda enstitüleri kurarak bilimsel ve akademik çalışmalara öncülük etmektedir. Malezya, helal sertifikası vermek üzere Bileşmiş Milletler tarafından da onaylanan JAKIM’i (kamu kuruluşu) kurarak, helal gıda üretim, işleme, stoklama ve dağıtım kurallarını içeren MS 1500: 2004 standardını ilk olarak oluşturup uygulamaya başlamıştır (Alam ve Sayuti, 2011; Tekle ve ark., 2013; Fındık, 2020). JAKİM dışında, Dünya Helal Forumu ve Dünya Helal Vakfı (World Halal Foundation, WHF)’da Malezya’da kurulmuş diğer kuruluşlardır. Daha sonra 2002 yılında Endonezyada Dünya Helal Konseyi (World Halal Council, WHC) kurulmuş ve konseye Ülkemizde dâhil olmak

üzere 60 ülke dahil olmuştur. Aslında çok daha önceleri 1982 yılında kurulmuş olan ve birçok helal gıda alanında araştırmalar yapan Amerika İslam Gıda ve Beslenme Konseyi (Islamic Food and Nutrition Council of America, IFANCA)'dır (Şahingöz ve Onur, 2017). Fakat bu kuruluşun herhengi bir faaliyeti olmamıştır. Bu nedenle Malezya öncüsü olarak kabul edilmektedir.

İslam Konferansı Teşkilatına (İKT) bağlı merkezi İstanbul'da bulunan, İslam Ülkeleri Standartlar ve Metroloji Enstitüsü (SMIIC), bölgesel bir standardizasyon kuruluşudur. SMIIC, İKT'ye üye olan ülkeler arasında ithalat ve ihracatı sağlamak, oluşan teknik problemleri kaldırmak ve yapılan teknik analizleri standart hale getirmek amacıyla kurulmuştur. Ancak İslam ülkeleri arasındaki görüş ayrılıkları tamamen giderilememiştir. Ülkemizde yapılan helal gıda çalışmaları ve sertifikalandırma işlemleri, daha çok gönüllü kuruluşlar tarafından yapılmaktadır. Bu konuda gönüllüler tarafından sivil toplum kuruluşu olarak 2005 yılında Gıda ve İhtiyaç Maddeleri Denetleme Araştırmaları ve Sertifikalama Derneği (GİMDES) kurulmuştur (Şahingöz ve Onur, 2017). Daha sonra Türk standartları Enstitüsü (TSE) 2011 yılı itibarıyla sertifikasyon yapmaya başlamış ve böylece Türkiye'de helal gıda sertifikasyonu kamusal hale gelmiştir (Kızgın ve Özkan, 2014).

Türkiye'de 2017 yılında helal belgelendirme kuruluşlarını akredite edecek bir otorite olarak Ticaret Bakanlığı bünyesinde HAK (Helal Akreditasyon Kurumu), kurularak 2019 yılında faaliyete geçmiştir. (Yetim, 2020).

3. HELAL SERTİFİKALANDIRMA YAPAN KURULUŞLAR

Dünyada; JAKIM (Malezya İslam Kalkınma Bölümü), IFANCA (Amerika İslami Gıda ve Beslenme Konseyi Helal Endüstriyel Üretim Standartları), HCS (Helal Sertifika Servisi), MUI (Endonezya Ulema Meclisi), WHC (Dünya Helal Konseyi), WHF (Dünya Helal Forumu), IHIA (Helal Entegrasyon Birliği), SMIIC (İslam Ülkeleri Standardizasyon ve Metroloji Enstitüsü), GAC (Körfez İşbirliği Teşkilatı Akreditasyon Kurumu), WHA (Dünya Helal Kurumu) kuruluşlarıdır.

Türkiyede ise; HAK (Helal Akreditasyon Kurumu), TSE (Türk Standartları Enstitüsü), GİMDES (Gıda ve İhtiyaç Maddeleri Denetleme ve Sertifikalandırma Derneği), HEDEM (Helal Gıda Denetim ve Sertifikalandırma Merkezi), WHU (Dünya Helal Birliği), HELALDER (Sağlık, Güvenlik ve Helal Derneği), KASCERT (Uluslararası Sertifikasyon Gözetim Teknik Kontrol Hizmetleri Ltd. Şti.), ISQ (Uluslararası Standartlar Organizasyonu), SZUTEST (Strojirensky Zkusebni Ustav s.p), tir.

4. Helal Gıda Sertifikalandırma İşlemlerinde Karşılaşılan Sorunlar Ve Çözüm Önerileri

Yapmış olduğumuz araştırma, literatür incelemeleri ve saha tecrübelerimiz göz önüne alınarak helal gıda sertifikalandırmada yaşanan sorunlar ve bu sorunlara yönelik çözüm önerilerimiz aşağıda başlıklar halinde özetlenmiştir:

4.1 Kabul Görmüş Ortak Helal Standart Eksikliği

Helal sertifikalandırma sistemi ile ilgili çalışmalar her geçen gün önemini artırmasına rağmen sertifikalandırma kurumları arasında kabul gören ortak bir standart bulunmaması hem üreticiler, hem de helal sertifikalandırma kuruluşları açısından önemli bir farklılık unsuru olduğu görülmektedir. “***Helal sertifika hangi aşamaları, hangi boyutlara kadar kapsmalı ve hangi aşamaları değerlendirmeli?***” sorusu helal sertifikalandırma sistemi içerisinde olan herkesin kendine sorması gereken en önemli sorudur. Bu soruya verilen cevaba göre helal standartların sınırları çizilmektedir. Bazı kuruluşlar üründe sadece haram bir girdi olmaması kriterini koyarken, bazı kurumlartüm girdi ve yardımcı malzemeler dahil ürünlerin konulduğu ambalajlar, son ürünün sağlık açısından oluşturduğu etkileri de inceleyerek helal sertifikalandırma aşamalarını oluşturmaktadır. Örneğin; Bazı kuruluşlar makineli kesime onay verebilirken, bazıları ise izin vermemektedir. Yine mono sodyum glutamat kullanımına bazı kuruluşlar TGK limitleri baz alınarak izin verilmekte, bazıları ise kendi fıkıh kurulunun kararları doğrultusunda hareket ederek sertifikalandırma yapmamaktadırlar.

Kendi sertifikalandırma standartları ile ilerleyen kuruluşlar kendi kararları dışındaki kararları değerlendirerek karşılıklı tanınma ya da ortak akreditasyon kriterlerine göre sertifikalandırma kabul/ret durumlarına gidebilmektedirler. Bu durum üretici açısından hammadde ve yardımcı malzeme tedariki konusunda sıkıntı yaşanmasına neden olabilmektedir. Bu durum denetçi yorumundan ziyade temelde kurumların ortak standartları oluşturmamasından kaynaklı olduğu görülmektedir.

Çözüm Önerisi: Kurumlar ortak standart maddelerinde anlaşarak bir helal sertifikalandırma temel standardı oluşturmali, fikir ayrılığına düştükleri konularda uzlaşmak üzere üst istişare kurulu oluşturmali. Bu üst istişare kurulunda oy çoğunluğu değil, oy birliği esas alınmalıdır. Türkiye’de Tarım ve Ormancılık Bakanlığı, Diyanet İşleri Başkanlığı ve helal sertifikalandırma sektörü içerisinde uygulama yapan helal sertifikalandırma kurumları bir kurul oluşturarak ortak temel helal standartlar belirlenmelidir. Bunun dışında mezheplerin farklı hükümleri ya da bazı yeni uygulamalar konusundaki uygulama esaslı farklılıklar için helal standart ayrımı yapılabilir. Bu durum da

aynı şekilde sertifikalandırma kurumlarınca standartları tüketici ile paylaşılarak tüketicinin bilinçli tercihinin bırakılmalıdır.

4.2.Yetkilendirme ve Değerlendirme Eksikliği

Helal sertifikalandırma diye bir standardın olduğu ve gerekliliği herkes tarafından kabul edilmektedir. Helal sertifikalandırmanın ekonomik boyutu çok büyük olması nedeniyle tüm ülkeler(gayrimüslim dahil) helal akreditasyon çalışmalarının yapmaktadır. Avrupa Birliği bünyesindeki akreditasyon kurumu olan CEN’de helal sertifikası ve akreditasyon gerçekleştirme çalışmaları Müslüman toplumların tepkisi ile engellenmiştir(Büyüközer, 2019).

Günümüzde ülkeler helal belgelendirme sisteminde standart oluşturma, helali tek bir çatı altında toplama heyecanı ile adeta yarışa girmişlerdir. Bunun ana nedeni de bazı helal belgelendirme kuruluşları diğer helal sertifikalandırma kuruluşunun belgesini geçerli görmeyip ülkeler arası ticarete etkili olmaktadır. Bu nedenle artık helal sertifikalandırma hizmeti veren kurumların denetlenmesi ve yeterlilik yönünden incelenmesi zaruret haline gelmiştir. Arap ülkelerinde Birleşmiş Arap Emirlikleri kurumları tanıma verebilmesi için(örneğin et ve et ürünleri yıllık 30.000 euro civarında) tanıma bedeli talep edilmesi sektörün ekonomik boyutu açısından önemli bir göstergedir. Helal sertifikalandırma ihtiyacı, Müslümanlara ve insanlara hizmet noktasında başlayan bir hareket olmasına rağmen, zaman içinde körfezdeki bazı ülkelerin tanıma amacıyla yüksek bedeller talep etmesi ile ana amacından çıkartılarak helal sertifikalandırmanın itibarını zedelenerek, fatura Müslüman tüketiciye yüklenmiştir (Gedikli, 2019).

Ayrıca denetime giden denetçilerin gıda alanında eğitim almış olmamalarına rağmen denetçi vasfı ile firmalara denetime gönderilmesi, firmalardaki olası gıda güvenliği ve dolayısıyla helal gereklilikleri tespiti açısından uygun görülmemektedir. Bu tarz firmalara özellikle helal sertifikalandırma gerekliliğini ya da risklerini bilmeyen üretici firmaların başvurabildiği görülmektedir.Buda üreticinin helal sistem gerekliliklerini sağlamadan tüketicilere şüpheli, belki de haram içerikli ürünleri, inançlarına uygun bir ürün gibi tüketmelerine neden olmaktadır. Bu tarz sertifikaları iptal edecek ya da değerlendirecek bir kurum bulunmamaktadır. Aralık 2020’de JAKIM tarafından 46 ülkede tanınan 84 helal sertifikalandırma kurumu bulunmaktadır. Bu kurumlara ait resmi internet sayfalarından her isteyen kişi kolaylıkla standartları ve verdikleri belgeleri inceleyebilmektedir. Bununla birlikte WHC ve GİMDES tarafından 2020 yılında kabul edilen sertifikalandırma kuruluş listesine baktığımızda 25 adet kurum görülmektedir. Bu sayılar birçok sorunun oluşmasına neden olmaktadır. Örneğin; JAKIM neden 1500’ün üzerinde olan sertifikalandırma kuruluşundan 84 tane kuruluşu kabul ediyor? Aynı şekilde WHC neden 1500’ün üzerinde olan helal

sertifikalandırma kuruluşundan 25 tanesini kabul ediyor gibi. Bu sorunun en net cevabının helal sertifikalandırma işleminin ahiret inancına sahip bir Müslümandaki ağırlığı sebebiyle, kurumların İslami kurallara ve gerekliliklere göre sertifikalandırma kuruluşlarının birbirinden farklılık göstermesi olduğu düşünülmektedir.

Helal sertifikalandırma işlemlerinin büyük bir kısmı ürün bazlı, bir kısmı da ürün grubu bazlı yapılmaktadır. Yani aynı işletmenin A ürününe sertifika verilebilirken B ürününe sertifika verilmeyebilir. Bu karmaşa sertifika kapsamında ürün adlarının detaylı yazılması ve işletme içindeki fiziki kontrollerle netleşmektedir. Grup adı yazıldığı durumda sertifika geçerlilik süresi içinde firma yeni bir ürününü hiçbir denetim mekanizmasından geçirmeyerek müşterisine helal sertifikalı olarak satabilme durumunu ortaya çıkarmaktadır. Bu durumda şüpheli üretimlerin gerçekleşmesine neden olabilmektedir. Bununla birlikte mevcut helal sertifikalı firmalar, firma yönetim ve davranış biçimiyle (Personel hakları, finans vb.) İslam dininin kurallarına uymayabilmektedir. Oysa İslam dini Müslüman bir kişinin hayatının her aşamasında düzenlemeler getirmekte, insanı en doğrusuna, en güzeline yönlendirmektedir.

Helal sertifikalandırma sistemini kuracak, koruyacak, denetleyecek ve değerlendirme yapacak olan kişilerin Müslüman olması gerektiği düşünülmektedir. Özellikle sertifikalandırmada ortak bir standart olmadığı bir durumda bu uygulamanın doğru olmadığı daha aşikardır.

Çözüm Önerisi: Üreticilerin ve Tüketicilerin Helal Sertifikalandırma sistemi için gereklilikler konusunda bilinci artırılmalı ve herhangi bir akreditasyonu, helal standardı olmayan bir kuruluştan helal sertifikası alınmamalıdır. Helal sertifikalandırma kuruluşu bağımsız bir üst kurul tarafından onaylanarak güvenilirliğini kanıtlamalıdır. Ürün grubu bazlı sertifikalandırma anlayışından kapsamdaki ürün adlarının net yazıldığı ve firmanın bir bütün olarak ele alındığı sertifikalandırma sistemine geçiş yapılmasının daha doğru olacağı düşünülmektedir. Helal Sertifikalandırma işlemini Müslüman olmayan bir kurum veya ülke yapmamalıdır.

4.3 İstihale Konusundaki Yorum Farklılıkları

İstihale bir fıkıh terimi olarak ifade edilmekte olup, kirlenmiş veya yasaklanmış bir bileşenin doğasının tamamen değişmesiyle isim, özellik ve karakter olarak farklı bir ürün oluşması olarak tanımlanmaktadır. İstihale aynı zamanda fiziksel ve kimyasal tamamen bir dönüşüm olarak belirtilmektedir (Aizat ve Radzi, 2009). Bu noktada helal sertifikalandırma açısından en önemli nokta çıkan temiz ürünün İslam dininde izin verilen ve insan tüketimine uygun olup olmadığı konusudur. İstihalenin en bariz örneği şarabın sirkeye dönüşümü

konusudur. Ancak burada dahi, dışarıdan ek bir ilave işlem yapılarak dönüşüm sağlanması ya da eğer bir üzüm önce şarap yapılma niyeti ile yapılıp, sonradan uygun bulunmayıp sirkeye dönüştürülmesi durumuna bile fıkıh uzmanları tarafından uygunluk verilmediği ifade edilmiştir (Çayıroğlu, 2014).

Bunun yanında “Gıda Katkı Maddelerinin İstihale Yönünden Değerlendirilmesi” konulu makale çalışmasında domuzun her şeyi ile necis olduğundan istihaleye uğrasın veya uğramasın istihale kapsamında değerlendirilemeyeceği, gıda katkı maddesi üretiminde hammadde olarak kullanılamayacağı ve fiziksel değişimlerin istihale kapsamında olmadığı net olarak ifade edilmiştir (Gültekin ve ark., 2020; Hariri, 2015). Bir başka ifade ile domuz Müslümanlar için bir imtihandır ve hiçbir surette kullanımına izin verilemez (Boran, 2019).

Günümüzde istihale konusunu kendisine referans alıp birçok ürüne helal sertifikası veren kuruluşlar bulunmaktadır. İstihale helal sertifikalandırma anlamında en çok karıştırılan ve yanlış hüküm verilen konulardan bir tanesidir. Birçok kişi kimyasal değişimi fiziksel değişimler ile karıştırmaktadır. Bu nedenle istihale konusu birçok kurumun standart farklılığına neden olan temel bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çözüm Önerisi: İstihale konusu ile ilgili verilen örneklerin az olması nedeniyle bu konunun kapsamının genişletilerek fetva alma anlamında bir çıkış yolu olarak kullanılmaması gerekmektedir. Helal sertifikalandırmadaki amaç bir ürünün tüm İslami gerekliliklerini sağlatarak Müslüman tüketicilere güvenilir ürünler tükettirmektir. Kimyasal değişim ile fiziksel değişim konusu iyi ayırt edilmeli ve Efendimiz(s.a.v.) dönemindeki istihale örnekleri bu konu için yeterli görülmelidir.

4.4.Tayyib Kavramının Sertifikalandırma Sistemine Entegre Edilememesi

Helal sertifikalandırma açısından Tayyib kavramı hem “sağlık” hem de “zararsızlık” açısından çok önemli bir kavramdır. Tayyib kelimesi Kur’an-ı Kerim’de 47 yerde geçtiği ve 20 ayette ise temiz gıda anlamında kullanıldığı ifade edilmiştir (Yüksel, 2003; Yalçın, 1997). Buradan İslam dininin gıdalarda tayyibata(temizlik, sağlamlık, zararsızlık) ne kadar önem verdiği anlaşılmaktadır. Helal sertifikalandırma kurumları arasındaki en büyük standart farklılıkları tayyibat kavramını değerlendirme farklılıklarından oluştuğu görülmektedir. Helal sertifikalı ürünler incelendiğinde, ürünlere katılan katkı ve yardımcı malzemelerin sağlık üzerine etkileri maalesef Kur’an-ı Kerim ve Allah Resülü (s.a.v.) sünnetinde ifade edildiği şekliyle tam anlaşılamamakta olduğu görülmektedir. Örneğin içerisinde sentetik renklendiricilerin, koruyucuların bulunduğu, boya ve aromadan oluşan sağlık açısından riskli olabilecek hatta

Avrupa'nın birçok ülkesinde yasaklanan bazı katkı maddelerini içeren ürünlere helal sertifikası verildiği görülebilmektedir.

Tayyibat kavramının sertifikalandırma standartlarına dahil edilememesi, ilgili katkı ve yardımcı malzemelerin insan sağlığı açısından oluşturduğu etkinin Müslüman kişi ya da kuruluşlar tarafından incelenmemesi, buna bağlı olarak kullanım limitlerinin sadece ilgili ülkenin yasal kuruluşu tarafından verilen oranlara bağlı kalınması bu katkıyı kullanan ve helal adı ile sertifikalandıran kuruluşlar açısından manevi bir vebal olabileceği düşünülmektedir. Örneğin Türk Gıda Kodeksi Katkı Maddeleri Yönetmeliği ek kısmında belirtilen 6 çeşit renklendirici (E110, E104, E122, E129, E102, E124) için etiketlerde “çocukların hiperaktivite ve dikkatleri üzerine olumsuz etkileri bulunabilir.” yazılması zorunludur. Bu uyarıda açık bir şekilde riski ortaya koymaktadır. Kullanan kuruluşlarda farklı nedenlerle kullanma insiyatifindedirler. Ancak bu riske rağmen bu renklendiriciler birçok helal sertifikalandırma kuruluşu tarafından ürünlerde yasal limitler altında kullanılabilmektedir. Bu durum İslam dinindeki Tayyib kavramının sertifikalandırma standartlarına yerleşemediğinin bir diğer göstergesi olarak karşımıza çıkmaktadır. ,

Cözüm Önerisi: Helal sertifikalandırma kurumları tayyib kavramının gereklilikleri ile ilgili standartlarına daha detaylı yer vermelidir. Bununla birlikte gıda katkı maddelerinin kullanım durumu “tayyib” kavramının özellikle “sağlıklılık, zarar vermeme” anlamı doğrultusunda yasal limitlerden ziyade daha detaylı olarak değerlendirilmesi sağlanmalıdır. Sağlık açısından zararlı olması nedeniyle helal sertifikalandırma yapılmayan gıda katkı maddelerinin listeleri ilgili kuruluşlar tarafından yayınlanmalıdır.

4.5.Helal Standartlarının Gizli Tutulması ve Yayınlanmaması

Günümüzde en önemli problemlerden bir tanesi de helal sertifikası veren kuruluşlarının standartlarını paylaşmamalarıdır. Standartların paylaşılması hangi kurumun hangi standartları baz alarak denetim yaptığının bilinmemesi anlamına gelmektedir. Çalışmamız sürecinde de bu konu maalesef aşılamamış ve bizi çok zorlamış olup, çalışmamızın içeriğini kısıtlamıştır. Oysa standartların kimseden çekinmeden sertifika veren kurumlarda ulaşılabilir olması gerekmektedir.

Cözüm Önerisi: Helal sertifikalandırma kuruluşu öncelikle vermiş olduğu sertifikanın ciddiyetini kavramalı, şeffaf olmalı, özellikle hangi fıkıh kaidelerini gündemine alarak sertifikalandırma yaptığını ve verdiği standartların detaylarını paylaşmalıdır. Helal Sertifikalandırma yapan kurumların, standartlarını şeffaf bir şekilde paylaşmalarının kanunen bir zorunluluk olması gerektiği düşünülmektedir.

4.6.Fıkıh ve Bilim Kurullarının Yetersizlikleri

Sertifikalendirme kuruluşlarında gözlemlenen en büyük hatalarından bir tanesi de fıkıh ve bilim kurullarını etkin ve yeterli düzeyde kullanamamalarıdır. Fetva konusunda esnek davranabilmektedirler. Örneğin domuz jelatinini istihale kapsamına alan kuruluşlar mevcuttur. Bununla birlikte üretim proseslerini ve bu proses aşamasında yardımcı madde olarak direk ürünün içine giren girdileri bilmeyen kuruluşlar maalesef helal denetimler esnasında gereklilikleri sorgulayamadan ürünlere sertifikalandırma yapabilmektedir. Bu duruma örnek makineli yufka açan bir kuruluşta sistein kullanılma durumu ya da yer fıstığında birçok etikette yer almamasına rağmen kırmızı gıda boyalarının kullanım durumunu verebiliriz. Bu tarz örnekler hem yasal olarak hem de helal sertifikalandırma açısından problem teşkil etmektedir.

Cözüm Önerisi: Bilim ve fıkıh kurullarının hem gıda alanında hemde islami alanda uzman kişiler tarafından oluşturulması sağlanmalıdır. Özellikle üretim prosesleri için alanında uzun yıllar çalışma yapmış, mümkün olduğunca saha tecrübesi olan üretim mühendislerinin fikirleri alınarak standartlar oluşturulmalı, denetçilerin kontrol listelerine bu parametreler eklenmeli, ilgili sertifikalandırma kuruluşlarının denetçi eğitimlerinde bu riskler anlatılmalıdır.

4.7.Helal Gıda Uygulamaları Konusundaki Araştırmaların Yetersizliği

Helal gıda konusunun tartışılmaz önemi yanında oldukça geniş bir alana sahip olmasına rağmen akademik çalışmaların yeterince yapılmadığı, dolayısıyla literatürde detaylı kaynak eksikliğinin olduğu tespit edilmiştir. Özellikle uygulama esasları ve bunların değerlendirilmesi yönünde ciddi çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmaların yapılmamış olması, değerlendirme ve kıyas yapılmasını güçleştirmektedir. Dünyamızda 1960'lı yıllarda, ülkemizde ise 2005'li yıllarda gündeme ciddi anlamda girmiş bulunan ve bu kadar geniş çapta uygulamalara konu olan bir sektörde İslam fıkıhındaki açıklamalar dışında uygulama esaslı bir çalışmaların bulunmamasının çok büyük bir eksiklik olduğu düşünülmektedir. Örneğin; helal sertifikalandırma aşamalarını mevcut helal standart uygulamaları ile değerlendiren, helal kesim açısından oldukça sıkıntılı makineli kesimle elle kesimdeki kaliteye dayalı farklılıkların araştıran, yapay tatlandırıcıların insan sağlığı ve helal gereklilikleri karşılayıp karşılamadığını değerlendiren, gıda katkı maddelerinin İslami açıdan uygun olup olmadığını değerlendiren kapsamlı bir akademik çalışma bulunmamaktadır.

Birçok gıda maddesindeki taklit ve tağşiş yöntemleri mevcut olmasına rağmen tespit edilemeyen birçok taklit ve tağşişte vardır. Örneğin, kırmızı etlere su enjeksiyonu, bazı meyve sularındaki karışımlar, yasal olarak izin verilen

renklendiricilerin, koruyucuların çoğunun limitlerinin tespit edilememesi vb. Bu tip çalışmalar için ciddi maddi kaynağa bağlı araştırmalara ihtiyaç vardır.

Cözüm Önerisi: Helal gıda sektörünün gelişmesi ve yaygınlaşmasının bu kadar önemli ve hızlı olduğu bir dönemde, uygulama esaslı akademik çalışmaların gerçekleştirilmesinin hem sertifikalandırma kuruluşları, hem de akademik çalışma yapacak araştırmacıların daha özverili ve yapıcı yaklaşımları, bu elzem problemin çözümüne yadsınamaz çözümler sağlayacaktır. Helal sertifikalandırma yapan kurum ve kuruluşlar devlet desteğini de yanına alarak günümüzde tespit edilmesi zor olan konular ile ilgili Ar-Ge merkezleri oluşturarak bu konulara destek verecek çalışmalar yapmalarının iyi olacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu konulardaki cezaların artırılarak daha caydırıcı olması gerektiği düşünülmektedir.

4.8.Denetim ve Kontrol Mekanizması Yetersizlikleri

Helal sertifikalandırma kurumlarındaki en büyük eksikliklerden bir tanesi de habersiz denetim eksikliği ve sertifikalandırma sürelerinin özellikle yurt dışındaki bazı kuruluşlar tarafından 3 yıldan fazla verilmesidir. Haberli denetimlerde art niyetli firmaların bazı konularda hazırlanmasına müsaade edildiği bu nedenle tüm sertifikalandırma firmalarının ara denetimlerini habersiz denetim yapmalarının daha doğru olacağı düşünülmektedir. Ancak özellikle belge yenileme denetimlerindeki dokümantasyon kayıtlarının ara denetimlerde yapılamaması nedeniyle 3 yıldan fazla verilen sertifikaların üretici firmaları helal sistem gereklilikleri içerisinde tutmada problem yaşandığı görülmektedir. Bununla birlikte sertifika verildikten sonra, üretici firmadan sertifika bitiş tarihine kadar herhangi bir denetim veya belge talep edilmemesi sistemin sürekliliğini riske atmaktadır.

Cözüm Önerisi: Helal sertifikalandırma geçerlilik süresinin en fazla 2 yıl olarak verilmesi daha uygun olacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte sektörel bazlı riskler gözönüne alınarak yılda en az 1 defa ve habersiz ara denetimlerin yapılması sağlanmalıdır. Bu durum sertifika geçerlilik süresi içinde firmanın helal standartlara uyumu noktasında kontrol mekanizmasının kurulmasını sağlayacaktır.

4.9.Girdi ve Uygulamaların Kurum Bazlı Değerlendirme Farklılıkları

Bir ürüne helaldir; teşhisini koyabilmek için, ilgili ürünün tüm İslami gerekliliği sağlaması gerekmekte olduğu bilinmektedir. Örneğin bir katkı maddesinde sağlık açısından riskler ifade ediyor ise o ürüne helaldir demek doğru değildir. Bu bağlamda Boran (2016); “Helal ile haram arasında şüphe edildiği durumda harama itibar edilir.İyi niyet haramları helal yapmaz.” ifadesi ile

günümüzdeki birçok şüpheli duruma sertifikalandırma kuruluşlarının yapması gereken yorumu açıklamıştır (Boran, 2016). Günümüzde helal standartlardaki en büyük farklılığa neden olan alkol, jelatin, makinalı kesim ve gıda katkı maddeleri konuları için yapılan değerlendirmeler aşağıda verilmiştir:

4.9.1. Alkol Konusundaki Problemler

Günümüzde alkolün gıda endüstrisinde farklı amaçlar ile kullanımı yaygındır. Helal sertifikalandırma açısından değerlendirme yapıldığında sarhoşluk veren ya da sağlık açısından uygun olmayan alkol türlerinin kullanımında farklı uygulamalar mevcuttur. Sarhoş eden alkol türü olan etil alkolün özellikle aroma taşıyıcısı olarak yaygın bir şekilde kullanımı olduğu bilinmektedir. Burada karıştırılmaması gereken en önemli konu, alkolün ürünün doğal yapısından kaynaklı olmadığı halde, dışarıdan ilave edilerek kullanılma durumudur.

Üç tür alkolle muamele söz konusudur: Birincisi özellikle aromatik ürünlerle yapılan üretimlerde (meyve suyu gibi) uygulanan ısıl işlem esnasında, ısıl işleme bağlı olarak uçan aroma bileşenlerinin dışarıdan etil alkol içerikli bir aroma eklenmesidir. İkincisi aroma ve renklendiricilerin içerisinde çözgen ya da taşıyıcı nitelikte kullanılmasıdır. Üçüncü nokta ise proses ile ilgisi olmamasına rağmen ürüne eklenerek üründe aromatik yapının oluşmasına etki etmesidir (alkol içerikli çikolata türleri gibi). Kurumların baz aldığı helal sertifikalandırmada bir kısım kurumlar son üründe sarhoşluk vermemesini, bir kısmının ısıl işlemle alkolün uçmasını, bir kısmı ise etil alkolün proseslerde dışarıdan ek olarak hiçbir şekilde kullanılmamasını baz almaktadır. Bu farklı yorumlar birçok kurumun birbirinin helal sertifikasını kabul etmemesine neden olmaktadır.

Çözüm Önerisi: Alkol kullanımı konusunda farklı fıkıh kurullarının fetvaları olması nedeniyle daha önce ifade edilen ortak üst kurul oluşturulup alkol kullanımı ile ilgili kuralları net olarak belirlemelidir. Bununla birlikte helal sertifikalandırma kurumları alkol konusundaki kurallarını tüketicilere yayınlayarak tüketicilerin tercihleri doğrultusunda tüketim yapmalarına imkan sağlanmalıdır.

4.9.2. Jelatin Konusundaki Problemler

Jelatin birçok hayvan türünün kemik, deri ve kıkırdaklarındaki kollojenden elde edilebilmektedir. Bu nedenle jelatinin elde edildiği kaynaklar itibarıyla hangi hayvandan nasıl elde edildiği konusunda araştırmalar yapılmaktadır. Jelatin, domuz ve sığır gibi hayvan türleri dışında ayrıca farklı balık türlerinin üretiminde atık olarak ortaya çıkan pul, deri ve kılçıklardan, kanatlı kümes hayvanlarının derilerinden, kıkırdak ve kemiklerinden elde edilebildiği de ifade edilmiştir (Bakanoğulları ve Aşkın, 2017).

Helal sertifikalandırma açısından jelatin, helal bir kaynaktan helal şartlara riayet edilerek elde edilir, işlenir ve son ürün haline getirilirse kullanılmasında bir problem yoktur. Ancak yasal bir kısıtlama ve taklit taşıma niyeti ile bir gıdanın üretiminde kullanılması durumunda üretilen ürünün helallik boyutunu etkilemektedir. Bununla birlikte günümüzde jelatin hammaddeleri ve yakın bir geçmişe kadar gayrimüslim ülkelerden ithal edilmekteydi. Kaynak itibariyle domuz ve helal kesim dışı hayvan deri, kemik vb. parçalarından elde edilmesi en büyük risklerdendir. Jelatin hammaddesi sığır olsa bile kim tarafından hangi koşullarda kesildiği net bilinmediği durumlarda helal sertifikalandırma açısından jelatinin bir gıda da kullanılması başlı başına büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye’de son yıllarda jelatin üretimi için tesis kurulumları yapılmış ve üretimler devam etmektedir. Ancak bu firmalarda da deri ve kemik hammaddelerinin hangi üreticilerden hangi şartlarda kesimlerin gerçekleştirildiğinin takibinin yapılması çok önemli bir noktadır. Bu izlenebilirlik sistemi ile helal şartlar göz önüne alınarak tüm girdilerin helal sertifikalı kesimhanelerden gelmesi gerektiği düşünülmektedir. Ancak bunun izlenebilirliği oldukça zordur. Bu bağlamda bazı sertifikalandırma firmaları hangi hayvandan, hangi yöntemle ve İslami gereklilikler yerine getirilerek elde edilen hayvan olmasını talep etmekte bazı firmalar ise sığır ya da balık orjinli olduğunu gösteren belgeyi yeterli görmektedir. Kesim yöntemi bilinmeyen bir sığırdan elde edilen jelatin için şüphelilik durumu ortadan kalkmıştır denilemez.

Çözüm Önerisi: Jelatinin helal ürünlerde kullanılabilmesi için öncelikle helal bir hayvan türünden, İslam dini helal kesim kurallarına uygun olarak kesimi yapıp uygun işleme teknikleri ile elde edilmesi sağlanmalıdır. Jelatinin Müslüman ülkelerde üretimi sağlanarak alternatif çoğaltılmalıdır. Helal hayvan türlerinden elde edildiği bilinen bir jelatinin İslami kesim gerekliliklerini sağladığı yönündeki izlenebilirlik standart hale getirilmelidir.

4.9.3. Makineli Kesim Konusundaki Problemler

Kesim konusu İslam dini açısından çok önem verilen ve detaylandırılan bir konudur. Bununla birlikte İslami kesimin yapılmasının temel metodolojisi bellidir. Ancak insanlığı değişen yaşam ve talep koşullarına göre kesim işlemlerinde yeni yöntemler belirlemektedir. İslam dini açısından Helal kesim şartları detaylı olarak açıklamıştır. Makineli kesime fetva veren kişi ya da kurumlar hayvanı kesen kişide aranan şartlar kısmını tamamen ortadan kaldırmış olduğu düşünülmektedir. Makineli kesimde hayvanların sersemletme havuzundan ölü gelmeleri ya da sersemletmenin tam etki göstermediği durumda hayvan kafasını makinenin kesim yönü ile denk getiremeyip sadece arka kısımdan kesmeye tabi tutularak, vücuttan kanın düzgün çıkmasını sağlamadan

ölüm gerçekleşmesi büyük bir risktir. Bazı sertifikalandırma firmaları bazı şartlar ile makineli kesime müsaade etmektedir. Bu konu birçok helal sertifikalandırma kuruluşunun ayrıma gittiği en önemli nokta olmuştur. Bunun sonucu olarak hayvansal katkı maddeleri ve bu maddelerin katılarak oluşturulan ürünler şüphelilik zincirini uzatmaya devam etmektedir.

Çözüm Önerisi: Helal hayvan türlerinin helal kesim konusunda gereklilikleri sağlamak üzere bilinçli bir Müslüman kasap tarafından elle kesiminin sağlanmalıdır. Yüksek kapasiteli yerlerde ise bu konunun netleşmesi için hem akademik çalışmalar hem de üst kurulun detaylı çalışmalar yapması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca makineli kesime onay veren helal sertifikalandırma kuruluşları standartlarını tüketiciler ile paylaşmalıdırlar.

4.9.4. Gıda Katkı Maddelerindeki Problemler

Gıda katkı maddelerinin mevcut onay ve değerlendirme sistemi, helal sertifikalandırma sistemi gerekliliği olan İslami bakış açısından farklıdır. Müslüman ülkelerdeki katkı maddelerindeki yasal kullanım limitleri ve kullanımına izin verilen/yasaklanan katkı maddeleri Avrupa Birliği ülkelerindeki standartlara uyum kapsamında tercüme edilmekte ve uygulanmaktadır. Bunun ana sebebi Müslüman kuruluşların/ülkelerin referans çalışmaların olmaması, eksikliği ya da yetersizliği nedeniyledir. Gıda katkı maddelerindeki sınıflandırma ve kullanım limitleri, ürün gruplarının çeşitliliğini ve alternatif gıda kaynaklarını artırmak odağında olduğundan İslami bakış açısı ile uyuşmamaktadır. Örneğin böcekten elde edilebilen karmin ya da domuzdan elde edilen gliserol işlevsel olarak değerlendirilmektedir. Bu tür katkıları ister doğal, ister organik, ister koşer olsun helal sertifikalandırma yapılmaması ve helal sertifikalı bir üründe kullanılmaması gerekmektedir. Bir diğer sıkıntı ise helal kaynaktan helal şartlara dikkat edilerek üretilen bir beta karoten renklendiricisi ile üretiminde alkol kullanılarak üretilen beta karotenin aynı kodda ifade edilmesidir. Bu durumda biri helal, diğeri şüpheli olan bir katkı maddesi elde edilmiş olmaktadır. Bu da helal sertifikalandırma aşamasında problemlere neden olan bir diğer konudur.

Çözüm Önerisi: Gıda katkı maddelerinin gruplandırma sistemi İslami bakış açısı ile tekrar değerlendirilerek, kaynak ve geçirdiği işlem yönü ile bir düzenleme yapılmalıdır. Bununla birlikte helal araştırma enstitülerinin sayısı artırılarak bilimsel verilerin kuvvetlendirilmesi, sağlığa zararlılık ilkesi fıkıh alimleri ile istişare edilerek, kullanımı uygun olmayan katkı maddeleri belirlenmeli ve ortak bir görüş olarak yayınlanmalıdır.

Üreticilerin Bilgi Eksikliği

Üretici üretim yaptıkları sektördeki helal gereklilikler hakkında detaylı bilgilerinin olmaması hem sistemin gerekliliği noktasında sağlıklı karar vermelerini engellemekte hem de helal sistem gerekliliklerini abartı olarak görmelerine neden olmaktadır. Bununla birlikte birçok Müslüman üretici ürünlerinde yapısal gelişimi sağlamak için satın aldıkları gıda katkı ve yardımcı maddelerindeki riskleri de bilmemektedir. Sonuç olarak en hassas Müslüman üretici bile bilmeden ürünlerine şüpheli, belkide haram içerikli bir girdiyi kullanılabilmektedir

Cözüm Önerisi: Müslüman üreticiler öncelikle kendi sektörlerindeki helallik risklerini bilmeleri, tüm kullandıkları girdi, yardımcı ve katkı maddelerini şeffaf olarak sertifikalandırma kuruluşuna göstermeli, güvenilir helal sertifikalandırma kuruluşlarından belge almalı ve ilgili kuruluşun gereklilik olarak ifade ettiklerine dikkat ederek sistemin sürekliliğini sağlamalıdır. Helal Sertifikalandırma Sistemlerindeki üreticiler sertifika gerekliliklerini harfiyen ve hassasiyetle yerine getirmelidir.

4.10. Tüketicilerin Bilgi Eksikliği

İnsanoğlu doğada her bulduğunu değil, kendi fitratına en uygun olanı bulup, seçip tüketebilme kabiliyetinde yaratılmıştır. Bu durum sadece helal sertifikalandırma açısından değil, diğer kişisel sağlık gerekliliği olarak da karşımıza çıkmaktadır. Örneğin kişinin vücuduna zarar veren herhangi bir alerjen içerikli gıdayı tüketmemesi gerekmektedir. Bununla birlikte kişilerin dini inançlarına uygun gıdaları tercih edebilmeleri şüphesiz ki o sistemin gerekliliklerini anlamakla mümkün olacaktır. Bu bağlamda Müslüman tüketiciler, güvenilir helal sertifikalandırma kuruluşlarını bulmaları için bilinçlenmeleri gerekmektedir.

Sertifikalandırma yapan kurumların açık ve şeffaf olması ve bu konuda tüketiciye yönelik medya ile bilgilendirme yapılmasının önemli olduğu düşünülmektedir. Özellikle yurt dışında insanlar Koşer ürünleri helal ürünler olmadığı durumlarda bir çözüm yolu olarak görmektedir. Oysa Koşer'deki gerekliliklere bakıldığında özellikle alkol ve sağlık açısından gereklilikler (tayyibat) konusunda helal gereklilikler ile uyuşmadığı net olarak görülmektedir. Örneğin şarap, kaynağına bakılmadan jelatin, enzim mayaların tümü Koşer Belgesi alabilmektedir. Bu ve buna benzer helal sertifikalandırma sistematığı ve hassasiyeti ile uyuşmayan sebeplerden ötürü Koşer ürünler in hepsi helal ürün olarak algılanmamalıdır.

Cözüm Önerisi: Tüketiciler tüketim yaptıkları her türlü gıda maddelerini araştırmalıdır. Etiketler üzerinde yazan bilgileri dikkate almalıdır. Üretici firmalardan helal sertifikalarını talep ederek kendi inançlarına uygun ürünleri

tüketmelidirler. Herhangi bir standardı olmayan ya da standartlarını paylaşmayan kurumlara güvenmemelidirler. Koşer ürünlerin helal ürün gerekliliklerini karşılamadığı daha yaygın olarak duyurulmalıdır.

4.11. Etiketlerin Tam ve Detaylı Bilgi Sağlamaması

Gıda üretimi ile ilgili her ülkenin farklı yasal otoriteleri bulunmaktadır. Tüketicilere sunulan ürünlerin sağlık açısından gereklilikleri, ürünlerde kullanılabilecek katkı maddeleri ve bunların miktarları, ülkelerin yönetmelik, tebliğ vb. gibi yasal düzenlemeleri ile kontrol altında tutulmaya çalışılmaktadır. Burada en önemli sorun her ülkenin gelişmişlik düzeyi, ARGE konusundaki yatırımı, sağlık sistemi ve gıdaya bakışına bağlı olarak kendi çabaları, hassasiyeti ile limitlerin belirlenmiş olmasıdır. Bir ülke gelişmemiş ve de ekonomik gücü zayıf ise gıda da ARGE faaliyetlerini sağlıklı yapamamaktadır. Bir ülke gıda yasaları anlamında gelişmemiş veya açlık ile mücadele ediyorsa, kimin hangi hassasiyette ve gereklilikte ne kullandığını denetleyemeyip tespit edememektedir. Helal sertifikalandırma sisteminde her kuruluşun farklı bir logosu bulunmaktadır. Ayrıca bazı firmalar izinsiz helal logo kullanımına gitmekte, bu da ambalaj üzerindeki logoya güvenip tüketim yapan kişiler için aldatılma anlamına gelmektedir(GİMDES, 2021). Maalesef bu durumun tespiti için Türkiye’de ya da dünyada herhangi bir kuruluş bulunmamaktadır. Ancak şikayet durumunda ilgili kurumlar tarafından inceleme başlatılabilmektedir.

Besin etiketleri tüm bireylerin anlayabileceği kolay ve basit ifadelerden oluşmalıdır (Aslan ve Özçelik, 2017). Bu durum ile ilgili yapılan yasal düzenlemelerde punto büyüklükleri belirlenmiş olsa da üreticilerin ürün içine kattıkları girdilerin artması nedeniyle etiketlerin okunması ve anlaşılması güçleşmektedir. Ayrıca kullanılan katkı maddesini açık değil E kodu ile yazılmasında sorun olduğu düşünülmektedir.

Çözüm Önerisi: Helal sertifikalandırma sistemi ticari gerekliliklerden ziyade ürünün insan sağlığına etkisi durumunu değerlendirmelidir. Etiketler tüketicilere tam ve detaylı bilgi sağlamalıdır. Etiketlerdeki bilgilendirmeler proste kullanılabilecek malzemelerin adına açıkça yazabilecek nitelikte olmalıdır. Özellikle E kodları ile yazılan katkı maddelerini tüketicinin bilme ihtimali oldukça zayıf olduğu gibi helallik riskini de bilememektedir. Örneğin E120 olarak ifade edilen Karmin, E124 olarak ifade edilen Ponceau 4R...gibi helallik ve sağlık yönünden riskli katkı maddelerini tüketicilerin bilme imkanı bulunmamaktadır. Bunun için etiketlerde alerjenlerde yapılan bilgilendirme gibi hayvansal kaynaklı ya da sağlık açısından risk teşkil eden durumlar açıkça belirtilmesi sağlanmalıdır.

4.12 Mezheplerin Farklılıklarının Standartlarda Belirtilmemesi

Mezhepsel olarak birçok ürün gruplarında özel ek gereklilikler olabilmektedir. Örneğin, deniz ürünleri konusunda Hanefiler çok dar bir helal alanı belirlerken, diğer mezheplerin daha geniş bir yelpazede yer aldıkları görülür. Mezheplerin hayvan kökenli ürünlerde farklı kanaatleri olduğu SMIIC standardizasyonunda yer aldığı ifade edilmiştir(Şimşek, 2013). Ancak SMIIC standardını referans alan standartların sertifikalarına baktığımızda farklı mezhepler için bir bulgu görülmemektedir. Hayvan kesim kurallarında ise fazla olmamakla birlikte mezheplere göre farklı şartları olduğu bildirilmektedir (Bilmen, 1959). Mezheplerin görüşleri İslam dini mensupları tarafından geçerli kabul edilmekte ve özellikle uygulamalar bu kurallar doğrultusunda devam etmektedir.

Çözüm Önerisi: Dünya Müslümanları arasında en yaygın 4 mezhebe (Hanefi, Şafi, Maliki, Hanbeli) göre firma girdi ve kullandığı ürünler değerlendirilerek uygunluk durumu sertifika üzerinde mezheplere göre belirtilmesi ve mezheplerdeki farklılıkların sertifika standartlarında yer alması gerektiği düşünülmektedir.

REFERANSLAR

- Aizat, M. J. ve Radzi, C. W. J. W. M. (2009). Theory of istihalah in Islamic and science perspective: application for several food processing products. *Jurnal Syariah*, 17(1): 169-193.
- Alam, S. S. & Sayuti, N. M. (2011). Applying the theory of planned behavior (TPB) in halal food purchasing. *International Journal of Commerce and Management*, 21(1), 8-20.
- Aslan N. N., Yardımcı, H. ve Özçelik, A. Ö. (2017). Genç yetişkinlerin besin etiketleri ile ilgili beklentileri ve helal gıda sembolünü bilme durumunun değerlendirilmesi. *4. Uluslararası Helal ve Sağlıklı Gıda Kongresi Bildiri Kitapçılığı* (s. 98-99) içinde. Ankara.
- Bakanoğulları, G. B. ve Aşkın, O. O. (2017). Farklı hayvansal kaynakların helal jelatin üretiminde kullanım olanakları. *4. Uluslararası Helal ve Sağlıklı Gıda Kongresi Bildiri Kitapçılığı* (s. 234-235) içinde. Ankara.
- Batu, A. (2012). Türkiye’de helal (mahzursuz) gıda ve helal belgelendirme sistemi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1): 51-61.
- Bilmen, Ö. N. (1959). *Büyük İslam ilmi hali*, Çelik Yayınevi, İstanbul
- Boran, M. (2016). Gıda katkı maddelerinde helâllik ve haramlık ölçüleri. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9(42): 1751-1759.
- Boran, M. (2019). *Yiyecek ve içeceklerimizde helal haram ölçüleri*. İstanbul, Ravza Yay. ve Mat.
- Bozyiğit, S. & Kılınç, G. (2019). Tüketicilerin sağlıklı gıda algıları ve tüketim davranışları: keşifsel bir çalışma. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 45, 201-229.
- Büyüközer, H. (2019). [Online]. "*Helal kavramını istismar etmekte*" <https://www.haberler.com/helal-kavramini-istismar-etmekte-12551837-haberi/> (Erişim tarihi: 8 Ocak 2022).
- Çayiroğlu, Y. (2014). *İslâm Hukukuna Göre Helal gıda kitabı*. Işık Yayınları.
- Fındık, M. (2020). Malezya’nın helal gıda sertifikasyonundaki rolü. *Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi*, 1(2), 82-104.
- Gedikli, Z. (2019). Helal akreditasyon uygulamaları: sorunlar ve çözüm önerileri. *Helal Akreditasyon Uygulamaları: Sorunlar ve Çözüm Önerileri Çalıştay Kitapçığı* (s. 39-43) içinde. Sabahattin Zaim Üniversitesi.
- GİMDES. (2021). *Sahte helal sertifika ve sahte helal logo kirliliğine dikkat!* [Online]. <https://www.gimdes.org/sahte-helal-sertifika-ve-sahte-helal-logo-kirliligine-dikkat.html> (Erişim tarihi: 8 Ocak 2022).
- Gültekin, F., Çeker, O., Elgün A., Gürbilek, M., Şimşek, M., Oral, R., Köse, S., Türker, S., Döndüren, H., Ünal, M., Küçüköner, E., Yetim, H., Aydın, A., Dede, B., Özmen, İ., Başayığit, L., Cengiz, M., Tilki, T., Akın, S.,

- (2020). Gıda katkı maddelerinin istihale yönünden değerlendirilmesi. *Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi*, 2(2): 21-33.
- Hariri, M. (2015). Jelatinin dönüşümü (istihale) “bilim ve fıkıh açısından”. *GİMDES Helal ve Sağlıklı Ürünleri Araştırma Dergisi*, 40(9): 23-25.
- Kızılgın, Y.& Özkan, B. (2014). A study on determining the halal food consumption tendencies of the consumers. *Business & Management Studies: An International Journal*, 2(1), 18-37.
- Şahingöz, S. A.& Onur, A. G. M. (2017). Tüketicilerin helâl gıda algıları ve tercihleri. 1. International HalalTourismCongress, ProceedingsBooks, 276-285, Alanya-Türkiye.
- Şimşek, M. (2013). Helal belgelendirme ve SMIIC standardı. *İslam Hukuku Araştırmaları Dergisi*, 22: 19-44.
- Tayar, M. & Doğan, M. (2019). Helal Kesim. *Journal of Halal Life Style*, 1(2), 62-76.
- Tekle, Ş., Sağdıç, O., Nursaçan, Ş., Yetim, H. & Erdem, M. (2013). Ülkemizde ve dünyada helal gıda hususunda karşılaşılan problemler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 1-6.
- Türker, S. (2020). Helal ve güvenilir gıda. *Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi*, 2(1), s. 85-97.
- Özdemir, O. (2009) *Yiyecek ve içeceklerde helallik-haramlık kriterleri* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri.
- Özdemir, H.& Yaylı, A. (2014). Tüketicilerin helâl sertifikalı ürün tercihleri üzerine bir araştırma İstanbul ili örneği. *İşletme araştırmaları dergisi*, 6(1), 183-202.
- Yalçın, İ. (1997). *İslam'da eti yenen ve yenmeyen hayvanlar* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Yetim, H. ve Türker, S. (2020). Helal ve Sağlıklı Gıda. İZÜ Yayınları, No:51. Halkalı, İstanbul
- Yüksel, F. (2003). *İslam hukuku ve Yahudi hukukunda helal-haram kavramı açısından gıdalar* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Bölüm 11

MÜHENDİSLİK ALANINDA KULLANILAN GÜNCEL META SEZGİSEL ALGORİTMALAR

Hüseyin DEMİRCİ¹
Muhammed KOTAN²

META SEZGİSEL ALGORİTMALAR

Bilgiye erişimin arttığı günümüzde tüm bilim alanları birbirleri ile dahada iç içe geçmiştir. Sosyal bilimlerdeki bir problem aynı zamanda fen bilimlerindeki başka bir problemle ortak bir noktası olabilir. İşte bu gibi durumlarda fen bilimleri için geliştirilmiş bir yöntem sosyal bilimlerde tersi şekilde sosyal bilimlerde kullanılan bir yöntem fen bilimlerindeki bir problemin çözümü olabilir. Örnek verecek olursak pazarlama biliminde müşterinin devamlılığının tespiti probleminde bilgisayar bilimlerinde bulunan derin öğrenme yöntemi (Seymen vd., 2021) ve yapay sinir ağı yöntemi (Seymen vd., 2023) kullanılarak bu problemin çözümü bulunmuştur. Yine aynı alanda müşteri segmentasyonu problemi bilgisayar bilimleri alanında kullanılan kümeleme yöntemi ile çözülmüştür (Dogan vd., 2021). Bunun gibi birçok örnek gösterilebilir. Özellikle yapay zeka teknikleri günümüzde birçok disiplinle entegre olmuştur. Bu tekniklerden biri de meta sezgisel algoritmalarıdır.

Türk Dil Kurumu'na göre “meta” kelimesi Yunanca kökene sahip olup “sonra gelen” anlamında kullanılan bir ön ektir (“Meta”, 1998). Yine Türk Dil Kurumu'na göre sezgisel kelimesinin kökü olan “sezgi” kelimesi ise felsefi açıdan “gerçeği birden kavramada içgüdüden yararlanma” şeklinde açıklanmıştır (“Sezgisel”, 1975). Tüm bunlar ışığında “meta sezgisel” kelimesine anlam olarak bakacak olursak sezgilerin ötesinde bilgiye ulaşmak için kullanılan bir yöntem olarak ifade edebiliriz.

Meta sezgisel algoritmalarda bilgisayar biliminde optimizasyon alanında problemleri çözmek için kullanılan sayısız araçlardan biridir. Geleneksel optimizasyon çözüm yöntemleri yerine meta sezgisel algoritmaların tercih edilmesinin sebeplerinden biri meta sezgisel algoritmaların probleme bağımsız olarak çalışabilmelidir. Yani birden fazla farklı yapıdaki problem tek bir araçla

¹ Arş. Gör.; Sakarya Üniversitesi Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. huseyind@sakarya.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5784-0786

² Dr. Öğr. Üyesi; Sakarya Üniversitesi Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü. mkotan@sakarya.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5218-8848

çözülebilir. Diğer bir avantaj ise bu algoritmaların çok hızlı çalışmalarıdır. Bunun yanında belki bir dezavantaj olarak nitelendirebileceğimiz bir durum ise bu tür algoritmaların asla tam bir çözüm vaat etmemesi gösterilebilir. Bu durum iki avantajın sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Genel olarak algoritmanın hızla arama uzayında hareket ederken bazı istenmeyen bölgelerden kaçınması ve algoritmaların doğasında bulunan rastgelelik durumu tam bir sonuç elde etmeyi zorlaştırmaktadır. Ancak bu algoritmanın tam bir sonuç bulamayacağı anlamına gelmemektedir. Genellikle bu tür algoritmalar tam çözüme çok yakın sonuçlar elde ederler. Gelişen teknoloji ve bilimin ışığında her geçen sene meta sezgisel algoritmalar alanında birden çok bilimsel çalışma yapılmakta ve literatüre birçok algoritma kazandırılmaktadır. Günümüze kadar türetilmiş algoritma sayısı 300'den fazladır. Bu kadar çok algoritmanın neden türetildiğinin sebebine değinmeden önce bu tür algoritmaların genel ortak yapıları ve işleyiş şekillerinin bilinmesi faydalı olacaktır.

Bir meta sezgisel algoritma yapısal olarak arama yapan arama ajanı adı verilen yapılardan oluşmaktadır. Algoritma içerisinde algoritmanın tasarım yapısına göre bu ajanların sayısı bir adetten binlerce adete kadar artabilmektedir. Bir algoritmanın arama uzayında dolaşarak çözümleri değerlendirdiği iki temel aşama vardır. Bu aşamalardan ilki küresel arama denilen arama uzayını büyük adımlarla gezen bir arama formülasyonudur. Diğer aşama ise yerel arama denilen arama uzayında daha küçük adımlarla gezen bir aşamadır. Bazı algoritmalarda bu adımların sıklığı algoritmanın ilerlemesi ile artan veya azalan yapılarda olmak üzere değişken olabilmektedir. Bir meta sezgisel algoritma küresel arama ve yerel aramayı tasarlandığı temele benzetilmiş bir matematiksel yapı ile gerçekleştirir. Bu açıdan her bir meta sezgisel algoritmanın arama uzayı üzerinde hareketi kendine göre eşsizdir. Nitekim bu aşamalar her ne kadar eşsiz de olsa birbirlerinden esinlenmemiştir denilemez. Bu noktada algoritmaları birbirlerinden ayıran özellik bu arama aşamalarını hangi koşullarda ve ne sıklıkla yürüttükleri noktasında oluşmaktadır (Demirci vd., 2023).

Bir meta sezgisel algoritmanın başarısı algoritmanın kendi yapısıyla ilgili olduğu kadar problemin tanımlanma şekliyle de ilgilidir. Bir yarış arabası, acemi bir sürücü hakimiyetinde ne kadar verimli kullanılabilir? Buradan kastettiğimiz çözülmek istenen problemin matematiksel tanımı çok iyi yapılmalıdır. Problemin sınırları iyi belirlenmelidir. Kısacası algoritmayı kullanacak olan kişi probleme hâkim olmalıdır. Örnek verecek olursak -10 ile 10 arasında değer alabilen bir problemin tanım aralığının -1000 ile 1000 olarak girilmesi algoritmanın gereksiz yere uzun süre çalışmasına sebep olacaktır. Bu sebepten dolayı algoritma istenilen sürede cevabı bulamayabilir.

Bir meta sezgisel algoritmanın diğer önemli bir yapısı da algoritmanın ne zaman durması gerektiğinin ayarlanmasıdır. Literatürde genel olarak birden fazla algoritma durdurma yöntemi mevcut olsa da en yaygın olanı belirli bir iterasyon sınırına ulaşıldığında algoritmanın durdurulmasıdır. Diğer yöntemler ise algoritma cevabının belirli bir değere yakınsaması, belirli bir iterasyon süresince daha iyi bir çözüm üretilmemesi veya zaman kısıtı olabilmektedir. Bu yapının önemli olmasının sebebi eğer ki probleme göre uzun sürecek bir durdurma kriteri verilirse sonuç elde etme maliyeti artacaktır tam tersi durumda problemin çözümü için çok az süre verilirse algoritma doğru çözüme yakınsayamadan duracak ve yanlış sonuç üretecektir.

Bunların yanı sıra her algoritmanın kendine özgü bir veya birden fazla parametre ayarı vardır. Örnek verecek olursak neredeyse bütün algoritmaların ortak bir özelliği olan çalışma anında arama yapacak olan arama ajanı sayısı yani popülasyon sayısı mevcuttur. Popülasyon sayısının az veya çok olması algoritmanın çalışma hızına dolayısıyla performansına doğrudan etki eden bir faktördür. Gerek algoritmaya özgü parametrelerinin seçilmesi gerekse genel parametrelerin seçilmesi algoritmanın doğrudan çalışma prensiplerine ve zamanına etki etmektedir. En uygun parametrelerin seçilmesi çok zordur zira bu seçim işlemi kendi başına bir optimizasyon problemidir.

Literatürde 300’ü aşkın sezgisel algoritma olması durumuna gelecek olursak bunu şu şekilde açıklayabiliriz. Bazı problem çeşitleri veya spesifik birkaç problem üzerinde çok iyi sonuçlar elde eden bir algoritma başka bir karakteristiğe sahip bir problem setinde çok kötü sonuçlar elde edebilmektedir. Bu yüzden araştırmacılar tarafından “Bedava Yemek Yok Optimizasyon Teoremi” (No Free Lunch Theorem of Optimization) ‘ni ortaya atılmıştır (Wolpert ve Macready, 1997). Daha önce de açıkladığımız üzere bu teoreme göre bir algoritma bütün problemleri en iyi şekilde çözemez. Ancak bu daha iyi ve hızlı sonuç üreten algoritmaların geliştirilmesi için engel olmamalı aksine daha fazla problem için kapsayıcı olacak şekilde algoritmaların üretilmesini teşvik etmelidir.

Bir meta sezgisel algoritmanın bir diğerine göre etkinliği ve başarımı literatürde yer alan bazı test fonksiyonları vasıtasıyla ölçülmektedir. Bu test fonksiyonları standartlaştığı için tüm yeni çıkan algoritmalar bu test fonksiyonları ile sınanmaktadır. Ayrıca bunların dışında kalan ve yine literatürde sıklıkla kullanılan bir diğer test yöntemi ise bir dizi gerçek dünya mühendislik tasarım problemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu tasarım problemleri test fonksiyonları gibi standartlaşmış ve çözümü detaylıca hesaplanmış problemlerdir.

MÜHENDİSLİK TASARIM PROBLEMLERİ

Optimizasyon alanında sıkça kullanılan ve literatürde kabul görmüş birçok mühendislik tasarım problemi bulunmaktadır (Savsani ve Savsani, 2016). Bu bölümde çok yaygın kullanılan üç tanesi tanıtılacaktır. Bu problemler “Basınç Tankı Tasarımı Problemi”, “Germe/Sıkıştırma Yayı Tasarımı Problemi” ve “Kaynaklanmış Kiriş Tasarımı Problemi”dir.

Basınç Tankı Tasarımı Problemi

Bir basınç tankı birden çok elemandan oluşmaktadır. En temel bileşenleri ise tankı oluşturan başlık ve gövdesidir. “Amerika Makine Mühendisleri Topluluğu” (ASME) standartlarına göre bir basınç tankının güvenli bir şekilde çalışabilmesi için bu iki ana parçanın kalınlıkları 0.0625 inç ve katlarında olmalıdır. Tankı oluşturan parçaların diğer tasarım değişkenleri ise basınç tankının gövdesinin uzunluğu ve basınç tankının yarı çapıdır. Buradan hareketle bir basınç tankının tasarımı için gerekli dört değişken şu şekilde sıralanabilir: Tank başlığının duvar kalınlığı (T_h), tank gövdesinin duvar kalınlığı (T_s), tankın iç yarıçapı (R) ve tankın gövde uzunluğu (L). Şekil 1’de basit bir basınç tankının görünüm verilmiştir. Buna göre basınç tankının tasarımının birincil amacı silindirik bir kabın malzemesi, biçimlendirilmesi ve kaynaklanması dahil olmak üzere dört optimizasyon değişkeniyle genel maliyeti en aza indirmektir. Problemin matematiksel modeli ise şu şekildedir;

$$x_1 = T_s, x_2 = T_h, x_3 = R, x_4 = L$$

$$f(x) = 0.6624x_1x_3x_4 + 1.7781x_2x_3^2 + 3.1661x_1^2x_4 + 19.84x_1^2x_3$$

$$g_1(x) = -x_1 + 0.0193x_3 \leq 0$$

$$g_2(x) = -x_2 + 0.00954x_3 \leq 0$$

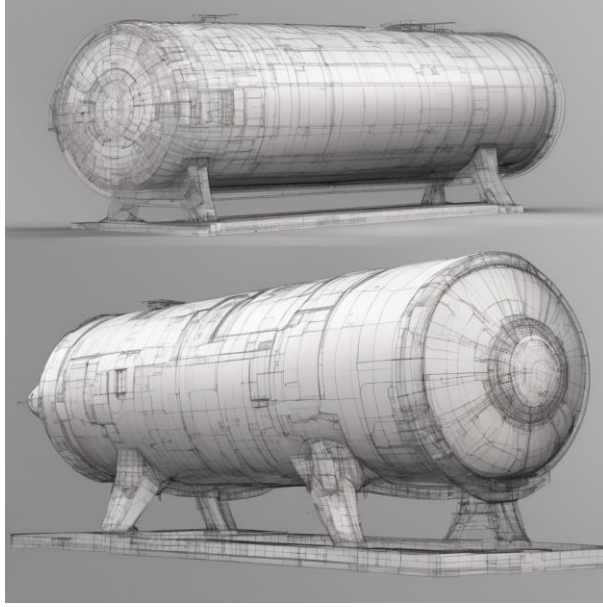
$$g_3(x) = -\pi x_3^2x_4 - \frac{4}{3}\pi x_3^3 + 1296000 \leq 0$$

$$g_4(x) = x_4 - 240 \leq 0$$

$$0.00625 \leq x_1 \leq 99 * 0.0625, \quad 0.0625 \leq x_2 \leq 99 * 0.0625,$$

$$10 \leq x_3 \leq 200, \quad 10 \leq x_4 \leq 200$$

Burada $f(x)$ fonksiyonu minimize edilecek amaç fonksiyonu $g_{1,2,3,4}(x)$ fonksiyonları ise kısıt fonksiyonlarıdır. Ayrıca her bir değişkenin kendine özgü tanım aralığı bulunmaktadır.



Şekil 1: Basınç Tankı Tasarımı

Germe/Sıkıştırma Yayı Tasarımı Problemi

Bu problemde bir yay tasarlanmak istenmektedir. Tasarlanmak istenilen yayın tasarım değişkenleri sırasıyla telin çapı (d), yayı oluşturan halkanın çapı (D) ve aktif halkaların sayısıdır (N). Bu durumda amacımız yayın ağırlığını en aza indirmektir. Şekil 2’de bir yay benzetimi ve tasarım değişkenleri verilmiştir. Buna göre problemin matematiksel modeli ise şu şekildedir;

$$x_1 = d, \quad x_2 = D, \quad x_3 = N$$

$$f(x) = (x_3 + 2)x_2x_1^2$$

$$g_1(x) = 1 - \frac{x_2^3x_3}{71785x_1^4} \leq 0$$

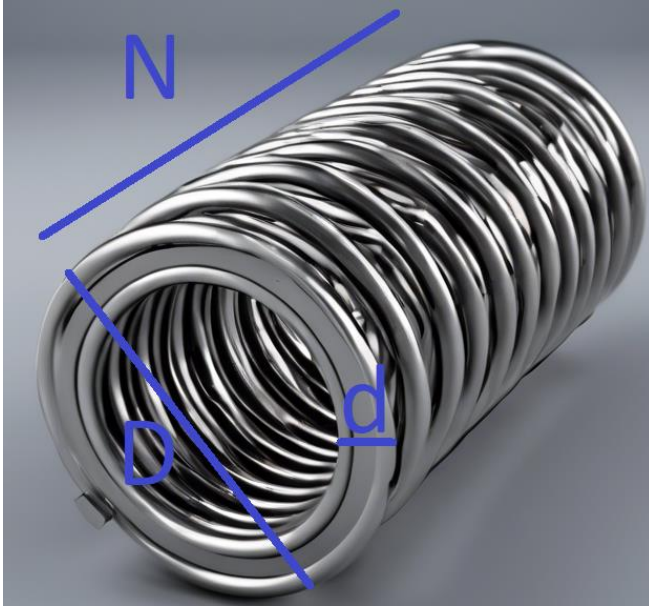
$$g_2(x) = \frac{4x_2^2 - x_1x_2}{12566(x_2x_1^3 - x_1^4)} + \frac{1}{5108x_1^2} - 1 \leq 0$$

$$g_3(x) = 1 - \frac{140.25x_1}{x_2^2x_3} \leq 0$$

$$g_4(x) = \frac{x_1 + x_2}{1.5} - 1 \leq 0$$

$$0.05 \leq x_1 \leq 2, \quad 0.25 \leq x_2 \leq 1.3, \quad 2 \leq x_3 \leq 15$$

Burada $f(x)$ fonksiyonu minimize edilecek amaç fonksiyonu $g_1, g_2, g_3, g_4(x)$ fonksiyonları ise kısıt fonksiyonlarıdır. Ayrıca her bir değişkenin kendine özgü tanım aralığı bulunmaktadır.



Şekil 2: Germe/Sıkıştırma Yayı Tasarımı

Kaynaklanmış Kiriş Tasarımı Problemi

Bu problemin amacı bir dizi tasarım kısıtlamasına göre en iyi üretim maliyetini bulmaktır. Problemden dört adet değişken vardır bunlar sırasıyla kaynak uzunluğu (l), kaynak yüksekliği (h), kiriş yüksekliği (t) ve kiriş kalınlığı (b) olarak verilmiştir. Amaç, kayma gerilimi (τ), eğilme gerilimi (σ), burkulma yükü (P_c), sapma (δ) ve diğer kısıtlamalara maruz kalan kaynaklanmış bir kirişin toplam imalat maliyetini en aza indirecek en iyi tasarım değişkenlerini bulmaktır. Buna göre problemin matematiksel modeli ise şu şekildedir;

$$x_1 = h, x_2 = l, x_3 = t, x_4 = b$$

$$f(x) = 1.10471x_1^2x_2 + 0.04811x_3x_4(14 + x_2)$$

$$g_1(x) = \tau(x) - \tau^{max} \leq 0, \quad g_2(x) = \sigma(x) - \sigma^{max} \leq 0$$

$$g_3(x) = x_1 - x_4 \leq 0,$$

$$g_4(x) = 1.1047x_1^2 + 0.04811x_3x_4(14 + x_2) - 5 \leq 0$$

$$g_5(x) = 0.125 - x_1 \leq 0,$$

$$g_6(x) = \delta(x) - \delta_{max} \leq 0, \quad g_7(x) = P - P_c(x) \leq 0$$

$$\tau(x) = \sqrt{(\tau')^2 + 2\tau'\tau''\frac{x_2}{2R} + (\tau'')^2}, \quad \tau' = \frac{P}{\sqrt{2}x_1x_2}, \quad \tau'' = \frac{MR}{J}$$

$$M = P\left(L + \frac{x_2}{2}\right), \quad R = \sqrt{\frac{x_2^2}{4} + \left(\frac{x_1 + x_3}{2}\right)^2},$$

$$J = 2 \left[\sqrt{2}x_1x_2 \left\{ \frac{x_2^2}{4} \right\} + \left(\frac{x_1 + x_3}{2} \right)^2 \right]$$

$$\sigma(x) = \frac{6PL}{x_4x_3^2}, \quad \delta(x) = \frac{4PL}{Ex_3^3x_4},$$

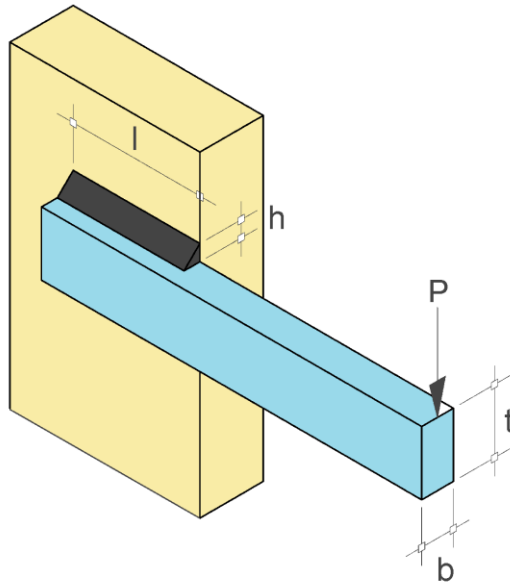
$$P_c(x) = \frac{4.013E \sqrt{\frac{x_3^2x_4^6}{36}}}{L^2} \left(1 - \frac{x_3}{2L} \sqrt{\frac{E}{4G}} \right)$$

$$P = 6000lb, \quad L = 14in, \quad E = 30 * 10^6 psi,$$

$$\tau_{max} = 13600psi, \quad \sigma_{max} = 30000psi, \quad \delta_{max} = 0.25in$$

$$0.1 \leq x_1 \leq 2.0, \quad 0.1 \leq x_2, x_3 \leq 10, \quad 0.1 \leq x_4 \leq 2.0$$

Burada $f(x)$ fonksiyonu minimize edilecek amaç fonksiyonu $g_{1,2,3,4}(x)$ fonksiyonları ise kısıt fonksiyonlarıdır. Ayrıca her bir değişkenin kendine özgü tanım aralığı bulunmaktadır.



Şekil 3: Kaynaklanmış Kiriş Tasarımı

GÜNCEL META SEZGİSEL ALGORİTMALAR

Bu bölümde ise bir önceki bölümde tanımı verilmiş olan mühendislik tasarımı problemlerinin çözümünde kullanılan güncel tarihli en iyi üç meta sezgisel algoritma tanıtılacak ve problemlere vermiş oldukları çözümler aktarılacaktır.

Harris Şahinleri Optimizasyon Algoritması

Harris Şahinleri yapılan bir çalışmaya göre yırtıcı kuşlar arasında en yüksek zekâ seviyesine sahip kuş türlerinden biridir (Lefebvre vd., 1997). Diğer yırtıcı kuşlar doğada avlarını tek olarak avlarken Harris şahinleri ise avlarını aile üyeleri ile aramakta ve avlamaktadır. Avladıkları hayvanı ise av grubu içerisinde bölüşerek yemektirler. Bu yırtıcı kuşların sosyal etkileşimleri diğer tüm yırtıcı kuşlardan fazladır. Yapılan gözlemlere göre bazı zamanlarda (üreme sezonu dışında veya sezonlar arasında) bu kuşlar sadece belirli aile üyeleri ile bir yemek organizasyonu bile düzenlemektedirler (Bednarz, 1988). Toplanıp yemek başladığında, bazı şahinler birbiri ardına kısa turlar yapar ve ardından oldukça yüksek tüneklere inerler. Bu şekilde şahinler ara sıra hedef bölgenin her yerinde "bir sıçrama" hareketi yapar ve genellikle bir tavşan olan gizli hayvanı aktif olarak aramak için birkaç kez yeniden birleşip ayrılırlar.

Harris Şahinleri Optimizasyon algoritması (HŞO) (Heidari vd., 2019), yırtıcı kuş Harris Şahinleri ve aile üyelerinin sürü içindeki yiyecek arama davranışlarından ilham almıştır. Doğada, diğer yırtıcı kuşlar genellikle avlarını bireysel olarak arar ve yakalarlar. Ancak, Harris Şahinleri benzersiz bir işbirlikçi yaklaşıma sahiptir, bu da HŞO algoritmasının temelini oluşturmaktadır. Bu algoritmanın arama ajanları, Harris şahinleridir.

HŞO'nun iki küresel arama ve iki yerel arama stratejisi bulunmaktadır. Küresel arama stratejileri, rastgele konumlandırılmış tüneme veya diğer aile üyelerinin konumlarına göre ayarlanmış tüneme hareketidir ve bu iki strateji eşit olasılıkla seçilmektedir. Küresel arama aşamasından yerel arama aşamasına geçiş, iterasyonlar sırasında avın kaçması nedeniyle enerjisinin azalmasına dayanır. Algoritmanın başlangıcında avın kaçma olasılığı yüksek olduğundan, arama stratejisi genellikle küresel arama olarak belirlenir. Ancak algoritmanın ilerleyen aşamalarında avın kaçış enerjisinin azalmasıyla birlikte, strateji küresel aramadan yerel aramaya doğru değişir.

HŞO'nun yerel arama aşaması için dört farklı stratejisi bulunmaktadır. Bu stratejiler şunlardır: yumuşak kuşatma, sert kuşatma, aşamalı hızlı dalışlarla yumuşak kuşatma ve aşamalı hızlı dalışlarla sert kuşatma.

Bu algoritmadaki küresel arama adımlarından olan tüneme aşaması genellikle avın gözle aranması aşamasıdır. Bu yırtıcı kuş türü kendi bölgelerindeki belirli noktalara tüneyerek avlarını etrafı gözleyerek aramaktadırlar. Bu arama işlemi bazen rastgele konumlara tüneyerek arama olduğu gibi bazı durumlarda ava katılan diğer kuşların tünedikleri konumlara göre farklı konumlara tüneme şeklinde de olabilmektedir. Bu iki küresel arama metodunun seçilme olasılığı eşittir. Buradan yola çıkarak bu arama davranışının matematiksel formülü aşağıda verilmiştir.

$$X(t+1) = \begin{cases} X_{rand}(t) - r_1 |X_{rand}(t) - 2r_2 X(t)| & q \geq 0.5 \\ (X_{tavşan}(t) - X_m(t)) - r_3 (AS + r_4 (\bar{US} - AS)) & q < 0.5 \end{cases}$$

Bu denklemde $X(t+1)$ yeni konumu, r_1, r_2, r_3, r_4 ve q değişkenleri $(0,1)$ aralığında rastgele sayıları, t iterasyon sayısını, $X_{tavşan}$ avın konumunu, X_m popülasyondaki şahinlerin ortalama konumunu ve X_{rand} ise popülasyondan rastgele seçilmiş bir şahinin konumunu temsil etmektedir. AS ve $\bar{US}$ sırasıyla arama uzayının alt sınırını ve üst sınırını temsil etmektedir. Popülasyondaki şahinlerin ortalama konumları aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$x_m(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i(t)$$

Buradaki $X_i(t)$, t iterasyonundaki her bir şahinin konumunu, N ise toplam şahin sayısını belirtmektedir.

Bu algorithmadaki küresel aramadan yerel aramaya geçiş ve farklı yerel arama formülleri arasındaki geçiş avın kaçma enerjisine göre ayarlanmaktadır. Avın enerjisi kaçtıkça yani iterasyonlar ilerledikçe düşmektedir. Buradan yola çıkarak avın kaçma enerjisi aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$E = 2E_0(1 - \frac{t}{T})$$

Burada E değişkeni avın enerjisini E_0 ise avın başlangıçtaki enerjisini, t değişkeni mevcut iterasyon sayısını, T ise toplam iterasyon sayısını temsil etmektedir. E_0 değişkeni her iterasyonda $(-1,1)$ aralığında rastgele olarak değişmektedir. E_0 enerjisi 0'dan -1'e doğru düşüyorsa avın fiziksel olarak zayıfladığı eğer 0'dan 1'e doğru yükseliyorsa avın fiziksel olarak güçlendiği anlamına gelmektedir. E enerjisi genel olarak iterasyonlar ilerledikçe azalmaktadır. Eğer E değerinin mutlak değerce 1'den büyükse küresel arama, 1'den küçükse yerel arama yapılmaktadır.

Yerel arama aşamasında ise av ne yaparsa yapsın şahinler sert veya yumuşak kuşatma saldırıları yapacaklardır. Ancak avın bu saldırılardan kurtulma ihtimalide vardır. Bu sebeple $(0,1)$ aralığında bir r rastgele sayısı oluşturulur. Eğer r değeri 0.5'ten düşükse av bu saldırıdan kaçabilmektedir. Ters şekilde r değeri 0.5'ten büyük veya eşitse av bu saldırıdan kaçamamaktadır. Ava yapılacak olan kuşatma biçimi avın enerjisi ve bu üretilen rastgele sayı ile belirlenmektedir.

Eğer r değeri 0.5'ten büyük veya eşitse ve E değeri mutlak değerce 0.5'ten büyük veya eşitse şahin yumuşak kuşatma saldırısında bulunacaktır. Yumuşak kuşatma saldırısının matematiksel formülü aşağıda verilmiştir.

$$X(t+1) = \Delta X(t) - E |JX_{tavşan}(t) - X(t)|$$

$$\Delta X(t) = X_{tavşan}(t) - X(t), \quad J = 2(1 - r_5)$$

Burada $\Delta X(t)$ mevcut t iterasyonundaki tavşan ile şahinin konumları arasındaki farktır, r_5 değişkeni $(0,1)$ aralığında oluşturulmuş rastgele bir sayıdır. J değişkeni ise tavşanın doğal zıplama davranışını temsil etmektedir.

Eğer r değeri 0.5'ten büyük veya eşitse ve E değeri mutlak değerce 0.5'ten küçükse şahin sert kuşatma saldırısında bulunacaktır. Sert kuşatma saldırısının matematiksel formülü aşağıda verilmiştir.

$$X(t + 1) = X_{tavşan}(t) - E|\Delta X(t)|$$

Eğer r değeri 0.5'ten küçük ve E değeri mutlak değerce 0.5'ten büyük veya eşitse şahin aşamalı hızlı dalışlarla yumuşak kuşatma saldırısını yapacaktır. Bu durumda tavşan başarılı bir şekilde kaçmak için yeterli enerjiye sahiptir ve sürpriz saldırıdan önce yine de yumuşak bir kuşatma oluşturulur. Bu prosedür önceki duruma göre daha akıllıca davranan bir prosedürdür. Avın kaçması ve yukarıda bahsedilen “bir sıçrama” hareketinin algoritmaya matematiksel olarak entegre edilmesinde Levy uçuşları (LU) konsepti uygulanır. LU konsepti avın kaçarken çizeceği zikzak hareketini ve şahinlerin avın çevresinde gerçekleştireceği düzensiz, ani ve hızlı dalışları taklit etmek için kullanılmıştır. Bu konseptin doğada birçok mücadeleci durumda kullanıldığı gözlemlenmiştir (Humphries vd., 2010; Viswanathan vd., 1996). Şahinlerin gerçek davranışlarından esinlenerek, rekabetçi durumlarda avı yakalamak istediklerinde ava doğru mümkün olan en iyi dalışı aşamalı olarak seçebileceklerini varsayılmıştır. Bu nedenle, yumuşak bir kuşatma saldırısı gerçekleştirmek için şahinlerin bir sonraki hamlelerini aşağıdaki kurala göre değerlendirebilecekleri varsayılmıştır.

$$Y = X_{tavşan}(t) - E|JX_{tavşan}(t) - X(t)|$$

Daha sonra böyle bir hareketin olası sonucunu bir önceki dalışla karşılaştırarak bunun iyi bir dalış olup olmayacağını tespit ederler. Mantıklı değilse (avın daha yanıltıcı hareketler yaptığını gördüklerinde) tavşana yaklaşırken düzensiz, ani ve hızlı dalışlar da yapmaya başlamaktadırlar. Aşağıdaki kuralı kullanarak LU tabanlı modellere göre dalış yapacakları varsayılmıştır.

$$Z = Y + S * LU(D)$$

$$LU(x) = 0.01 * \frac{u * \sigma}{|v|^{\frac{1}{\beta}}}, \quad \sigma = \left(\frac{\Gamma(1 + \beta) * \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1 + \beta}{2}\right) * \beta * 2^{\left(\frac{\beta-1}{2}\right)}} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

Burada D problemin boyutunu, S $1 \times D$ boyutundaki rastgele bir vektörü ve LU ise Levy uçuşu fonksiyonudur. Bu fonksiyonda u ve v değerleri $(0,1)$

aralığında oluşturulmuş rastgele değerler ve β ise 1.5 değerinde varsayılan bir sabittir. Buradan yola çıkarak aşamalı hızlı dalışlarla yumuşak kuşatma saldırısının matematiksel formülü aşağıdaki şekilde düşünülmüştür.

$$X(t+1) = \begin{cases} Y & \text{eğer } F(Y) < F(X(t)) \\ Z & \text{eğer } F(Z) < F(X(t)) \end{cases}$$

Eğer r değeri 0.5'ten küçük ve E değeri mutlak değerce 0.5'ten küçükse şahin aşamalı hızlı dalışlarla sert kuşatma saldırısını yapacaktır. Tavşanın kaçmak için yeterli enerjisi yoktur ve şahin avını yakalayıp öldürmek için yapılan sürpriz saldırıdan önce sert bir kuşatma yapmaktadır. Av tarafındaki bu adımın durumu yumuşak kuşatmadakine benzemektedir ancak şahinler bu kez ortalama konumlarının kaçan avla olan mesafesini azaltmaya çalışırlar. Bu nedenle, sert kuşatma durumunda aşağıdaki kural uygulanır:

$$X(t+1) = \begin{cases} Y & \text{eğer } F(Y) < F(X(t)) \\ Z & \text{eğer } F(Z) < F(X(t)) \end{cases}$$

Buradaki Y ve Z değerleri aşağıdaki yeni kurallara göre hesaplanır.

$$Y = X_{tavşan}(t) - E |JX_{tavşan}(t) - X_m(t)|$$

$$Z = Y + S * LU(D)$$

Mühendislik Probleminin Sonuçları

HŞO algoritması kullanılarak daha önce tanımlanmış olan mühendislik problemleri çözülmüştür. Algoritmada popülasyon sayısı 30 ve iterasyon sayısı 500 olarak ayarlanmıştır. Algoritma ortalama bir sonuç elde etmek için her bir problem üzerinde 30 kez çalıştırılmış ve bu sonuçların ortalamaları alınmıştır.

Basınç tankı tasarımı problemi için algoritma tasarım değişkenleri olan T_s , T_h , R ve L değişkenlerini sırasıyla $T_s = 0.81758383$, $T_h = 0.4072927$, $R = 42.09174576$ ve $L = 176.7196352$ şeklinde bulmuştur bu değişkenlere göre optimum maliyeti ise 6000.46259 olarak hesaplamıştır.

Germe/Sıkıştırma yayı tasarımı problemi için algoritma tasarım değişkenleri olan d , D ve N değişkenlerini sırasıyla $d = 0.051796393$, $D = 0.359305355$ ve $N = 11.138859$ şeklinde bulmuştur bu değişkenlere göre optimum maliyeti ise 0.012665443 olarak hesaplamıştır.

Kaynaklanmış kiriş tasarımı problemi için algoritma tasarım değişkenleri olan h , l , t ve b değişkenlerini sırasıyla $h = 0.204039$, $l = 3.531061$, $t = 9.027463$ ve $b = 0.206147$ şeklinde bulmuştur bu değişkenlere göre optimum maliyeti ise 1.73199057 olarak hesaplamıştır.

Deniz Yırtıcısı Algoritması

Deniz Yırtıcı Algoritması (DYA) (Faramarzi vd., 2020), okyanus yırtıcılarının avlarını takip ederken sergiledikleri hareketlerden ilham alır. DYA'nın arama ajanları hem Lévy uçuşunu hem de Brownian hareketini başarıyla kullanırlar. Bu algoritmanın üç temel aşaması bulunmaktadır.

İlk aşama, avın avcıdan daha hızlı hareket ettiği zaman dilimine odaklanır. Bu aşamada, küresel arama vurgulanır ve Brownian hareketi etkili bir şekilde kullanılır.

İkinci aşama, avcının ve avın neredeyse aynı hızda hareket ettiği bir zaman dilimini kapsar. Bu aşamada, Lévy uçuşu ve Brownian hareketi hem küresel hem de yerel arama stratejileri için kullanılmaktadır.

Üçüncü aşama ise, avcının avdan daha hızlı hareket ettiği bir süreyi içerir. Bu aşamada ise, yalnızca Lévy uçuşu, yerel arama için kullanılmaktadır.

Algoritma, genelde büyük mesafeli hareketler için Brownian hareketini tercih ederken, küçük mesafeli hareketler için Lévy uçuş stratejisini kullanma eğilimindedir (Oğur vd., 2023). Bu sayede, farklı aşamalarda ve koşullarda etkili bir arama stratejisi sağlanmaktadır.

Algoritmanın ilk başında bütün arma ajanları aram uzayına aşağıdaki formül vasıtasıyla rastgele olarak dağıtılır.

$$x_0 = x_{min} + rand(x_{max} - x_{min})$$

Burada Xmin arama uzayının alt sınırını Xmax ise arama uzayının üst sınırını, rand ise (0,1) aralığında türetilmiş rastgele bir sayıyı temsil etmektedir.

En uygun olanın hayatta kalması teorisine dayanarak, doğadaki en iyi yırtıcıların yiyecek arama konusunda daha yetenekli olduğu söylenmektedir. Böylece en uygun çözüm için, Elit adı verilen bir matris oluşturulur ve bu matrisin oluşumunda en iyi avcı temel olarak gösterilmektedir. Bu matrisin dizileri, avın konumlarına ilişkin bilgilere dayanarak avın aranmasını ve bulunmasını denetler. Bu matriste nxd boyutundadır. Bu matrisin boyutlarından biri olan n toplam arama ajanı sayısını, d ise problemin boyutunu temsil etmektedir. Elit matrisinin oluşması için en iyi avcının d adet boyuttaki tüm konum değerleri n kez tekrarlanır ve matrise yazılır. Burada hem avcının hem de avın arama ajanı olarak kabul edildiği belirtilmektedir. Çünkü yırtıcı hayvan avını ararken, av da kendi yiyeceğini arıyordur. Her yinelemenin sonunda, en iyi yırtıcının yerini daha iyi yırtıcı olarak Elit matrisi güncellenecektir.

Elite ile aynı boyuta sahip bir diğer matris ise “Av” olarak adlandırılan ve avcılarının pozisyonlarını buna göre güncellediği matristir. Basit bir ifadeyle, ilk başlangıçta, en iyi çözüme sahip olan Elit matrisi, başlangıç Av Matrisi üzerinden oluşturulmaktadır. Optimizasyon sürecinin tamamının esas olarak ve doğrudan bu iki matrisle ilişkili olduğunu belirtmek gerekir.

Algoritma aşama olarak üçe bölünmüştür. Bu bölünme işlemi toplam iterasyon sayısı üzerinden olmaktadır. Yani algoritmanın çalışmasının ilk 1/3'lük bölümünde Av matrisi hızlı hareket ederken Elit matrisi daha yavaş hareket etmekte hatta neredeyse hiç hareket etmemektedir. Algoritmanın 1/3 ile 2/3'lük diliminde ajanların yarısı av yarısı avcı gibi hareket etmekte hem Elit hem de Av matrislerini güncellemektedirler. Algoritmanın son 1/3'lük kesiminde ise artık Av matrisi çok güncellenmemekte Elit matrisi ise daha fazla güncellenmektedir. Yani son kısımda Avcılar daha fazla ve daha küçük adımlarla hareket etmektedirler. Bu üç aşamanın matematiksel olarak ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$Iter < \frac{1}{3} Max_Iter$$

$$\overrightarrow{adımboyutu}_i = \overrightarrow{R_B} \otimes (\overrightarrow{Elit}_i - \overrightarrow{R_B} \otimes \overrightarrow{Av}_i), \quad i = 1, \dots, n$$

$$\overrightarrow{Av}_i = \overrightarrow{Av}_i + P \overrightarrow{R} \otimes \overrightarrow{adımboyutu}_i$$

Burada RB Brownian hareketinin normal dağılımından oluşturulmuş rastgele sayılar vektörüdür. $\otimes$ işlemi ise girdi bazında çarpma işlemi anlamına gelmektedir. Av matrisinin RB ile çarpımı sonucunda avın hareketi simüle edilmektedir. Burada P ise 0.5 olarak belirlenmiş bir sabit, R ise (0,1) aralığında türetilmiş rastgele sayılardan oluşan bir vektördür. Bu durum algoritmanın ilk 1/3 lük bölümünde gerçekleşmektedir. Bu bölümde av büyük adımlarla arama uzayında hareket etmektedir.

$$\frac{1}{3} Max_Iter < Iter < \frac{2}{3} Max_Iter$$

$$\overrightarrow{adımboyutu}_i = \overrightarrow{R_L} \otimes (\overrightarrow{Elit}_i - \overrightarrow{R_L} \otimes \overrightarrow{Av}_i), \quad i = 1, \dots, n/2$$

$$\overrightarrow{Av}_i = \overrightarrow{Av}_i + P \overrightarrow{R} \otimes \overrightarrow{adımboyutu}_i$$

$$\overrightarrow{adımboyutu}_i = \overrightarrow{R_B} \otimes (\overrightarrow{R_B} \otimes \overrightarrow{Elit}_i - \overrightarrow{Av}_i), \quad i = n/2, \dots, n$$

$$\overrightarrow{Av}_i = \overrightarrow{Elit}_i + P * CF \otimes \overrightarrow{adımboyutu}_i$$

$$CF = \left(1 - \frac{Iter}{Max_Iter}\right)^{\left(2 \frac{Iter}{Max_Iter}\right)}$$

Burada RL Levy dağılımından oluşturulmuş rastgele sayılar vektörüdür. . Av matrisinin RL ile çarpımı sonucunda avın Levy hareketi simüle edilmektedir. Adımboyutu vektörü ile Av matrisinin toplanması ise avın hareketini temsil etmektedir. Popülasyonun ilk yarısı Levy hareketini yaparken diğer yarısı Brownian hareketini yapmaktadır. CF ise avcı hareketinin adım boyutunu kontrol etmek için uyarlanabilir bir parametre olarak kabul edilmektedir. RB ve Elit'in çarpımı, avcının Brownian hareketini simüle ederken, av, avcının

Brownian hareketi sonucundaki konumuna dayalı olarak konumunu güncellemektedir.

$$Iter > \frac{2}{3} Max_Iter$$

$$\overrightarrow{adımboyutu_i} = \overrightarrow{R_L} \otimes (\overrightarrow{R_L} \otimes \overrightarrow{Elit_i} - \overrightarrow{Av_i}), \quad i = 1, \dots, n$$

$$\overrightarrow{Av_i} = \overrightarrow{Elit_i} + P * CF \otimes \overrightarrow{adımboyutu_i}$$

RL ve Elite'in çarpımı, Lévy stratejisinde avcının hareketini simüle ederken, adımboyutu vektörünü Elit matrisine eklenmesi ise av matrisinin avcının hareketine göre güncellenmesine simüle etmektedir.

Deniz yırtıcılarında davranış değişikliğine neden olan bir diğer nokta ise girdap oluşumu veya Balık Toplama Cihazlarının (FAD) etkileri gibi çevresel sorunlardır. Avcılar, zamanlarının %80'inden fazlasını FAD'lerin yakın çevresinde geçirirler ve geri kalan %20'lik kısım için, muhtemelen başka bir av dağılımına sahip bir ortam bulmak için farklı boyutlarda daha uzun bir sıçrama yapmaktadırlar. FAD'ler yerel optimumlar olarak kabul edilebilir ve etkileri arama uzayında bu noktalarda lokale yakalanma olarak kabul edilebilir. Simülasyon sırasında bu daha uzun atlamaların dikkate alınması, yerel optimumdaki durgunluğu önlemektedir. FAD'lerin etkisi matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$\overrightarrow{Av_i} = \begin{cases} \overrightarrow{Av_i} + CF[\overrightarrow{X_{min}} + \overrightarrow{R} \otimes (\overrightarrow{X_{max}} - \overrightarrow{X_{min}})] \otimes \overrightarrow{U} & \text{eğer } r \leq FAD \\ \overrightarrow{Av_i} + [FAD(1 - r) + r](\overrightarrow{Av_{r1}} - \overrightarrow{Av_{r2}}) & \text{eğer } r > FAD \end{cases}$$

Burada FAD=0.2 olarak alınmıştır. U vektörü değerleri 0 veya 1 olabilen bir vektördür. U vektörünün değerleri (0,1) aralığında rastgele sayılar oluşturarak belirlenir. Eğer oluşan rastgele sayı 0.2'den küçükse vektörün değeri 0 veya 0.2'den büyükse vektörün değeri 1 olarak belirlenmektedir, r değişkeni ise (0,1) aralığında üretilmiş rastgele sayıdır. Burada Xmin arama uzayının alt sınırını Xmax ise arama uzayının üst sınırını temsil etmektedir. Ayrıca r1 ve r2 değişkenleri ise av matrisinin rastgele indekslerini belirtmektedir.

Mühendislik Probleminin Sonuçları

DYA algoritması kullanılarak daha önce tanımlanmış olan mühendislik problemleri çözülmüştür. Algoritmada iterasyon sayısı 500 ve maksimum uygunluk fonksiyonu değerlendirmesi 25000 olarak ayarlanmıştır. Algoritma ortalama bir sonuç elde etmek için her bir problem üzerinde 30 kez çalıştırılmış ve bu sonuçların ortalamaları alınmıştır.

Basınç tankı tasarımı problemi için algoritma tasarım değişkenleri olan Ts, Th, R ve L değişkenlerini DYA algoritması sürekli değişken formatında sırasıyla Ts= 0.77816876, Th= 0.38464966, R= 40.31962084 ve L=

199.9999935 şeklinde bulmuştur bu değişkenlere göre optimum maliyeti ise 5885.3353 olarak hesaplamıştır. Yine DYA algoritması karışık tamsayı formatında çalıştırıldığında Ts, Th, R ve L değişkenlerini sırasıyla Ts= 0.8125, Th= 0.4375, R= 42.098445 ve L= 176.636607 şeklinde bulmuştur bu değişkenlere göre optimum maliyeti ise 6059.7144 olarak hesaplamıştır.

Germe/Sıkıştırma yayı tasarımı problemi için algoritma tasarım değişkenleri olan d, D ve N değişkenlerini sırasıyla d= 0.051724477, D= 0.35757003 ve N= 11.2391955 şeklinde bulmuştur bu değişkenlere göre optimum maliyeti ise 0.012665 olarak hesaplamıştır.

Kaynaklanmış giriş tasarımı problemi için algoritma tasarım değişkenleri olan h, l, t ve b değişkenlerini sırasıyla h= 0.205728, l= 3.470509, t= 9.036624 ve b= 0.205730 şeklinde bulmuştur bu değişkenlere göre optimum maliyeti ise 1.724853 olarak hesaplamıştır.

K-Ortalama Kümeleme Optimizasyon Algoritması

K-Means Kümeleme Optimizasyon Algoritması'nın (KOA) temel amacı, arama uzayını üç farklı kümeye bölerek daha etkili potansiyel arama uzaylarını keşfetmektir. KOA, diğer optimizasyon algoritmalarından farklı olarak, arama ajanlarının kendilerini değil, arama uzayını geliştirmeye odaklanmaktadır (Minh vd., 2022).

Algoritma, başlangıçtaki popülasyonunu sadece belirli bir popülasyon bölgesine atanmış olan arama ajanları tarafından günceller. Bu da demek oluyor ki her bir ajanın sorumluluk alanı farklıdır. Ayrıca, KOA'da popülasyon sayısı, en kötü çözümleri eleyerek başlangıçtaki popülasyon sayısını N'den dörde kadar azaltır.

Arama ajanları, iterasyonlar boyunca hesaplanan ve daraltılan arama uzayındaki kümelenmiş bölgelerde geniş kapsamlı arama yaparlar. Ayrıca, ajanlar, belirlenen formülasyonun sınırları dahilinde tanımlanan arama alanlarının dışında da arama yapabilirler.

Her iterasyonda, küme merkezleri yeniden hesaplanır ve algoritmanın ilerleyen aşamalarında küme merkezleri, küresel en iyi konuma yaklaşır. Arama ajanları, bir sonraki iterasyonda kullanacakları arama stratejilerini belirlerken belirli bir formülasyon ve eşik değeri temel alır.

KOA'nun gelişiminin arka planı stokastik bir algoritmaya ve popülasyona dayalı bir yaklaşıma dayanmaktadır. Pratikte, tüm optimizasyon algoritmalarında, global optimum arayışı, popülasyondaki her bir bireysel konumun yinelemeler boyunca kendini geliştirme stratejisine dayanmaktadır. Önceki yinelemedeki olası arama alanları, sonraki yinelemelerde konum güncellemesi için her bir konuma rehberlik etmek üzere kaydedilmektedir.

Böylece popülasyon, diğer iyi arama alanlarından yararlanmak için bu arama alanlarını kapatmaya çalışmaktadır. Eğer yinelemeler yeterli ise istenilen yakınsama oranına ve kabul edilebilir doğruluk seviyesine ulaşılabilir. Nüfusun kendini geliştirme sürecini simüle etmek için doğa yasalarından ilham almak, yeni optimizasyon algoritmaları geliştirmenin temel eğilimidir. Ancak bu, söz konusu yasalara ağır bir bağımlılığa neden olacaktır. KOA, potansiyel arama alanlarını bulmak için K-means kümeleme algoritmasından ilham alan kuralın bir istisnasıdır. Aynı zamanda iki önemli faktöre ulaşmak için temel matematiksel denklemler esnek bir şekilde uygulanmaktadır. Birinci faktör yerel optimum ile global optimum arasındaki denge, ikincisi ise yerel optimumdan kaçabilme yeteneğidir.

KOA algoritması popülasyon temelli bir algoritmadır. N adet elemana sahip olan ve D adet tasarım değişkenine sahip bir P popülasyonunu vektörel olarak ifade etmek istersek bu durumda P popülasyonu $P = \{\vec{P}_1, \vec{P}_2, \dots, \vec{P}_N\}$ şeklinde ve her bir $\vec{P}$ ise $\vec{P}_i = \{P_{i,1}, P_{i,2}, \dots, P_{i,D}\}$ şeklinde ifade edilebilir. Bu durumda popülasyon aşağıdaki matris biçiminde gösterilebilir.

$$P = \begin{Bmatrix} \vec{P}_1 \\ \vec{P}_2 \\ \vdots \\ \vec{P}_N \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \dots & P_{1,D} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \dots & P_{2,D} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{N,1} & P_{N,2} & \dots & P_{N,D} \end{bmatrix}^{N \times D}$$

Bu durumda her bir konumun uygunluk değeri, konumunun vektörünün $F(x)$ olarak tanımlanan amaç fonksiyonuna iletilmesiyle hesaplanabilir. Uygunluk değerleri matris biçiminde gösterilebilir.

$$Uygunluk = \begin{Bmatrix} Uygunluk_1 = F(\vec{P}_1) \\ Uygunluk_2 = F(\vec{P}_2) \\ \vdots \\ Uygunluk_N = F(\vec{P}_N) \end{Bmatrix}^{N \times 1}$$

Uygunluk vektörüne dayanarak arama uzaylarının kalitesini tanımlayabiliriz. Daha iyi bir konum bulma ve hızlı yakınsama oranına ulaşma fırsatını arttırmak için yalnızca yüksek kaliteli bir arama alanı bulma olasılığına ulaşan arama alanları dikkate alınmaktadır. Düşük kalite gösteren geri kalan arama alanları göz ardı edilecektir. Bunun için P matrisindeki satırlar uygunluk vektörüne göre kaliteliden daha az kaliteliye doğru sıralanarak P' matrisi elde edilir. Potansiyel P' matrisini bulduktan sonra, arama alanlarının kalitesini arttırmak ve yüksek kaliteli konumu dikkate almak için KOA, Doğrusal Nüfus Boyutu Azaltma (DNBA) yöntemini kullanır. Aşağıdaki denklemde verildiği gibi yineleme

sayısı arttıkça KOA'daki popülasyon boyutları doğrusal bir fonksiyonla azalacaktır.

$$f(t) = \frac{(N-4)t}{1-T_{max}} + N - \frac{(N-4)}{1-T_{max}}$$

Burada t iterasyon sayısı, N mevcut popülasyon sayısını ve Tmax ise maksimum iterasyon sayısını temsil etmektedir. Buradan elde edilen f(t) değerine göre yeni popülasyon sayısı f(t) olacaktır. Bu durumda daha az kaliteli bölgeler elenecektir. Daha sonra elde edilen bu matris K-Means algoritması ile K=3 alınarak kümelere bölünecektir. Bu durumda oluşan C(t) matrisi 3 elemandan oluşmakta ve küme merkezlerini göstermektedir. C(t) matrisi ile arama uzayı 3 farklı kümeye bölünmüştür. İterasyonlar ilerledikçe C(t) matrisindeki küme merkezleri en iyi çözümün etrafında toplanacaktır.

KOA algoritmasının hareket stratejisinde Her bir P elemanı için bir arama ajanı SA oluşturulmaktadır. Oluşturulan her bir SA sadece kendi ile ilintili olan P konumunu güncelleştirmektedir. Her bir SA'nın en iyi P ve en kötü P'ye olan Öklid uzaklığına göre bir D değeri hesaplanmakta ve bu D değerini kullanarak “Karakteristik Uzaklık (KU)” adı verilen bir uzaklık hesaplanmaktadır. KU değeri eğer SA değeri en iyi P'ye yakınsa 1 uzaksa 0 olacaktır. İlgili matematiksel formüller şu şekildedir.

$$D_{SA_i}(t) = \frac{\left\| \overrightarrow{SA_i^{(t)}} - \overrightarrow{P_{iyi}^{(t)}} \right\|}{\left\| \overrightarrow{P_{kötü}^{(t)}} - \overrightarrow{P_{iyi}^{(t)}} \right\|}$$

$$KU_{SA_i}(t) = e^{-D_i(t)}$$

Bu durumda elde edilen KU değeri ile hareket edildiğinde SA ile yeni hesaplanacak olan P değeri sadece birkaç iterasyon sonunda hemen en iyi P noktasına yaklaşmaktadır. Bu problemi çözmek için “Konum Yoğunluğu Olasılığı (KYO)” değeri hesaplanmakta ve bu değer belli bir eşiğin üstündeyse SA küresel arama altındaysa, yerel arama yapması sağlanmaktadır. Bu eşik değeri küresel ve yerel arama oranını eşit tutmak amacıyla 0.5 olarak belirlenmiştir. KYO hesaplamasının matematiksel formülü aşağıda verilmiştir.

$$KYO_{SA_i} = KU_{SA_i} \sin\left(\frac{t\pi}{T_{max}}\right)$$

KOA algoritmasının üç adet yerel arama ve iki adet küresel arama stratejisi vardır. Yerel arama stratejilerinde ilk strateji SA ile en iyi P ve Ortalama C(t) arasında araştırma yapılmasına dayanmaktadır. Buradaki Ortalama C(t), arama uzayında oluşan kümelerin merkezlerinin ortalamasından elde edilen noktadır. İkinci strateji SA ile en iyi P, Ortalama C(t), C1(t), C2(t) ve C3(t) arasında araştırma yapılmasına dayanmaktadır. Son olarak üçüncü strateji ise SA ile en

iyi P ve Ortalama C(t) arasında araştırma yapılmasına dayanmaktadır. İlk stratejiden farklı olarak daha dar bir yapıda arama yapılmaktadır. Küresel arama stratejilerinde ise ilk strateji SA ile Ortalama C(t), C1(t), C2(t) ve C3(t) arasında daha büyük adımlarla yapılmaktadır. İkinci stratejide ise küresel çözüm arama uzayının Ortalama C(t), C1(t), C2(t) ve C3(t) alanlarından çok çok uzaksa algoritmanın lokal optimum noktasına takıldığı varsayılmakta ve arama uzayı bu kümelerin dışarısına doğru genişletilmektedir.

Algoritmanın küresel veya yerel arama yapıp yapmayacağının seçimi KYO ve eşik değerleri ile belirlenirken algoritmanın hangi arama stratejisini kullanacağı tamamen rastgele sayı üreticileri ile belirlenmektedir. Yani arama stratejileri tamamen rastgele olarak seçilmektedir.

Mühendislik Probleminin Sonuçları

KOA algoritması kullanılarak daha önce tanımlanmış olan mühendislik problemleri çözülmüştür. Algoritmada iterasyon sayısı 5000 ve popülasyon değeri 50 olarak ayarlanmıştır. Algoritma ortalama bir sonuç elde etmek için her bir problem üzerinde 50 kez çalıştırılmış ve bu sonuçların ortalamaları alınmıştır.

Basınç tankı tasarımı problemi için algoritma tasarım değişkenleri olan Ts, Th, R ve L değişkenlerini DYA algoritması sürekli değişken formatında sırasıyla Ts = 0.8125, Th = 0.4375, R = 42.0984449696433 ve L = 176.636618401874 şeklinde bulmuştur bu değişkenlere göre optimum maliyeti ise 6059.71475731827 olarak hesaplamıştır.

Germe/Sıkıştırma yayı tasarımı problemi için algoritma tasarım değişkenleri olan d, D ve N değişkenlerini sırasıyla d = 0.051696456046163, D = 0.356893641428733 ve N = 11.279414562853750 şeklinde bulmuştur bu değişkenlere göre optimum maliyeti ise 0.012665994155756 olarak hesaplamıştır.

Kaynaklanmış giriş tasarımı problemi için algoritma tasarım değişkenleri olan h, l, t ve b değişkenlerini sırasıyla h = 0.205465996226745, l = 3.475892988253460, t = 9.037870569365802 ve b = 0.205724000148857 şeklinde bulmuştur bu değişkenlere göre optimum maliyeti ise 1.725344871759735 olarak hesaplamıştır.

SONUÇ

Sonuç olarak yakın tarihte üretilen bu meta sezgisel algoritmalar var olan mühendislik problemleri üzerinde detaylı olarak test edilmiş ve elde edilen en iyi sonuçlar sunulmuştur. Sonuçlara bakıldığında algoritmaların birbirlerine çok yakın sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Yine dikkat edilmesi gereken bir nokta

ise algoritmaların değişken formatları ve hassasiyetleri değiştiklerinde farklı sonuçlar elde edilebildiği görülmektedir. Bu durum meta sezgisel algoritmaların doğasında olan tam sonuç vaat etmeme özelliğini kanıtlar niteliktedir. Yine bu üç algoritmanın çalışma parametreleri incelendiğinde birbirlerinden tamamen farklı yapılarda parametrelere sahip oldukları ve hatta ortak olan parametrelerde bile deney aşamasında farklı değerler kullanıldığı gözlenmektedir. Bu durum ise “Bedava Yemek Yok Optimizasyon Teoremi” (No Free Lunch Theorem of Optimization)’nin bir sonucudur. Algoritmalar yakın performans gösterebilirler dahi gerek standart sapma değerleri gerekse buldukları en iyi sonuçlar açısından her biri belli başlı problemde daha iyi ve daha kötü sonuçlar elde etmiştir. Örnek olarak HŞO algoritması “Basınç Tankı Tasarımı Problemi” üzerinde daha iyi sonuç elde ederken “Kaynaklanmış Kiriş Tasarımı Problemi” üzerinde diğer algoritmalarla göre biraz daha kötü bir sonuç elde etmiştir. Aşağıdaki tabloda algoritmaların problemler üzerindeki başarımları özet olarak verilmiştir.

Tablo 1: Algoritmaların Mühendislik Problemleri Üzerinde

Algoritma \ Problem	Basınç Tankı Tasarımı Problemi	Germe/Sıkıştırma Yay Tasarımı Problemi	Kaynaklanmış Kiriş Tasarımı Problemi
Harris Şahinleri Optimizasyon Algoritması (2019)	6000.46259	0.012665443	1.73199057
Deniz Yırtıcısı Algoritması (2020)	6059.7144	0.012665	1.724853
K-Ortalama Kümeleme Optimizasyon Algoritması (2022)	6059.71475731827	0.012665994155756	1.725344871759735

REFERANSLAR

- Bednarz, J. C. (1988). Cooperative Hunting Harris' Hawks (*Parabuteo unicinctus*). *Science*, 239(4847), 1525-1527. doi:10.1126/science.239.4847.1525
- Demirci, H., Yurtay, N., Yurtay, Y. ve Zaimoğlu, E. A. (2023). Electrical Search Algorithm: A New Metaheuristic Algorithm for Clustering Problem. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(8), 10153-10172. doi:10.1007/s13369-022-07545-3
- Dogan, O., Hizirolu, A. ve Seymen, O. F. (2021). Segmentation of Retail Consumers with Soft Clustering Approach. C. Kahraman, S. Cevik Onar, B. Oztaysi, I. U. Sari, S. Cebi ve A. C. Tolga (Ed.), *Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions içinde*, *Advances in Intelligent Systems and Computing* (ss. 39-46). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-030-51156-2_6
- Faramarzi, A., Heidarinejad, M., Mirjalili, S. ve Gandomi, A. H. (2020). Marine Predators Algorithm: A nature-inspired metaheuristic. *Expert Systems with Applications*, 152, 113377. doi:10.1016/j.eswa.2020.113377
- Heidari, A. A., Mirjalili, S., Faris, H., Aljarah, I., Mafarja, M. ve Chen, H. (2019). Harris hawks optimization: Algorithm and applications. *Future Generation Computer Systems*, 97, 849-872. doi:10.1016/j.future.2019.02.028
- Humphries, N. E., Queiroz, N., Dyer, J. R. M., Pade, N. G., Musyl, M. K., Schaefer, K. M., ... Sims, D. W. (2010). Environmental context explains Lévy and Brownian movement patterns of marine predators. *Nature*, 465(7301), 1066-1069. doi:10.1038/nature09116
- Lefebvre, L., Whittle, P., Lascaris, E. ve Finkelstein, A. (1997). Feeding innovations and forebrain size in birds. *Animal Behaviour*, 53(3), 549-560. doi:10.1006/anbe.1996.0330
- Meta. (1998). Türk Dil Kurumu Biyoloji Terimleri Sözlüğü. <https://sozluk.gov.tr/?kelime=meta> adresinden erişildi.
- Minh, H.-L., Sang-To, T., Abdel Wahab, M. ve Cuong-Le, T. (2022). A new metaheuristic optimization based on K-means clustering algorithm and its application to structural damage identification. *Knowledge-Based Systems*, 251, 109189. doi:10.1016/j.knosys.2022.109189
- Oğur, N. B., Kotan, M., Balta, D., Yavuz, B. Ç., Oğur, Y. S., Yuvacı, H. U. ve Yazıcı, E. (2023). Detection of depression and anxiety in the perinatal period using Marine Predators Algorithm and kNN. *Computers in Biology and Medicine*, 161, 107003. doi:10.1016/j.compbiomed.2023.107003

- Savsani, P. ve Savsani, V. (2016). Passing vehicle search (PVS): A novel metaheuristic algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 40(5), 3951-3978. doi:10.1016/j.apm.2015.10.040
- Seymen, O. F., Dogan, O. ve Hiziroglu, A. (2021). Customer Churn Prediction Using Deep Learning. A. Abraham, Y. Ohsawa, N. Gandhi, M. A. Jabbar, A. Haqiq, S. McLoone ve B. Issac (Ed.), *Proceedings of the 12th International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR 2020) içinde , Advances in Intelligent Systems and Computing* (ss. 520-529). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-030-73689-7_50
- Seymen, O. F., Ölmez, E., Doğan, O., Er, O. ve Hiziroğlu, K. (2023). Customer Churn Prediction Using Ordinary Artificial Neural Network and Convolutional Neural Network Algorithms: A Comparative Performance Assessment. *Gazi University Journal of Science*, 36(2), 720-733. doi:10.35378/gujs.992738
- Sezgisel. (1975).Türk Dil Kurumu Felsefe Terimleri Sözlüğü. <https://sozluk.gov.tr/?kelime=sezgisel> adresinden erişildi.
- Viswanathan, G. M., Afanasyev, V., Buldyrev, S. V., Murphy, E. J., Prince, P. A. ve Stanley, H. E. (1996). Lévy flight search patterns of wandering albatrosses. *Nature*, 381(6581), 413-415. doi:10.1038/381413a0
- Wolpert, D. H. ve Macready, W. G. (1997). No free lunch theorems for optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1(1), 67-82. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, sunulmuş bildiri. doi:10.1109/4235.585893

Bölüm 12

SAF NAYLON 6 VE PTFE KATKILI NAYLON 6 KARIŞIMLARININ AŞINMA ORANI VE SÜRTÜNME KATSAYILARININ KARŞILAŞTIRILMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Hüseyin ÜNAL¹
Veysel Furkan ÜNAL²

ÖZET

Endüstrinin farklı alanlarında çalışan birçok makine elemanının aşınması sanayiciler için büyük problem teşkil etmektedir. Makine parçasının değiştirilmesi, uzun süre alması, imalının gerçekleştirilmesi gibi işlemler uzun süreler aldığından üretim kesintiye uğramaktadır. Bu yüzden birçok makine üreticisi aşınmaya maruz kalan malzemelerin çalışma şartlarını dikkate alarak en uygun malzemeleri seçmeye ve kullanmaya özen göstermektedir. Endüstride aşınma uygulamalarında en çok kullanılan polimer malzemelerden birisi de Nylon 6 polimeridir. Yüksek aşınma dirençli olması, iyi mekanik özellikler göstermesi, korozyona dirençli olması, kolay üretilebilir olması açısından yaygın kullanılmaktadır. Ancak kullanım alanına uygun olarak nylon polimerlerinin belirli özelliklerini geliştirmek malzeme ömrü açısından son derece önemlidir. Bu çalışmada geleneksel olarak piyasadan temin edilen Nylon 6 polimerlerinin yerine PTFE katkılı nylon karışımı kullanılması hem daha yüksek aşınma direnci hem de daha düşük sürtünme katsayısı açısından avantaj sağlayacağı düşünülmüştür. Bu amaçla Nylon 6/PTFE polimer karışımı kompozit üretim yöntemiyle önce granül formunda üretilmiş sonrada granüller kullanılarak enjeksiyonla kalıplama tekniğiyle aşınma test numunesi basılmıştır. Dişli, yatak, rulman gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılan malzemeler çalışma şartlarına bağlı olarak bazen farklı hızlarda çalışmakta bazen de farklı yük/basınçlara maruz kalmaktadır. Bu ise plastik malzemenin aşınma ve sürtünmesine etki etmektedir. Bu deneysel çalışmada geleneksel olarak piyasadan temin edilen nylon 6 polimeri ile üretilen Nylon 6/PTFE polimer karışımının kuru kayma şartları altında ve yaklaşık oda sıcaklığında aşınma oranı ve sürtünme katsayısı

¹ Prof. Dr.; Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü. unal@subu.edu.tr ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-0521-6647>

² Lisans Öğrencisi; Johannes Kepler University Faculty of Technology Department of Polymer Engineering. furkanunal43@gmail.com ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-6639-0393>

özellikleri kıyaslanmıştır. Tribolojik çalışmalar 0.45 ve 0.90 m/s kayma hızlarında ve 1.77, 2.65 ve 3.53 MPa gibi üç farklı basınç altında gerçekleştirilmiştir. Deneyler pim-disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Tribolojik deneyler sonucunda Naylon 6/PTFE polimer karışımının sürtünme katsayısı 0.09-0.13 aralığında elde edilirken aşınma oranı ise $0.3-0.66 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ elde edilmiştir. Naylon 6 polimerinin sürtünme katsayısı ise 0.17-0.29 aralığında elde edilirken aşınma oranı $1.5-1.96 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$ elde edilmiştir. Hem aşınma oranı hem de sürtünme katsayısı açısından bakıldığında Naylon 6/PTFE polimer karışımı Naylon 6 polimerine göre en az %66 daha yüksek aşınma direncine ve en az %50 oranında daha düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Naylon, PTFE, aşınma, sürtünme, triboloji

GİRİŞ

Polimerler, hafif, esnek, dayanıklı, uzun ömürlü, kimyasal dirençli ve ekonomik malzemelerdir. Taşıma ve uygulama kolaylığı sağlarlar, elektriksel ve termal izolasyon özelliklerine sahiptirler. Düşük maliyetli üretim süreçleri ve çeşitli şekillendirme seçenekleri ile otomotiv, ambalaj, tıp ve elektronik gibi birçok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Naylon 6. poliamid 6, olarak da bilinen termoplastik sınıfında yer alan mühendislik polimerlerinden birisidir. Genel olarak sağlam, dayanıklı ve kimyasal dirence sahiptir. Orta seviyede termal dayanıklılığa sahiptir. Ergime sıcaklığı 225 °C'dir. Buna ek olarak yaklaşık %8.5 oranında su emme özelliği bulunur. Elektriksel yalıtım özellikleri ve hafifliği (yoğunluğu 1.15 g/cm^3) birçok endüstride kullanım alanı sağlar (Kukureka, Hooke, Rao, Liao ve Chen, 1999), (Gachter, ve Muller, 1993), (Kohan, 1973), (Harper, 1996), (Berins, 1991), (Nielsen, 1974).

Politetrafloroetilen (PTFE), polimeri Ticari ismi Teflon olarak bilinen termoplastik bir polimerdir. PTFE aşınma ve sürtünme özellikleri ile endüstride dikkat çekmektedir. Bu polimer, düşük sürtünme katsayısına sahip olup temaslı malzemelerin yüzeyleri arasında kayganlık sağlar. PTFE, kendine özgü moleküler yapısı ile sıcaklık değişimlerine, kimyasal etkileşimlere ve aşınmaya karşı direnç gösterir. Ayrıca, malzemenin yüzeyi non-stick özellik gösterir, yani diğer malzemelerin PTFE ile temas ettiğinde yapışma eğilimleri minimaldir. Bu özellikler, PTFE'nin endüstriyel uygulamalarda yüksek aşınma direnci gerektiren alanlarda kullanılmasını sağlar. Özellikle rulmanlar, contalar, kaydırıcılarda ve diğer sürtünmeli uygulamalarda yaygın olarak tercih edilen bir malzeme haline

getirir (Harper, 1996), (Berins, 1991), (Tevruz, 1996), (Tanaka, 1986), (Tevruz, 1997).

Polimer karışımları, farklı polimer türlerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir. Polimerler, uzun moleküler zincirleri olan büyük moleküler ağırlıklı bileşiklerdir. Polimer karışımları, genellikle belirli özellikleri bir araya getirmek veya iyileştirmek amacıyla üretilmiş malzemelerdir. Polimer karışımları termoplastik, termoset, elastomer ve kompozit esaslı olabilir. Polimer karışımları termoplastik, termoset, elastomer ve kompozit esaslı olabilir. Termoplastik karışımlar; termoplastik esaslı polimer malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan karışımlardır. Bu malzemeler genellikle ısı ile şekillendirilebilir ve tekrar tekrar geri dönüştürülebilir. Farklı termoplastik esaslı polimerlerin özelliklerini tek bir termoplastik malzeme biraraya getirebilmek için yapılan malzemelerdir. Termoset karışımları; termoset esaslı polimerlerin karışımları, genellikle dayanıklılık ve yüksek sıcaklık dayanımı gibi özellikler için geliştirilen malzemelerdir. Bu karışımlar genellikle bir katalizör veya sertleştirici kullanılarak özel bir üretim sürecinden geçirilir ve daha sonra sertleşir, Katılaştıktan sonra ise tekrar geri dönüşümleri olmaz. Elastomer karışımları; elastik özelliklere sahip olan polimer malzeme çeşidine elastomer adı verilir. Elastomer karışımları, farklı elastomer türlerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir. Polimer karışımları ile ilgili literatürde aşınma konusunda yapılmış birçok çalışmaya rastlanmıştır (Palabiyik, Bahadur, 2002, 2000), (Liu, Wu, Li, Ren, Tong, and Arnell, 2006).

Aşınma, bir malzemenin yüzeyinin diğer yüzeylere sürtünmesi veya çarpması sonucu zamanla kaybolan malzeme miktarıdır. Polimerlerde aşınma, genellikle iki temas yüzeyi arasındaki sürtünme, çizilme veya diğer mekanik etkileşimlerin sonucu olarak meydana gelir. Polimerlerin aşınması genellikle malzemenin yüzey özellikleri, sıcaklık, basınç, hız ve çevresel koşullar gibi birçok faktöre bağlıdır. Polimerlerin aşınma direnci, ise malzemenin moleküler yapısı, sürtünme koşulları, sıcaklık ve diğer çevresel faktörler gibi bir dizi faktöre bağlıdır.

Polimerlerin aşınma direncini artırmak için polimerlere PTFE, molibden disülfid, grafit, karbon elyaf, cam elyaf gibi katkı maddeleri ilave edilebilir (Gachter vd., 1993), (Kohan, 1973), (Tanaka, 1986), (Tevruz, 1997), (Hutchings, 1992). Aşınma direnci, özellikle endüstriyel uygulamalarda ve mekanik sistemlerde malzemenin uzun ömürlü ve güvenilir performans sergilemesi açısından oldukça önemli bir özelliktir. Aşınma direncini artırmak için polimer karışımları yine endüstride dişlilerde ve dişli sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu, mekanik sistemlerin daha uzun süre dayanmasına ve daha az bakım gerektirmesine yardımcı olabilir. Buna ilaveten polimer karışımları, taşıma ve konveyör sistemlerinde de kullanılabilir. Bu, malzeme taşıma ve işleme süreçlerinde daha

uzun ömürlü ekipmanlara olanak sağlar. Otomotiv sektöründe, polimer karışımları fren sistemleri, debriyajlar ve diğer mekanik parçalarda sürtünmeyi azaltmak ve aşınma direncini artırmak için kullanılmaktadır. Bu ise üretim süreçlerinde daha az duruş süresi ve bakım maliyetleri sağlayabilir. Tarım makinelerinde, özellikle toprak işleme ekipmanlarında, havacılık ve uzay sektörlerinde de kullanılmaktadır. Aşınma direnci, malzemelerin dayanıklılığını ve çalışma ömrünü artırarak makine ve ekipmanların daha uzun süre sorunsuz bir şekilde çalışmasına olanak sağlar. Polimer karışımlarının aşınma ile ilgili endüstriyel kullanım alanlarından bazıları şöyle sıralanabilir. Makine sektöründe makinalarda rulman ve yataklarda, gıda işleme makinalarında özellikle konveyör bantlarında, tüketici elektronik ürünlerde yani düğmeler, sürgülü parçalar ve menteşeler, denizcilik sektöründe vinç sistemleri, gemi pervaneleri ve diğer deniz ekipmanlarında, madencilik sektöründe maden işleme makinaları ve taşıma sistemlerinde polimer karışımları sürtünmeyi azaltmak ve aşınma direncini artırmak için kullanılmaktadır.

Bu özellik, makine/makine elemanlarının daha düşük enerji tüketimi ve daha uzun çalışma ömrüne sahip olmasına katkı sağlar. Literatürde polimer malzemelerin aşınma ve sürtünmesi ile ilgili çok sayıda makaleye rastlanmaktadır (Unal, Mimaroglu, ve Arda, 2006), (Unal, Şen, ve Mimaroglu, 2004), (Unal ve Mimaroglu, 2003, 2003), (Unal, Mimaroglu ve Şen, 2005), (Rajesh, Bijwe ve Tewari, 2002). Buna ilaveten naylon 6 polimerine ilave edilen PTFE katkı ile ilgili çalışmalara da rastlanmıştır. Fakat Naylon 6 polimeri ile Naylon 6/PTFE karışımı polimerlerin dişli, yatak ve rulman gibi makine elemanlarında kullanımı ile ilgili karşılaştırma yapılan az sayıda tribolojik çalışmaya rastlanmıştır. Şekil 1’de Endüstride farklı amaçlar için üretilen naylon polimerinden imal edilen dişli, yatak ve rulmanlar gibi makine elemanları görülmektedir.

Bu deneysel çalışmada Naylon 6 polimeri ile Naylon 6/PTFE polimer karışımının 1.77, 2.65 ve 3.53MPa basınçlar altındaki ve 0.45 ile 0.90 m/s kayma hızlarındaki aşınma ve sürtünme davranışları incelenmiştir. Deneyler oda sıcaklığında ve kuru kayma şartlarında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri pin-on-disc cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma oranı değerleri belirlenmiş olup Naylon 6 polimeri ile Naylon 6/PTFE polimer karışımının tribolojik davranışları karşılaştırılmıştır.





Şekil 1. Endüstride farklı amaçlar için üretilen naylon polimerinden imal edilen dişli, yatak ve rulman gibi makine elemanları

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Malzeme

Deneylerde ana matris malzeme olarak DOMO polimer firmasından granül formunda temin edilen Nylon 6 polimeri kullanılmıştır. PTFE katkı malzemesi ise toz formunda DuPONT firmasından temin edilmiştir.

Numune hazırlama

Naylon 6 granülleri ve poli-tetraflor etilen tozları önce 80 °C sıcaklıkta 4 saat süre ile süre ile etüvde kurutulmuştur. Daha sonra çift vidalı endüstriyel bir ekstrüderde Naylon 6/PTFE karışımı 90:10 oranında olacak şekilde compound yapılmış, soğutma havuzundan geçirilmiş, hava üflenmiş ve kesilerek granül formuna getirilmiştir. Daha sonra Naylon 6/PTFE karışımı granüller kullanılarak enjeksiyon makinasında ASTM G99 standardına uygun aşınma test numunesi pimler basılmıştır. Enjeksiyon ısıtıcı sıcaklıkları 220-250 °C arasında ayarlanmıştır. Test numuneleri 6 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda olacak şekilde kalıp dizaynı yapılmıştır.

Triboloji testleri

Tribolojik testler, pim-disk aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Üretilen pimlerin çapı 6 mm, boyu ise 50 mm uzunluğunda olacak şekilde enjeksiyonda basılmıştır. Aşınma testlerinde aynı yüzey pürüzlülüğünün elde edilebilmesi için hem polimer pim malzemeler hem de karşı çelik disk yüzeyleri 1200 nolu zımpara ile zımparalanmıştır. Karşı çelik disk ise 95 mm çapında ve yaklaşık 4.9 mm kalınlığında olacak şekilde önce tormalanmış sonra da taşlanmıştır. Tribolojik deneyler, pin-on-disc aşınma cihazında kuru ortam şartlarında ve yaklaşık oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 1.77 MPa, 2.65MPa ve 3.53 MPa gibi üç farklı basınç kullanılmıştır. Ayrıca deneylerde 0.45 ve 0.90 m/s gibi iki

farklı kayma hızı kullanılmıştır. Tribolojik deneyler, 2000 m kayma yolunda gerçekleştirilmiştir. Her bir deney öncesinde polimer pim ve çelik disk yüzeyleri önce asetonla temizlenmiş sonra ise temiz ve lif bırakmayan bir besle silinmiş ve ardından kurutulmuştur. Polimer pim ile çelik disk temasında oluşan sürtünme kuvveti, yükleme koluna monte edilmiş bir load-cell vasıtasıyla ölçülmüştür.

Sürtünme katsayısı (μ) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\mu = F_t / F_N \quad (1)$$

Numunelerin aşınma miktarı, 0.0001 g hassasiyetli bir terazi kullanılarak ölçülmüştür. Numunelerin aşınma oranı (W_s) [mm^3/Nm] ise aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

Aşınma oranı :

$$W_s = (\Delta V) / (L \times F_N) \text{ veya } W_s = (\Delta m) / (L \times \rho \times F_N) \quad (2)$$

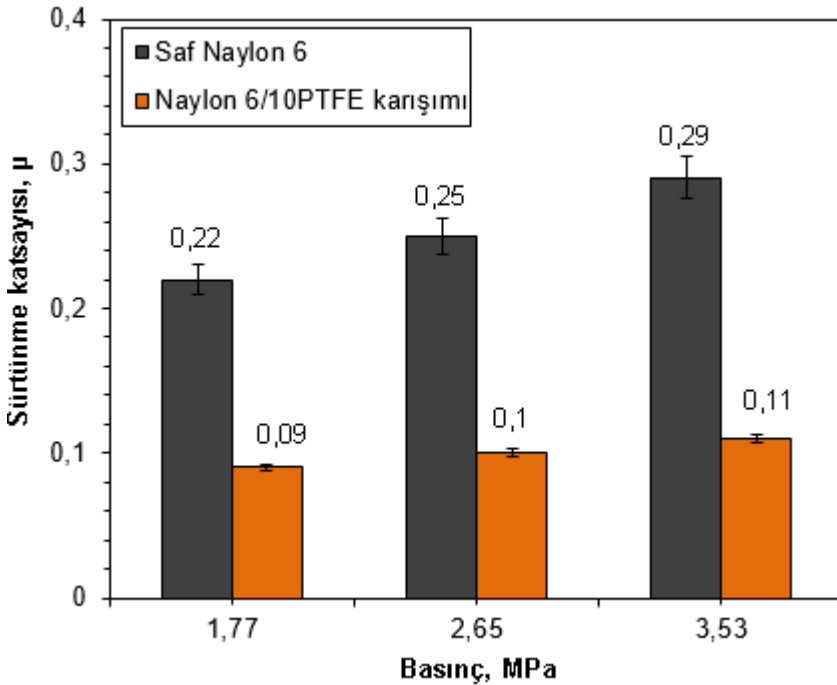
Burada ΔV aşınma hacmi, Δm kütle kaybı, A numune temas alanı, ρ polimer yoğunluğu, F_N uygulanan basınç ve L ise kayma mesafesidir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

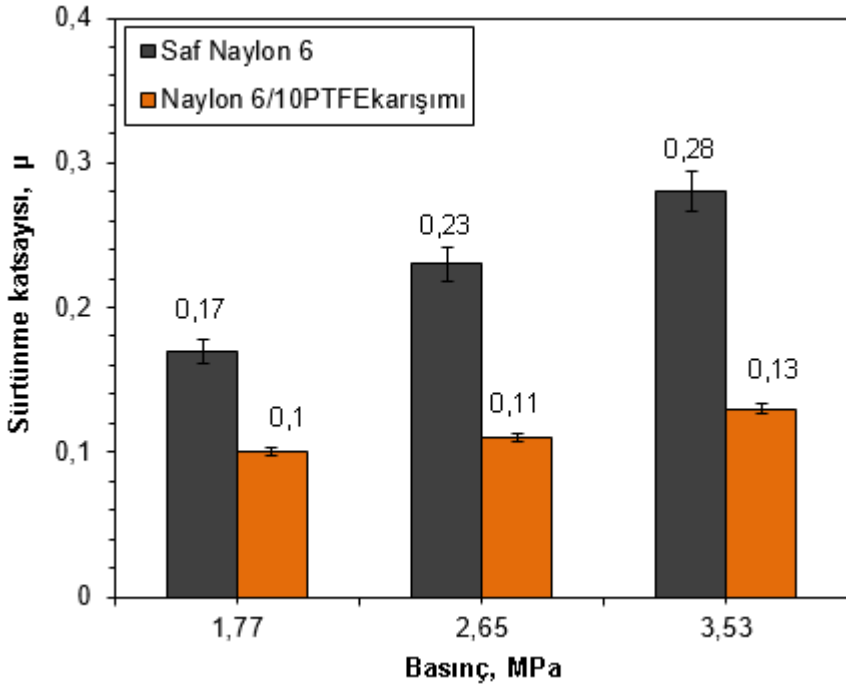
Deneylerde kullanılan Naylon 6 polimeri ile Naylon 6/PTFE karışımının farklı basınçlar altındaki ve 0.45m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısının değişimi Şekil 2’de verilmiştir. Şekilde uygulanan tüm basınçlar altında Naylon 6/PTFE polimer karışımının sürtünme katsayısının daha düşük olduğu görülmektedir. Naylon6/PTFE polimer karışımının sürtünme katsayısı 0.09-0.11 aralığında elde edilirken Naylon 6 polimerinin sürtünme katsayısı ise 0.22-0.29 aralığında elde edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi uygulanan basıncın artması ile 0.45 m/s kayma hızında hem Naylon 6 polimerinin hem de Naylon6/PTFE polimer karışımının sürtünme katsayısı artış göstermektedir. 1.77MPa, 2.65MPa ve 3.53MPa basınçlar altında Naylon 6 polimerinin sürtünme katsayısı sırasıyla 0.22, 0.25 ve 0.29 olarak tespit edilmiştir. Naylon6/PTFE polimer karışımının sürtünme katsayısı ise 0.09, 0.10 ve 0.11 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen verilerden Naylon6/PTFE polimer karışımının sürtünme katsayısı 0.45 m/s kayma hızında Naylon 6 polimerine göre ortalama %60 oranında düşük olduğu gözlenmiştir.

Şekil 3’de Naylon 6 polimeri ile Naylon 6/PTFE karışımının 0.90 m/s kayma hızında ve farklı basınçlar altındaki sürtünme katsayısının değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Naylon 6/PTFE polimer karışımının sürtünme

katsayısının uygulanan basınçlar altında Şekil 2’de olduğu gibi daha düşük olduğu görülmektedir. Nylon6/PTFE polimer karışımının sürtünme katsayısı 0.10-0.13 aralığında elde edilirken Nylon 6 polimerinin sürtünme katsayısı ise 0.17 ile 0.28 aralığında elde edilmiştir. 0.90 m/s kayma hızında Şekilde görüldüğü gibi uygulanan basıncın artması ile hem Nylon 6’nın hem de Nylon6/PTFE polimer karışımının sürtünme katsayısı artış göstermiştir. Nylon 6 polimerinin sürtünme katsayısı 1.77MPa, 2.65MPa ve 3.53MPa basınçlar altında sırasıyla 0.17, 0.23 ve 0.28 olarak tespit edilmiştir. Nylon6/PTFE polimer karışımının sürtünme katsayısı ise 0.10, 0.11 ve 0.13 olarak tespit edilmiştir. Şekil 3’de elde edilen verilerden Nylon 6 polimerine göre Nylon6/PTFE polimer karışımının sürtünme katsayısı 0.9 m/s kayma hızında ortalama %50 oranında düşük olduğu gözlenmiştir. Sürtünme katsayısının düşük olması Nylon 6 polimerine ilave edilen PTFE katkısından kaynaklandığı düşünülmektedir. PTFE polimerinin kaydırıcılık özelliği ve sürtünme katsayısını düşürücü etkisinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 2. Nylon 6 ve Nylon 6/10PTFE karışımının farklı basınçlar altındaki sürtünme katsayısı değişimi (Kayma hızı: 0.45 m/s)

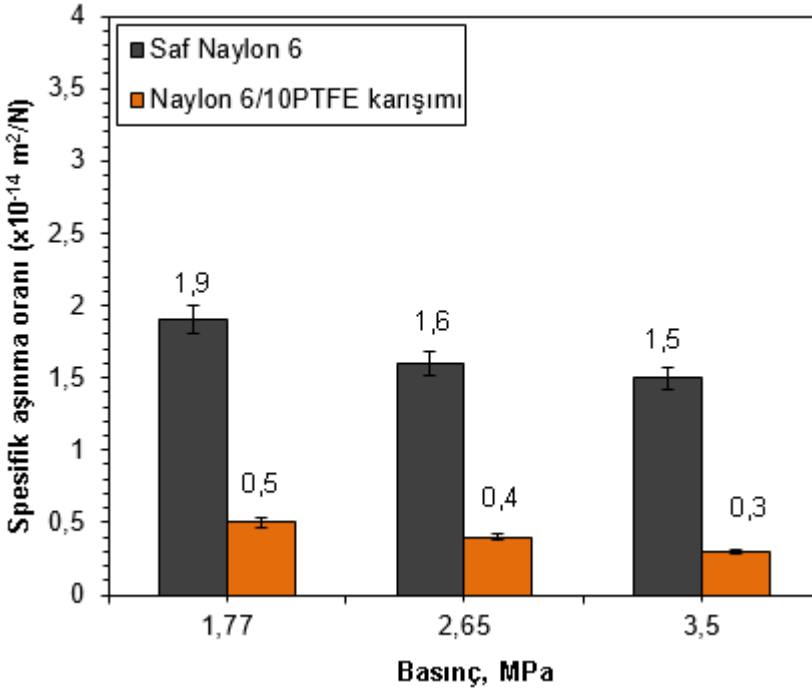


Şekil 3. Nylon 6 ve Nylon 6/10PTFE karışımının farklı basınçlar altındaki sürtünme katsayısı değişimi (Kayma hızı: 0.9 m/s)

Şekil 4 ve Şekil 5’de 1.77MPa, 2.65MPa ve 3.53MPa basınçlar altında 0.45 ve 0.9 m/s kayma hızlarındaki Nylon 6 polimeri ile Nylon 6/PTFE karışımının spesifik aşınma oranının değişimi verilmiştir. Şekilde 4’de görüldüğü gibi 0.45 m/s kayma hızında yükün artırılması sonucunda Nylon 6 polimeri ve Nylon 6/10PTFE polimer karışımının spesifik aşınma oranında azalma gözlenmiştir. 0.45 m/s kayma hızında yükün %50 ve %100 oranında artırılması sonucunda Nylon 6 polimerinin spesifik aşınma oranında sırasıyla %15.7 ve %21 oranında azalma tespit edilirken Nylon 6/10PTFE polimer karışımının spesifik aşınma oranında da sırasıyla yaklaşık %20 ve %40 oranında azalma tespit edilmiştir. 0.45 m/s kayma hızında Nylon6/PTFE polimer karışımının Nylon 6 polimerine göre spesifik aşınma oranı ortalama %75.9 oranında düşük olduğu gözlenmiştir.

Benzer şekilde 0.9 m/s kayma hızında ve 1.77MPa, 2.65MPa ve 3.53MPa basınçlar altındaki Nylon 6 polimeri ile Nylon 6/PTFE polimer karışımının aşınma oranlarının değişimleri Şekil 5’de verilmiştir. Şekil 4’de görüldüğü gibi Şekil 5’de yükün artırılması sonucunda Nylon 6 polimeri ile Nylon 6/10PTFE polimer karışımının spesifik aşınma oranında da azalma gözlenmiştir. 0.90 m/s kayma hızında yükün %50 ve %100 oranında artırılması sonucunda Nylon 6 polimerinin spesifik aşınma oranında sırasıyla %5.1 ve %8.1 oranında azalma

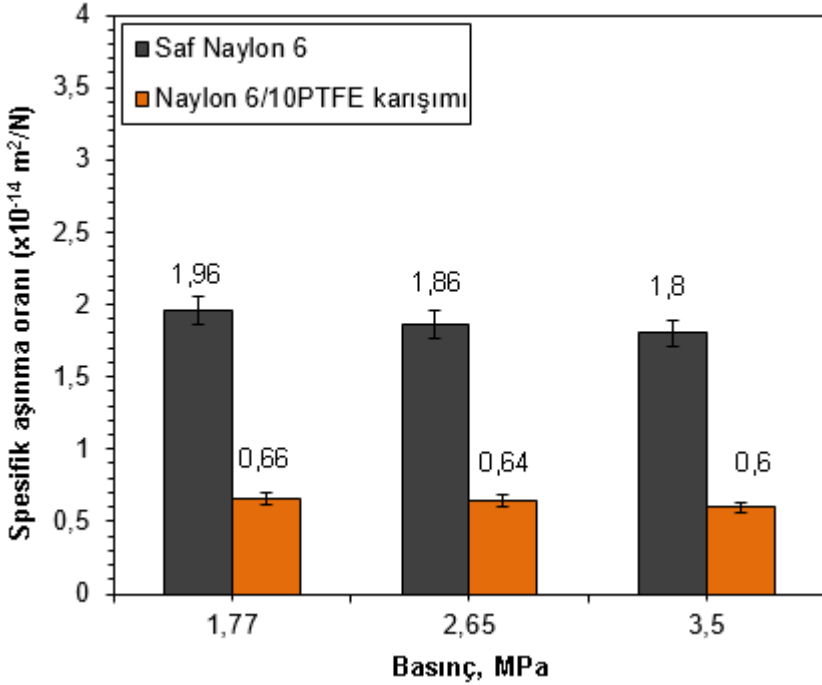
tespit edilirken Naylon 6/10PTFE polimer karışımının spesifik aşınma oranında da sırasıyla yaklaşık %3 ve %9 oranında azalma tespit edilmiştir. 0.90 m/s kayma hızında Naylon6/PTFE polimer karışımının Naylon 6 polimerine göre spesifik aşınma oranı ortalama %66.19 oranında düşük olduğu gözlenmiştir.



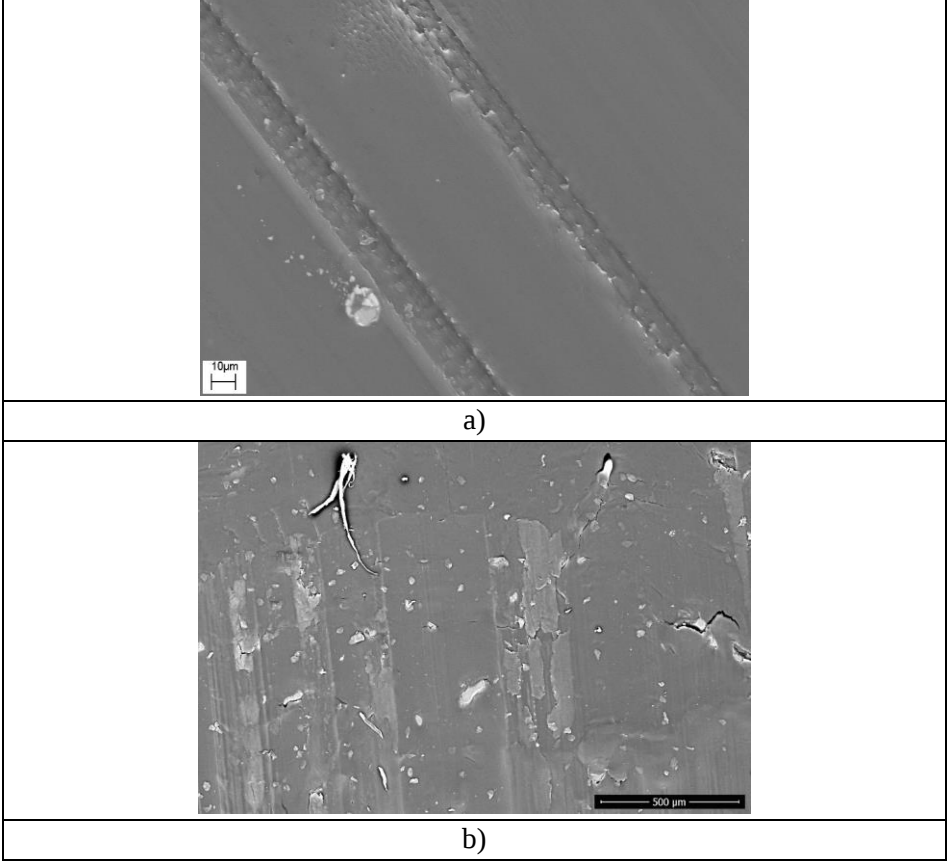
Şekil 4. Naylon 6 ve Naylon 6/10PTFE karışımının farklı basınçlar altında spesifik aşınma oranının değişimi (Kayma hızı: 0,45 m/s)

Literatür incelendiğinde bazı polimer malzemelerin çelik malzemelere karşı çalışması durumunda malzemelerin temas noktasında kayma hızına ve yüke/basınca bağlı olarak ısı artışının olabildiği ifade edilmektedir. Isı artışı deneylerde kullanılan hızın büyüklüğü ile uygulanan yükün/basıncın büyüklüğü ile ilişkilidir. Uygulanan yük/basınç ve kayma hızı ile temas noktasında oluşan ısı belirli bir kritik değerin altında olursa aşınma fazla olmazken kritik değerin üzerine çıktığında ısı artışı olmaktadır. Bu sıcaklık artışı da kullanılan polimer malzemenin yumuşamasına ve ilerleyen seviyelerde plastik deformasyonun kolaylaşmasına sebep olabilmektedir. Bu durum ise malzemenin aşınma oranının artmasına sebep olabilmektedir. Bu çalışmada uygulanan yük/basınç ve seçilen hız değerleri Naylon 6 polimeri ile Naylon 6/10PTFE polimer karışımının yumuşamasına sebep olabilecek seviyelerde olmadığı görülmüştür.

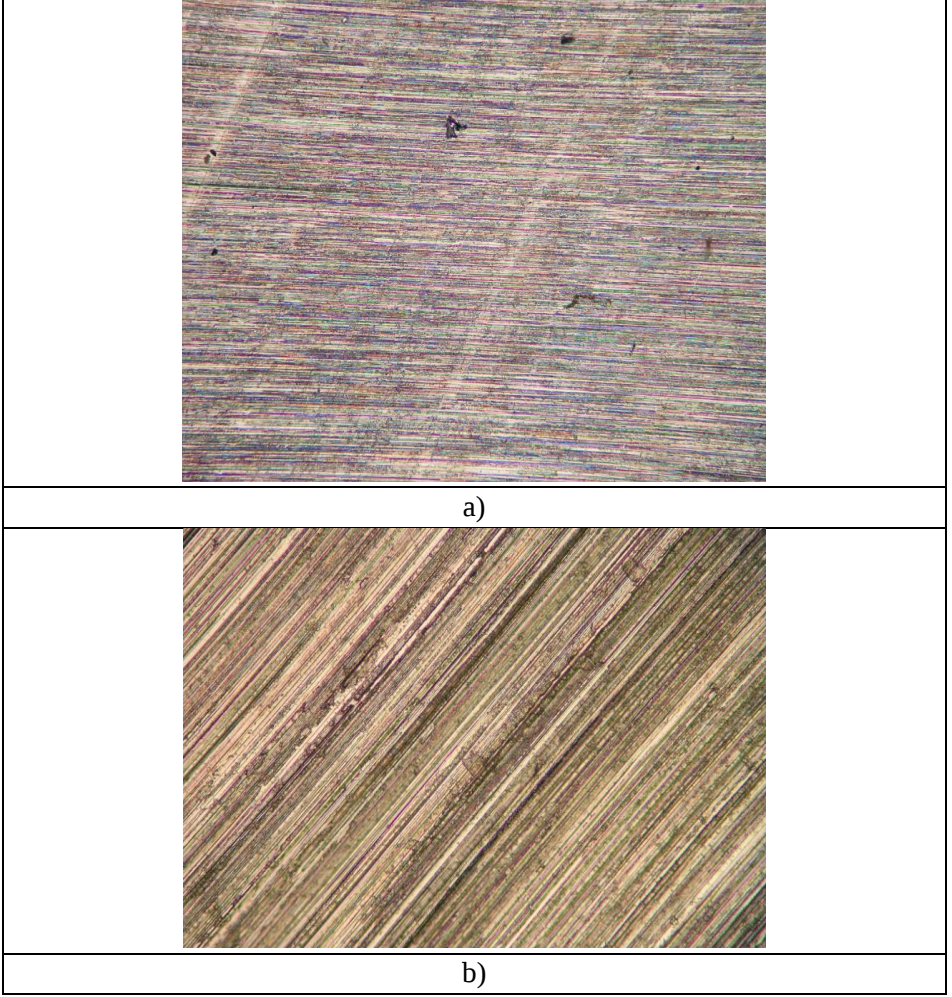
Şekil 6a,b'de sırasıyla naylon 6 polimeri ile naylon 6/10PTFE polimer karışımı pim malzemelerin taramalı elektron mikroskop aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Şekil 6a.b'de naylon 6 polimeri ile naylon 6/10PTFE polimer karışımı polimerin 3.53MPa basınç altında ve 0.90 m/s kayma hızındaki pim aşınmış yüzeylerinin optik mikroskop mikroyapı incelemeleri gösterilmektedir. Şekil 6a'da 0,9 m/sn kayma hızında naylon 6 polimerinin aşınan yüzeyinde geniş ve derin aşınma izleri gözlenirken Şekil 6b'de ise naylon 6/10PTFE polimer karışımı polimer yüzeyinin naylon 6 polimer aşınma yüzeyine göre derin aşınma izleri olmayan ve daha düzgün yüzey gözlenmiştir.



Şekil 5. Naylon 6 ve Naylon 6/10PTFE karışımının farklı basınçlar altında spesifik aşınma oranının değişimi (Kayma hızı: 0,90 m/s)



Şekil 6. a) Nylon 6 ve b)Naylon 6/10PTFE karışımının aşınma yüzeyinin taramalı elektron mikroskobu mikroyapı görüntüleri ($P=3.53$ MPa, $V=0.9$ m/s)



Şekil 7. Çelik diskin aşınma yüzeyinin taramalı elektron mikroskobu mikroyapı görüntüleri a) Nylon 6 ve b) Nylon 6/10PTFE karışımı ($P=3.53$ MPa, $V=0.9$ m/s)

Şekil 7a,b de ise nylon 6 polimeri ile nylon 6/10PTFE polimer karışımı pim malzemelerin 3.53MPa basınç altında ve 0.90 m/s kayma hızındaki karşı çelik disk aşınma yüzeylerinin sırasıyla optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Nylon 6 polimeri ile çalışan çelik disk yüzeyinde çok ince film oluşmaya başladığı görülürken(Bkz. Şekil 7a) nylon 6/10PTFE polimer karışımı polimeri ile çalışan çelik disk yüzeyinde film oluşumunun biraz daha fazla artmaya başladığı ifade edilebilir (Bkz. Şekil 7b).

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Naylon 6 polimeri ile Naylon6/PTFE polimer karışımının tribolojik performanslarının incelendiği çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 0.45 ve 0.90 m/s kayma hızlarında ve uygulanan yükler altında Naylon6/PTFE polimer karışımının Naylon 6 polimerine göre sürtünme katsayısı değerleri sırasıyla ortalama %60 ve %50 oranında daha düşük olduğu gözlenmiştir.

- Uygulanan basıncın artırılması ile Naylon 6 polimeri ile Naylon6/PTFE polimer karışımının aşınma oranı değerlerinde azalma gözlenmiştir. Deneylerde kullanılan uygulanan basınçlar altında ve 0.45 ile 0.90 m/s kayma hızlarında Naylon6/PTFE polimer karışımının Naylon 6 polimerine göre aşınma oranı değerleri sırasıyla ortalama %75.9 ve %66.19 oranında daha düşük olduğu gözlenmiştir.

- Saf Naylon 6 polimerinin mikroyapı incelemeleri sonucunda aşınma abrazif aşınma mekanizması olarak açıklanabilir. PA6/10PTFE polimer karışımında ise aşınma adhezif aşınma mekanizması olarak açıklanabilir.

REFERANSLAR

- Berins, M. L., (1991).S.P.I. Plastics Engineering Handbook; Chapman & Hall: London/New York,
- Gachter, R., and Muller, H., (1993). Plastics Additives Handbook, Hanser/Gardner Publications Inc., Cincinnati.
- Harper, C. A., (1996).Handbook of Plastics, Elastomers and Composites; McGraw-Hill, New York.
- Hutchings, I.M., (1992). Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials, Edward Arnold, London, p.51.
- Kohan, M.I. (1973). Nylon Plastics; Hanser: New York.
- Kukureka, S.N., Hooke, C.J., Rao, M., Liao, P. and Chen, Y.K. (1999). The effect of fibre reinforcement on the friction and wear of polyamide 66 under dry rolling-sliding contact. Tribology International, 32, 107-16.
- Liu, C.Z., Wu, J.Q., Li, J.Q., Ren, L.Q., Tong, J. and Arnell, A.D. (2006), Tribological behaviours of PA/UHMWPE blend under dry and lubricating condition, Wear, 255;109-15.
- Nielsen, L. E., (1974).Mechanical Properties of Polymers and Composites; Marcel Dekker: New York.
- Palabiyik, M., Bahadur, S., (2002). Tribological studies of polyamide 6 and high density polyethylene blends filled with PTFE and copper oxide and reinforced with short glass fibers. Wear, 243(3-4);369-376
- Palabiyik, M. and Bahadur, S. (2000), Mechanical and tribological properties of polyamide 6 and high density polyethylene polyblends with and without compatibilizer, Wear, 246;149-58.
- Rajesh, J.J., Bijwe, J., and Tewari, U.S. (2002). Abrasive wear performance of various polyamides. Wear. 252; 769-776.
- Tanaka K. (1986). Effect of various fillers on the friction and wear of PTFE based composites. In: Friedrich, editor. Friction and wear of polymer composites. Amsterdam: Elsevier, p.137.
- Tevruz T. (1996).Tribological behaviours of pure and glass fibre filled polytetrafluoroethylene journal bearings. In: 9th Eng. Symposium, Suleyman Demirel Univ., May 29-31, Isparta, Turkey
- Tevruz T., (1997). Tribological behaviours of carbon fibre filled polytetrafluoroethylene dry journal bearings. In: 7th Denizli material symposium, Pamukkale Univ., April 2-4, Denizli, Türkiye; p. 238.
- Tevruz T., (1998). Tribological behaviours of carbon-filled polytetrafluoroethylene dry journal bearings. Wear, 221:61-8.

- Unal, H., Mimaroglu, A., and Arda, T., (2006), Friction and wear performance of some thermoplastic polymers and polymer composites against unsaturated polyester. *Applied Surface Science*, 252(23); 8139-8146.
- Unal, H., Sen, U. and Mimaroglu, A. (2004), Dry sliding wear characteristics of some industrial polymers against steel counterface, *Tribology International*, 37 (9); 727-732.
- Unal H and Mimaroglu A. (2003). Friction and wear behaviour of unfilled engineering thermoplastics. *Mater Design*. 24:183–187.
- Unal H and Mimaroglu A. (2003). Influence of test conditions on the tribological properties of polymers. *J. Industrial Lubrication and Tribology*, 55(4):178–83.
- Unal, H., Mimaroglu, A. and Sen, U. (2005). Abrasive wear behaviour of polymeric materials. *Materials and Design*, 26(8):705-10.

Bölüm 13

KEREVİZ SAPI VE LİMON KABUĞUNUN KAYIP ÖNLEYİCİ MALZEME OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

İnci TÜRK TOĞRUL¹

GİRİŞ

Sondaj, genellikle yüksek basınçlı su veya materyali taşıyan bir karışımın kullanıldığı özel ekipmanlar aracılığıyla yer altına delik açma işlemidir. Bu delikler, farklı amaçlar için kullanılabilir. Petrol ve doğal gaz rezervlerini keşfetmek, çıkarmak ve üretmek amacıyla petrol ve gaz sondajı, temiz su kaynaklarına ulaşmak için su kuyusu sondajı, değerli minerallerin veya metallerin çıkarılması için madencilik sondajı, temel kazma, yapı temeli yerleştirme veya zemin analizi gibi inşaat projelerinde inşaat sondajı kullanılır. Yer altındaki sıcak su kaynaklarını bulmak ve kullanmak için jeotermal sondaj, toprak veya su kirliliği sorunlarını belirlemek çevresel analizler yapmak için çevresel sondaj ve jeolojik veya jeofizik araştırmalar için bilimsel araştırma sondajı kullanılır.

Sondaj işlemleri için kullanılan ekipmanlar arasında matkaplar, sondaj kuleleri, döner tablalar, çamur pompaları, sondaj boruları ve matkap uçları gibi özel araçlar bulunmaktadır. Sondajın farklı çeşitleri vardır. Döner sondajda matkap ucu döner ve yeraltına delik açar; kova sondajında matkap ucu, yeraltına gömülü bir kova içinde malzemeyi çıkarır; çekme sondajında matkap ucu yeraltına doğru çekilir ve malzeme çıkarılır. Sondaj, genellikle jeolojik, jeofizik ve mühendislik bilimlerini içeren multidisipliner bir yaklaşıma dayanır. Sondaj işlemleri genellikle karmaşık ve uzmanlık gerektiren operasyonlardır.

SONDAJ AKIŞKANLARI

Sondaj akışkanları, bir sondaj operasyonu sırasında kullanılan sıvı veya çamur karışımlarını ifade eder. Bu akışkanlar, sondaj kuyusunun stabilitesini sağlamak, materyali taşımak, sondaj deliğini soğutmak ve çeşitli sondaj zorluklarıyla başa çıkmak için kullanılır. Sondaj akışkanları, genellikle su, kil, polimer, çeşitli kimyasallar ve diğer katkı maddelerini içerir. İçeriğindeki yoğun

¹ Prof. Dr.; Batman Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü.
incitgrl@gmail.com ; ORCID No: 0000-0001-7549-2968

faza göre; Su bazlı, kil bazlı, polimer bazlı ve yağ bazlı çamurlar, hücresel, yüksek yoğunluklu ve kurutulmuş çamurlar yaygın olarak kullanılan sondaj çamuru tipleridir.

Su bazlı çamurlar genellikle temel olarak su, kil, polimer ve çeşitli kimyasallar içerir. Bu çamurlar, genellikle su kaynaklarını korumak amacıyla kullanılır ve materyali taşımak, kuyu duvarlarını desteklemek için kullanılır.

Kil bazlı çamurlar genellikle bentonit veya kil mineralleri içerir. Bu çamurlar, materyali taşıyan, çatlakları kapatma ve kuyu duvarlarını destekleme özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılır.

Polimer bazlı çamurlar, su bazlı çamurlara polimer eklenerek oluşturulur. Bu çamurlar, genellikle daha iyi stabilite ve viskozite özellikleri sunar.

Yağ bazlı çamurlar genellikle petrol bazlı sıvılar içerir ve genellikle petrol ve gaz sondaj operasyonlarında kullanılır. Bu tür çamurlar, yüksek sıcaklıklara dayanıklılık ve çeşitli zorlu sondaj koşulları için uygundur.

Hücresel çamurlar genellikle gaz veya hava karıştırılarak oluşturulur. Bu çamurlar, özellikle zorlu formasyonlarda sirkülasyon kaybını önlemek ve sondaj deliği çapını kontrol altında tutmak için kullanılır.

Yüksek yoğunluklu çamurlar, genellikle materyali daha iyi taşıyan ve kuyu duvarlarını daha etkili bir şekilde destekleyen çamurlardır. Bu tür çamurlar, derin deniz sondajları ve yüksek basınçlı sondajlar gibi özel uygulamalarda kullanılır.

Kurutulmuş çamurlar genellikle toz formunda sunulur ve sahada su eklenerek çamur haline getirilir. Taşınabilirlik ve depolama avantajları nedeniyle tercih edilebilir.

Sondaj akışkanları, sondaj operasyonunun başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için kuyu formasyonunun özelliklerine ve sondajın amacına bağlı olarak özenle seçilir ve formüle edilir.

Sondaj Akışkanının Görevleri

Sondaj akışkanları, petrol ve doğal gaz endüstrisinde, kuyu sondajı sırasında bir dizi önemli görevi yerine getiren özel akışkanlardır. Sondaj akışkanlarının başlıca görevleri aşağıda sıralanmıştır.

- Sondaj akışkanlarının en temel görevlerinden biri, kuyu içindeki materyali delme işlemi sırasında çıkarmak ve kuyu duvarlarını desteklemektir. Bu, delme kafasının altındaki materyalin yüzeye taşınmasına yardımcı olur.

- Delme işlemi sırasında materyalin sürtünmesi ve ısınması nedeniyle, sondaj akışkanları, delme kafası ve materyal arasındaki sürtünmeyi azaltarak soğutma ve yağlama sağlar. Bu, ekipmanın aşınmasını azaltır ve delme hızını artırır.

- Sondaj akışkanları, kuyu içindeki basınçları kontrol etmek için kullanılır. Bu, kuyu içindeki petrol veya doğal gazın kontrolsüz bir şekilde yüzeye çıkmasını önlemek için önemlidir.

- Sondaj akışkanları, kuyu duvarlarını destekleyerek çökmesini önler. Ayrıca, kuyu içindeki boşluğu stabil tutarak sondaj ekipmanının düzgün çalışmasına yardımcı olur.

- Sondaj akışkanları, kuyu içindeki materyalden kaynaklanan kirlilikleri kontrol etmek ve taşımak için kullanılır. Bu, sondaj kafası altındaki materyalin yüzeye taşınmasını kolaylaştırır.

- Sondaj işlemi sırasında çeşitli kimyasal çözeltiler, özel ekipman ve malzemelerin kuyuya taşınması ve uygulanması için sondaj akışkanları kullanılır.

- Sondaj akışkanları, kuyu dibinde biriken materyali temizleyerek delme işlemini daha etkili hale getirir. Bu, kuyu içindeki materyalin doğru bir şekilde çıkarılmasına yardımcı olur.

Sondaj akışkanlarının bu görevleri, kuyu sondajı işleminin başarıyla tamamlanabilmesi için önemlidir. Bu akışkanlar, hem kuyu içindeki çeşitli zorluklarla başa çıkmak hem de doğal kaynakların etkili bir şekilde çıkarılmasını sağlamak için özel olarak formüle edilmiştir.

Sondaj Sorunları

Sondaj operasyonları sırasında bir dizi potansiyel sorunla karşılaşılabilir. Bu sorunlar, sondaj makinelerinin, ekipmanlarının ve sondaj prosedürlerinin karmaşıklığı nedeniyle çeşitli zorlukları içerebilir. En yaygın sondaj sorunları aşağıda sıralanmıştır:

- Sirkülasyon kaybı, sondaj sıvısının kuyu duvarlarına sızması veya zeminin içine geçmesi durumunu ifade eder. Bu durum, materyalin kaybına ve sondaj deliğinin çökmesine neden olabilir.

- Yumuşak zeminlerde, delik duvarlarını stabilize etmek ve sondajın devamını sağlamak daha zor olabilir. Kuyu çökmesi ve delik duvarlarının çökmesi riski vardır.

- Bazı formasyonlar, sert veya aşındırıcı olabilir, bu da materyali taşımak ve delme ekipmanını korumak için özel önlemler gerektirebilir.

- Sondaj çamurlarının viskozitesinin uygun olmaması, çökmüş materyali taşıma yeteneğini azaltabilir veya kayıp sirkülasyonu artırabilir.

- Matkapların aşınması, kırılması veya sıkışması gibi matkap sorunları, sondaj operasyonlarını olumsuz etkileyebilir.

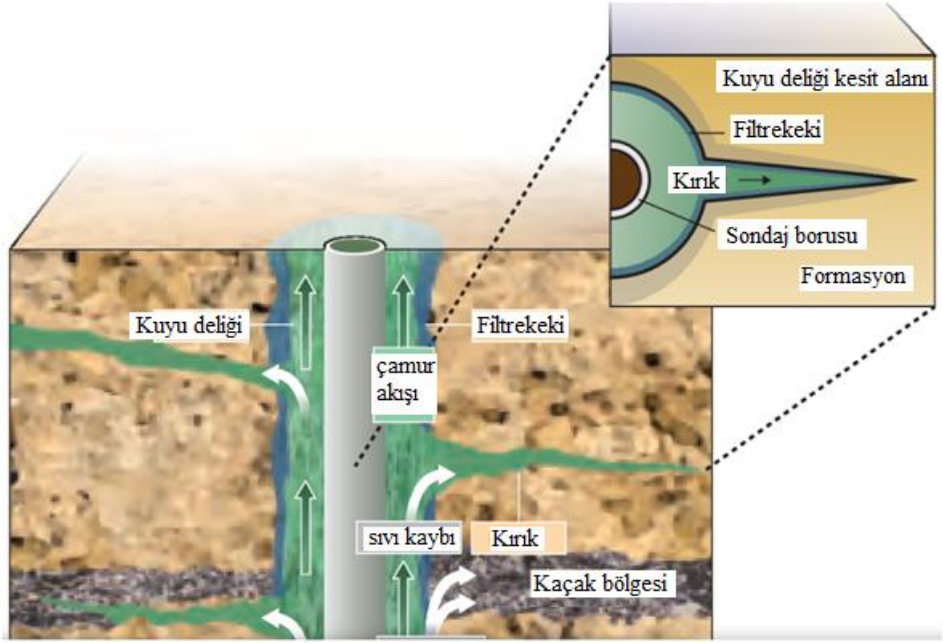
- Derin deniz sondajları veya yüksek basınçlı sondajlar gibi özel koşullar, ekipmanın ve sondaj çamurlarının dayanıklılığını zorlayabilir.
- Numune almak için uygun olmayan formasyonlar veya zorlu koşullar, jeolojik analiz ve formasyon karakterizasyonunu zorlaştırabilir.
- Boruların (kasaj) yerleştirilmesi sırasında zorluklar yaşanabilir veya kasing'in düzgün bir şekilde yerleştirilmemesi kuyu istikrarını etkileyebilir.
- Çamur sistemi içindeki malzemelerin uygun şekilde karıştırılamaması, çeşitli sorunlara neden olabilir.
- Sondaj operasyonları, çevresel etkilerle ilgili endişelere yol açabilir, özellikle su kaynaklarına zarar verme veya yerel ekosistemlere olumsuz etkiler bırakma riski vardır.

Bu sorunların çözümü genellikle doğru ekipman seçimi ve uygun sondaj tekniklerinin kullanılması ile mümkündür. İyi bir planlama ve sürekli izleme, sondaj operasyonlarının daha etkili ve güvenli bir şekilde yürütülmesini sağlayabilir.

SİRKÜLASYON KAYBI

Sirkülasyon kaybı terimi, özellikle petrol ve gaz sondajı gibi sondaj operasyonları sırasında ortaya çıkan bir durumu ifade eder. Bu durum, bir sondaj operasyonu sırasında sondaj sıvısının veya çamurun, kuyu duvarlarına sızması veya zeminin içine geçmesi sonucu oluşan bir kayıptır. Bu nedenle, sondaj operasyonlarının zor ve sorunlu bir hal almasına, ek maliyetlere ve bir dizi zorluğa neden olabilir.

Sirkülasyon kaybı, çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir. Bu faktörler arasında geçirgen kayaçlar, çatlaklar, boşluklar, zayıf tabakalar ve doğal olarak oluşan kırık zonları bulunabilir. Eğer sondaj yapılan formasyon geçirgen bir yapıya sahipse, sıvının bu geçirgen zemin içine sızma eğilimi artar. Yüksek basınç altında gerçekleşen sondaj operasyonları, formasyon içinde çatlaklar oluşturabilir veya kırık zonlara neden olabilir, bu da sıvının kaybolmasına yol açabilir. Formasyon içinde zayıf ve dayanıksız tabakalar, sıvının içeri sızmasına neden olabilir. Bu olay Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Sondaj işlemi sırasında kuyu deliğinin şematik görünümü (Cook vd., 2011:30)

Sirkülasyon kaybı, sondaj operasyonunu etkileyen bir dizi olumsuz etki yaratabilir. Bunlar arasında materyal kaybı, sondaj deliğinin çökmesi, ekipman hasarı ve sondaj süresinin uzaması gibi durumlar yer alabilir. Ayrıca, çamur sisteminin dengesinin bozulması ve zeminle etkileşimdeki değişiklikler nedeniyle kontrol zorlaşabilir. Sondaj operasyonlarını daha zorlu hale getirebilir ve sondaj ekipmanının daha hızlı aşınmasına neden olabilir.

Sirkülasyon Kaybını Önleyici Tedbirler

Sirkülasyon kaybı, sondaj operasyonlarındaki potansiyel zorluklardan biridir ve bu nedenle operasyon öncesi dikkatlice planlanması ve gerekli önlemlerin alınması önemlidir. Sirkülasyon kaybını önlemek için çeşitli yöntemler kullanılır. Bu yöntemler arasında kayıp önleyici malzemeler, çamur sisteminin optimize edilmesi, kil bariyerleri, sıkma (squeeze) işlemleri ve özel tane boyutlarına sahip çamur kullanımı gibi çeşitli teknikler sayılabilir.

Kayıp önleyici malzemeler; sondaj sıvısına eklenen özel malzemelerdir. Bu malzemeler, çatlakları tıkamak, sirkülasyon kaybını önlemek ve sondaj deliğini stabilize etmek amacıyla kullanılır ve genellikle kil, selüloz, kauçuk ve diğer özel malzemeleri içerirler.

Sondaj çamuru, formasyon özelliklerine uygun şekilde optimize edilmelidir. Doğru viskozite, kil içeriği ve kimyasal katkıları, sirkülasyon kaybını azaltabilir. Çamur sistemi, sondajın devamını sağlamak ve çeşitli zorluklarla başa çıkmak için önemlidir.

Sondaj sırasında geçirgen zeminlerde kil bariyerleri kullanılabilir. Bu bariyerler, çatlakları ve boşlukları kapatmak için formülasyon içine eklenen özel kil türlerini içerir. Kil bariyerleri, kayıp sirkülasyonu kontrol altında tutmaya yardımcı olabilir.

Zemin içine sirkülasyon kaybını kontrol etmek için sıkma işlemleri kullanılabilir. Bu işlemde, özel malzemeler zemin içine enjekte edilir ve geçirgen bölgeleri tıkar. Sondaj çamuru içinde kullanılan kil, çift tane boyutlu olabilir. İnce ve kalın tane boyutları, çatlakları tıkmak ve sirkülasyon kaybını önlemek için bir araya gelir. Yüksek basınçlı bölgelerde çalışılıyorsa, basınç kontrolü daha da önemlidir. Kontrollü basınç altında çalışmak, sirkülasyon kaybını önleyebilir.

Kuyu duvarlarını stabilize etmek için casing veya diğer destekleyici yapılar kullanılabilir. Bu, sondaj operasyonunun güvenli bir şekilde devam etmesine yardımcı olabilir.

Sondaj operasyonu için doğru ekipmanın seçilmesi önemlidir. Matkap uçları, sondaj kuleleri ve diğer ekipmanlar, operasyonun sorunsuz bir şekilde ilerlemesine yardımcı olabilir.

Sirkülasyon Kaybını Azaltıcı Tedbirler

Sirkülasyon kaybı önlenemiyorsa azaltma yoluna gidilebilir ve bu amaçla çeşitli tedbirler alınabilir. Kayıp önleyici malzemeler, yüksek viskoziteli çamur, çift tane boyutlu kil çamur veya yüksek yoğunluklu çamur kullanımı, çamur kaybını izlemek, çamurun ve/veya matkap hızının optimize edilmesi, kil bariyeri, formasyon analizi sirkülasyon kaybını azaltmak amacıyla uygulanacak önlemler arasında sayılabilir.

Sondaj çamurunun viskozitesini artırmak, çamurun materyali daha etkili bir şekilde taşınmasına ve sirkülasyon kaybını azaltmaya yardımcı olabilir. İnce ve kalın tane boyutları içeren kil, çamurun çatlakları tıkmamasına ve sirkülasyon kaybını azaltmasına yardımcı olabilir. Sondaj operasyonu sırasında çamur kaybını izlemek ve kontrol etmek için özel sistemler kullanılabilir. Bu sistemler, hızlı bir şekilde müdahale etmeyi sağlayarak sirkülasyon kaybını azaltabilir. Çamur sistemi, sondaj yapılan formasyona uygun şekilde optimize edilmelidir. Bu, viskozite, kil içeriği ve diğer özelliklerin doğru ayarlanması anlamına gelir. Yüksek yoğunluklu çamurlar, materyali daha etkili bir şekilde taşıyabilir ve sirkülasyon kaybını azaltabilir. Bu özellikle derin sondajlarda ve yüksek

basınçlı koşullarda faydalı olabilir. Matkap hızının doğru bir şekilde ayarlanması, çamurun materyali taşımalarını artırabilir ve sirkülasyon kaybını azaltabilir. Sondaj sırasında geçirgen zeminlere karşı kil bariyerleri kullanılabilir. Bu bariyerler, sirkülasyon kaybını önlemeye yardımcı olabilir. Zemin içine malzeme enjekte edilerek çatlakların kapatılması, sirkülasyon kaybını kontrol etmek için kullanılabilir.

Bu önlemler, sirkülasyon kaybını azaltmaya yönelik çeşitli stratejileri içerir. Sondaj operasyonlarında başarı için bu tedbirlerin bir kombinasyonu genellikle kullanılır.

Kayıp Önleyici Malzeme Türleri

Sondaj operasyonları sırasında sirkülasyon kaybını kontrol etmek ve çatlakları tıkmak için kullanılan özel malzemelerdir. Bu malzemeler, çamur sistemine eklenerek sondaj sıvısının sirkülasyon kaybını önleme kapasitesini artırır. Kayıp önleyici malzemeler çeşitli tiplerde olabilir ve çeşitli formülasyonlarda bulunabilir. İşte yaygın LCM türlerinden bazıları;

- *Kil*, doğal bir kayıp önleyici malzemedir. *Bentonit*, kilin özel bir türüdür ve genellikle çamur sistemine eklenerek kullanılır.
- *Selüloz*, bitkisel kökenli bir malzemedir ve çamur sistemine eklenerek sirkülasyon kaybını kontrol etmeye yardımcı olabilir.
- *Rezinoitler*, genellikle selüloz, polimer veya diğer malzemelerle kaplanmış malzemelerdir. Bu kaplama, malzemenin çamurda çözünmemesini ve çatlakları tıkmalarını sağlar.
- *Lignit*, organik bir malzemedir ve asfalt, petrol ürünlerinden elde edilir. Her ikisi de çamur sistemine eklenerek sirkülasyon kaybını kontrol etmeye yardımcı olabilir.
- *Granüller ve parçacıklar*, çamur sistemine eklenerek materyali taşımak ve sirkülasyon kaybını kontrol etmek için kullanılır. Bunlar genellikle farklı boyutlarda olabilir
- *Polimerler*, çamur sistemine eklenerek viskoziteyi artırabilir ve materyali daha etkili bir şekilde taşıyabilir. Polimer malzemeler aynı zamanda çatlakları tıkmaya yardımcı olabilir.
- *Fiberglas*, çamur sistemine eklenerek sirkülasyon kaybını kontrol etmeye yardımcı olabilir. Genellikle lifli formda kullanılır
- *Cam boncukları*, çamur sistemine eklenerek materyali taşımının yanı sıra sirkülasyon kaybını kontrol etmeye yardımcı olabilir.
- *Alüminyum yaprakları*, çamur sistemine eklenerek sirkülasyon kaybını önlemeye yardımcı olabilir.

Kayıp önleyici malzemeler, genellikle formülasyonlarda kombinasyonlar halinde kullanılır ve sondaj operasyonunun özelliklerine, formasyon özelliklerine ve karşılaşılan zorluklara bağlı olarak seçilir.

Literatürde açıklanan, petrol ve gaz endüstrisinde sirkülasyon kaybını gidermek veya hafifletmek için kullanılan çok fazla kayıp önleyici malzeme ve kombinasyon vardır. Örneğin, çimento tıkaçı ve yüksek viskoziteli sondaj sıvısını birlikte kullanmak, toplam kaybı durdurmak için en yaygın olarak kullanılan yöntemdir (Jaf vd, 2023:36).

Yine çapraz bağlı çimentonun (Mata ve Veiga, 2004:1), çapraz bağlı nanokompozit jellerin (Lecolier vd.,2005:1), mineral, sentetik ve selülozik liflerin karışımının (Sanders vd., 2010:1), silikon nanopartiküllerin (Javeri vd., 2011:1), polilaktik ve poliglikolik asit (Matsui vd.,2012:1), ultrasonik olarak iyileştirilebilen nanopartiküllerin kullanımı (Xu vd., 2013:1) sektörde kullanılan diğer yöntemlerdendir. Ciddi kayıpları durdurmak için ise asitte çözünebilen çimento ile kayıp önleme (Al-Yami vd., 2014:1) ve yine bu kayıpları kontrol etmek için kimyasal sızdırmazlık maddesi kullanımı (Abdulrazzaq vd.,2018:1) sektörde kullanılan diğer yöntemlerdendir.

Bununla birlikte, bu yöntemlerin hem avantajlar hem de dezavantajları vardır. (Wagle vd.,. 2021:8). Endüstri toplumu, insanlara, çevreye ve deniz yaşamına zarar vermeyen çevre dostu malzemelerin kullanılmasına doğru ilerlemektedir (Caenn vd., 2011:38; Ismail vd., 2022:12). Sondaj sektöründeki teknolojik gelişmeler de, geleneksel çamur katkı maddelerinin ekolojik olarak zararsız malzemelerle değiştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Son yıllarda kayıp kontrol maddelerinin çevresel etkilerini azaltmak için çeşitli çevre dostu kayıp önleyici malzemeler geliştirilmiştir. Doğal ve biyolojik olarak parçalanabilen malzemelerin kayıp önleyici olarak kullanımı, incelenen özellikleri ve önceki yıllarda petrol ve gaz endüstrisi operasyonlarındaki uygulamaları literatürde geniş yer bulmaktadır. Tablo 1’de petrol sektöründe kayıp önleyici olarak kullanılan doğal ve çevre dostu malzemeler özetlenmektedir.

PLA, selüloz esterler, polihidroksialkanoatlar (PHA'lar) ve nişasta polimerleri gibi biyolojik olarak parçalanabilen polimerler, çevre dostu yeşil kompozitler oluşturmak için bu biyo bazlı elyaflarla birleştirilebilir (Mukherjee ve Kao, 2011:718; Luzardo vd., 2015:1).

Çevreye zarar vermeyen çamur ve katkı maddeleri olarak bitkiler ve bitkisel dokular gibi doğal malzemelerden ve kaynaklardan elde edilen kayıp önleyicilerin kullanılması, hedefe ulaşmada en iyi yaklaşımlardan biridir (Green ve Block,1984:1; Burts,1997:1; Sampey 2006:1, Apaleke vd., 2012:1; Nasiri vd., 2018: 9690). Ayrıca petrol ve gaz endüstrisinde atık malzemelerin yeniden

kullanılmasına ilişkin olarak çok miktarda araştırma yapılmıştır (Dankwa vd., 2018:1; Ikram vd., 2021:4179).

Pek çok araştırmacı, pirinç kabuğu, hindistan cevizi kabukları, kakao çekirdeği kabukları, hurma çekirdeği tozu, şeker kamışı külü, çimen, lifler ve yerel olarak bulunabilen diğer çeşitli malzemeler gibi doğal içerikleri kullanarak sondaj çamurunun kalitesini iyileştirmek amacıyla çalışmalar yapmıştır. Örneğin Cremeans ve Cremeans (2003:1), ciddi kayıp bölgelerini kapatmak için ekolojik olarak sürdürülebilir bir kayıp önleyici olarak pamuk tohumu kabuklarını kullanmıştır.

Tablo 1. Petrol Sektöründe kayıp önleyici olarak kullanılan çevre dostu, doğal ve biyolojik olarak parçalanabilen malzemeler

Doğal/biyolojik olarak parçalanabilen malzeme	Referans
Öğütülmüş kakao çekirdeği kabukları	Green ve Block,1984:1
portakal kabuğu ve ayçiçeği çekirdeği	Idress ve Hasan 2020:
Selofan, Kireçtaşı, Somun kabuğu, Pamuk tohumu kabukları,	Howard ve Scott, 1951:178
Pirinç fraksiyonları (pirinç kabukları, pirinç uçları, pirinç samanı ve pirinç kepeği)	Burts, 1992:1; 1997:1; Okon vd.,2014:1; Anawe vd., 2004:11
Talaş, çayır samanı, rendelenmiş ahşap,	Ramasamy ve Amanullah, 2018:1
Hindistan cevizi hindistan cevizi	MacQuoid ve Skodack, 2004:
Pamuk tohumu kabuğu	Cremeans ve Cremeans, 2003:1
Lif	Ghassemzadeh, 2011:1
Elma kabuğu lifleri	Ghazali vd., 2015:566
Ezilmiş hurma tohumları	Alawad ve Fattah, 2017:
Muz kabukları	Akmal vd., 2021:1 Sauki vd., 2017:1
Şeker kamışı küspesi	Akmal vd., 2021:1
Fındık kabukları	Sedaghatzadeh vd., 2021:155
Palmiye Çekirdekleri	Alawad ve Fattah, 2019:100
Termoset kauçuk, Kömür,	Loeppke vd., 1990: 334
Ağar ağacı	Azizi vd.,2013:102
Çimen	(Nmegbu ve Bekee, 2014:115).
Küspe, yer fıstığı kabukları ve talaş	Alsabagh vd., 2015:463 Sedaghatzadeh vd.,2021:155).
Ceviz kabukları	Iscan ve Kok, 2007:1065

Aynı şekilde doğal elyaflar, petrol ve gaz endüstrisinde, sirkülasyon kaybını iyileştirmede sıklıkla kullanılmaktadır. Doğal lifler bitkilerden veya hayvanlardan elde edilebilir. Kenevir, kenaf, faks, bambu ve jütün yanı sıra sisal, ticari ilgi gören ve takviye maddesi olarak kullanılan bitki bazlı liflerdir. İpek ve yün gibi hayvan kaynaklı lifler de takviye maddesi olarak kullanılmaktadır. (Luzardo vd., 2015:1).

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada su bazlı bir çamur olan KCl çamuruna farklı çapta ve farklı miktarlarda kereviz sapı tozu ve limon kabuğu tozu ilave edilerek kayıp önleyici malzeme olarak kullanılabilme özellikleri incelendi. KCl çamuru TPİC şirketinden temin edildi. Kereviz sapı ve limon lokal marketlerden temin edildi. Kerevizin sapı limonun kabuğu bütünden ayrıldı, kurutuldu ve öğütüldü. 0,125 mm ve 0,250 mm çaplı tanecikler olarak sınıflandırıldı. Bu malzemeler çamura ilave edilmeden ve her 100 mL çamura sırasıyla 1 g, 2 g ve 3 g olacak şekilde koyularak fiziksel özellikleri incelendi. Söz konusu malzemelerin ilavesiyle çamurun karakteristik davranışını ortaya koyabilmek amacıyla çamur ağırlığı, viskoziteler, kopma noktası, jel mukavemeti gibi reolojik özellikleri, su kaybı ve kek kalınlığı gibi filtrasyon özellikleri incelendi ve madde miktarı ve eklenen malzemenin çapı ile değişimi ortaya koyularak bu malzemelerin kayıp önleyici olarak kullanımının uygunluğu araştırıldı.

Çamur ağırlığı deneyi, sondaj akışkanlarının yoğunluğunu belirlemek için yapılan bir laboratuvar testidir. Bu deneyde, API (American Petroleum Institute) tarafından belirlenen standart prosedürler ve formatlar kullanıldı.

Viskozite ve Jel Mukavemeti deneyi, sondaj akışkanlarının reolojik özelliklerini değerlendirmek için yapılan önemli bir laboratuvar testidir. Bu deneyler, çamurun akışkanlık ve tortu taşıma yeteneklerini belirlemek, operasyonun verimliliğini artırmak ve problemleri tespit etmek amacıyla gerçekleştirilir.

Görünür Viskozite, Plastik Viskozite ve Kopma Noktasını belirlemek için 6 hızlı (600, 300, 200, 100, 6 ve 3 rpm) döner viskometreler kullanıldı. 600 ve 300 rpm okumaları aşağıdaki formüllerle görünür viskozite, plastik viskozite ve kopma noktası değerlerinin hesaplanmasında kullanıldı.

Görünür Viskozite [cp] = (600 rpm okuması) / 2

(1)

Plastik Viskozite [cp] = (600 rpm okuması) – (300 rpm okuması)

(2)

Kopma Noktası [lb/100 ft²] = (300 rpm okuması) – Plastik viskozite

(3)

Jel Mukavemeti , 6 devirli döner viskometreler kullanılarak Jel mukavemeti 10 saniye ve 10 dakika için ölçüldü.

Sıvı kaybı, sondaj operasyonlarında karşılaşılan önemli bir sorundur. Bu deney, çamurun tortu taşıma kapasitesini değerlendirmek ve operasyonun başarıyla yürütülmesini sağlamak için önemlidir. Elde edilen veriler, sıvı kaybının nedenlerini ve operasyonun gereksinimlerine uygunluğunu değerlendirmek açısından değerli bilgiler sağlar. Çamurun sıvı kaybı ve kek

yapma özelliklerinin tespit edilmesi için düşük sıcaklık düşük basınç filtrepresi kullanıldı. Ölçülen sıvı kaybı formasyona kaybedilen sıvı miktarını, filtre kağıdında biriken kekin kalınlığı da geçirgen kuyu cidarında biriken kek tabakasını sembolize etmektedir.

pH ölçümleri, sondaj akışkanlarının asidik veya bazik özelliklerini belirlemek için yapılan önemli bir laboratuvar testidir. Bu deney, sondaj operasyonlarında kullanılan çamurların asit-baz dengesini kontrol etmek, operasyonun verimliliğini artırmak ve operasyon sırasında oluşabilecek reaksiyonları önlemek amacıyla gerçekleştirilir. Sonuç olarak, pH ölçümleri ve diğer deneyler, çamurun reolojik özelliklerini, kimyasal bileşimini ve operasyonel performansını değerlendirerek sondaj operasyonlarının verimliliğini artırmak, problemleri tespit etmek ve uygun önlemleri almak için önemli bir rol oynar.

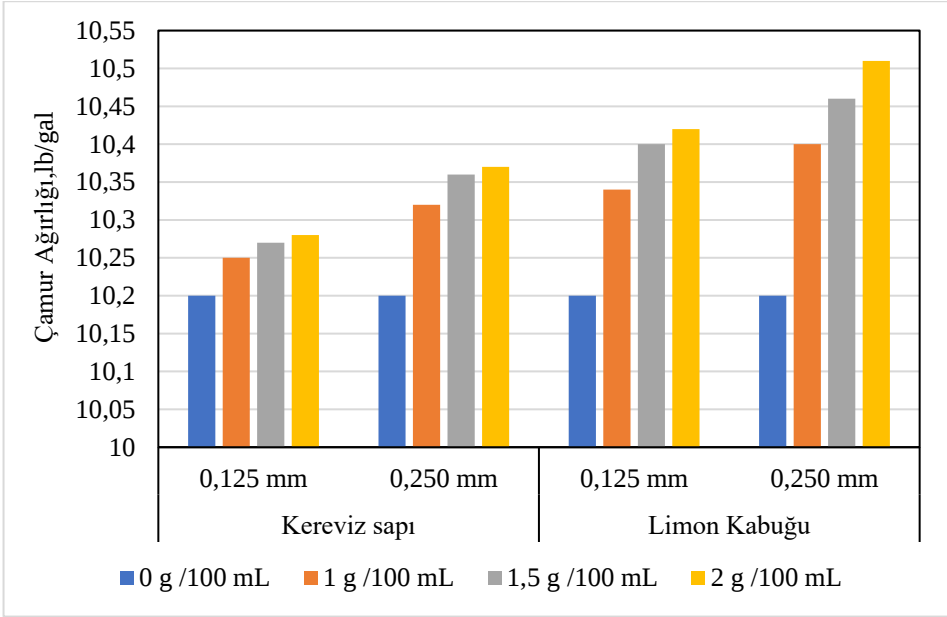
KCl çamuru, sondaj operasyonlarında yaygın olarak kullanılan bir çeşit sondaj akışkanıdır, su bazlı bir çamur olup, potasyum klorür tuzunu içeren bir formülasyondan oluşur ve çamurun reolojik özelliklerini kontrol etmek, tortu taşıma kapasitesini artırmak ve stabiliteyi sağlamak için kullanılır. Deneylerde Kullanılan KCl çamurunun bileşimi Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Deneysel Çalışmada Kullanılan KCl çamuru bileşimi

Madde	Miktarı
Soda külü	0,5 ppb
NaOH	0,5 ppb
KCl	33 ppb
Sitrik asit	0,2 ppb
NaCl	8 ppb
pac-lv	3 ppb
Nişasta	5 ppb
XCD	0,5 ppb
CaCO ₃	10 ppb

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

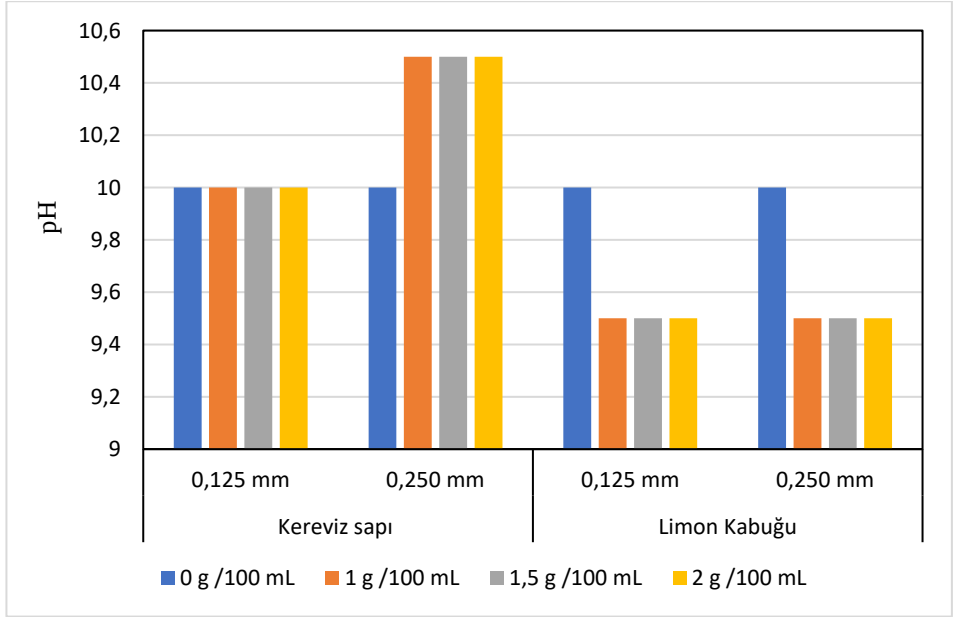
Kereviz sapı ve limon kabuğunun kayıp önleyici malzeme olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada öncelikle KCl çamuruna farklı büyüklükte ve farklı gramajlarda eklenerek elde edilen çamurların ağırlıkları ve pH değerleri grafiğe geçirilerek değişimi incelendi. Şekil 2’de çamur ağırlığı, Şekil 3’de pH değerleri verilmiştir.



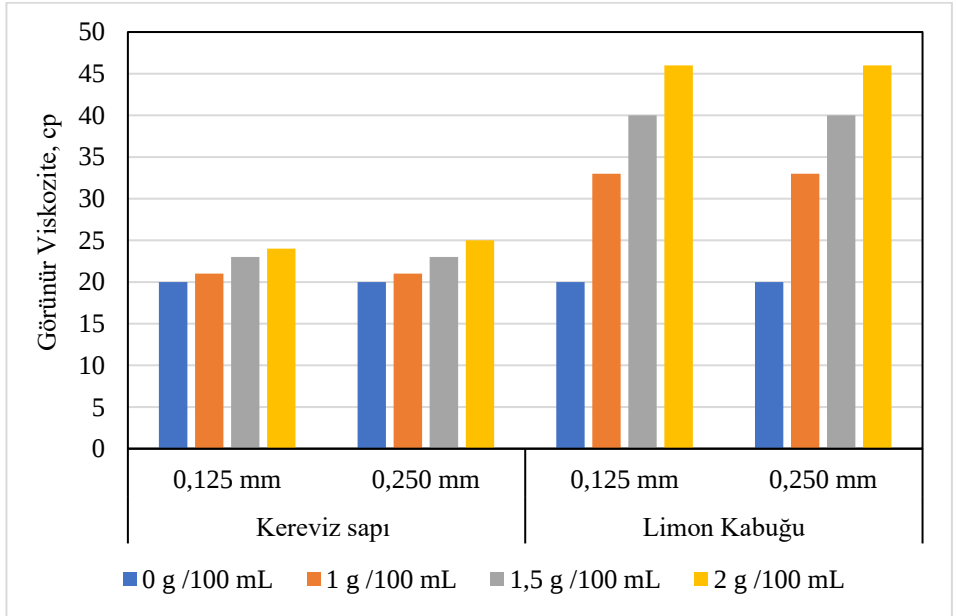
Şekil 2. Kereviz sapı ve limon kabuğu eklenmiş çamurların ağırlıkları

Şekil 2 incelendiğinde tanecik büyüklüğünün ve madde miktarının artmasıyla çamur ağırlığında artış gözlenmiştir. Değişim limon kabuğunda daha fazla gerçekleşmiştir. Şekil 3 incelendiğinde kereviz sapında sadece büyük taneciklerde pH bir miktar artarken limon kabuğu ilavesinde pH'da düşüş gözlenmiştir. pH değişimlerinin madde miktarından bağımsız olduğu görülmüştür.

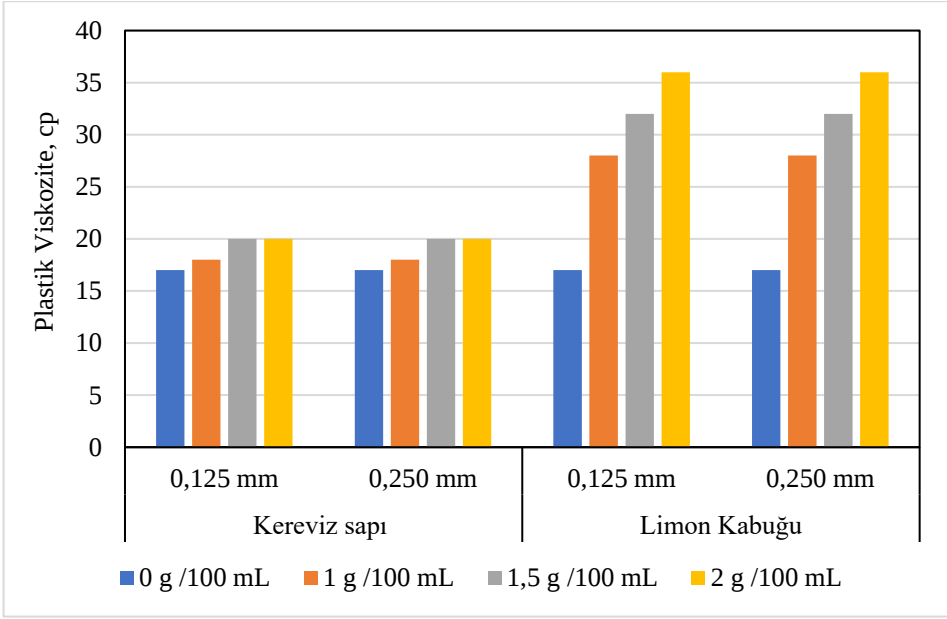
Kereviz sapı ve limon kabuğu tozları ilave edilmiş KCl çamurlarının reolojik özelliklerindeki değişimi inceleyebilmek amacıyla Şekil 4'de görünür viskozite, Şekil 5'de plastik viskozite ve Şekil 6'da kopma noktaları grafiğe geçirildi.



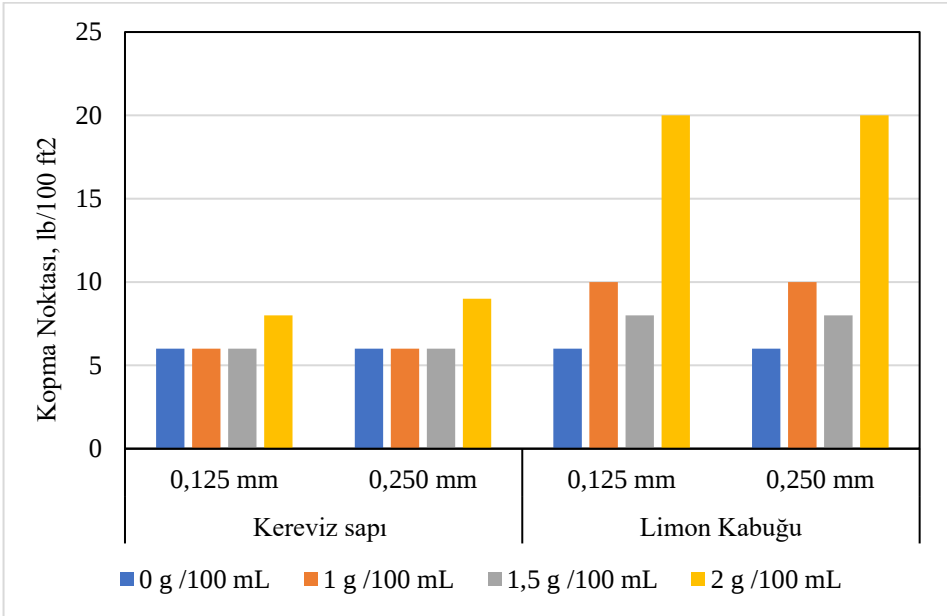
Şekil 3. Kereviz sapı ve limon kabuğu eklenmiş çamurların pH değerleri



Şekil 4. Kereviz sapı ve limon kabuğu eklenmiş çamurların görünür viskoziteleri



Şekil 5. Kereviz sapı ve limon kabuğu eklenmiş çamurların plastik viskoziteleri

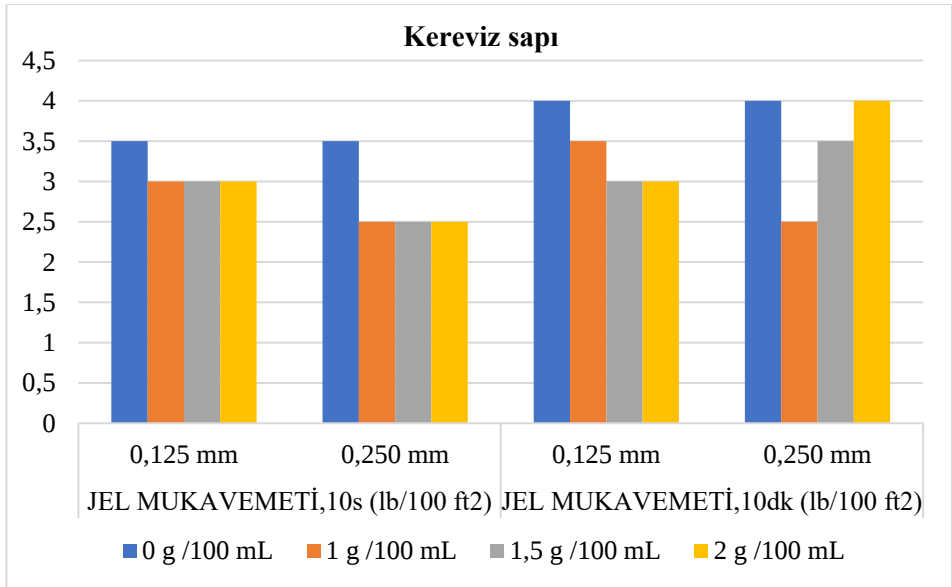


Şekil 6. Kereviz sapı ve limon kabuğu eklenmiş çamurların kopma noktaları

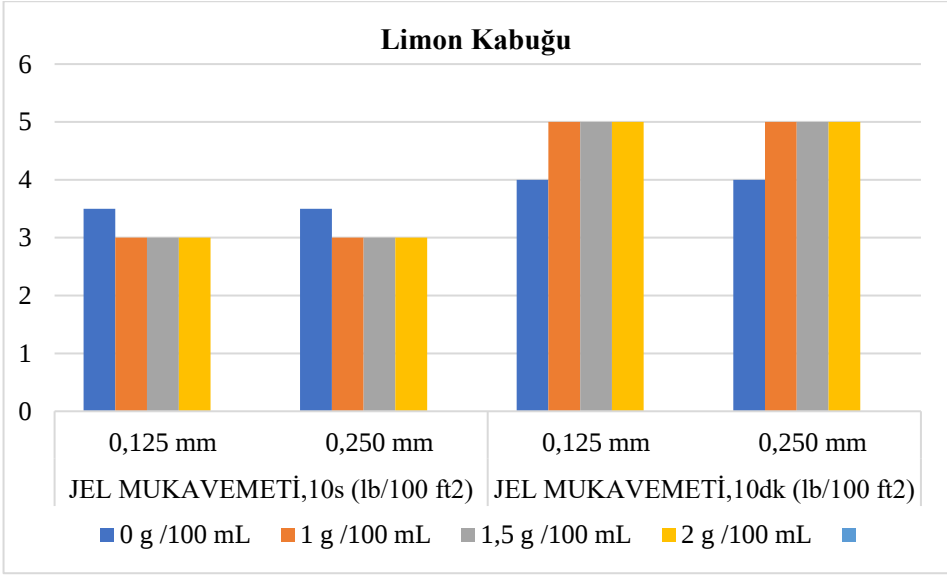
KCl çamuruna kereviz sapı ve limon kabuğu ilavesi çamurun Reolojik özelliklerine madde miktarındaki artışla kademeli olarak geliştirici etki yapmıştır. Limon kabuğu viskoziteleri kereviz sapına kıyasla daha fazla

artırmakla birlikte asıl önemli değişimi kopma noktasında meydana getirmiştir. API standartlarına göre kopma noktasının plastik viskozitenin üç katından veya 50 lb/100 ft² değerinden büyük kadar olmaması gereğine göre sağladığı görülmektedir.

Kereviz sapı ve limon kabuğu eklenmiş çamurların jel mukavemeti değerlerindeki değişim kereviz sapı için Şekil 7’de limon kabuğu için Şekil 8’de verilmiştir. Kereviz sapı ilavesinin hem 10 s hem de 10 dakika jel mukavemetini düşürücü etki gösterdiği Şekil 7’den görülmektedir. 10 s ve 10 dakika jellerinin neredeyse aynı değerler alması elde edilen jellerin kırılğan özellik göstereceğini ve askıma madde taşıma özelliklerinin zayıf olacağını göstermektedir. 0,250 mm çaplı tanecikler ilave edildiğinde jeller matkap kesiklerini iyi şekilde askıda tutabilme becerisine ulaşırlar. Şekil 8’den görüldüğü üzere limon kabuğu ilavesi ise madde miktarından bağımsız olarak jel mukavemetini daha da iyileştirmiştir. Bu sayede çamurun akış durduğunda sondaj kesiklerini askıda tutabilme yeteneğinde olduğu görülmektedir.

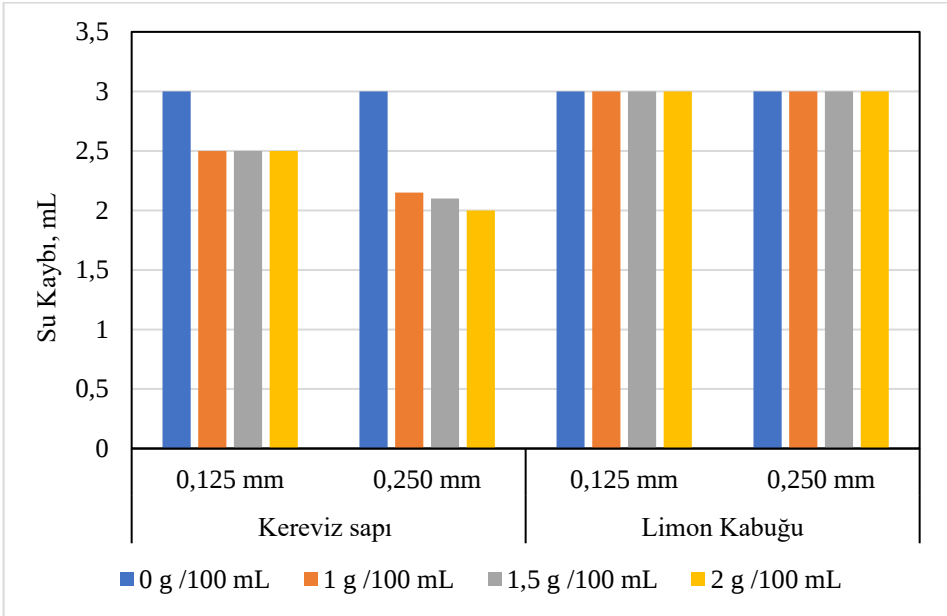


Şekil 7. Kereviz sapı eklenmiş çamurların jel mukavemetleri

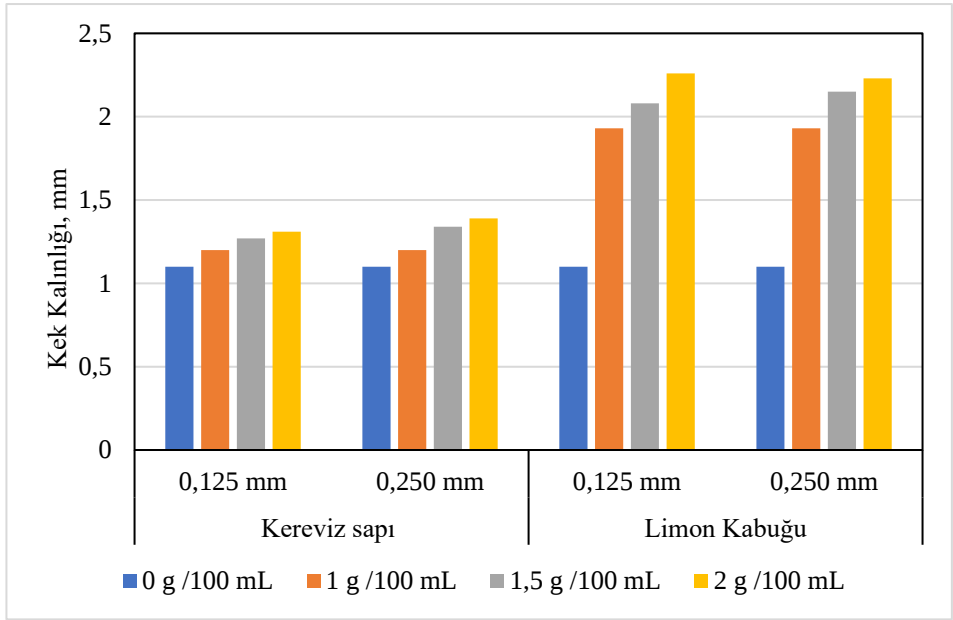


Şekil 8. Limon kabuğu eklenmiş çamurların jel mukavemeti

KCl çamuruna kereviz sapı ve limon kabuğu ilave edildiğinde filtrasyon yeteneğinde meydana gelen değişimi inceleyebilmek için su kaybı Şekil 9’da filtre keki kalınlığı Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 9. Kereviz sapı ve limon kabuğu eklenmiş çamurların filtrasyon işleminden sonra elde edilen su kaybı miktarları



Şekil 10. Kereviz sapı ve limon kabuğu eklenmiş çamurların filtrasyon işleminden sonra elde edilen kek kalınlıkları

Sondaj çamuruna eklenen malzemede beklenen en önemli özellik su kaybını azaltmasıdır. Şekil 9'dan görüldüğü üzere kereviz sapı özellikle büyük taneciklerde su kaybını eklenen madde miktarı ile bağlantılı olarak daha fazla azaltmıştır. 0,125 mm çaplılarda madde miktarından bağımsız bir iyileşme göstermiştir. Limon kabuğu ise ilginç bir şekilde su kaybını etkilememiştir.

Şekil 10'da filtre kekleri incelendiğinde eklenen madde miktarının artması doğal olarak elde edilen keklerin kalınlığını da artırmıştır ancak özellikle kerevizde küçük düzeydedir. Limon kabuğunda ise madde miktarı ile ciddi bir artış gözlenmiştir yine de bu değer API standartlarına göre izin verilen sınırlar içindedir.

SONUÇLAR

Su kaybını azaltması ince kek oluşturması, viskozitelerin ve kopma noktasının artması kereviz sapı tozunun çamurun reolojik ve filtrasyon özelliklerini geliştirerek kayıp önleyici malzeme olarak kullanılabilmesi ni göstermektedir. Ancak 0,250 mm veya daha büyük çaplı taneciklerin bu amaca daha uygun olabileceği küçük taneciklerde askıda tutma yeteneğinin düşük olabileceği sonucuna varılmıştır.

Limon kabuğu tozu reolojik özelliklerde ciddi iyileşme sağlaması nedeniyle kayıp önleyici malzeme olarak kullanılabileceğini düşündürürken filtrasyon özelliklerinde özellikle su kaybında belirgin bir etki oluşturmaması nedeniyle farklı malzemelerle karıştırılarak farklı kombinasyonların denenmesinin daha uygun olabileceği sonucuna varılmıştır.

REFERANSLAR

- Abdulrazzaq, W., AlBuraikan, R., Savari, S., ve Whitfill, D. L. (2018, April). Chemical sealant loss circulation materials for fractured formations: right-angle viscosity development with high plugging efficiency. In *SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition*. OnePetro.
- Alawad, M. N., ve Fattah, K. A. (2019). Superior fracture-seal material using crushed date palm seeds for oil and gas well drilling operations. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 31(1), 97-103.
- Akmal, I. A., Jamaludin, S. K., Sauki, A., Hassan, H., ve Ilham, W. M. A. (2021, February). Potential of banana peels and sugarcane bagasse as lost circulation material additives in drilling mud application. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2332, No. 1). AIP Publishing.
- Alsabagh, A. M., Abdou, M. I., Ahmed, H. E. S., Khalil, A. A. S., ve Aboulrous, A. A. (2015). Evaluation of some natural water-insoluble cellulosic material as lost circulation control additives in water-based drilling fluid. *Egyptian journal of petroleum*, 24(4), 461-468.
- Al-Yami, A. S., Al-Ateeq, A., Vikrant, B., AlAbdullatif, Z., ve Al-Qahtani, M. (2014, November). New developed acid soluble cement and sodium silicate gel to cure lost circulation zones. In *Abu Dhabi international petroleum exhibition and conference* (p. D031S057R005). SPE.
- Anawe, P. A. L., Efeovbokhan, V. E., Adebayo, T. A., ve Nwaogwugwu, M. (2004). The effect of rice husk and sawdust on the properties of oil-based mud at varied temperatures. *J Energy Technol Policy*, 4(2), 11-12.
- Apaleke, A. S., Al-Majed, A., ve Hossain, M. E. (2012, April). State of the art and future trend of drilling fluid: an experimental study. In *SPE Latin America and Caribbean petroleum engineering conference*. OnePetro.
- Azizi, A., Ibrahim, M. S. N., Hamid, K. H. K., Sauki, A., Ghazali, N. A., ve Mohd, T. A. T. (2013). Agarwood waste as a new fluid loss control agent in water-based drilling fluid. *International Journal of Science and Engineering*, 5(2), 101-105.
- Burts Jr, B. D. (1992). *U.S. Patent No. 5,118,664*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Burts Jr, B. D. (1997). *U.S. Patent No. 5,599,776*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Caenn, R., Darley, H. C., ve Gray, G. R. (2011). *Composition and properties of drilling and completion fluids*. Gulf professional publishing.

- Cook, J., Growcock, F., Guo, Q., Hodder, M., ve van Oort, E. (2011). Stabilizing the wellbore to prevent lost circulation. *Oilfield Review*, 23(4), 26-35.
- Cremeans, K. S., ve Cremeans, J. G. (2003). *U.S. Patent No. 6,630,429*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Dankwa, O. K., Ackumey, S. S., ve Amorin, R. (2018, August). Investigating the potential use of waste vegetable oils to produce synthetic base fluids for drilling mud formulation. In *SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition* (pp. SPE-193449). SPE.
- Ghassemzadeh, J. (2011). *U.S. Patent No. 7,923,413*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Ghazali, N. A., Yusof, M. Y. M., Azizi, A., Mohd, T. A. T., Alias, N., Sauki, A., ve Yahya, E. (2015). Lost circulation material characteristics of apple skin powder in drilling mud. *Advanced Materials Research*, 1119, 564-568.
- Green, P. C., ve Block, J. (1984). *U.S. Patent No. 4,473,480*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Howard, G. C., ve Scott Jr, P. P. (1951). An analysis and the control of lost circulation. *Journal of Petroleum Technology*, 3(06), 171-182.
- Ikram, R., Mohamed Jan, B., Sidek, A., ve Kenanakis, G. (2021). Utilization of eco-friendly waste generated nanomaterials in water-based drilling fluids; state of the art review. *Materials*, 14(15), 4171.
- Iscan, A. G., ve Kok, M. V. (2007). Effects of walnut shells on the rheological properties of water-based drilling fluids. *Energy Sources, Part A*, 29(11), 1061-1068.
- Ismail, A., Rashid, H. M. A., Gholami, R., ve Raza, A. (2022). Characterization based machine learning modeling for the prediction of the rheological properties of water-based drilling mud: an experimental study on grass as an environmental friendly additive. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 1-19.
- Jaf, P. T., Razzaq, A. A., ve Ali, J. A. (2023). The state-of-the-art review on the lost circulation phenomenon, its mechanisms, and the application of nano and natural LCM in the water-based drilling fluid. *Arabian Journal of Geosciences*, 16(1), 32.
- Javeri, S. M., Haindade, Z. W., ve Jere, C. B. (2011, October). Mitigating loss circulation and differential sticking problems using silicon nanoparticles. In *SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition*. OnePetro.

- Lecolier, E., Herzhaft, B., Rousseau, L., Neau, L., Quillien, B., ve Kieffer, J. (2005, May). Development of a nanocomposite gel for lost circulation treatment. In *SPE European formation damage conference*. OnePetro.
- Loeppke, G. E., Glowka, D. A., ve Wright, E. K. (1990). Design and evaluation of lost-circulation materials for severe environments. *Journal of Petroleum Technology*, 42(03), 328-337.
- Luzardo, J., Oliveira, E. P., Derks, P. W. J., Nascimento, R. V., Gramatges, A. P., Valle, R., ... ve Inderberg, K. (2015, October). Alternative lost circulation material for depleted reservoirs. In *Offshore Technology Conference Brasil* (p. D031S029R001). OTC.
- Mata, F., ve Veiga, M. (2004, September). Crosslinked cements solve lost circulation problems. In *SPE Annual Technical Conference and Exhibition?* (pp. SPE-90496). SPE.
- Matsui, H., Daitoh, M., Yoshimura, K., ve Morita, N. (2012, September). Development of environmentally friendly lost circulation materials for riserless drilling. In *International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production*. OnePetro.
- Mukherjee, T., ve Kao, N. (2011). PLA based biopolymer reinforced with natural fibre: a review. *Journal of Polymers and the Environment*, 19, 714-725.
- Nasiri, A., Shahrabi, M. A., ve Moraveji, M. K. (2018). Application of new eco-friendly LCMs for combating the lost circulation in heavy-weight and oil-based mud. *RSC advances*, 8(18), 9685-9696.
- Nmegbu, J., ve Bekee, B. A. (2014). Evaluation of corn cob cellulose and its suitability for drilling mud formulation. *Journal of Engineering Research and Applications*, 4(5), 112-117.
- Okon, A. N., Udoh, F. D., ve Bassey, P. G. (2014, August). Evaluation of rice husk as fluid loss control additive in water-based drilling mud. In *SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition* (pp. SPE-172379). SPE.
- Ramasamy, J., ve Amanullah, M. (2018, April). A novel superfine fibrous lost circulation material derived from date tree for seepage loss control. In *SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition*. OnePetro.
- Sedaghatzadeh, M., Shahbazi, K., Pourafshary, P., ve Razavi, S. A. (2021). Experimental investigation of the application of Eucalyptus bark to prevent lost circulation in pay zones with acid dissolution capability. *Petroleum*, 7(2), 152-159.

- Sampey, J. A. (2006). *U.S. Patent No. 7,094,737*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Sanders, M. W., Scorsone, J. T., ve Friedheim, J. E. (2010, October). High-fluid-loss, high-strength lost circulation treatments. In *SPE deepwater drilling and completions conference* (pp. SPE-135472). SPE.
- Sauki, A., Hasan, N. I., Naimi, F. B. M., ve Othman, N. H. (2017, December). Development of environmental friendly lost circulation material from banana peel. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1901, No. 1). AIP Publishing.
- Wagle, V., Kalgaonkar, R., AlYami, A., ve AlKhalaf, S. (2021). Nanosilica-based loss circulation composition to cure moderate to severe losses. *Journal of Energy Resources Technology*, 143(10), 103002,1-12.
- Xu, Z., Jin, Y., ve Chen, M. (2013, September). Ultrasonic curable nanoparticles strengthening technique while drilling. In *SPE annual technical conference and exhibition*. OnePetro.

Bölüm 14

BİNA ZEMİN KAZILARININ YAPILMASINDA Kİ TEHLİKELER VE İSG TEDBİRLERİ

Mahmut DURMAZ¹

1. GİRİŞ

Zeminin her mühendislik projesinin yapımında önemi artmaktadır. Bazı mühendislik projelerinde zeminlerden doğacak problemlerden dolayı projelerin uygulanmasında değişiklikler meydana gelebilir(Şengöz T. E., 2021). Zeminlerde oluşan göçmenin sebebi bir kayma düzlemince zeminin kayma direncinin aşılmasıdır. Genellikle normal ve kayma gerilmesinin aynı anda kayma yüzeyine etki etmesi sonucunda göçmeler meydana gelmektedir. Zeminlerin göçme yaşanmadan karşı koyabildiği en yüksek kayma gerilmesi zeminin kayma mukavemeti olarak tanımlanmaktadır(Yılmaz E., 2016).

Zemin içinde bulunan malzemenin tane boyutundaki dağılım yüzdeleri zemindeki boşluk oranını belirleyen bir faktördür. İyi derecelendirilmiş zeminlerde boşluk oranı daha az olmaktadır. Bina temellerinin inşa edildiği zeminlerde ki toprak konsolidasyona uğrayarak zemindeki boşluk oranı azalır ve mekanik parametrelerin iyileşmesine sebep olur(Uzuner B. A. 1990)

İnsan nüfusunda ki hızlı artıştan dolayı alt yapı hizmetlerinde kullanılan yapılara olan ihtiyaçta artmıştır. Şehir merkezlerinde bulunan boş arazilerin sayısında yaşanan düşüş ve maliyet artışları, mevcut arazilerin daha verimli halde kullanılmasını sağlamıştır. (Alkaya &Çobanoğlu, 2007).

Sektörde önemli bir yeri olan altyapı tesislerinin yapımı için çalıştığımız ortamda doğayla mücadele edileceğinden ağır iş makineleri kullanılmaktadır. Altyapı tesislerinin kurulumu için yapılacak olan temel kazı çalışmalarının barındırdığı riskler dolayısıyla işçi sağlığı ve güvenliğini sağlayabilmek için çalışmalara başlamadan önce gerekli olan tedbirler alınmalıdır(Taş N., 2015)

İş kazalarının en fazla gerçekleştiği sektörlerden biri de inşaat sektörüdür. Yaşanan iş kazalarından dolayı inşaat alanında iş sağlığı güvenliği çok iyi şekilde planlanarak sürekliliği sağlanmalıdır(Taş N. & Coşkunes Işık F. 2012)

İş Sağlığı Ve Güvenliği; Dünyada sanayinin gelişmeye başlamasıyla beraber işçilerin çalışma şartlarını düzeltmek amacıyla ortaya çıkan bir kavramdır(Erol.,

¹ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı Dr. Öğr. Üyesi E-posta: mahmutdurmaz@hotmail.com, Orcid ID: 0000-0002-6060-4258

S. 2015). Günümüzde bağımsız bir bilim dalı olarak değerlendirilen iş sağlığı ve güvenliği değişik aşamalardan geçerek bugün ki halini almıştır (Ve M. A. S. Ç. S. 2013). Çalışma ortamındaki ilişkilerin değişmesinden dolayı devletin iş hayatındaki sağlık ve güvenlik ilkelerinin sağlama sorumluluğu güçleşirken esneklik ve değişiklikler meydana gelmiştir (Balkır, Z. G., 2012). İş güvenliğindeki amaç çalışan, işletme ve üretimi sağlanan malzemelerin zarar görmesini engellemektir (Ceylan, H. 2012).

Yapılan her iş kendi içinde bir tehlike barındırmaktadır. İş sağlığı ve güvenliğindeki amaç tehlikenin olmadığı iş ortamları yaratarak çalışanların yaşama hakkını koruma altına almaktır (Kılış, İ., & Demir, S. 2012).

İnşaat sektörünün temel aşamalarından bir tanesi de kazı çalışmalarıdır. Sektörde yapılacak işe bağlı olarak farklı kazı çeşitleri bulunmaktadır (Kale & Eskişar, 2018). Yapılacak olan kazı çalışmasına ve çalışmanın yapılacağı ortama bağlı olarak farklı risk ve tehlike oluşabilir (Demirel C. vd., 2018). Yapılan işteki tehlike ve risklere göre gerekli iş sağlığı ve güvenlik önlemleri alınmalıdır (Aydoğan S. Ö. vd. 2021).

Kazı, temel zemini üstünde kalan toprağın kazılması işlemidir. Bu işleme hafriyat da denilmektedir Şekil 1a. Yapı inşası için eğimli arazi seçilmişse önce tesviye kazısı yapılır. Daha sonra ise bodrum ve temel kazısı yapılır. (Özdemir, 1997).

Yapıların temel zeminine oturtulması için yapılan kazı işleminde zemin yüzeyinin düzgün olduğu durumlarda doğrudan bodrum ve temel kazısına başlanabilir. (İnce, 2016).



Şekil 1 a. Temel Kazı Çalışması **b.** Kazılarda Kullanılan İş Makineleri

Eğimli arazilerde kademeli şekilde ve çeşitli kotlarda yapılan tesviye kazıları terasman olarak adlandırılır. Tesviye kotu üzerindeki kazı işine “hafriyat”,

doldurulması gereken kazı işine de “dolgu ya da imla” denilmektedir (Özdemir, 1997).

Zeminler kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler olarak iki ana başlık altında incelenebilir.

Zemini oluşturan taneler kil vb. bağlayıcı maddeler içeren ve kendi başına dağılmadan durabilen zeminlere kohezyonlu zeminler denir. Eğer zemini oluşturan taneler kendi başına bir arada duramıyorsa bu zeminlerde kohezyonsuz zeminler denmektedir(Şengöz T. E., 2021).

Zeminin kendini tutma durumuna kohezyon (c), kayma açısına (ϕ) göre Kaymaya ve göçmeye karşı tedbir olması açısından temel kazılarında iksa yapılması elzemdir.

Bu çalışmadaki amaç inşaat sektörünün temel yapı taşlarından biri olan kazı işleri ve bu işteki tehlikeler hakkında yapılan çalışmalarındaki bilgilerin bir araya toplanarak yapılan kazı çeşitleri ve iş esnasındaki tehlikeler hakkında bilgi vermektir.

2.MATERYAL VE METOT

Bina yükünü emniyetli bir şekilde taşıyan, binaya sonradan eklenen bölümlerin yüklerinin yer çekiminin de etkisiyle iletildiği yer temel zeminidir. Bu sebeple temel kazılarına başlamadan önce zeminde etüt çalışması yapılarak zeminin tanınması gereklidir(Şengöz T. E., 2021). Yeryüzünün üstünde yer alan toprak tabakasına zemin denilmektedir. Oluşum türüne göre farklı özelliklere sahip olan zeminlerin sınıflandırılması, laboratuvar ortamında yapılan deneylerle belirlenen özellikler doğrultusunda yapılmaktadır. yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda belirlenen özelliklere göre yapılır. Zeminin kullanımı ve tasarımı için önemli olan zemin sınıflandırılması, yerel ve genel zemin sınıfları olarak iki gruba ayrılmaktadır. Zeminin bulunduğu bölgeye bağlı olarak belirlenen yerel zemin sınıfları ZA, ZB , ZC, ZD, ZE, ZF olarak 6 sınıfa ayrılmaktadır.(TBDY-2018 Tablo 16.1.)

Tablo 1. TBDY-2018 Kapsamında Tanımlanan Yerel Zemin Sınıfları
(TBDY-2018 Tablo 16.1)

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 ayrılmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, 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 $w > \% 40$ koşullarını 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 (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas kiler, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek kiler, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) kiler, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı kiler.			

Artan gereksinimler inşaat sektöründe önemli talepler oluşturmaktadır. Bu yüzden de inşaat projelerinin büyüklüğü ve karmaşıklığı artar. İnşaat kazı işlerinde de birçok problemle karşılaşılır. Çalışmada inşaat sektörünün temel aşamalarından olan kazı çalışmalarında meydana gelmiş kazalar ile ilgili yazılı ve görsel taraması yapılmıştır. Kaza kök sebeplerini incelenmiş ve kazalara neden olan güvensiz hareketler de sunulmuştur.

3. Kazı Ve Yapım Şekilleri

Kazı işlemi üç şekilde yapılmaktadır. (Algın, 2010).

El Aletleri Kullanılarak Yapılan Kazılar; Basit ve küçük işlerde, kazı makinelerinin giremeyeceği kadar dar olan çalışma alanlarında el araçlarıyla kazı yapılır. Bu araçlar kürek, bel küreği, balyoz, kama, kazma, küskü, el arabasıdır.

Kazı Makineleriyle Yapılan Kazılar; Genellikle büyük hacimli kazı işleri, kazı makineleriyle yapılır. Bunlar dozer, ekskavatör, greyder gibi araçlardır Şekil 2b.

Patlayıcı Maddelerle Yapılan Kazılar; Yerleşim bölgeleri dışında el ya da kazı makineleriyle koparılamayan kaya ve çok sert zemin tabakalarında patlayıcı madde kullanılarak kazı yapılabilir.

Hendek Kazılar; Boyu eninden uzun olan ve bütün zeminlerde yapılabilen kazılardır. Bu kazılar hendeğin derinlik ve genişlik ölçülerine göre sıg, normal, derin ve dar olmak üzere dörde ayrılır Tablo 2-3. Kazı sırasında hendekte sonradan çalışacak işçilerin rahatlıkla çalışabilmesi için çalışma payı hesaba katılmalıdır Şekil 3a(Akgönül, 2016).

Tablo 2. Hendek kazılarında en az derinlik ve genişlik (İnce,2016).

Derinlik (m)	0.70	0.7-0.9	0.9-1.00	1.00-1.25
Genişlik (m)	0.30	0.40	0.50	0.60

Tablo 3. Hendek Çeşitleri Ve Boyutları

Hendek Çeşitleri	Boyutları (m)
Sığ	<1.25
Normal	1.25-4.50
Derin	>4.50
Dar	<0.60

Çukur Kazısı; Boyu ve eni arasındaki farkın önemsenmediği kazı türleridir. Derinliklerine göre üç grupta incelenir(Tablo 3) (İnce, 2016).

Tablo 4. Çukur Tipleri Ve Derinlik Ölçüleri

Çukur Tipi	Derinlik (m)
Sığ Çukur	<1.5m
Normal Çukur	1.5-4.5
Derin Çukur	>4.5



Şekil 3. a. Hendek Kazısı **b.** Derin Kazı

Derinlik ve genişliklerine göre kazı tipleri başlıca üç grupta incelenir.

Serbest Kazılar; Temel projesinin uygulandığı inşaat alanında temel ve doğal zeminin kesiştiği en düşük noktada yapılan kazı çalışmalarıdır. (Şevket & Adanur, 2015).

Derin Kazılar; Aşağıdan yukarı şeklinde bir toprak hareketiyle yapılan kazılardır. Bu kazılar kürek, çıkırık gibi araçlarla aşağıdan yukarıya atılır. Geniş ve dar olmak üzere iki gruba ayrılır(Tablo 5)(Şekil 3b)(Özdemir, 1997).

Tablo 5. Derin Kazı Türleri Ve Taban Genişlikleri

Kazı Grupları	Taban Genişliği (m)
Geniş Tabanlı Derin Kazılar	>1m
Dar Tabanlı Derin Kazılar	≤1m

Özel Kazılar; Tünel, galeri, su altında hava basınçlı keson, 8.00 metreden derin kuyu vb. bu kazı grubunda yer alır.

3.1 Temel Zemini ve Kazısı

İnşa edilen yapıya etki eden bütün yüklerin zemine dengeli bir şekilde aktarımını sağlayan yapı elemanına temel denilmektedir(Aydın H. 2014).Günümüzde inşa edilen binalar boyut, kullanım amacı ve inşa edileceği zeminler bakımından çeşitlilik göstermekte ve bu çeşitlilikten dolayı farklı temel türleri kullanılmaktadır. Kullanım amaçları ve inşa edilecekleri zeminlerin farklılık göstermesinden dolayı farklı temel türleri tasarlanmıştır(Eçin A., 2021). Temeller tasarlanırken temelin yapılacağı zeminin taşıma gücüne, oturma miktarına, dayanımına ve sünekliğine ekonomiyi de göz önüne alarak dikkat edilmelidir(Aydın H. 2014).

Temel çeşitleri yüzeysel temeller ve derin temeller olarak iki genel gruba ayrılmaktadır. Kazı derinliği 1,5 – 3 metre arasında değişiklik gösteren, yapı yükünü zemin yüzeyine aktaran temel türüne yüzeysel temel, kazı derinliği 3 metreden fazla olan ve yapı yükünü zemin yüzeyine aktaran temellere ise derin temeller denilmektedir(Magar J. vd., 2020)

Temel çukuru açmak için yapılan derin kazılarda zeminde oluşan yatay hareketlenmeler, oturmalar vb. oluşabilecek tehlikeleri güvenli bir şekilde karşılayabilmek gerekmektedir. Yapılacak kazı işleminin ekonomik ve güvenli bir şekilde yapılabilmesi için zemin dayanımı, kazı alanının çevresindeki yapıların konumunu, kazılacak olan temel çukurunun ne kadar açık kalacağı ve zeminde oluşabilecek yer değişimleri gibi durumlar göz önüne alınarak kazı yapılacak bölge hakkında detaylı bir araştırma yapılmalıdır(Başeski O., 2008).

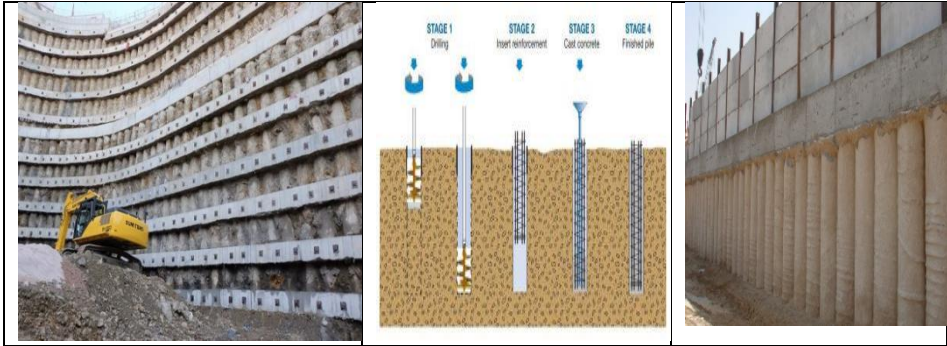
3.2 İksa Sistemleri

Yapı inşa edilecek alanların azalmasından dolayı inşa çalışmasının yapılacak olan araziden maksimum verim alabilmek için derin kazılar günümüzde vazgeçilmez bir hal almıştır. Bu durum yapılan derin kazılarda kazı derinliği boyunca oluşabilecek basınç hesaplamalarını önemli kılmaktadır. Kazı esnasında oluşabilecek toprak basınçlarını dengelemek adına iksa sistemleri kullanılmaktadır(Arslan B. vd., 2005). İksa sistemleri geçici ve kalıcı olarak iki farklı şekilde yapılabilir. Çabuk kapatılacak olan çukurlarda geçici iksa sistemi

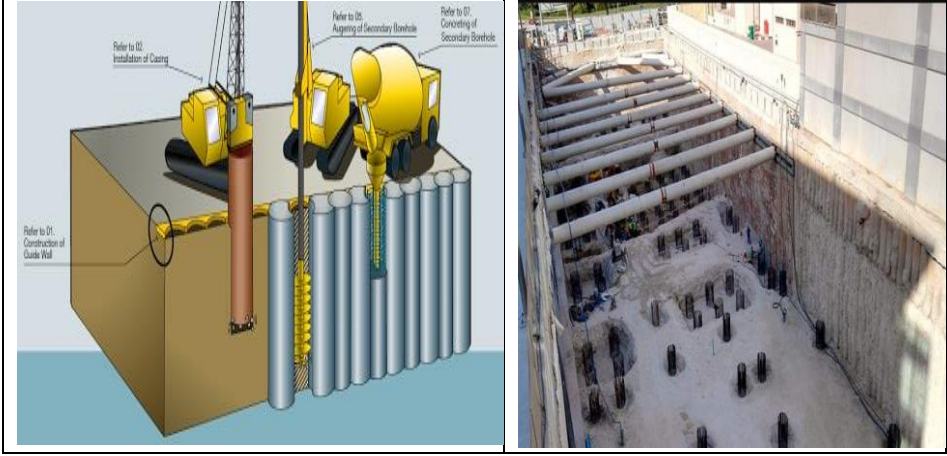
tercih edilirken uzun süre açık kalacak ve ya bina yapımından sonra bile bir kısmı boş bırakılacak zeminlerde kalıcı iksa sistemleri tercih edilmektedir Şekil 4(Sağlam A., 2006).

3.2.1. Gelişmiş İksa Sistemleri

Ankrajlı iksa sistemleri sağlamlaştırılmak istenen zemine ankrajlar yapılarak elde edilen ve temel çöküntülerini engellemek amacıyla yapılan sistemlerdir Şekil 4 a. Fore kazıklı iksa sistemleri zeminde açılan belli bir çap ve derinlikteki kuyuya demir donatı katarak beton dökülme işlemine fore kazık denir ve iksa sistemlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Şekil 4 b. Bitişik kazıklı iksa sistemleri yerleştirilen her kazığın yüzeylerinin birbirine temas edecek şekilde yerleştirilmesiyle oluşmaktadır Şekil 4c. Kesik kazıklı iksa sistemleri genellikle süreklilik sağlayacak bir duvar oluşturabilmek amacıyla iki kazığın kombinasyonundan yararlanılarak yapılmaktadır Şekil 4c. Genellikle derin kazılarda tercih edilmektedir. Diyafram duvarlı iksa sistemleri kurulması istenilen yerde direk beton dökümüyle elde edilmektedir Şekil 4 e. Kazı ve döküm sırasında hendeklerin çökmesini engellemek için kullanılmaktadır.



Şekil 4. iksa sistemleri **a.** Ankrajlı İksa Sistemleri **b.** Fore Kazıklı İksa Sistemleri **c.** Bitişik Kazık İksa Sistemleri



Şekil 4. İksa sistemleri **d.** Kesici Kazık İksa Sistemleri **e.** Diyafram Duvarlı İksa Sistemleri (URL3)

Temel çukuru açmak için yapılan derin kazılarda zeminde oluşan yatay hareketlenmeler, oturmalar vb. oluşabilecek tehlikeleri güvenli bir şekilde karşılayabilmek gerekmektedir. Yapılacak kazı işleminin ekonomik ve güvenli bir şekilde yapılabilmesi için zemin dayanımı, kazı alanının çevresindeki yapıların konumunu, kazılacak olan temel çukurunun ne kadar açık kalacağı ve zeminde oluşabilecek yer değişimleri gibi durumlar göz önüne alınarak kazı yapılacak bölge hakkında detaylı bir araştırma yapılmalıdır (Başeski O., 2008).

4. TEMEL KAZISI YAPILIRKEN ALINMASI GEREKEN İŞ GÜVENLİĞİ TEDBİRLERİ

Sürekli gelişmekte olan teknoloji ve sanayi ile yapılan işlerde tehlike ve can güvenliği gün geçtikçe artmaktadır. Tehlike ve can güvenliğinin artması işçi sağlığı ve iş güvenliğinin hayatımızda ki önemi de artmaktadır. Yaklaşık olarak son 10 yılda ülkemizde işçi sağlığı ve iş güvenliği konusunda önemli gelişmeler yaşanmıştır. 2012 yılında yapılan kanun değişikliğinde 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu aşamalı bir şekilde yürürlüğe girmiştir.

Ülkemizde yaşanan iş kazalarında ki oranının fazla olmasının sebebi inşaat sektörüne özgü şartların bulunmasıdır. İnşa edilen yapı türüne göre farklı farklı risk ve iş kazaları görülmektedir. İş kaza dağılımları şantiye türlerine göre incelendiğinde ilk sırada bina şantiyelerinin yer aldığı görülmektedir. İş kazalarını ve bu kazalara sebebiyet veren riskleri en aza indirebilmek için şantiyelerde yapılacak olan kazı çalışmalarına başlamadan önce kontroller sağlanmalı ve gerekli tedbirler alınmalıdır.

4.1. Alınabilecek Tedbirler

- Kazıya başlanmadan önce kazı yapılacak alanın 1 metre gerisinden olacak şekilde kazı alanı çevresi 120 cm yüksekliğe sahip perdelerle çevrilmelidir.
- Kazı yapılacak alanda herhangi bir altyapı tesisatının bulunup bulunmadığı kazı araştırılmalı ve ona göre önlemler alınmalıdır.
- Kazı yapılacak alandaki toprağın özelliklerine bağlı olarak şev verilmelidir.
- Derinliği 1,5 m’den fazla olan kazı çalışmalarında kazı alanına iniş çıkışı sağlayabilmek için el merdiveni bulundurulmalı, iksa sistemi ve sistem destek elemanları kullanılarak kazı alanına inilip çıkılmamalıdır.
- Kazı esnasında çıkarılan toprak kazı alanından uzak bir kısma atılmalı aksi takdirde gerekli iksa sistemi kurulmalıdır.
- Yapılacak olan her hangi bir iş için çalışma alanına yeterli aydınlatma sistemi kurulmalıdır.

5. BULGULAR

Zayıf olan zeminlerde yapılara etki eden yüklerde yapıların daha sağlıklı bir şekilde tasarlanabilmesi amaçlayan yeni yönetmelik (TBDY 2018) amacına ulaşmış ve zayıf zemine sahip alanlarda yapı tasarlarken daha fazla dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamıştır(Karaca H., 2021).

Zeminlerdeki çevresel ve doğal etkilerden dolayı meydana gelen duraysızlık problemlerinin incelenmesi sırasında çevrede ki yapılar, bölgenin depremsellik durumu, yeraltı su hareketleri gibi durumlar göz önüne alınarak güvenlik faktörü hesaplanmalıdır(Ural N., 2011).

Yapılan araştırmalar sonucunda her 15 saniyede 1 kişi iş kazası ya da meslek hastalığından dolayı hayatını kaybetmekte ve 160 kişide iş kazası yaşamaktadır(Kılıkış, İ. 2013).

Yapılan kazılarda görevli olan işçiler farklı tehlikelere karşılaşmaktadır. Bunların içindeki en tehlikelisi göçmelerin yaşamasıdır. Müngen (2011) tarafından incelenen 2398 can kayıplarının % 5,8 kazı kenarı çökmesinden dolayı hayatını kaybettiği görülmüştür. Kazı kenarı çökmelerinden dolayı meydana gelen can kayıplarının şantiye tipine göre incelenmesinde bina şantiyelerinde hayatını kaybedenlerin oranı % 3,9 , yol yapım şantiyesinde hayatını kaybedenlerin oranı % 1,8, kanal yapım şantiyesinde hayatını kaybedenlerin oranı % 46,3 ve tünel şantiyelerinde bu oranın % 4.2 olduğu görülmüştür (Kale, Eskişar, 2018).



Şekil 7. Kazı çalışması sırasında kovanın tehlike oluşturan durumu (Erdoğan,2018).

- Kazı işlemi devam ederken çalışanın kazı alanına inmesi engellenmeli.



Şekil 8. Kazı çalışması sırasında mevcut altyapı hatlarına rastlanması (Erdoğan,2018).

- Kazı çalışması yapılırken bölgede bulunan mevcut altyapı hatlarına rastlanması ve mevcut altyapı hatlarına zarar verilmesi sonucunda gaz sıkıntısı ve elektrik kaçağı riskleri Şekil 8.
- Kazı yapılan bölgedeki altyapı hatlarının işleyişi durdurulabilir.
-



Şekil 9. Kazı çalışması sırasında gerekli tedbirlerin alınmaması (Erdoğan,2018).

- Yetkisiz kişilerin gerekli güvenlik tedbirleri alınmadan kazı alanına yaklaşımları Şekil 9.
- Çalışma sahası bariyerlerle çevrilmeli ve yetkili kişilere baret ve reflektif giysiler temin edilmeli.

6. SONUÇLAR

Temel kazısı esnasında çalışma güvenliği açısından alınması gereken en önemli tedbirlerden bir tanesi iksa yapılmasıdır. İksalar şantiyede yapı zemin seviyesi üzerine çıkana kadar durmalı ve üzerine gelen yükleri emniyetle taşıyabilmelidir. Temel inşaatında çalışan işçilerin üzerine zemin kaymasını, zemin göçmesini önlemelidir. Bunun için öncelikle, TBDY-2018 Kapsamında Tanımlanan Yerel Zemin Sınıflarının tespit edilmesi Tablo 1 ve ihtiyaç duyulan kohezyon, iç sürtünme açısı ve temel derinliği önemli olup bununla ilgili tespit ve zemin hesaplamaları yapıldıktan sonra hangi iksa sisteminin kullanılacağına karar verilmesi gerekir Şekil 4 a, b, c, d, e (Kömürlü E. vd., 2012).

Kazı çalışmalarında görev yapan işçiler kazı sırasında alınması gereken önlemler alınmadığı için hayatını kaybedebilirler. Yapılacak olan kazı çalışmalarında çalışan işçilerin can güvenliğini sağlayabilmek için güvenli bir çalışma ortamı yaratılmalıdır. Bu ortamı yaratabilmek adına iş sağlığı ve güvenliği konusunda uzman kişi veya kurumların gerekli gördüğü önlemler alınarak kazı çalışmaları yapılmalıdır. Kazıya başlamadan önce işin nasıl yapılacağı planlanmalı ve daha sonra işe başlanmalıdır. Kazı çalışmasının yapılacağı zeminin özellikleri göz önüne alınarak uygun kazım yöntemleri kullanılmamalıdır. Hayatını kaybeden işçilerin sayısı iş sağlığı ve güvenliğinin çalışma ortamındaki önemini göstermektedir. Hayatını kaybeden işçi sayısının azalmasını sağlamak için inşaat sektöründe bulunan bütün şantiye tiplerinde iş sağlığı ve güvenliği konusunda uzmanlaşmış kişilerin çalışması ve işçilere iş güvenliği konusunda eğitim verilmesi gereklidir.

KAYNAKÇA

- Akgönül Serpil Çelik,(2016). İller Bankası'na Yapılan Kazı İşlerinde İKSA Sistemlerinin Uygulanması, iş güvenliği açısından önemi, uygulamada karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri, s.9.
- Algın Z. (2010). Yapı Teknolojisi Ders Notları, Harran Üniversitesi, s.24, s.25, s.27.
- Alkaya D. & Çobanoğlu İ. (2007). Derin Kazılar Ve Destekleme Yapıları, Pamukkale Üniversitesi.
- Ateş Ş. & Adanur S, (2015). İNŞ 404 Yapı Yönetimi, Kazı İşleri, s.4.
- Anonim, (2016). Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Yapı Elemanları Ders Sunumları, s.10, s.12
- AYDIN, H. (2014). Kirişli ve kirişsiz radye temel tiplerinin karşılaştırılması ve dolgu malzemeli radye temel tipinin geliştirilmesi/Comparision of beamed and non-beamed raft foundation types and development of a mass filled raft foundation.
- AYDOĞAN, S. Ö., & Rüştü, U. Ç. A. N. (2022). İş Sağlığı ve Güvenliğinin Saha Gözetimi ve İş Ekipmanları Açısından İncelenmesi: Yapı Sektörü. *Resilience*, 6(1), 111-125.
- BALKIR, Z. G. (2012). İş sağlığı ve güvenliği hakkının korunması: işverenin iş sağlığı ve güvenliği organizasyonu. *SGD-Sosyal Güvenlik Dergisi*, 2(1).
- Demirel, C., Gültekin, Ö., Aruntaş, H. Y., & Şimşek, O. (2018, April). Yapı İşleri Kazı Çalışmalarında İş Sağlığı Ve Güvenliği. In *3rd International Congress On Occupational Safety and Security*.
- Erdoğan A, (2018). Kanalizasyon-içmesuyu İnşaatı Yapım İşlerinde Harita Kontrol Mühendisinin Dikkat Etmesi Gereken Konular, Karşılaştığı Sorunlar Ve Çözüm Yollar, İller Bankası
- Ceylan, H. (2012). Türkiye'deki iş sağlığı ve güvenliği eğitimi sorunlar ve çözüm önerileri. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 2(2), 94-104.
- İKSA, İ. B. Y. K. İ., & ÇÖZÜM, U. K. P. V. İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ.İnce H. (2016). Yapı Elemanları Dersi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, s.117, s.121, s.134.
- Eçin, A. (2021). Geoteknik tasarımda temel derinliğini belirleyen etkenler ve temel tasarımında olası riskler (Master's thesis, İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- Kale Ö.& Eskişar T. (2018). İnşaat Sektöründe Kazı İşleri Sebepli İş Kazaları, Ege Üniversitesi, Araştırma Makalesi.
- Karaca, H. (2021). 2007 ve 2018 Deprem Yönetmelikleri Kullanılarak Farklı Zeminlere Göre ve Farklı Kentler İçin Elde Edilen Tasarım İvmelerinin Karşılaştırılması, Kapadokya Örneği. *Afet ve Risk Dergisi*, 4(1), 42-52.

- KILKIŞ, İ. (2013). İş Sağlığı ve Güvenliği'nde Yeni Bir Dönem: 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (İSGK). *ISGUC The Journal of Industrial Relations and Human Resources*, 15(1), 17-42.
- KILKIŞ, İ., & Demir, S. (2012). İşverenin iş sağlığı ve güvenliği eğitimi verme yükümlülüğü üzerine bir inceleme. *Çalışma İlişkileri Dergisi*, 3(1), 23-47.
- Kömürlü, E., & Toptaş, S. (2012). Şehrsel Bölgelerde Yapılan Dik Temel Kazılarının Duraylılığının İncelenmesi. *MT Bilimsel*, (1), 13-57.
- Magar, J., Kudtarkar, A., Pachpohe, J., & Nagargoje, P. (2020). Study and analysis of types of foundation and design construction. *IRJET*, 7, 3301-3307.
- MEB, (2011). İnşaat Teknolojisi, Zeminin Yapısı, Ankara, s.4, s. 5
- Sağlam, A. (2006). *Derin kazılarda görülen stabilite problemleri ve ilgili çözüm kriterlerinin belirlenmesi* (Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).
- Selahattin, E. R. O. L. (2015). İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ KONUSUNDA İŞVEREN, ÇALIŞAN VE DEVLETİN ROLÜ. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 2(4), 86-103.
- Şen Büşra Nazlı, (2021). Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Yol Yapımında Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Atatürk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, s.6.
- ŞENGÖZ, T. E. Zemin nedir? Zemin mühendisliği nedir? İdeal zemin nasıl olmalıdır? Bozuk zeminler nasıl anlaşılır? Zemin iyileştirme yöntemleri nelerdir?.
- Özdemir, İ. (1997). Yapı elemanları ders notları. *TC Osman Gazi Üniversitesi Teknoloji Uygulama Ve Araştırma Merkezi, Yayın No: Ta, 97-002*, s.7, s.8.
- Ural, N. 2011; "Zemin mekaniği deneylerinde bilgisayar kontrollü sistemlerin kullanılması", 6. uluslararası ileri teknolojiler sempozyumu, Elazığ, 35-39
- Uzuner, B. A. (1990). Çözümlü problemlerle temel zemin mekaniği. İnşaat mühendisleri odası Trabzon şubesi Ve, M. A. S. Ç. S. (2013). Güvenliği. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2(3), 192-199.
- Yılmaz, E. (2006). *Zeminlerin endeks özelliklerinin kalıcı kayma mukavemetine etkisi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- (URL 1) <https://www.genchafriyat.com/hizmet/derin-kazilar/> (Erişim tarihi: 19.12.2023)
- (URL2) (Erişim Tarihi: 21.12.2023)
- (URL 3) (Erişim Tarihi: 21.12.2023)

Bölüm 15

KURAKLIK RİSK HARİTALARININ SPEI İNDEKSİ İLE OLUŞTURULMASI VE CEYHAN HAVZASI ÖRNEĞİ

Mehmet DİKİCİ¹

GİRİŞ

Kuraklık afeti yavaş seyreden ancak etkileri son derece kalıcı bir afet türüdür. İklim değişikliğine bağlı oluşan kuraklığın önceden bilinmesi ve tedbir alınması elzemdir.

Artan kuraklığın risk yönetimi ve oluşan riske uyumun sağlanması; bütüncül bir yaklaşım benimseyen sürdürülebilirliği olan ve etkili bir kuraklık risklerinin yönetilmesi stratejileri ile mümkündür.

Kuraklık yönetiminin afet yönetimine ait bir durum olduğu birçok çalışmada belirtilmiştir (Wilhite, 2000:15). Kuraklık planlarının yapılması için son yıllarda havza bazlı çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmalarda birçok indis kullanılmaktadır. Meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklık indisleri bölgenin şartlarına en uygunluk düşünülerek değerlendirilmelidir. Ceyhan havzası için daha önce yapılan çalışmalarda her üç ana başlıkta çalışmalar yapılmıştır (Dikici ve Aksel, 2021:113). Birbirine yakın sonuçlar vermesine karşılık meteorolojik kuraklık indisi SPEI tercih edilmiştir. Kuraklık indislerinin kullanıldığı çalışmalar ile alansallaştırılmış kuraklık risk haritalarının oluşturulması önemlidir. Bu çalışmada SPEI indeksi ile 5, 10 ve 50 yıllık hafif, orta ve şiddetli kuraklık görülme risk haritalarının nasıl oluşturulduğu ve Ceyhan havzası örneği ele alınmıştır.

Standart Yağış Buharlaşma ve Terleme İndeksi (SPEI)

Standart Yağış Buharlaşma ve Terleme İndisi (SPEI) diğer indekslere göre daha yeni bir kuraklık indeksidir (Vicente-Serrano vd., 2010:1696).

SPI iki temel varsayım üzerine dayanmaktadır:

- Yağışın önemi kuraklığın şiddetini etkileyebilecek diğer değişkenlerden çok daha fazladır.

¹ Doç. Dr. ; Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
mehmet.dikici@alanya.edu.tr ORCID No: 0000-0001-5955-3425

- Kuraklık sadece yağışta gerçekleşen zamansal değişkenlik tarafından kontrol edilir. SPEI hesaplanmasında, SPI esaslarına dayalı olmakla beraber SPI'dan farklı ve üstün olarak sıcaklığın kuraklığa etkisi de göz önünde bulundurulmaktadır. Bu sebeple SPEI iklim değişikliğinin iklim modeli projeksiyonları ile incelenmesinde ideal bir indeks durumundadır.

SPEI yağışa ve potansiyel terlemeye ve buharlaşma değerlerini esas alan bir indekstir. Böylelikle SPEI sıcaklık değişimiyle bağlı buharlaşmadaki değişiklikleri de göz önünde bulundurmaktadır. SPEI hesaplamalarında hem yağışın hem de potansiyel buharlaşmanın (Thornwaite yöntemi kullanıldığında sıcaklık) değerleri için sürekli zaman serisi verisine ihtiyaç vardır. Bu durumdan dolayı yetersiz verinin bulunduğu yerlerde SPEI hesaplanması mümkün olmamaktadır. Veriler ne kadar uzun olursa hesaplamalar o kadar sağlam sonuçlar üretir (WMO, 2016:10).

SPEI, toplanarak gelen iklime bağlı su bütçesi ki yağış, potansiyel terleme ve buharlaşmaya bağlıdır, anomalilerini dikkate alır. SPEI hesaplamaları da SPI gibi uzun vadeli gözlemlerinin uygun olan olasılık dağılımlarının tespit edilip normal dağılıma dönüştürülme işlemidir. (Van Loon, 2015:359). Ancak SPEI'de kullanılan olasılık dağılımı 2 parametrelili gamma dağılımı yerine 2 parametrelili log-logistic dağılımdır (Vicente-Serrano vd., 2010:1697).

SPEI hesaplamalarındaki ilk adım potansiyel terlemenin ve buharlaşma değerlerinin bulunmasıdır ancak potansiyel terlemenin ve buharlaşma değerlerinin hesaplanması oldukça zordur. Literatüre bakıldığında potansiyel terlemeyi ve buharlaşmayı hesaplanmak için çeşitli methotlar mevcuttur. Bu çalışmada SPEI değerlerinin bulunmasında lazım olan potansiyel terleme ve evapotranspirasyon değerlerinin hesaplanmalarında (Thornthwaite, 1948:55) metodu kullanılmıştır zira bu yöntemde yalnızca aylık ortalama sıcaklık verisi gerekmektedir.

İkinci adımda aşağıdaki denklemle verilen eşitliğe göre; incelenmiş ay için yağışın değerinden (P_i) (Thornthwaite, 1948:60) metodu kullanılarak hesaplanmış potansiyel terlemenin ve buharlaşma değerinin (PET_i) çıkartılmasıyla o ayda mevcut su fazlalığını veya su azlığını (D_i) için basit bir ölçüt ile elde edebiliriz:

$$D_i = P_i - PET_i$$

Üçüncü adımda ise D_i değerlerini log-logistic olasılık dağılım fonksiyonuna dönüştürerek bulabiliriz.

Dördüncü ve son adımda ise log-logistic olasılık dağılım fonksiyonuyla elde edilmiş su fazlalığını ya da su azlığını (D_i) olasılıkları için SPI'da hesaplanan gibi ters-standart normal dağılımın fonksiyonunu kullanarak standartlaştırılan (D_i) dizisi, yani SPEI değerlerini elde edebiliriz.

SPEI'nin sıfır olması log-logistic dağılıma göre su fazlalığı veya su azlığı (D_i) kümülatif olasılığın %50'sine karşılık gelen bir değeri gösterir.

Kurak dönemlerin tespitinde ve izlenmesinde ve hesaplama yöntemlerinde SPEI, SPI'a çok benzemektedir. SPI gibi SPEI de hem negatif hem pozitif değerlerin hesaplanabildiği bir şiddet ölçeğini içerir. Bu vesileyle hem kurak hem de yağışlı dönemlerin belirlenmesini sağlar.

Benzer şekilde SPEI değerleri de benzer şekilde normalleştirildiğinden tüm iklim senaryolarında uygulanabilen ve karşılaştırılabilen bir indekstir. SPI de aylık indeks olması nedeniyle aniden gelişen kuraklığın çabuk tespit edilmesi aşamasında yeterli olmayabilir. SPEI, 48 ay için olduğu gibi bir ay gibi zaman aralıkları için de hesaplanabilir.

SPEI belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmış kuraklık şiddetleri ve eşik değerleri Tablo 1 ile verilmiştir.

Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) farklı periyotlarda (1, 3, 6, 9, 12, 18, 24 ve 48 aylık) hesaplanarak havzada kullanılan SPEI indisi değerleri aşağıda zaman serileri ile verilmiştir. Havzada kullanılan değerler, havzadaki istasyonlarda hesaplanarak SPEI değerleri Ceyhan Havzasının tümünü kapsayan bir şekilde ağırlıklı ortalamaları alınıp alansallaştırılarak belirlenmiştir.

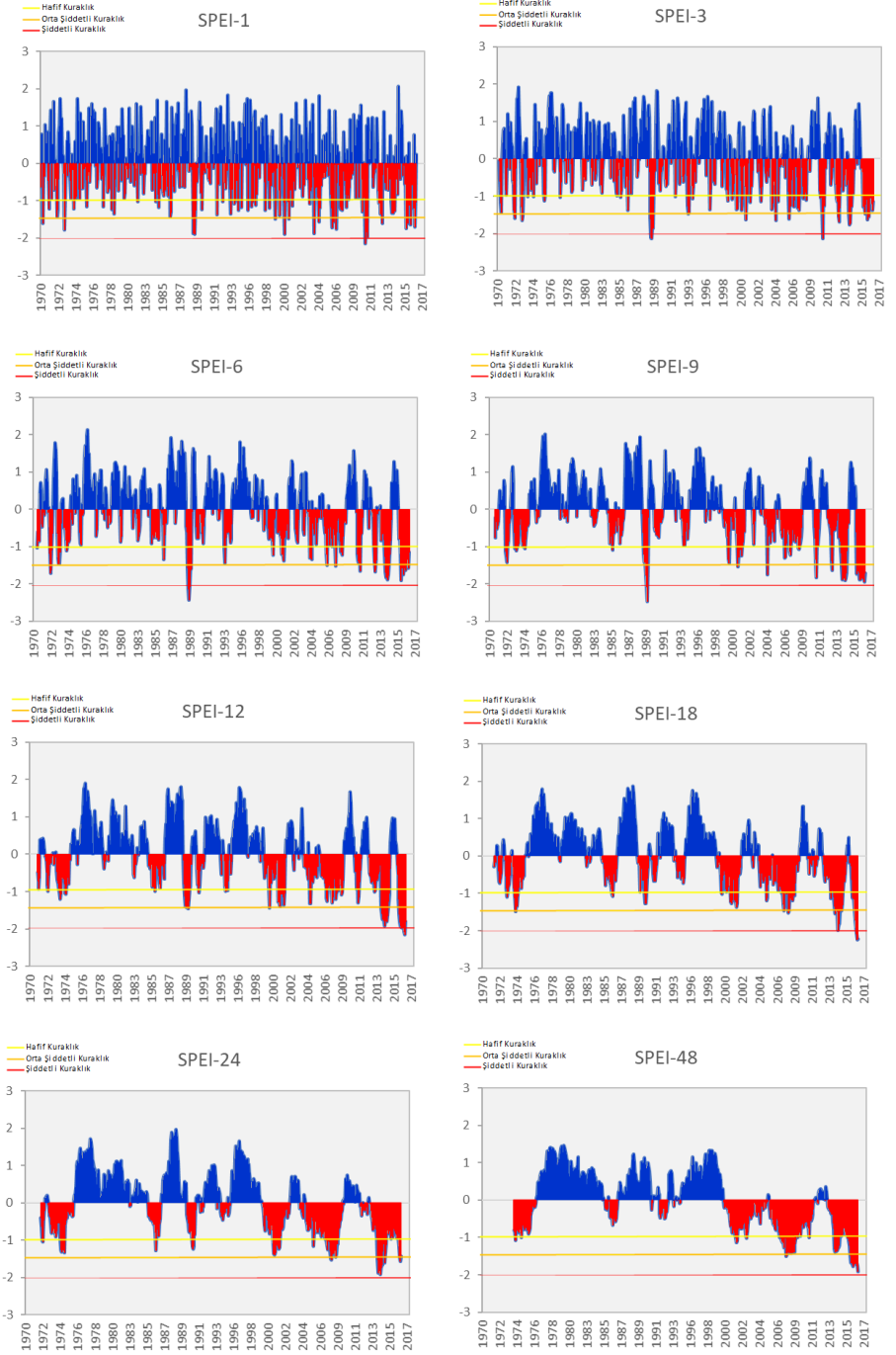
Tablo 1: Standart Yağış Buharlaşma ve Terleme İndeksi (SPEI) Kuraklık Sınıflandırması ve Eşik Değerleri

EŞİK DEĞERLER	KURAKLIK ŞİDDETİ
2 ve üzeri	Aşırı Nemli
1,5 — 1,99	Çok Nemli
1 — 1,49	Orta Düzeyde Nemli
0,5 - 0,99	Normale Yakın Nemlice
-0,499 — 0,499	Normal
-0,5 — -0,99	Normale Yakın Kurakça
-1 — -1,49	Orta Düzeyde Kurak
-1,5 — -1,99	Şiddetli Kurak
< -2	Aşırı Kurak

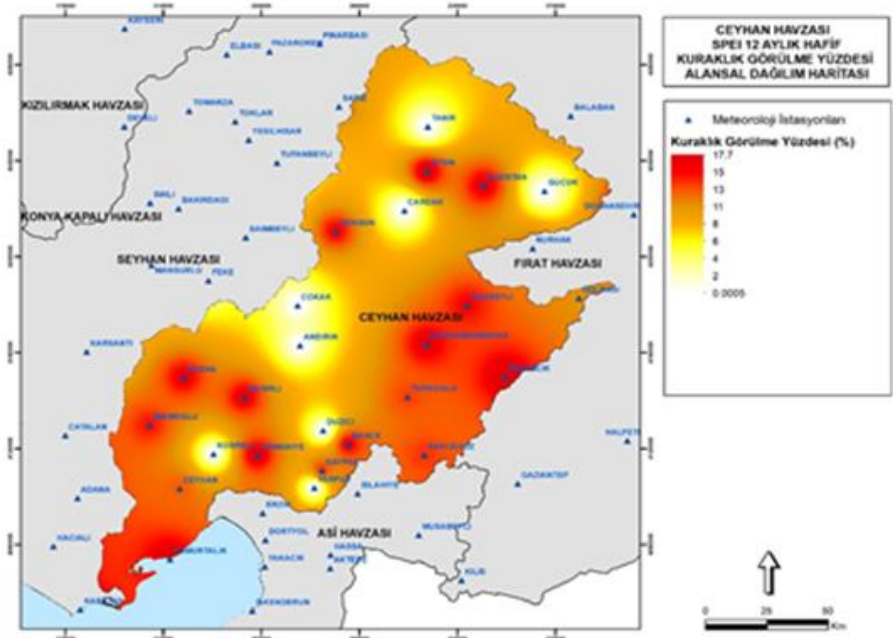
Ceyhan Havzasında SPEI kuraklık şiddetinin zaman serilerini de Şekil 1 üzerinde göstererek aşağıda verilmiştir. Serilerdeki mavi dönemlerin normal ve üzeri (nemli) dönemleri temsil etmektedir. Kırmızı dönemleri ise kurak

dönemler göstermektedir. Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi'nin Ceyhan Havzası'nın alt havzalarına göre ağırlıklı ortalamalar alınarak alansallaştırılmıştır.

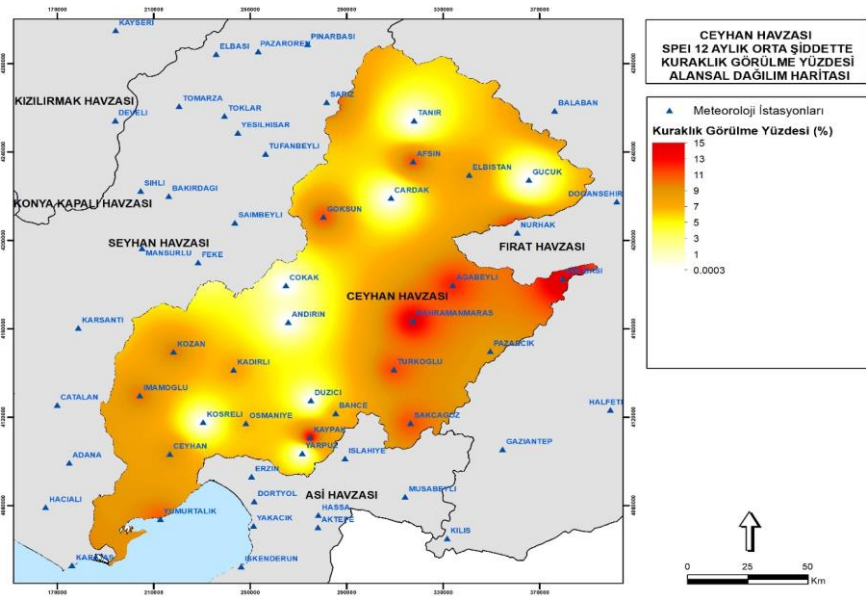
Önce tanımlanan ve sonra istasyon bazlı görülme yüzdesi hesapları sunulan 12 Aylık Standart Yağışın Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) sınıflandırmalarına ait kuraklık risk haritaları, 4 farklı şiddet seviyesi (Şiddetli Kurak, Orta Şiddetli Kurak, Hafif Kurak, Normal ve Yukarısı) için hazırlanmıştır. Hafif kuraklık görülme yüzdeleri Şekil 2 ile, orta şiddette kuraklık görülme yüzdeleri Şekil 3 ile ve şiddetli kuraklık görülme yüzdeleri Şekil 4 ile verilmiştir.



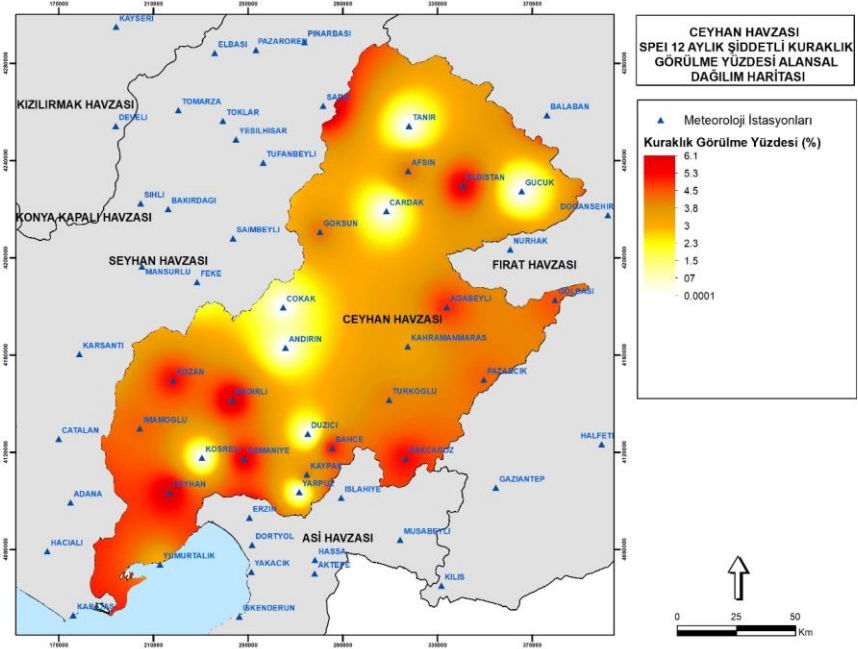
Şekil 1: Ceyhan Havzası SPEI Aylık Şiddet Zaman Serileri



Şekil 2: Ceyhan Havzası SPEI-12 Hafif Kuraklık Görülme Yüzdeleri Haritası



Şekil 3: Ceyhan Havzası SPEI-12 Orta Şiddette Kuraklık Görülme Yüzdeleri Haritası



Şekil 4: Ceyhan Havzası SPEI-12 Şiddetli Kuraklık Görülme Yüzdeleri Haritası

SONUÇ

Kuraklık görülme risk haritalarından da görüleceği üzere hafif kuraklık yüzdesi %17,7 ‘ye kadar çıkmaktadır. Özellikle düşük kotlu yerleşim yerlerinde daha yüksek oran ile kuraklık görülme riski hesaplanmıştır. Şiddetli kuraklık görülme riski Akdeniz’e yakın bölgelerde yüksek çıkmıştır. Kuraklık planları yapılırken, tarımsal politikalar da ekinlerin su gereksinimlerine göre düzenlenmesi faydalı olacaktır. Ceyhan nehrinin suyunun korunması, atıksu girişlerinin önlenmesi ve ıslah çalışmalarının sürekliliği önemlidir. Bölgedeki tarımsal sulamaların modern usuller ile yapılması teşvik edilmelidir.

TEŞEKKÜR

Su Yönetimi Genel Müdürlüğüne veri paylaşımından dolayı teşekkür ederim.

REFERANSLAR

- Dikici M. ve Aksel M., (2021). Comparison of Drought Indices in the Case of the Ceyhan Basin. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8(2), 113-125., Doi: 10.30897/ijgeo.792379 (Yayın No: 7130197)
- Vicente-Serrano vd. (2010). Beguería, S., & López-More. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718.
- Wilhite. (2000). *Droughts: A Global Assesment (Hazards and Disasters)*, Routledge.
- WMO. (2016). *Handbook of Drought Indicators and Indices* (M, Svoboda and B,A, Fuchs), Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2.
- Van Loon, A. (2015). Hydrological drought explained. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(4), 359-392.
- Thorntwaite, C. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.

Bölüm 16

HİDROELEKTRİK SANTRALLERİNDE KULLANILAN TÜRBİNLER VE TÜRBİN SEÇİMİ

Muhammed Asım KESERCİOĞLU¹

Ömer ÇERLEK²

Yasin AKIN³

GİRİŞ

Dünyada her geçen gün hızla gelişmekte olan sanayi sektöründe önemli yere sahip olan hidroelektrik santraller, elektrik enerjisine olan talep arttıkça hidroelektrik santrallerin sanayi sektöründeki önemi gün geçtikçe artmaktadır.

Enerji, hayatımızda her gün kullandığımız geçmişten günümüze insanlık için önemli bir faktördür. Enerji, ısı, ışık, hareket ve elektrik gibi birçok formda karşımıza çıkmaktadır. Günlük yaşamımızda bulunan ulaşım araçları, ev eşyaları, teknolojik ürünler gibi çokça örnekler verebileceğimiz her şey enerji ile çalışmaktadır.

Enerjinin hayattaki önemi birçok yönden incelenebilir. Örneğin, enerji gıda ürünlerinin metabolizmasında kullanılan ve tüketicilerin sağlıklı bir şekilde yaralanabilmeleri için mevcuttur. Ayrıca evlerimizi aydınlatmak, ısıtmak ve soğutmak için enerjiye ihtiyaç duyarız. Enerjinin kullanımının ayrıca çevre üzerinde de harcanan ve sürdürülebilir bir gelecek için enerji kaynaklarına yönelik olarak yapılması zorunludur.

Doğanın dengesini sürdürebilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına olan önem gün geçtikçe daha da artmaktadır. Bu kaynaklardan biri, sudan elde edilen enerjidir. Suyun sağladığı enerji, sadece elektrik üretimi için değil, aynı zamanda suyun diğer amaçlar için kullanılabilmesine de olanak tanır. Bu durum, suyun önemini daha da artırmaktadır. Dünya genelinde brüt teorik hidroelektrik potansiyelinin yaklaşık 40150 TWh/yıl olduğu, teknik olarak uygulanabilir potansiyelinin 14060 TWh/yıl olduğu ve günümüzde ise ekonomik olarak uygulanabilir hidroelektrik enerji potansiyelinin ise 8905 TWh/yıl olduğu

¹ Arş. Gör.; Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği.
mkesercioglu@subu.edu.tr ORCID No: 0009-0003-3751-4224

² Arş. Gör.; Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği.
mkesercioglu@subu.edu.tr ORCID No: 0009-0003-3751-4224

³ Arş. Gör.; Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği.
mkesercioglu@subu.edu.tr ORCID No: 0009-0003-3751-4224

belirtilmektedir (DSİ, 2004). Yenilenebilir enerji üretimi açısından hidrolik sistemler ön plandadır (Ali vd., 2018). Hidroelektrik santral sistemleri, diğer enerji üretim sistemleri ile kıyaslandığında minimum işletme maliyetine, maksimum işletme ömrüne ve maksimum verime sahip tesislerdir (Oral vd., 2017). Hidroelektrik enerji üretimi için uygun coğrafi koşulların sağlanması gerekmektedir ve günümüzde kullanılabilir hidroelektrik kapasitesinin büyük bir bölümü zaten kullanılmaktadır. Bu nedenle, hidroelektrik santraller temiz enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır.

Hidroelektrik santraller, akan suyun gücünden yararlanarak elektrik üreten bir tür yenilenebilir enerji tesisi olmasının yanında sel oluşumunu engellemesi ve su kaynağı birikimine yardımcı olması hidroelektrik santrallerinin bizlere faydalarındandır. Hidroelektrik enerji üretiminin arkasındaki temel prensip, hareket eden suyun kinetik enerjisinin bir türbin ve jeneratör kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmesidir.

Hidroelektrik santraller tipik olarak önemli bir doğal su akışına sahip nehirler, akarsular, göller veya diğer su kütleleri üzerinde bulunur. Bu tesisler, gerektiğinde güç üretmek için salınabilecek bir su rezervuarı oluşturmak için barajlar veya diğer bariyerleri kullanmaktadır.

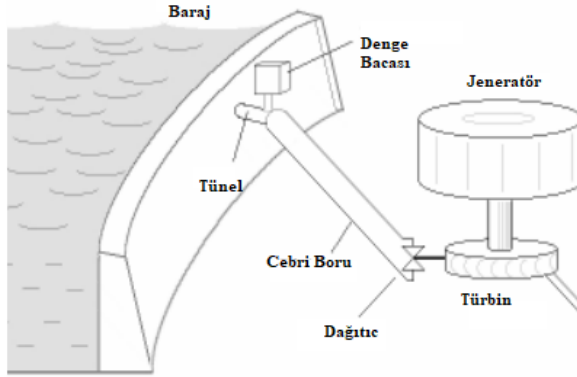
Hidroelektrik enerji santralleri günümüzde en fazla kullanılan santrallerdir. Dünyadaki toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %19'luk kısmını sağlamaktadır. Dünyanın toplam kurulu hidroelektrik kapasitesi 2022 yılı itibariyle yaklaşık 1360 GW'tır (International Hydropower Association IHA , 2022)

Hidroelektrik enerji, sera gazı veya diğer zararlı emisyonlar üretmeyen temiz ve güvenilir bir enerji kaynağıdır. Karbon ayak izini azaltmak isteyen birçok ülke için cazip edici bir seçenek haline gelmiştir. Hidroelektik santrallerin diğer faydalarından bahsedecek olursak; pik enerji ihtiyacında çok hızlı devreye girer, böylece acil durumlarda anında enerji üretebilir. Acil durumlarda su akışı kesildiğinde hızla devreden çıkarak tehlikeyi önler. Doğal kaynaklar kullanıldığı için dışa bağımlı değildir. Yapılan yatırım sadece enerji üretimi için değil, aynı zamanda tarım sulaması, içme suyu ve taşkın kontrolü gibi alanlarda da kullanılır (Kirmani vd. 2021).

Bu avantajlara rağmen, hidroelektrik enerjinin bazı dezavantajları da vardır. Hidroelektrik enerji üretimi için gerekli olan barajların ve diğer altyapıların inşası, yerel toplulukların yerinden edilmesi ve doğal ekosistemlerin bozulması dahil olmak üzere önemli çevresel etkilere sahip olabilir. Ayrıca, su akışındaki kuraklıklar ve diğer değişiklikler hidroelektrik enerji üretiminin güvenilirliğini etkileyebilir (Kirmani vd. 2021).

Hidroelektrik santraller, santral binasının konumuna, santralin çalışma durumuna, kurulu güç potansiyeline, depolama durumlarına, düşülerine, santral binasının konumuna ve son olarak baraj gövdesinin tipine göre sınıflandırılır.

Hidroelektrik santraller; baraj seti arkasındaki rezervuar suyu, suyun girdiği kapılar, tüneller, hidrolik türbinler, generatörler, cebri borular, türbinden sonra suyun dışarı aktığı kısımlar, transformatörler, su akışını ve elektrik enerjisi dağıtımını denetleyen donanımlardan oluşur. (Özbay ve Gençoğlu, 2009).



Şekil 1. Basit Bir HES'in Yapısı

Hidroelektrik sistemler, suyun kinetik enerjisinden faydalanarak enerji üretir. Bu sistemlerde, bir barajda depolanan su, cebri borular aracılığıyla yüksek bir noktadan alınarak türbin kısmına iletilir ve türbin çarkını döndürmeye başlar. Türbin çarkı, aynı ekseninde bulunan şaft adı verilen millerle birlikte çalışan jeneratörü döndürerek elektrik enerjisi üretir. Bu süreçte suyun kinetik enerjisi, "Hidrolik Türbinler" aracılığıyla dönme hareketine çevrilir. Hidrolik türbinler, genellikle bir mil ve üzerindeki kanatçıklardan oluşan basit mekanizmalardır. Akışkanın türüne bağlı olarak türbinin yapısı değişebilir. Hidroelektrik güç tesislerinde kullanılan bu türbinlere genellikle "su türbinleri" adı verilir. Bu tür türbinler, kullanım alanlarına, ürettikleri güce ve güç üretme biçimlerine göre çeşitli sınıflandırmalara tabi tutulabilirler.

Tablo 1: Hidrolik Türbinlerin Sınıflandırması

Düşüye Göre	Yüksek Düşüklü (> 300 m)
	Orta Düşüklü (50>H>300 m)
	Alçak Düşüklü (<50 m)
Türbin Çıkış Gücüne Göre	Yüksek Güçlü (> 100 MW)
	Orta Güçlü (20 – 100 MW arası)
	Küçük Güçlü (1 – 20 MW arası)
	Mini (100 KW – 1 MW arası)
	Mikro (5 KW – 100 KW arası)
	Piko (< 5 KW)
Türbin Mili Durumuna Göre	Dikey Eksenli
	Yatay Eksenli
	Eğik Eksenli
Suyun Akış Doğrultusuna Göre	Radyal Akışlı (Francis)
	Eksenel Akışlı (Kaplan, Uskur)
	Teğetsel Akışlı (Pelton, Cross-Flow)
	Diyagonal Akışlı (Yüksek Hızlı Francis)
	Saptırılmış Akışlı (Turgo)
Suyun Etki Şekline Göre	Reaksiyon Tipi (Francis, Kaplan, Boru)
	Aksiyon Tipi (Pelton, Turgo, Cross-Flow)

Kaynak:

(Yavuzdemir 2012)

Türbinlerin geniş sınıflandırmaları olmasına karşın hidroelektrik santraller için kullanılan hidrolik türbinler, reaksiyon türbinleri ve aksiyon türbinleri olarak iki ana grupta değerlendirilir.

Aksiyon (Etki) Türbinleri

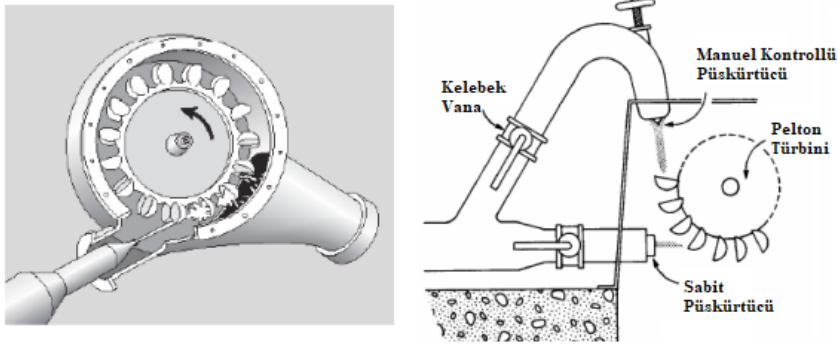
Aksiyon türbinlerinde, kanatlar hava içinde konumlanır ve püskürtülen basınçlı su ile çalışırlar. Su, kanatlara temas etmeden önce ve sonra aynı atmosfer basıncında kalır (Wollenberg vd., 1996). Bu tür türbinler, 1880 yılında Pelton tarafından keşfedildi ve o tarihten itibaren sürekli olarak geliştirilmektedir. Pelton tipi hidrolik türbinler, genellikle yüksek hidrolik düşüklere ve düşük su debilerine sahip koşullar için kullanılır. Michell-Banki (cross-flow) tipi türbinler de bu türbin sınıfına eklenebilir. Bu tip türbinler, 1903'te M. Michell tarafından keşfedildi ve 1917 itibarıyla D. Banki tarafından geliştirildi. Bu özel türbinlerin kullanım alanı genellikle sınırlı olmakla beraber küçük güçlü, nehir tipi

santrallerde tercih edilirler (Demirhan, 2006). Bu tip türbinlerin verimleri, nominal çalışma değerleri içerisinde reaksiyon türbinlerinden düşüktür.

Pelton Türbini

Pelton türbininde akışkan ilk olarak bir nozuldan geçirilerek potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüştürülür. Bu sayede oluşan yüksek hızlı jet, enerjiyi türbin miline aktaran kepçe şeklindeki kanatlara çarpar ve türbin mili döner, böylece mekanik enerji elde edilir. Bir Pelton çarkının kepçeleri, akışı ikiye bölecek ve neredeyse 180° yön değiştirecek şekilde tasarlanır. İyi bir Pelton türbininde, kepçenin çıkışındaki mutlak hızın neredeyse sıfır olması hedeflenir, bu durumda kinetik enerji büyük ölçüde mekanik enerjiye dönüştürülmüş olur.

Etki türbinleri arasında en yaygın kullanılanı Pelton türbinidir. Genellikle yüksek düşük ve küçük debilere uygun olan bu türbinlerin maksimum düşü değerleri 1500 m'nin üzerindedir. Özgül devir sayıları düşüktür ve su huzmeleri basitçe tasarlanmış kepçelere çarptırılarak moment elde edilir. Pelton türbinlerinin verimleri genellikle %78 ile %92 arasında değişir. Şekil 2'de türbin çarkı ve çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2: Pelton Türbini ve Çalışma Prensibi

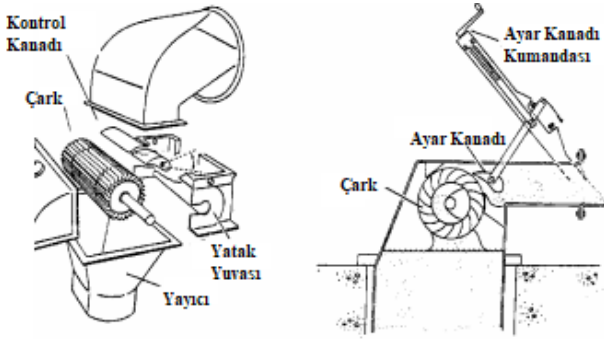
Cross-Flow Türbini

Crossflow türbinleri, yatay şaftlı radyal türbinlerdir ve çark kanatlarına hafif yüksek basınçlı teğetsel püskürtme uygularlar. Genellikle düşük devirli türbinler arasında yer alırlar. Su, giriş borusuna yönlendirilir ve kılavuz kanatlar aracılığıyla ayarlanır, ardından türbin çarkına girer. Çarkı geçtikten sonra, yüksek verimle çalışarak çarkın diğer tarafından ayrılır. Sonunda, su ya doğrudan türbin kabini üzerinden ya da bir çıkış borusu aracılığıyla türbinin altındaki düşü havuzuna akar. Uygulamada, çark içindeki akış kendi kendini temizleme etkisi yapar. Su, çarka girdiğinde kanatlar arasına sıkışan herhangi bir yabancı madde, merkezkaç kuvveti sayesinde çarktan ayrılır. Su, çarkın yarım turunu

tamamlandıktan sonra yabancı maddeleri çarkın dışına atar ve düşü havuzuna yıkar.

Eğer su debisi değişken ise, Crossflow türbini iki bölme ile tasarlanır. Girişteki bölmelerin standart bölüm oranı genellikle 1:2'dir. Dar bölme küçük su miktarlarını, geniş bölme ise orta büyüklükteki su miktarlarını işler. İki bölme de tam debiyi işleyebilir. Bu sayede suyun %100 ile %12 arasındaki miktarlar, maksimum verimle kullanılır ve türbin tasarım debisinin sadece %6'sı ile dahi işletmeye başlanabilir.

Düşük düşümlü küçük Crossflow türbinlerinin akış süresince toplam verimi genellikle %80-84 arasındadır. Daha yüksek düşü olan orta büyüklükte ve büyük türbinlerin maksimum verimleri ise genellikle %87'dir. Şekil 3'te Cross-Flow türbini çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 3: Cross-Flow Türbini ve Çalışma Prensibi

Reaksiyon (Tepki) Türbinleri

Net düşü ve özgül hız açısından oldukça geniş bir uygulama alanına sahip olan reaksiyon tipi su türbinleri, suyun kinetik ve potansiyel enerjilerinden faydalanırlar. Reaksiyon türbinleri, suyun tamamen içinde bulunur ve gövdeleri basınca dayanıklı malzemeden üretilir. Türbin kanatları arasındaki basınç farkı, rotorun dönmesine yol açar. Bu gruba Francis tipi hidrolik türbinler ve Kaplan tipi hidrolik türbinler dahildir. Bu tür türbinlerde, türbin rotoru kanatçıkları arasındaki su giriş basıncında bir düşüş oluşur. Su basıncındaki bu düşüş, suyun hızlanmasına yol açar. Kaplan tipi hidrolik türbinler genellikle büyük su debileri ve küçük düşülerde kullanılırken, Francis tipi hidrolik türbinler orta yükseklikteki su düşüleri ve orta değerlerdeki su debileri için uygundur (Özbay ve Gençoğlu, 2009).

Reaksiyon türbinlerinin yapımında, sabit ve hareketli kısımlardaki kanat ve yüzeylerin daha hassas işlenmesi gerektiği için bu türbinler aksiyon türbinlerine göre daha gelişmiş üretim teknikleri gerektirir. Ancak, alçak düşülerde daha fazla yerin olması ve bu yerlerin daha fazla elektrik enerjisi talep edilen bölgelere yakın

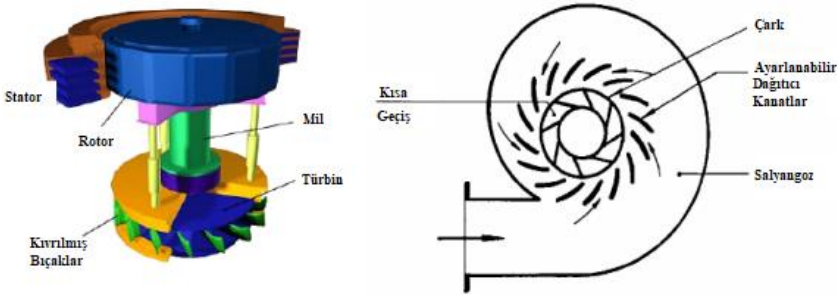
olması, bu türbinlerin daha basit bir şekilde üretilmeleri için yapılan çalışmaları artırmıştır. Reaksiyon türbinlerinde, su basıncı altındaki su, türbine girmeden önce tamamen hıza dönüştürülür. Kaplan türbinlerinde rotor ve stator kanatları ayarlanabilirken, Francis türbinlerinde yalnızca stator kanatları ayarlanabilir. Francis türbinlerinde su, spiral şeklinde ve kanatları yönlendirilebilen bir gövde içinde rotorun eksenel olarak dönmesini sağlar. Reaksiyon türbinlerinin en büyük avantajı, alçak düşüklüklerde, modern jeneratörler için gerekli devir sayısını sağlayabilme yetenekleridir (Paish ve ark., 2002).

Francis Türbini

Francis türbini, Amerikalı Howd ile Francis'in 19. yüzyılda geliştirmesi sonucunda Francis adını almıştır. Francis türbininde su, yöneltici çarktan dönele çarka dıştan girer ve çark kanatları boyunca aşağı doğru ilerleyerek çarkı terk eder. Türbin tipi, reaksiyon tipidir (karşı basınçlı).

Francis tipi türbinler, 600 m'ye kadar düşüştte çalışabilir ve 500 MW'a kadar güç üretebilirler. Bu türbinlerin Pelton türbinine göre avantajı, daha küçük boyutlarda üretilebilmesi ve daha yüksek dönme sayılarında çalıştırılabilmesidir. Bu durum, üretim maliyetlerinde önemli ölçüde tasarruf sağlar. Küçük güçler için, özellikle 200 kW'a kadar güçlerde ve 5 m düşüden daha az yerlerde kullanılan "kamara tipi" adı verilen ve düşey ekseninde çalışan Francis türbinleri bulunmaktadır.

Bazen bu türbinler yatay ekseninde de kullanılabilir. Bu türbin, ayarlanabilir yöneltici kanatlar, dönele çark ve emme borusundan oluşur. Yapısı basit ve kullanışlıdır. Şekil 4'te büyük güç üretiminde kullanılan yatay ekseninde çalışan ve salyangozlu Francis tipi olarak adlandırılan türbin görülmektedir.



Şekil 4. Francis Türbini ve Çalışma Prensibi

Kaplan Türbini

1913 yılında Viktor Kaplan tarafından patenti alınan Kaplan türbini, eksenel olarak dönen etki türbinleri sınıfına aittir, yani suyun girişi ile çıkışı arasında bir

basınç farkı bulunur. Özgül hızları büyük olan Kaplan türbinleri, yüksek debilere ve düşük düşürlere uygun olarak çalışır. Verimli oldukları düşü değerleri genellikle 80 m'nin altındadır.

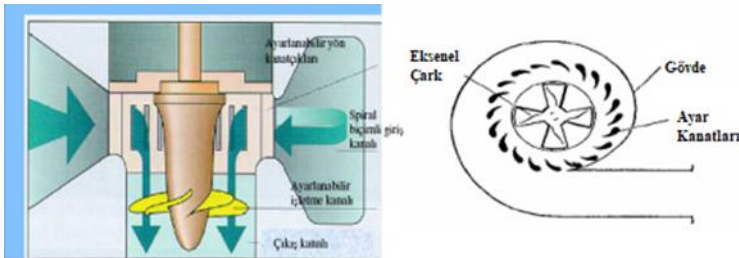
Kaplan türbinleri boru tipi veya salyangoz gövdeli olarak üretilebilir. Çapı 10 metrenin üzerinde olan en büyük Kaplan türbinleri 100 MW güç elde etmiştir. Kaplan türbinleri, propeller, bulb, tube (boru), straflo gibi varyasyonlara sahip türbinlerle ilişkilendirilebilir.

Türbinin çarkı, suyun etkisiyle döner ve su girişi ile çıkışı aynı eksendedir. Kanatlar genellikle ayarlanabilir ve hidrolik servomotorlarla kontrol edilir. Salyangoz gövdeli Kaplan türbinleri 20 metreye kadar düşüşlerde kullanılırken, daha büyük düşüler için saçtan imal edilmelidir.

Kaplan türbinleri, Francis türbinlerine göre daha hızlı dönerler, bu nedenle jeneratöre doğrudan bağlanabilirler. Kaplan türbinleri genellikle alçak düşüler için daha ekonomiktir, ancak yapımı aksiyon türbinlerine göre daha zor olup mikro hidrolik sistemlerde daha az kullanılır. Kavitasyon tehlikesi ve değişken debilerde düşük verim gibi sorunlara sahiptirler.

Düşen su miktarında, düşüş yüksekliğinde veya yük talebindeki değişiklikler Kaplan türbinlerinin verimini etkileyebilir. Bu sorunlar, giriş vanalarının otomatik kontrolü veya fazla suyun depoya saptırılması gibi yöntemlerle çözülebilir. Ayrıca, Kaplan türbinlerinde rotor kanatlarının açıları ayarlanabilir, bu da mevsimsel değişikliklere karşı çözüm sağlar. Genellikle salyangoz gövde biçiminde ve dikey olarak kullanılırlar, ancak yatay durumlar için boru tipi uygulamalar da mevcuttur, özellikle nehirlerde yaygın olarak kullanılır.

Türbin tasarımında ilk adım olarak, belirli bir santralin kurulacağı konum için en uygun türbin tipi seçilmelidir, bu seçim su debisi ve düşü bilgilerine dayanmalıdır. Bunun devamında türbin gücünün belirlenebilmesi için gerekli parametrelerin; örneğin özgül hız, türbin verimi ve türbin devir sayısı gibi faktörlerin belirlenmesi önemlidir. Son olarak, türbin çarkının ve verim üzerindeki etkileri nedeniyle türbin salyangoz ve türbin emme borusu boyutlandırılmaları dikkate alınmalıdır. Kaplan tipi türbinin bir örneği Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5: Kaplan Türbini ve Çalışma Prensibi

Regölasyon Sistemi

Regölätörler, türbin hızını düzenlemek amacıyla kullanılırlar. Bu cihazların temel görevi, mekanik veya elektriksel yöntemlerle türbin milindeki hızı ayarlamaktır. Eğer daha fazla güç gerekiyorsa, regölätör türbine daha fazla su vererek hızını artırır. Benzer şekilde, daha az güç gerektiğinde türbin girişı kısılarak daha az su türbine alınır. Örneğın, 4 kutuplu bir generatörün 50 Hz frekansta çalışması için 1500 devir/dakika olması gerekmektedir. Bu hızın üzerinde veya altında çalışma durumları, üretilen elektrik frekansını artırır veya azaltır. Hidrolik sistemlerde kullanılan regölätörler genellikle iki kategoride incelenir: geleneksel ve geleneksel olmayan regölätörler. Geleneksel regölätörler yüksek standartlara sahiptir ve geniş sistemlerde yaygın olarak kullanılır. Ancak, bu regölätörler karmaşık ve maliyetlidir. Son yıllarda küçük sistemler için, özellikle mikro hidrolik sistemlerde tercih edilen yük denetim regölätörleri geliştirilmiştir. Yük denetim regölätörleri daha basit bir yapıya sahiptir ve maliyetleri düşüktür. Elektronik bir cihaz olan yük denetim regölätörü, kullanıcı yükü değışse bile generatörde sabit bir elektrik yükü sağlar (Demirci vb., 2007)

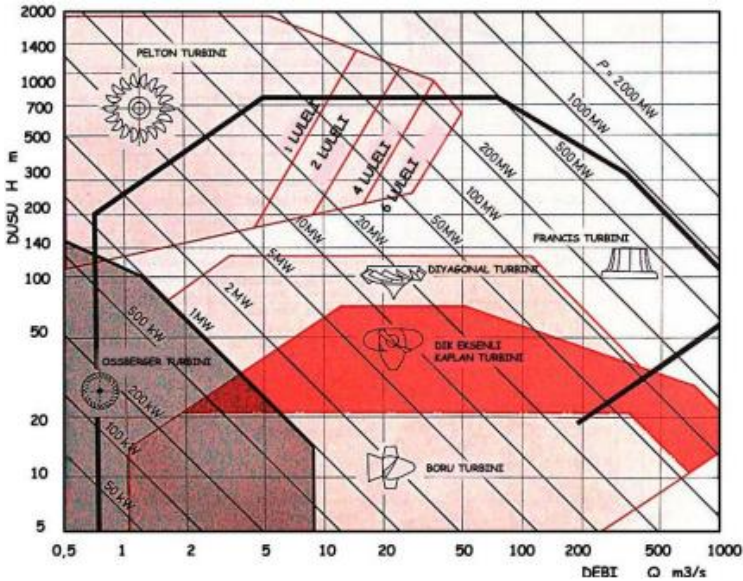
Türbinde, debi akış kontrol cihazına veya regölätör sistemine ihtiyaç yoktur. Türbin debisi sürekli olarak sabit tutulur. Yük kontrolü, generatörde her zaman sabit bir elektrik yükünü sağlayarak türbin çıkış gücünü sabit tutar. Bu sayede türbin hızı da sabit kalır. Yük kontrolü, ana yük tarafından istenmeyen ikinci bir yük ekleyerek generatör çıkışını sabit tutar. Daha az yüke ihtiyaç olduğunda türbin hızı ve frekans düşer, bu durum yük kontrolü tarafından algılanır ve dirençler devreye girerek ilave yükü sağlar. Böylece, kullanıcı yükü değışse bile generatördeki toplam yük sabit kalır. Yük kontrolü, normalde frekans veya gerilimi sürekli olarak ölçerek türbin hızını kontrol eder. Bu sistemin en büyük avantajı, maliyetinin düşük olması ve basitliğidir. Ayrıca, tamir veya hareketli parça gerektirmez.

Türbin Seçim Kriterleri

Hidroelektrik santraller için türbin seçimi, tesisin enerji üretim potansiyelini, bakım maliyetlerini ve uzun vadeli sürdürülebilirliğini etkiler. Hidroelektrik bir enerji santrali için türbin seçerken çeşitli faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Hidrolik düşü ve su debisine bağılı olarak hesaplanan özgül hız, türbin tipi seçiminde belirleyici ana faktördür. Bunların yanında yer koşulları, çevresel etki, proje bütçesi ve enerji santralinin istenen çıkış kapasitesi gibi unsurlar da yine türbin seçimini etkilemektedir. Hidrolik düşü ve debi değerleri bilinen sistemin türbin tipi Şekil 6 ve Şekil 7 'de gösterilen diyagramlardan yararlanarak bulunabilir. Bu diyagramlardan türbin seçimi yapabilmek için ilk olarak kurulacak hidroelektrik güç tesisinin debisinin ve düşüşünün bulunması gerekir.

Daha sonra bu değerlerin keşistiği noktayla türbinden elde edilecek gücü gösteren doğrunun kesistiği veya yaklaşık olarak kesistiği nokta hangi türbin bölgesinde kalıyorsa, kurulacak hidroelektrik güç tesisinde o türbinin kullanılması verimlilik ve işletme çalışma şartlarının iyileştirilmesi bakımından en uygun seçimdir.

Ayrıca, türbinin verimlilik eğrileri ve bunların enerji santralinin işletim sistemi ile uyumluluğunu düşünmek önemlidir. Ayrıca, türbinin zaman içindeki aşınma ve yıpranması, santralin performansını ve verimliliğini etkileyebileceği için dikkate alınmalıdır. Hidroelektrik bir enerji santrali için türbin seçimi, genel verimlilik, performans ve enerji üretim potansiyelini doğrudan etkilediği için kritiktir (Navaraj vd. 2017).

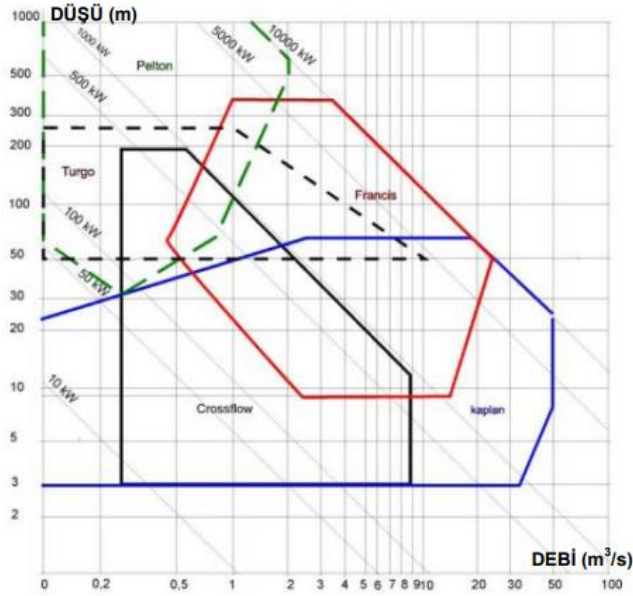


Şekil 6: Düşü Ve Debi Değerlerine Göre Türbin Seçim Diyagramı (50 kW-2000MW) (Adatepe ve Öz, 2019)

Bu diyagramlarda türbin tipleri için belirtilen düşü sınırları yalnızca ön fikir vermek içindir. Herhangi bir tesiste kullanılacak türbin tipi hakkında net bir şey söylenemez. Gerçekte Hidroelektrik santrallerde kullanılacak türbin tipi özgül hızı ile belirlenir. Bir türbinin özgül hızı, türbinin geometrik benzerinin 1 m düşü altında 1 HP güç üretebilmesi için dakikada yapması gereken devir sayısıdır (Kaba, 2011) Özgül hız aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$n_s = \frac{n \cdot \sqrt{N_T}}{H^{5/4}}$$

Burada n_s Türbin özgül hızını (devir/dakika), n devir sayısını (devir/dakika), N_T türbin gücünü(HP), H ise net düşüyü (metre) ifade etmektedir.



Şekil 7: Düşü Ve Debi Değerlerine Göre Türbin Seçim Diyagramı(10 kW-10 MW) (Penche 1998)

Tablo 2’de türbin tiplerinin özgül hız değerlerine göre sınıflandırması bulunmaktadır (Özbay ve Gençoglu, 2009). Aynı zamanda türbinlerin hangi düşü, debi ve güç aralıklarında çalışabildiği de ifade edilmiştir.

Tablo 2: Türbin Çeşitlerinin Çalışma Aralıkları

Türbin Tipi	Özgül Hız (devir/dakika)	Düşü (m)	Debi (m³/s)	Kurulu Güç(MW)
Pelton	12-30	50-1300	0.1-20	0.1-200
Turgo	20-70	50-250	0.1-10	0.1-20
Cross-Flow	20-80	10-200	0.1-10	0.1-10
Francis	80-400	10-350	0.5-500	0.5-750
Kaplan	340-1000	2-40	1-1000	0.5-200

Hidroelektrik santrallerde üretilen güç buradaki denklem yardımıyla hesaplanmaktadır. $P = \eta \cdot H \cdot Q \cdot \gamma$

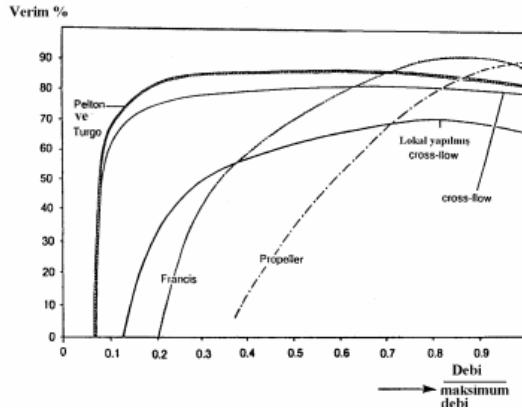
Bir hidroelektrik güç sisteminde toplam güç çıkışı ve kayıpların oluşumu şu şekilde gösterilmiştir;

$$\text{Güç Çıkışı} = \eta_{\text{inşaat}} * \eta_{\text{türbin}} * \eta_{\text{jeneratör}} * \eta_{\text{transformatör}} * \eta_{\text{nakil hattı}} * \text{Güç Girişi}$$

Burada P santralde bulunan türbinin milinden alınan gücü (Watt), η toplam verimi, H düşüyü (metre), Q debiyi (m^3/s) ve γ suyun özgül ağırlığını (N/m^3) ifade etmektedir. Bu denklemden anlaşılabacağı üzere hidroelektrik güç suyun debisi ve düşü ile doğru orantılıdır. Santralde sudan elde edilecek hidroelektrik enerjiyi değerlendirmek için, suyun debisindeki değişimlerin ve elde edilebilecek debi miktarının bilinmesi gerekir.

Jenaratör hızının seçimi de, türbin tipi belirlenirken dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Genellikle, bir türbin tarafından döndürülen jeneratörler, tipik türbin optimum hızından daha yüksek bir devirle çalışırlar. Türbin ile jeneratör arasındaki bağlantı, kayış kasnak, dişli mekanizması veya bir kavrama kullanılarak sağlanır. Bu bağlamda, hız oranının mümkünse minimum olması tercih edilir. Düşük hız oranları, bağlantı sürecini kolaylaştırır ve maliyeti azaltır. Genellikle, 3:1 oranından kaçınılması önerilir; en azından 2.5:1 oranı veya daha düşük bir oran tercih edilmelidir. Örneğin, eğer 1500 devir/dakika ile dönen bir jeneratör kullanılıyorsa, seçilecek türbinin hızı en az 500 devir/dakika veya daha yüksek olmalıdır. Türbin hızının jeneratör hızına mümkünse eşit olması durumunda, jeneratör direkt olarak türbin miline bir kavrama aracılığıyla bağlanır. Genellikle mikro türbin yerleştirmelerinde, ünitelerin ayrı olarak satın alınması daha ekonomiktir ve daha sonra bağlantı sistemi aracılığıyla monte edilirler (Necmettin Erbakan Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ders Notları, Hidroelektrik Enerji Ve Türbinler, Aralık 2023)

Diğer bir kriter, türbinin kısmi debi şartlarında çalışma yeteneğidir. Bütün türbinler, bir verim-hız ve güç-hız karakteristiğine sahiptir. Şekil 8'de kısmi yükler altında türbinlerin verim eğrilerinin değişimi verilmiştir. Özellikle Pelton ve Cross-flow (Banki) türbinleri, tasarım değerlerinin dışında farklı çalışma koşullarında yüksek verim sağlama özelliğine sahiptirler. Ancak, Francis türbinleri kısmi yüklerde verim kaybına uğrarlar. Hatta Uskur türbinleri, tasarım debisinin %80 ve üstü haricindeki debi aralıklarında çok düşük verim elde ederler. Francis türbinleri, büyük hidrolik sistemlerde popüler olsalar da, karmaşık yapıları ve kısmi yük koşullarındaki performansları nedeniyle mikro hidrolik sistemlerde yaygın olarak kullanılmazlar.



Şekil 8 .Türbin Tiplerinin Kısmi Yüklerde Çalışması Halinde Verim Eğrileri (Kaba 2011)

Bir hidroelektrik santral için türbin seçimi özetle şu adımlar izlenerek yapılır.

- Hidroelektrik santralin bulunduğu yerin topoğrafik, hidrolojik ve jeolojik özellikleri incelenir. Su kaynağının düşü, debisi, akış doğrultusu, su kalitesi, suyun mevsimsel değişimi, baraj tipi, cebro boru uzunluğu, türbin çarkının yerleştirileceği yükseklik gibi parametreler belirlenir.
- Hidroelektrik santralin kurulu gücü, yıllık enerji üretimi, yatırım maliyeti, işletme ve bakım giderleri, verimlilik, güvenilirlik, çevresel etkiler gibi kriterler belirlenir.
- Belirlenen parametre ve kriterlere göre uygun türbin tipi seçilir
- Seçilen türbin tipinin boyutları, kanat sayısı, kanat açısı, nozul sayısı, nozul açısı, çapı, hızı, verimi, gücü gibi özellikleri hesaplanır. Türbin tipinin jeneratör, regülatör, valf, şaft, yatak, kovan, gövde gibi bileşenleri seçilir veya tasarlanır.
- Türbin tipinin performansı, güvenilirliği, maliyeti, bakım gereksinimi, çevresel etkileri gibi kriterler değerlendirilir. Türbin tipinin avantaj ve dezavantajları karşılaştırılır. Gerekirse alternatif türbin tipleri de değerlendirilir.
- Türbin tipinin montajı, testi, devreye alınması, işletilmesi, izlenmesi, bakımı gibi süreçler planlanır ve uygulanır.

Kavitasyon Olayı

Kavitasyon, hidrolik türbinlerde istenmeyen bir durum olup, hidroelektrik santrallerde çeşitli sorunlara neden olabilir. Bu durum, sıvının buhar basıncına dinamik basınç düşüşleri nedeniyle buhar boşluklarının oluştuğu bir durumu tanımlar (Escelera vd., 2006) Akışkanın hidrodinamik basıncı buhar basıncının altına düştüğünde, buhar fazına geçiş meydana gelir. Bu bölgede, su ve su buharı

arasında çift fazlı bir akış oluşur, bu da farklı öz kütlelere sahip oldukları için su buharının geride kalmasına ve türbülanslı bir akışın ortaya çıkmasına neden olur (Saçma ve ark., 2017).

Kavitasyon, hidrolik türbinlerde aşındırıcı erozyona ve türbin malzemelerinde hasarlara yol açabilir (Tiwaria vd., 2020). Bu durum, türbin çark kanadına çarpan su ve buharın yüksek basınç bölgesinden geçiş yapmasıyla oluşan küçük kabarcıkların ani olarak ortadan kaybolmasıyla karakterizedir. Bu olay, reaksiyon hidrolik türbinlerinde, özellikle de Kaplan, Francis ve Pump-Turbine türbinlerinde önemli bir rol oynar.

Kavitasyonun nedenleri arasında türbinin tasarım profili ve tesisin çeşitli yük gereksinimlerine sık sık adapte edilmesi bulunmaktadır. Hidrolik makinelerde kavitasyon, maliyet artışına, performans düşüşüne ve makinenin etkin verimliliğinde azalmaya neden olabilir (Gondal ve ark., 2019).

Bu sorunlar arasında, türbinlerdeki salınım olayının da etkisi vardır. Hidroelektrik santrallerde türbinlerin ani ve değişken güç değerlerinde çalışması, türbin taşıyıcı yatak ve türbin kılavuz yatak ayarlarında bozulmaya neden olabilir, bu da salınım olayına yol açar. Türbinin tasarım dışı koşullarda çalışması, salınım ve kavitasyon arasında yakın bir ilişki bulunmasına neden olur.

SONUÇ

Enerji tüketiminin gün geçtikçe arttığı dünyamızda fosil kaynakların tükenme eğiliminde olması, çevre kirliliğinin artması, küresel düzeyde iklim değişiklikleri ülkeleri yeni ve temiz enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Enerji ihtiyacının karşılanmasında yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek, hem çevresel hem de maliyet açısından en uygun seçenekleri sunarak gelecek açısından büyük önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar, çevresel etkileri minimize etme ve maliyetleri düşürme potansiyeli nedeniyle öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, hidroelektrik santraller, işletme maliyeti, yüksek verim ve uzun ömür gibi avantajlarıyla diğer enerji üretim tiplerine kıyasla öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada hidroelektrik santrallerin genel çalışma prensiplerinden bahsedilmiş, kullanılan türbin çeşitleri anlatılmış ve devamında hangi durumlarda hangi türbinlerin kullanıldığı, türbin seçiminde hangi parametrelerin kullanıldığından bahsedilmiştir. Bu alandaki bilgi birikimini arttırmak amaçlanmıştır.

REFERANSLAR

- Ali, W., Farooq, H., Rehman, A. U., Jamil, M., Awais, Q., Mohsin, A. (2018). Grid interconnection of micro hydro power plants: Major requirements, key issues and challenges. International Symposium on Recent Advances in Electrical Engineering, Islamabad.
- Adatepe, H., Öz, V. (2019). Hidroelektrik Santrallerde Türbin Seçimi ve Francis Türbin Tasarım Parametreleri. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 9(2), 349-358.
- Demirhan, A. Y. (2006). Küçük Hidroelektrik Santrallerde Türbin Tasarımı, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Devlet Su İşleri (DSİ), 2004. Dünden Bugüne DSİ 1954-2004, DSİ Etüt Plan Şube Müdürlüğü, Ankara
- Escalera, X., Egusquiza, E., Farhat, M., Avellan, F., & Coussirat, M. (2006). Detection of cavitation in hydraulic turbines. Science Direct, 20, 983-1007.
- Gondal, T.M., Hameed, Z., Shah, M.U., Khan, H., 2019. Cavitation phenomenon and its effects in Francis turbines and amassed adeptness of hydel power plant. International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies
- International Hydropower Association (IHA). (2022). Hydropower Status Report.
- Kara, R. (2011). EKSENEL TÜRBİN TASARIMI ve CFD ANALİZİ, Uludağ Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Kirmani, F., Pal, A., Mudgal, A., Shrestha, A., Siddiqui, A. (2021). Advantages and Disadvantages of Hydroelectric Power Plant. International Journal of Innovative Science and Research Technology, 6(7), ISSN 2456-2165.
- Navaraj, D. S., Esther, B. P., Solomon, N. D. (2017). Comparison of differential evolution and particle swarm optimization for optimizing the power generation potential in hydroelectric power plants using dot net. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, 12(01), 46-53. <https://doi.org/10.9790/1676>
- Necmettin Erbakan Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ders Notları. (Aralık 2023). Hidroelektrik Enerji Ve Türbinler. https://www.erbakan.edu.tr/storage/files/departman/elektrikelektronikmuhendisligi/Editor/DERS/YElkEnrUrt/Hidroelektrik_Enerji_T%C3%BCrb inleri.pdf
- Oral, F., Behçet, R., Aykut, K. (2017). Hidroelektrik Santral Rezervuar Verilerinin Enerji Üretimi Amaçlı Değerlendirilmesi. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi BEU Journal of Science, 6(2), 29-38.

- Özbay, E., Gençoğlu, M. T. (2009). Hidroelektrik Santrallerin Modellemesi. V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır.
- Paish, O. (2002). Small Hydro Power: Technology and Current Status. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 6, 537-556.
- Penche, C. (1998). Layman's Guidebook on How to Develop a Small Hydro Site-second edition. European Small Hydropower Association (ESHA), Brussels-Belgium, 1998, 266 s.
- Saçma, S., Eskikale, T., Orhon, B. E. (2017). Francis türbinlerinde döner girdap halatının titreşim ölçümleriyle belirlenmesi. VIII. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi, Denizli, 28-30 Eylül.
- Tiwari, G., Kumara, J., Prasad, B., Patel, K. V. (2020). Derivation of cavitation characteristics of a 3MW prototype Francis turbine through numerical hydrodynamic analysis. Proceedings on Science Direct, 26(2), 1439-1448.
- Tosun T. (2020). Hidrolik Enerji. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/edirne/haberler/5-hidroelektr-k-enerji-s-n-hat-20200615080657.pdf> adresinden 10 Aralık 2023 tarihinde alınmıştır.
- Wollenberg, B. F., Wood, A. J. (1996). Power System Generation Operation and Control, 2nd Ed., J. Willey&Sons, New York.
- Yavuzdemir M. (2012). Hidrolik Santrallerin Sınıflandırılması ve Hidrolik Türbin Çeşitleri. Enerji Piyasası Bülteni, 24, 59-63.

Bölüm 17

MAKİNE ÖĞRENİMİNDE ÖZNİTELİK SEÇME YÖNTEMLERİNİN KULLANIMI: GÜNCEL PYTHON UYGULAMALARI

Muhammed KOTAN¹
Ömer Faruk SEYMEN²

GİRİŞ

Veri ön işlemede önemli adımlardan biri olan öznitelik seçimi (Feature Selection - FS), model performansını iyileştirmek ve hesaplama karmaşıklığını azaltmak için bir veri kümesinden en uygun özniteliklerin belirlenmesini içermektedir. FS için önerilen teknikler, en ilgili öznitelikleri seçerek doğruluğu artırmayı, aşırı uyumu azaltmayı ve makine öğrenimi modellerinin verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır.

FS teknikleri, makine öğrenmesi modellerinin performansının ve yorumlanabilirliğinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ancak verinin boyutu ve karmaşıklığı arttıkça, FS problemleri daha zor hale gelir ve kullanılan yöntemlerin doğruluğunu etkiler (Zaimoğlu vd., 2023). Güncel çalışmalar, çok çeşitli FS yöntemleri ve bunların farklı alanlardaki uygulamaları hakkında değerli bilgiler sağlayarak, bu alanda devam eden araştırma ve geliştirmeyi vurgulamaktadırlar.

En iyi öznitelik alt kümesini bulma süreci, FS yöntemlerinde zorlu bir görevdir. Üç arama stratejisi yaygın olarak kullanılır: (i) tam arama, (ii) en kötü durumda tam arama olan rastgele arama ve (iii) sezgisel teknikler (Elminaam vd., 2021). FS için literatürde kullanılan teknikler üç kategoriye ayrılabilir: (i) filtre yöntemleri, (ii) sarmalayıcı yöntemler ve (iii) gömülü yöntemler (Elminaam vd., 2021; Liu ve Setino, 1995).

Öznitelikler arasındaki iç ilişkilere dayanarak sıralama yapan, öğrenme sürecine bağlı olmadan çalışan tekniklere filtre tabanlı (filter) teknikler denir ve hızlı teknikler olarak değerlendirilirler. Sarmalayıcılar (wrapper), her seçilen öznitelik alt kümesini değerlendirmek için belirli bir öğrenme algoritması kullanır ve sınıflandırma doğruluğunu artıran bir alt küme seçer (Elminaam vd.,

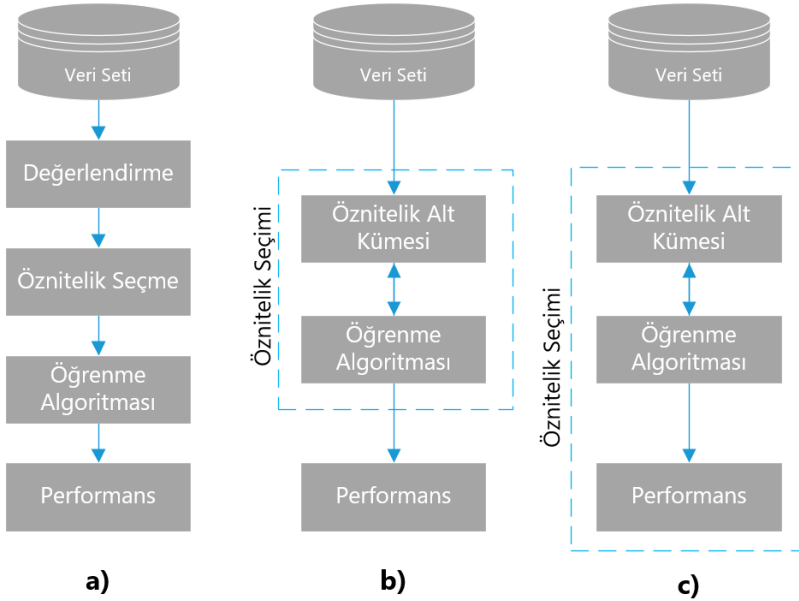
¹ Dr. Öğr. Üyesi; Sakarya Üniversitesi Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü. mkotan@sakarya.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5218-8848

² Dr. Öğr. Üyesi; Sakarya Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Bölümü. ofseymen@sakarya.edu.tr ORCID No: 0000-0003-2224-5546

2021; Nie vd., 2010). Doğruluk artmasıyla birlikte yavaşlık söz konusudur. Öğrenme hızı ve model performansını bir araya getiren gömülü yöntem ise FS'yi eğitim sürecine dahil eder (Abd Elaziz vd., 2022; Kotan, 2022). Bazı çalışmalar dördüncü bir hibrit modeli tanıtır (Abd Elaziz vd., 2022; Kotan, 2022; Salcedo-Sanz vd., 2018). Bu üç FS yöntemi ve genel yapıları sırasıyla Şekil 1. ve Şekil 2.'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Öznitelik Seçimi Yöntemleri



Şekil 2: Öznitelik Seçimi: a) Filtre, b) Sarmalayıcı, c) Gömülü

FS, model için daha az öznitelikle daha iyi sonuçlara yol açabilir. Bu noktada seçilen özniteliklerin doğruluğu, ilgisiz özniteliklerin model performansını olumsuz etkileyebileceğinden dolayı kritik bir öneme sahiptir. Günümüzde, büyük ve yüksek boyutlu veri kümelerine kolay erişim olmasına rağmen, işleme zorlukları da model performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle, FS gerçekleştirirken veri kümesinin detaylı bir anlayışına sahip olmak ve doğru yöntemi seçmek esastır.

Veri işlemeyle birlikte karşımıza çıkan FS süreci geniş bir uygulama alanı çeşitliliğine sahiptir. Görüntü işleme (Pham vd., 2020), finansal veri analizi (Simumba vd., 2022), doğal dil işleme (Ahmad vd., 2015), tıbbi veri (Oğur vd., 2023), müşteri kaybı tahmini (Al-Shourbaji vd., 2022), enerji ile ilgili çalışmalar (Salcedo-Sanz vd., 2018) gibi çeşitli alanlar bunlardan bazılarıdır. Ayrıca FS tekniklerinin incelenmesine dayalı son yıllarda birçok inceleme çalışmaları da yapılmaktadır (Venkatesh ve Anuradha, 2019; Khaire ve Dhanalakshmi, 2022).

Son yıllarda sıklıkla artan yeni teknikler ve bu tekniklerin kullanımını içeren çalışmalardan dolayı geliştiriciler genellikle kodlarını açık erişim yapmakta ve araştırmacıların kullanımına sunmaktadırlar. FS tekniklerinin kullanımını ve test edilebilirliğini kolaylaştırmaya yönelik yeni kütüphaneler ve modüller ise özellikle kod karmaşasını basitleştirdiğinden ve kolay kullanımından dolayı tercih edilmektedir. Çalışmanın devamında Python tabanlı Mealpy (Van Thieu ve Mirjalili, 2023) ve Mafese (Metaheuristic Algorithms for Feature Selection) (Van Thieu vd., 2023) kütüphanelerinin FS amaçlı kullanımlarından bahsedilecek ve örnek sonuçlar gösterilecektir.

PYTHON TABANLI MEALPY VE MAFESE KÜTÜPHANELERİ

Mafese, FS amacıyla Python dilinde geliştirilmiş çeşitli strateji ve yaklaşımları içeren bir dizi öznitelik seçimi algoritması sağlayan kütüphanelerden biridir. Kütüphane, FS tekniklerini ana hatlarıyla dört başlık altında gruplandırmaktadır:

- Filtre tabanlı FS: İstatistiksel yöntemler kullanarak ilgisiz öznitelikleri filtreler.
- Sarmalayıcı tabanlı FS: Seçilen özniteliklerin performansına göre iteratif olarak öznitelik ekleyip veya çıkararak öznitelik alt kümeleri oluşturur. Metasezgisel teknikler de bu başlık altında değerlendirilmektedir.
- Gömülü tabanlı FS: Eğitim sürecinin kendisine öznitelik seçimi mekanizmasını dahil eder. Lasso tabanlı ve ağaç tabanlı yöntemler içerir.
- Denetimsiz tabanlı FS: Özniteliklerin sınıflandırma bilgisi olmadan birbirleriyle olan ilişkilerine göre seçim yapılır.

Mafese, 200'den fazla metasezgisel algoritma sunarak çeşitli yöntemlerin kullanımını kolaylaştırmaktadır. Kütüphane, açık kaynaklıdır ve GNU General Public License (GPL) V3 lisansına sahiptir. Aktif olarak geliştirilmekte ve yeni metasezgisel algoritmalar ve özellikler eklenmektedir. Tablo 1.'de Mafese kütüphanesinin bazı özellikleri özetlenmiştir.

Tablo 1: Mafese Kütüphanesi Özellikleri

Özellik	Değer
Sarmalayıcı Tabanlı Yöntem Sayısı	>200
Filtre Tabanlı Yöntem Sayısı	>15
Gömülü Tabanlı Yöntem Sayısı	>10
Denetimsiz Tabanlı Yöntem Sayısı	>= 4
Toplam veri seti sayısı	47 sınıflandırma ve 7 regresyon
Toplam Performans Metriği Sayısı	16 Sınıflandırma ve 45 Regresyon
Toplam Objective Fonksiyon Sayısı(fitness)	16 Sınıflandırma ve 45 Regresyon
Bağımlılıklar	numpy, scipy, scikit-learn, pandas, mealpy, permetrics, plotly, kaleido

Kütüphane içerisinde en çok bulunan teknikler FS için en iyi öznitelik arama stratejilerinden biri olan metasezgisel olanları içeren sarmalayıcı tekniklerdir. Metasezgisel teknikler, sezgisel bilgilere dayalı olarak arama sürecini yönlendirerek optimal öznitelik alt kümesini keşfetme konusunda etkili ve verimli yöntemler sunar (Demirci ve Yurtay, 2021). Metasezgisel yaklaşımlar, başlangıçta rastgele çözüm kümesini iteratif olarak değiştirerek yöntemin yapısına bağlı olarak en iyi çözümleri arar (Oğur vd., 2023).

Mealpy ise karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için tasarlanmış metasezgisel optimizasyon algoritmaları koleksiyonu sunar. Son yıllarda, metasezgisel yaklaşımlar yaygın bir şekilde benimsenmiştir ve en iyi öznitelik alt kümesini bulma süreci bir optimizasyon problemi olarak kabul edilebilir. Mealpy içerisinde sunulan tekniklerin kategorizasyonu Şekil 3.'de sunulmuştur.



Şekil 3: Mealpy Optimizer Modülü

Metasezgisel algoritmalar, benchmark fonksiyonlarından makine öğrenimi modellerinin parametre optimizasyonuna kadar çeşitli pratik problemleri çözmeye oldukça etkilidir (Van Thieu ve Mirjalili, 2023; Demirci vd., 2023). Mealpy, kullanıcıların bireysel ihtiyaçlarına göre adaptasyon ve özelleştirme yapmalarını kolaylaştırarak, soruna en uygun algoritmayı seçmelerine imkân tanır. Bu sayede, makine öğrenimi, mühendislik ve iş dünyası gibi çeşitli alanlarda karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için kullanışlı bir kütüphanedir.

Mafese, metasezgisel tabanlı teknikleri FS amaçlı kullanım için Mealpy kütüphanesinde bulunan yöntemlerden kullanıcılara belirli algoritmaları seçme, değerlendirme metriklerini özelleştirme ve ayarlamayı kolaylaştırma gibi özelliklerle çeşitli FS teknikleriyle deneme yapma imkânı tanır. Dahası, popüler makine öğrenimi algoritmalarını FS sürecine entegre ederek makine öğrenimi yeteneklerini kapsar. Bu entegrasyon, seçilen özniteliklerin farklı makine öğrenimi modelleri üzerindeki etkisini değerlendirerek, optimal öznitelik alt kümelerini seçmede yardımcı olur. Popüler makine öğrenmesi yöntemleri ve çeşitli puanlama metrikleri kullanarak araştırmacıların çalışmalarını hızlı ve kolay gerçekleştirmelerine olanak tanır.

DENEYİMSEL SONUÇLAR

Bu bölümde Mafese kütüphanesinden örnek uygulama ve sonuçlar gösterilecektir. Metasezgisel tekniklere yönelik çok sayıda algoritma yer aldığından dolayı içeriklerden bazı güncel olanlar seçilecektir. Araştırmacılar, veri setlerini ve parametreleri belirleyebilirler. Ayrıca, eğitim-test oranlarını ve popülasyon boyutlarını belirleme seçenekleri de sunulmaktadır. Seçilen öznitelikler ve elde edilen küçültülmüş veri seti de ekrana yazdırılmaktadır.

Örnekler kütüphanesi içi varsayılan parametreler kullanılarak çalıştırılmıştır. Veri seti ve tekniklerin yapısına göre farklı çalıştırmalarda sonuçlar değişkenlik gösterebilir.

Geliştiricileri, deneysel çalışmalara imkân sağlamak amacıyla önceden hazırlanmış çeşitli veri setlerini Mafese bünyesine katmıştır. Bu veri setleri, kaynak kodun "mafese.utils.data_loader" bölümü altında tanımlanan "get_dataset" fonksiyonu kullanılarak kolayca koda entegre edilebilir. Tablo 2.'de bu veri setlerinin kapsamlı bir özeti sunulmaktadır. Bu veri setleri, Mafese GitHub sayfasından indirilebilir (Van Thieu, 2023a). Ayrıca, kullanıcılar kendi veri setlerini değerlendirme esnekliğine de sahiptirler.

Tablo 2: Kütüphane İçinden Erişilebilir Örnek Veri Setleri

Sınıflandırma				Regresyon
Arrhythmia	Lymphography	Zoo	jain	boston-housing computer- hardware diabetes gauss-100-20 gauss-50-12 gauss-75-17 linnerud
Blood	Madelon	aggregation	liver	
BreastCancer	Monk1	aniso	moons.	
BreastEW	Monk2	appendicitis	mouse	
CongressEW	Monk3	balance	pathbased	
Digits	Sonar	banknote	seeds	
Glass	Soybean-small	blobs	smiley	
HeartEW	SpectEW	circles	varied	
Hill-valley	Tic-tac-toe	diagnosis_II	vary-density	
Horse	Vowel	ecoli	vertebral2	
Ionosphere	WaveformEW	flame	wdbc	
Iris	Wine	heart		

Mafese kütüphane dokümantasyonundan (Van Thieu, 2023b) örnek kodların kullanımı ile çeşitli FS tekniklerine yönelik sınıflandırma ve regresyon çalışmalarında kullanılabilir örnek sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

Filtre Tabanlı

Filtre tabanlı FS için kullanılabilir yöntemler ve parametrik gösterimleri Tablo 3.'te gösterilmiştir.

Tablo 3: Filtre Tabanlı FS İçin Kütüphane İçinden Erişilebilir Yöntemler

	Parametre	Yöntem
Sınıflandırma	CHI	Ki Kare (Chi Square)
Sınıflandırma veya Regresyon	ANOVA MI KENDALL SPEARMAN POINT RELIEF RELIEF-F VLS-RELIEF-F	ANOVA F-skor Ortak Bilgi (Mutual Information) Kendall Tau korelasyon Spearman Rho korelasyon Nokta Çift Serili Korelasyon (Point-biserial correlation) Orijinal Relief Ağırlıklı ortalama Relief Çok Yüksek Ölçekli Relief (Very Large Scale Relief)
Regresyon	PEARSON	Pearson korelasyon

Filtre tabanlı FS için Mafese kullanılarak elde edilen örnek sonuçlar Tablo 4.'te sunulmuştur.

Tablo 4: Filtre Tabanlı Örnek FS Sonuçları

Veri Seti	Yöntem	Toplam Öznitelik Sayısı	Seçilen Öznitelik Sayısı	Seçilen Özniteliklerin İndeksi
Iris	KENDALL	4	2	[2 3]
Arrhythmia	ANOVA	279	5	[111 148 237 240 250]
BreastCancer	CHI	10	5	[0 2 3 6 8]

Sarmalayıcı Tabanlı

Sarmalayıcı tabanlı yöntemler kütüphane içerisinde üç başlık altında toplanmıştır. Her başlık için açıklamalar ve örnek sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

1) Özyineli (Recursive)

Özyineli modülünde geçerli desteklenen tahminleyici (estimator) parametresi için kullanılabilir modeller ve parametrik gösterimleri Tablo 5.'te sunulmuştur.

Tablo 5: Özyineli Tabanlı FS İçin Kütüphane İçinden Kullanılabilir Modeller

Parametre	Yöntem
svm	Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine kernel = 'linear')
rf	Rastgele Ormanlar (Random Forest)
adaboost	AdaBoost
xgb	Gradient Boosting
tree	Ekstra Ağaçlar (Extra Trees)

Özyineli modül için Mafese kullanılarak elde edilen örnek sonuçlar Tablo 6’da sunulmuştur.

Tablo 6: Özyineli tabanlı Örnek FS Sonuçları

Veri Seti	Yöntem	Toplam Öznitelik Sayısı	Seçilen Öznitelik Sayısı	Seçilen Özniteliklerin İndeksi
BreastCancer	rf	10	5	[2 3 5 6 7]
BreastCancer	svm	10	5	[1 3 6 7 9]
Ionosphere	adaboost	34	3	[5 20 27]

2) Sıralı (İleriye Doğru-Geriye Doğru)

Sıralı seçim modülü ileri ve geri yönlerde olmak üzere iki farklı yön (direction) parametresi içermektedir. Sıralı modülünde geçerli desteklenen tahminleyici (estimator) parametresi için kullanılabilir modeller ve parametrik gösterimleri Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7: Sıralı Tabanlı FS İçin Kütüphane İçinden Kullanılabilir Modeller

Parametre	Yöntem
knn	k en yakın komşu (k-nearest Neighbors)
svm	Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine)
rf	Rastgele Ormanlar (Random Forest)
adaboost	AdaBoost
xgb	Gradient Boosting
tree	Ekstra Ağaçlar (Extra Trees)
ann	Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network (Multi-Layer Perceptron))

Sıralı modül için Mafese kullanılarak elde edilen örnek sonuçlar Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8: Sıralı Tabanlı Örnek FS Sonuçları

Veri Seti	Yöntem	Yön	Toplam Öznitelik Sayısı	Seçilen Öznitelik Sayısı	Seçilen Özniteliklerin İndeksi
Ionosphere	knn	İleriye Doğru	34	3	[2 4 5]
Ionosphere	ann	İleriye Doğru	34	3	[0 3 4]
HeartEW	xgb	Geriye Doğru	13	5	[1 2 7 10 12]
Sonar	Tree	Geriye Doğru	60	2	[36 48]

3) Metasezgisel (Mha)

Mevcut desteklenen metasezgisel tekniklerin listesi (Van Thieu, 2023c) adresinden görüntülenebilir. Burada desteklenen sınıflandırıcılar Tablo 7 ile aynıdır. Güncel olarak 200’den fazla klasik ve yeni algoritmaları bünyesinde barındırmaktadır. Örnek kullanım için rastgele olarak seçilmiştir. Metasezgisel (mha) modül için Mafese kullanılarak elde edilen örnek sonuçlar Tablo 9’da sunulmuştur.

Tablo 9: Metasezgisel Tabanlı Örnek FS Sonuçları

Veri Seti	Yöntem	Sınıflandırıcı	Toplam Öznitelik Sayısı	Seçilen Öznitelik Sayısı	Seçilen Özniteliklerin İndeksi
Arrhythmia	BaseGA	knn	279	26	[7 21 24 42 46 54 58 69 75 89 90 91 93 97 111 117 129 142]
Arrhythmia	OriginalMPA	svm	279	9	[172 177 178 179 186 218 219 233]
Arrhythmia	OriginalWOA	svm	279	4	[10 60 69 89 90 92 111 199 247]
BreastCancer	OriginalWOA	knn	10	2	[27 39 92 111]
Sonar	OriginalARO	rf	60	9	[1 3]

Gömülü Tabanlı

Gömülü teknikler altında iki farklı yaklaşım kullanılabilmektedir.

1) Lasso

FS için Lasso tabanlı yöntemleri içermektedir. Lasso modülünde geçerli desteklenen tahminleyici (estimator) parametresi için kullanılabilir modeller ve parametrik gösterimleri Tablo 10’da sunulmuştur.

Tablo 10: Gömülü Tabanlı (Lasso) FS İçin Kütüphane İçinden Erişilebilir Yöntemler

Amaç	Parametre	Yöntem
Sınıflandırma Veya Regresyon	lasso	Lasso
Sınıflandırma	lr svm	Logistic Regression Destek Vektör Makinesi

Lasso modül için Mafese kullanılarak elde edilen örnek sonuçlar Tablo 11’de sunulmuştur.

Tablo 11: Gömülü Tabanlı (Lasso) Örnek FS Sonuçları

Veri Seti	Yöntem	Toplam Öznitelik Sayısı	Seçilen Öznitelik Sayısı	Seçilen Özniteliklerin İndeksi
Arrhythmia	Lasso	279	85	[0 2 3 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 16 17 20 27 28 30 31 32 39 40 41 42 43 44 51 52 53 54 55 56 63 64 65 66 68 75 76 77 79 80 87 88 89 90 91 92 99 100 101 102 104 111 113 114 115 116 123 124 125 126 127 128 135 136 137 138 147 149 162 168 171 177 178 181 188 190 198 208 218 220 227 228 231 232 237 238 239 241 242 246 247 248 250 251 255 257 258 267 268 278]
Lymphography	Lr	18	16	[0 1 2 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 17]
Zoo	svm	16	9	[1 3 4 5 6 7 8 11 13]

2) Ağaç (Tree)

FS için Tree tabanlı yöntemleri içermektedir. Tree modülünde geçerli desteklenen tahminleyici (estimator) parametresi için kullanılabilir modeller ve parametrik gösterimleri Tablo 12’de sunulmuştur.

Tablo12: Gömülü Tabanlı (Tree) FS İçin Kütüphane İçinden Erişilebilir Modeller

Parametre	Yöntem
rf	Rastgele Ormanlar (Random Forest)
adaboost	AdaBoost
xgb	Gradient Boosting
tree	Ekstra Ağaçlar (Extra Trees)

Tree modül için Mafese kullanılarak elde edilen örnek sonuçlar Tablo 13’de sunulmuştur.

Tablo 13: Gömülü Tabanlı (Tree) Örnek FS Sonuçları

Veri Seti	Yöntem	Toplam Öznitelik Sayısı	Seçilen Öznitelik Sayısı	Seçilen Özniteliklerin İndeksi
Arrhythmia	tree	279	151	[0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 14 16 17 20 27 28 29 32 34 39 40 44 51 52 56 64 65 68 75 76 77 80 87 88 89 90 92 94 99 100 101 102 104 111 112 113 116 123 124 125 128 135 136 137 140 147 148 149 152 159 161 162 165 166 167 168 169 170 171 172 175 176 177 178 179 180 181 185 186 187 188 189 191 195 196 197 198 199 201 202 205 206 207 208 209 210 211 212 215 216 218 219 221 222 223 225 226 227 228 229 230 231 232 233 235 236 237 238 239 240 241 242 245 246 247 248 249 251 252 255 256 257 258 259 260 261 262 265 266 267 268 269 270 271 275 276 277 278]
Lymphography	rf	18	6	[1 9 12 13 14 17]
Zoo	xgb	16	5	[1 3 8 11 12]

Denetimsiz (Unsupervised) Tabanlı

Denetimsiz tabanlı yöntemleri içermektedir.

Tablo 14: Denetimsiz Tabanlı FS İçin Kullanılabilir Yöntemler

Parametre	Yöntem
VAR	Varyans Eşikdeğeri Yöntemi (Variance Threshold)
MAD	Ortalama Mutlak Sapma (Mean Absolute Difference)
DR	Dispersiyon Oranı (Dispersion Ratio)
MCL	Çoklu Bağıntı (Multicollinearity)

Unsupervised modül için Mafese kullanılarak elde edilen örnek sonuçlar Tablo 15’te sunulmuştur.

Tablo 15: Denetimsiz Öğrenme Örnek FS Sonuçları

Veri Seti	Yöntem	Toplam Öznitelik Sayısı	Seçilen Öznitelik Sayısı	Seçilen Özniteliklerin İndeksi
diabetes	MAD	10	5	[0 1 2 3 8]
diabetes	MCL	10	5	[0 1 2 3 9]
Iris	MCL	4	2	[0 1]

SONUÇ

Öznitelik seçimi, özellikle büyük ve karmaşık veri setlerinde optimal öznitelik altkümesini seçmek için çözüm bulmada güçlü araçlardır. Bu yöntemler, çeşitli makine öğrenme problemlerinde uygulanabilirlik gösterir ve model performansını iyileştirmeye katkıda bulunur. Bu çalışmada Python tabanlı Mafese kütüphanesini kullanarak farklı FS yaklaşımlarına yönelik uygulamalar sunulmuştur. Böylece, başta metasezgisel teknikler olmak üzere çok fazla sayıda FS yaklaşım ve yöntemlerinin bir yerden sunulmasını ve FS problemlerindeki etkilerini ve performanslarını incelemeyi kolaylaştırmaktadır. Bu FS uygulama kolaylığı, araştırmacılara, uygulayıcılara ve alan uzmanlarına, veri setlerini kolayca yükleme, istenen FS yaklaşımını seçme, optimizasyon parametrelerini belirleme ve elde edilen sonuçları analiz etme imkânı sunar. Ayrıca, kullanıcıların FS sonuçlarını etkin bir şekilde yorumlamalarına ve karşılaştırmalarına yardımcı olacak açıklamalar sağlar.

Gelecekteki çalışmalar, daha geniş bir yöntem yelpazesini kapsayan ve ince ayarlı özelleştirmeye imkân tanıyan daha kapsamlı bir arayüz uygulamasının geliştirilmesini içerebilir. Bu geliştirmeler, araştırmacılara ve uygulayıcılara öznitelik seçimini etkili bir şekilde kullanma ve veri analizinde bilinçli karar verme yeteneği kazandırarak, öznitelik seçimi tekniklerinin çeşitli alanlarda yaygın olarak benimsenmesini teşvik edecektir.

REFERANSLAR

- Abd Elaziz, M., Ewees, A. A., Yousri, D., Abualigah, L., ve Al-qaness, M. A. A. (2022). Modified marine predators algorithm for feature selection: Case study metabolomics. *Knowledge and Information Systems*, 64(1), 261-287.
- Ahmad, S. R., Bakar, A. A., ve Yaakub, M. R. (2015). Metaheuristic algorithms for feature selection in sentiment analysis. *2015 Science and Information Conference (SAI)*, (pp. 222-226). London, United Kingdom: IEEE.
- Al-Shourbaji, I., Helian, N., Sun, Y., Alshathri, S., ve Abd Elaziz, M. (2022). Boosting ant colony optimization with reptile search algorithm for churn prediction. *Mathematics*, 10(7), 1031.
- Demirci, H., ve Yurtay, N. (2021). Effect of the chaotic crossover operator on breeding swarms algorithm. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 4(1), 120-130.
- Demirci, H., Yurtay, N., Yurtay, Y., ve Zaimoğlu, E. A. (2023). Electrical search algorithm: A new metaheuristic algorithm for clustering problem. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(8), 10153-10172.
- Elminaam, D. S. A., Nabil, A., Ibraheem, S. A., ve Houssein, E. H. (2021). An efficient marine predators algorithm for feature selection. *IEEE Access*, 9, 60136-60153.
- Khaire, U. M., ve Dhanalakshmi, R. (2022). Stability of feature selection algorithm: A review. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 34(4), 1060-1073.
- Kotan, M. (2022) Duygu Analizi ve Dijital Dönüşüm Üzerine Etkileri. *Dijital Etkileşimler:Sektörel Yansımaları 2*, (pp. 59:82). Gazi Kitabevi.
- Liu, H., ve Setiono, R. (1995). Chi2: Feature selection and discretization of numeric attributes. *Proceedings of 7th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, (pp. 388-391). Herndon, VA, USA: IEEE Comput. Soc. Press.
- Nie, F., Huang, H., Cai, X., ve Ding, C. (2010). Efficient and robust feature selection via joint ℓ_2 , 1-norms minimization. *Advances in neural information processing systems*, 23.
- Oğur, N. B., Kotan, M., Balta, D., Yavuz, B. Ç., Oğur, Y. S., Yuvacı, H. U., ve Yazıcı, E. (2023). Detection of depression and anxiety in the perinatal period using Marine Predators Algorithm and kNN. *Computers in Biology and Medicine*, 161, 107003.
- Pham, T. N., Tran, L. V., ve Dao, S. V. T. (2020). Early disease classification of mango leaves using feed-forward neural network and hybrid metaheuristic feature selection. *IEEE Access*, 8, 189960-189973.

- Salcedo-Sanz, S., Cornejo-Bueno, L., Prieto, L., Paredes, D., ve García-Herrera, R. (2018). Feature selection in machine learning prediction systems for renewable energy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 728-741.
- Simumba, N., Okami, S., Kodaka, A., ve Kohtake, N. (2022). Multiple objective metaheuristics for feature selection based on stakeholder requirements in credit scoring. *Decision Support Systems*, 155, 113714.
- Van Thieu, N., (2023a). *Metaheuristic Algorithms for FEature SElection Github*. <https://github.com/thieu1995/mafese/tree/main/mafese/data> adresinden 8 Ağustos 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Van Thieu, N., (2023b). *Mafese*. <https://mafese.readthedocs.io/en/latest/index.html> adresinden 8 Ağustos 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Van Thieu, N., (2023c). *Mealpy*. <https://github.com/thieu1995/mealpy> adresinden 8 Ağustos 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Van Thieu, N., ve Mirjalili, S. (2023). MEALPY: An open-source library for latest meta-heuristic algorithms in Python. *Journal of Systems Architecture*, 139, 102871.
- Van Thieu, N., Nguyen, N. H., ve Heidari, A. A. (2023). Feature Selection using Metaheuristics Made Easy: Open Source MAFESE Library in Python, *Zenodo*.
- Venkatesh, B., ve Anuradha, J. (2019). A review of feature selection and its methods. *Cybernetics and Information Technologies*, 19(1), 3-26. <https://doi.org/10.2478/cait-2019-0001>
- Zaimoğlu, E. A., Yurtay, N., Demirci, H., ve Yurtay, Y. (2023). A binary chaotic horse herd optimization algorithm for feature selection. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 44, 101453.

Bölüm 18

ROBOTİK TASARIM VE KODLAMA PROJELERİNDE SİMÜLASYONLARIN ÖNEMİ VE ÖRNEK BİR SİMÜLASYON UYGULAMASI

Mustafa AKSU¹

ÖZET

Günümüzde yapay zekâ ve robotik alanındaki gelişmeler akıllı robot sistemleri üzerindeki çalışmaları hızlandırmıştır. Gelecekte robotların yaşamın her alanında kullanımının artması beklenmektedir. Programlama becerilerinin her alanda kullanılabilir olmasıyla her yaşta eğitim süreçlerinde robotik ve kodlama becerilerine yönelik çalışmalar artmaya başlamıştır. Simülasyonlar gerçek dünya problemlerini, sanal olarak gerçek dünyadakine benzer şekilde çözmeyi sağlayan ortamlardır. Bu çalışmada robotik ve robotik kodlamada simülasyonların önemi üzerine çalışılmış ve örnek simülasyon uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen simülasyon ortamında bir robotun bir nesneyi takip etmesi gerçekleştirilmiştir. Bunun için Linux üzerinde ROS (Robot İşletim Sistemi) ortamında Gazebo simülasyon uygulaması kullanılmıştır. Tasarlanan robot simülasyon ortamında bir nesneyi takip etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Robotik kodlama, simülasyon, ROS, Gazebo

1- GİRİŞ

Robotların ve robotik uygulamaların eğitimde, günlük hayatta ve endüstride kullanımları sürekli artmaktadır. Robotlar erken dönemlerde fabrikalarda tekdüze işleri yapmak veya insanlar için tehlikeli olan işleri yapmak için tasarlanıp kullanılsa da zamanla birçok yerde kullanılır hale gelmiştir. Günümüzde ev işlerinden tutun, uzay çalışmaları, tıpta birçok alan, hatta insan benzeri humanoid robotlara kadar her alanda kullanılır olmuşlardır. Endüstriyel alanlarda ise birçok sebeplerden dolayı insan gücü yerine kullanılır hale gelmişlerdir. Örneğin ameliyatlardaki hassasiyet, kimyasalların ve zehirli maddelerin olduğu ortamlar, rutin işlerin sürekli tekrar ettiği durumlar, iş kazalarının yoğun olduğu ortamlar vb. birçok ortamda risklerden kaçınmak için

¹ Dr. Öğr. Üyesi ; Kırşehir Ahievran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. mustafa.aksu@ahievran.edu.tr ORCID No: 0000-0001-8077-6383

robotlar kullanılır hale gelmiştir. Ve bu süreç son yıllarda hızla artarak devam etmektedir.

Robotların algılaması ya da görmesi, algılayıcılar (sensörler) ve yapay zekâ ile katlanarak artmıştır. İnsan, duyu organları ile çevresini görüp tanıyıp zekası sayesinde bunları yorumlayarak birçok şeyi öğrenip yapabilmektedir. Benzer şekilde robotlar da sensörlerle (duyu organları gibi) çevreyi algılayıp yapay zekâ (beyin gibi) ile yorumlayıp öğrenerek adeta insan gibi otonom hale gelmişlerdir.

Günümüzde geliştirilen robotları genel olarak şu üç gruba ayırmak mümkündür. Bu robotları;

1. Hobi, eğlence amaçlı geliştirilenler
 2. Araştırma ve bilimsel çalışmalar için geliştirilenler
 3. Endüstriyel amaçlı geliştirilen robotlar
- şeklinde gruplandırmak doğru olacaktır.

Robotik alanında yapılan çalışmaları:

- Robotun kullanım amacına uygun mekanik ve fiziksel tasarımının yapılarak imalatının gerçekleştirilmesi,
- İmalatı gerçekleştirilen robotun otonom hale gelmesi için algoritmaların geliştirilmesi ve yapay zekâ araçlarının kullanılması,
- İmal edilen robotun yapması gereken işi/görevi başarımlı durumunun kontrolü, test edilmesi, varsa problemlerinin düzeltilmesi

olarak ifade edebiliriz. Bu sayılan maddeler çoklu disiplin çalışmasını gerektiren bir durumdur. Yani öncelikle makine ve elektrik-elektronik daha sonra ise bilgisayar, yazılım mühendislerinin birlikte çalışmasını gerektirmektedir.

Mobil robotlar herhangi bir uzaktan kumanda, ray vb. gibi bir yönlendirici veya hareketlendiriciye ihtiyaç duymazlar. Bu robotlar üzerlerindeki sensörler, aktüatörler vb. donanımlar ve algoritmalar yardımıyla harekete başlayıp ve belirlenen bir görevi tamamlayarak hareketini sonlandıran niteliktedirler (Köseoğlu vd., 2017:5). Belli bir amaç için tasarlanan bu mobil robotların görevini kusursuz gerçekleştirebilmesi için önceden oluşturulmuş doğruluğu test edilmiş algoritmalara ihtiyacı vardır. Yani otonom olmaları için robot üzerindeki algılayıcılardan gelen veriler algoritmalar tarafından işlenir, gerekirse robotun konumu tespit edilir, çevresindeki nesneler algılanır böylece robotun hedeflenen iş ya da güzergâha ulaşması görevini kusursuz yapması sağlanır (Cybulski vd., 2019:7).

Simülasyon çalışmaları, gerçek robot geliştirmeye geçilmeden önce veya gereken tasarım için donanım temininde maddi imkansızlıklardan dolayı simülatörler üzerinde gerçekleştirilir. Birçok donanım ve robot için simülasyon

ortamı mevcuttur. Arduino mikrodenetleyiciler veya Raspberry Pi kullanılarak gerçekleştirilen robotik projeleri simüle etmek için Wokwi, Tinkercad vb. çevrimiçi simülasyon ortamları mevcuttur. Daha gelişmiş robotik projeleri simüle etmek için ROS platformu ve onun üzerinde kullanılabilen Gazebo, Rviz gibi yaygın kullanılan simülasyon uygulamaları mevcuttur. ROS ortamında, Gazebo ve Rviz robot üzerindeki donanımlar arasındaki etkileşimi, ayrıca robot ile çevresel nesnelerin algılanmasını simüle etmek amacıyla kullanılır. Robot bileşenleri, Gazebo ve ROS'un birlikte çalışabilmesi için URDF (Universal Robot Description Format) dosyalarında detaylı bir şekilde tanımlanmış olması gerekmektedir. URDF dosyaları XML tabanlıdır. ROS'un sağladığı avantajlarla aynı düğümün hem simülasyon ortamında hem de gerçek dünya ortamında da gerçekleştirilmesi mümkündür. Yani aynı robotik projeleri ROS'la gerçek dünyada tasarlamak mümkündür.

Gezgin robotlar, bilinmeyen bir ortamda çevreyi haritalamak ve konum bilgisini elde etmek için genellikle SLAM (Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama) adı verilen teknolojiyi kullanır. Son yıllarda yaygınlaşan robot süpürgeler üzerlerindeki lidar sensörü ile lazer ışın yayan ve bu yolla ortam haritalaması ve konum bilgisi (SLAM) oluşturan cihazlara en iyi örneklerden biridir. SLAM teknolojisiinden önce GPS (Global Positioning System - Küresel Konumlama Sistemi) teknolojisi ile konum bilgisi elde edilmekteydi. SLAM uygulamalarında çeşitli sensörler, algılayıcılar, kameralar ve benzeri donanımlar farklı kombinasyonlarda bir araya getirilebilir. Bu sayede robot, daha önce keşfetmediği bir ortamdan veri toplayabilir ve bu verileri işleyebilir (Fıçıcı vd., 2022:8).

Bu çalışmada, öncelikle yaygın kullanılan bazı simülasyon ortamları incelenmiş olup daha sonra geliştirilen bir robotun Gazebo ortamında hareketli bir nesneyi nasıl takip ettiği Gazebo simülasyon ortamında gösterilmiştir. ROS ortamında, üç boyutlu Gazebo simülasyon ortamında gerçekleştirilen deneysel çalışma, yapılan çalışmanın detayları açıklanmıştır. Çalışmanın Sonuç ve Öneriler kısmında ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecekte robotik alanında çalışacaklara önerilerde bulunulmuştur.

2- YAZILIM

2.1. Simülasyon Ortamı ve Yazılımları

Çalışmanın bu bölümünde simülasyonların önemi, çok kullanılan simülasyon ortamları, ROS platformu gibi araçlarla ilgili bilgiler verilmiştir.

Simülasyon, bir gerçek sistemin modelini oluşturma sürecini ifade eder ve bu model üzerinde çeşitli denemeler yaparak sistemin davranışını anlamayı

amaçlar. Simülasyon, Teorik veya gerçek bir fiziksel sistemin neden-sonuç ilişkileri, bilgisayar tabanlı bir model üzerine yansıtarak, farklı koşullar altında gerçek sistemin davranışlarını bilgisayar modelinde taklit etme amacını taşıyan bir modelleme tekniğidir.

Robotik projelerde neden robot simülasyonları kullanılmalı sorusunun cevabına bakacak olursak; simülasyonular, özellikle proje başlangıç ve geliştirme aşamalarında önemli avantajlar sunar. Simülasyon ile gerçekleştirilen geliştirme ve test çalışmaları, potansiyel hata kaynaklarını erken aşamada belirleyerek uygun bileşenleri ve hareket dizilerini kesin bir şekilde tanımladığından, zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlar. Simülasyon yardımıyla çevrim süreleri kesin olarak belirlenebilir, bu da bir sistemin planlama güvenilirliğini artırır. Ayrıca simülasyonlar, başlangıçta gerçekte olmayan veya maliyetli ve zor gerçekleştirilebilecek sistemlerin denenmesini, test edilmesini sağlar. Simülasyon ortamında sistem oluşturulur ve tasarım aşamasında gözden kaçan teorik hatalar ile uygulama sırasında ortaya çıkabilecek, ancak uygulama başlamadan önce fark edilemeyen hataların birçoğu, simülasyonun sağladığı olanaklar sayesinde gözlemlenip düzeltilme şansı bulur.

2.1.1 ROS (Robot Operating System-*Robot İşletim Sistemi*) Ortamı

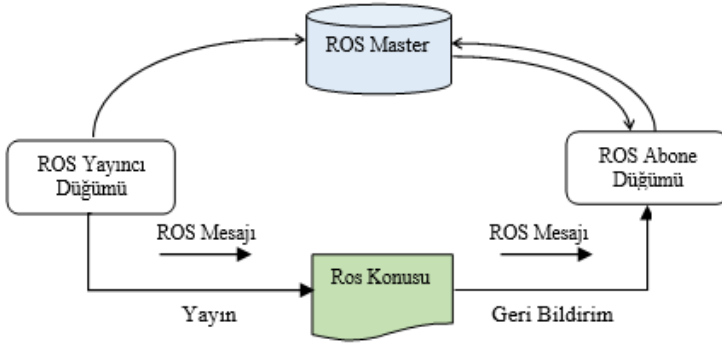
ROS (Robot Operating System - Robot İşletim Sistemi) ve paketleri robotik alanındaki uygulamalarda geliştirilen sistemleri simüle etmek için yaygın kullanılan araçlardan biridir. ROS bir meta işletim sistemidir. Yapısında bulundurduğu kütüphaneler ve araçlar ile birçok robotun kontrolü sağlanabilmektedir. Python, C++, Java, Matlab gibi programlama dilleri ile robot kontrolü için algoritmalar geliştirmeye olanak sağlamaktadır. Birçok robot platformlarını da desteklemektir. ROS, Windows işletim sistemi üzerinde ve Linux çekirdeğine sahip işletim sistemleri Ubuntu, Pardus vb. üzerinde yüklenilip çalıştırılabilir (Fıçııcı vd.,2022:8). ROS bir işlem sistemi değildir.

ROS, geliştiricilere geniş bir yelpazede imkanlar sunar; bu imkanlar arasında aygıt sürücüler, donanım soyutlama, mesaj iletimi, paket yönetimi, görselleştiriciler ve kütüphaneler bulunmaktadır. Sistem, iki temel bölümden oluşur. İlk bölüm, var olan işletim sistemine yüklenen ve ROS kütüphanelerini içeren bir yazılım paketidir. Bu temel kısım genellikle Ubuntu işletim sistemini destekler ve sistemin dayanıklılığını sağlar. Diğer bölüm ise "ros-pkg" adını taşıyan ROS paketleridir. Bu paketler, ana sistem üzerine yüklenen ve genellikle kullanıcılar tarafından oluşturulan ROS uygulamalarını içerir. Bu uygulamalar, robotlara obje ve yüz tanıma, derinlik algılama, hareket izleme ve

iki boyutlu görüntüden üç boyutlu görüntü elde etme gibi insansı özellikler kazandırabilir (Quigley vd., 2015:445).

ROS, öncelikle üniversitelerde araştırma amaçlı ortaya çıkan bir teknoloji olmasına rağmen, günümüzde araştırmacılar, hobi severler arasında da yaygın bir kullanım bulmuştur. Ubuntu üzerinde çalışan Gazebo simülasyon programı ile entegre olarak, pahalı robotları almaya gerek kalmadan bilgisayarlar üzerinde robotik projeler yapma ve bunları sanal ortamda test etme imkanı sunar (Joseph ve Cacace, 2018:580). ROS sürekli olarak bünyesine yeni araçlar, altyapı ve uygulamalar ekleyerek önemini artırmaktadır.

Şekil 1’de gösterildiği gibi, Ros işletim sistemi, ROS Master sayesinde birbiriyle yayıncı/abone olan(publisher/subscriber) modelini kullanarak haberleşen düğümlerden oluşur. Düğümler işlem yapabilen birimlerdir (Kaplan, 2020). Düğümlerin haberleşebilmeleri ve birbirlerinden haberdar olabilmeleri için Ros Master’a ihtiyaç vardır. Düğümler Ros Master’a kaydedilir ve kayıtlı düğümler arasında haberleşme gerçekleşir. Düğümler haberleşmeyi konular(topic) yayınlayıp bu konulara abone olarak gerçekleştirir (Quigley vd., 2015:445). Bir düğüm birçok konuya abone olup birden fazla konu yayımlayabilir.



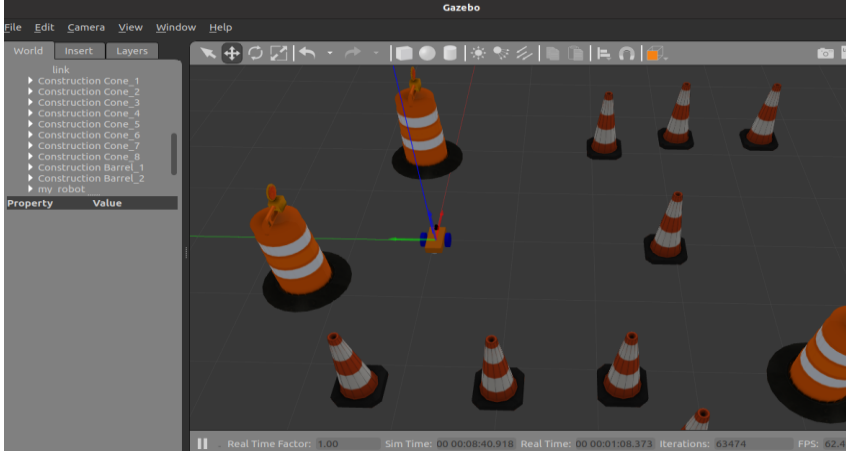
Şekil 1: ROS Çalışma Prensibi

2.1.2 Gazebo

Gazebo, sensör simülasyonu, üç boyutlu grafikler ve güçlü bir fizik motoru gibi özelliklere sahip açık kaynaklı bir robotik simülasyon yazılımıdır. İç ve dış mekanlarda çalışabilen robotların çeşitli ortamlarda test edilmesine ve geliştirilmesine olanak tanır.

Gazebo, Şekil 2’de görüldüğü gibi, robot gelişimi için temel olan üç boyutlu simülasyonu sağlayan bir simülatördür. Bu platform, robotlar, sensörler ve çevre modelleri için gerçekçi simülasyonlar sunmanın yanı sıra bir fizik

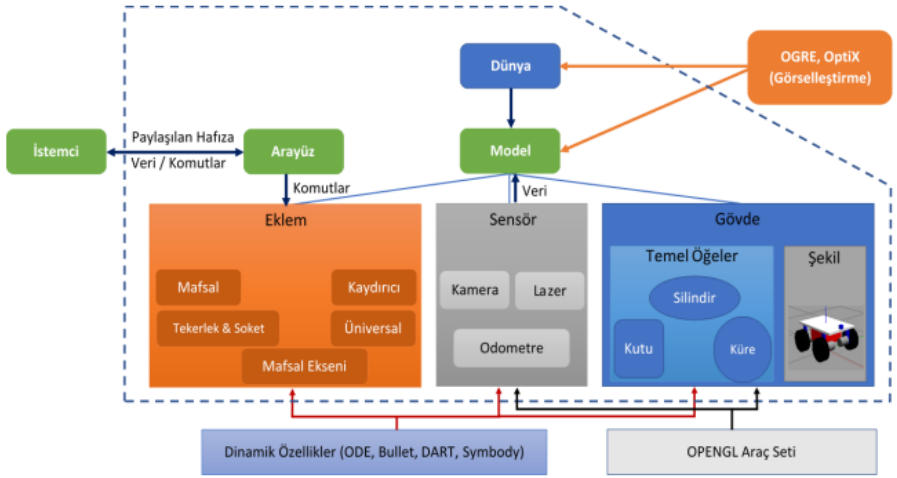
motorunu da içermektedir. Gazebo, ROS ile entegre olup kullanılabilmesinden dolayı son yıllarda popüler simülatörlerden biri haline gelmiştir. (Koenig ve Howard, 2004:6)



Şekil 2: Gazebo Simülasyon Ortamı

Gazebo yazılımı sayesinde, veritabanındaki çeşitli modellere, robotlara ve nesnelere erişim imkanı elde edilir. Bu, yalnızca veritabanındaki robotlarla sınırlı kalmadan, aynı zamanda kendi robotlarımızı ve dünyamızı oluşturma yeteneği sunar. Gazebo'nun robotları ve ROS'u bir araya getirerek çalışabilmesi için Urdf dosyası ve gazebo yapılandırma dosyalarına ihtiyaç duyar. Bu yapılandırma dosyaları sayesinde gerçeğe yakın bir simülasyon ortamı elde edilir. ROS, Gazebo'ya entegre edilmiş ve Gazebo simülasyon ortamıyla tam bir uyum içinde çalışır. Bu nedenle, projenin prototip aşamasındaki ROS paketi üzerinde geliştirilen veri yapısını test etmek için Gazebo simülasyon ortamı, hızlı bir gelişim için kullanılacaktır.

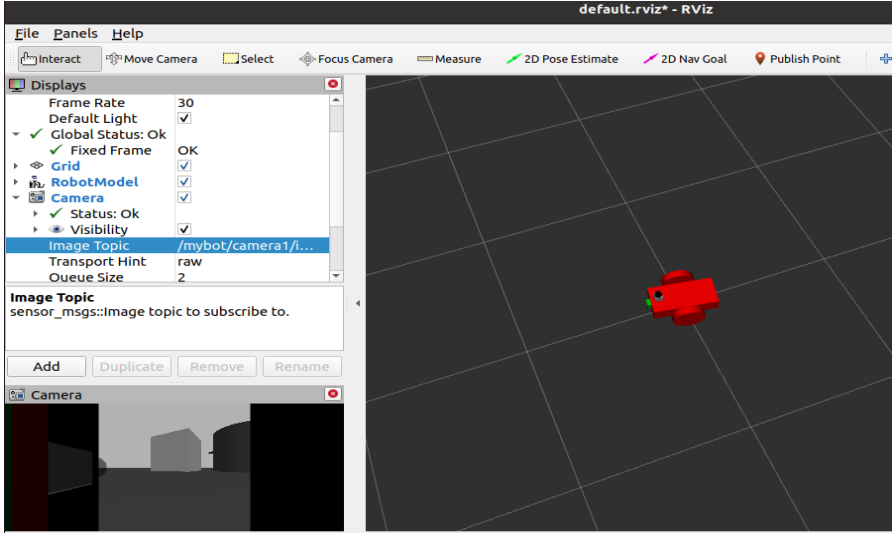
ROS ile Gazebo iletişim kurup birlikte çalışabilen bir yapıdadır. Bunu sağlamak için gazebo_ros_pkgs adlı bir paket kurulup kullanır. Bu paketler, ROS mesajları, hizmetleri ve konuları kullanarak Gazebo'da bir robotu simüle etmek için gerekli arayüzleri sağlar. Şekil 3' te Gazebo uygulamasının genel mimarisi görülmektedir.



Şekil 3: Gazebo genel mimarisi (Koca, vd., 2020:13)

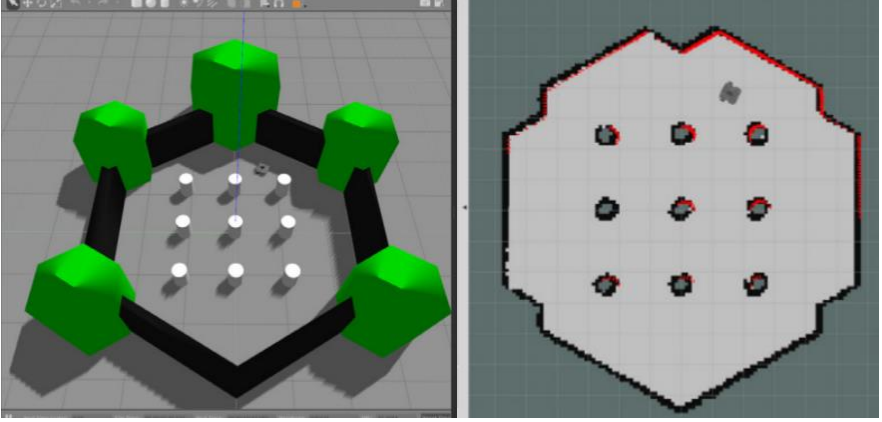
2.1.3 Rviz

Rviz (ROS Visualizer-ROS görselleştirici), ROS uygulamaları için bir 3D görselleştirme ortamıdır (Linder ve Arras, 2016:27). Rviz, robota ait modelin görüntülenmesini sağlar. Ayrıca, sensör bilgilerinin kaydedilmesi ve görselleştirilmesi, geliştirme ve hata ayıklama için de önemli bir araçtır. Robotun üzerindeki kameralardan gelen görüntüleri izlememizi ve robotun ne yaptığını görmemizi sağlayan bir ortam sunar. Şekil 4'te görsel ara yüzü görülen RViz'in, grafik arayüzü sayesinde robotun herhangi bir ortamda başlangıç noktası ve harita üzerinden gitmesi istenilen hedef noktası belirlenebilir (Özer ve İner, 2021:6). Tasarlanan robotun görüntüsüne ilaveten kamera, Lidar, üç boyutta ve iki boyutta görüntü alan cihazlardan elde edilen verileri görüntüleyebilme ve değerlendirebilme imkanı sağlar.



Şekil 4: Rviz Simülasyon Ortamı

RViz platformunun tercih edilmesinin diğer bir sebebi de, araştırmacıların SLAM (Simultaneous Localization and Mapping - Eş Zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama) problemlerinde kullanılan haritalama işlemleri için, üzerinde çalışılan projeye görsellik katarak, haritanın gerçek ortamla karşılaştırılabilmesini sağlar. Şekil 5'te görüleceği üzere gezgin robotların ortamları nasıl algıladığı görülmektedir. Gazebo ve RViz simülasyon aracı olmakla birlikte ikisi arasında şu önemli fark vardır: Şöyle ki; Gazebo, sanal olarak oluşturulmuş bir ortamı sunarken, Rviz mobil robotun hareketi esnasında çevresini nasıl algıladığını gösterip bunu görselleştirerek sunar(Quigley vd., 2015:445). Rviz'in bu görselleştirmesi sayesinde, robot çevresi hakkında bilgiler edinip bu bilgileri üç boyutlu olarak takip edebilir. Bu bilgilerle gerekli güncellemeler yapılarak, robotun nesneler ile olan ilişkisi hızlıca güncellenebilir.



(a) (b)
Şekil 5: Gerçek ortam (a) ve haritası (b)

2.2. Programlama dilleri

Gerçek dünya robotlarını veya simülasyon ortamındaki robotları geliştirilen algoritmalara göre kodlamak için birçok programlama dili mevcuttur. Bunların özelliklerine, avantajlarına bağlı olarak birisinin tercih edilmesi gerekmektedir. C/C++, Python ve Java dilleri robotik endüstrisinde kullanılan önemli dillerdendir. Ayrıca Matlab paketleri de robotik kodlamada önemli bir yere sahip olup, kullanılmaktadır.

Python: Kullanımı kolay olması ve C/C++ gibi diğer nesne yönelimli programlama dillerine kıyasla, daha az kodla aynı işlevleri yerine getirmek mümkündür.

Python, gömülü sistemleri programlamak için kullanılan oldukça yaygın bir programlama dilidir. Tüm bu kullanışlı özellikleri nedeniyle ROS'ta önemli bir güç haline gelmiştir.

Ayrıca Python gömülü sistemlerin yanısıra, kapsamlı otomasyon uygulamaları tasarlamada kullanılan Raspberry Pi ve Arduino için de kullanılan bir kodlama dilidir.

C ve C++: Bol araç, zengin kütüphaneler ve işlevler sunan C/C++ dili kullanışlı robotik programlama aracıdır. Bu özelliklerinden dolayı C/C++ robotik kodlama gerçekleştirmek için öğrenilmesi gereken bir dildir. Çünkü C/C++, donanım katmanına daha kolay erişim sağladığı için robotik kodlama alanındaki kullanışlı ve yaygın kullanılan programlama dillerinden biridir. Özellikle kaynaklar sınırlı olduğunda, örneğin bellek gibi, C dili etkin bir şekilde kullanılabilir.

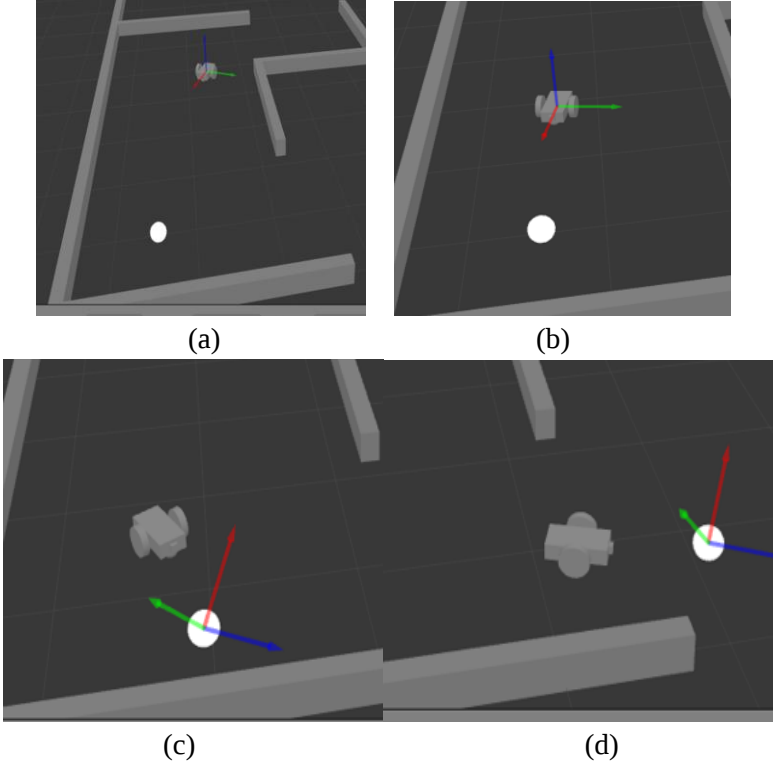
Java: Robotik kodlamada gerekli olan birçok özelliği sunar. Ayrıca Java platformlardan bağımsız olarak çalışmaktadır.

3- SİMÜLASYON UYGULAMASI VE DENEYSEL BULGULAR

Bu çalışmada Ubuntu 20.04 LTS (Long Term Support-Uzun Süreli Destek) işletim sistemi üzerine ROS Noetic sürümü yüklenilip kullanılmıştır. Nesne takip eden robot simülasyonu Ubuntu işletim sistemi ortamında ROS ve Gazebo kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Robot eklemlerinin, eklem tiplerinin, bağlantılarının, ve robot hareketinin konumu ve geometrisini bilmek gerekmektedir. Simülasyonlar bir robotu modelleme, bu robotun aktüatörlerini kontrol etme, sensörlerinden alınan verileri işleme, algoritmaları test edip değerlendirme gibi yeteneklere sahip olması açısından önemlidir. ROS'ta robot kinematik modelini, gerçekleştirebilmek için uygun bir formata çevirmeye izin veren bir yapıya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özellik, ROS'un robot modellerini Birleşik Robot Tanımlama Biçimi (URDF) adlı bir XML formatında tanımlama yeteneği ile sağlanır. URDF, her bir modelin serbestlik derecesine göre hareket ettirilebildiği üç boyutlu bir model olarak tanımlanabilir ve bu sayede robotlar simülasyon veya kontrol amaçlarıyla kullanılabilir hale gelir. URDF dosyaları, robotun fiziksel yapılandırmasını belirleyen detayları içerir, örneğin tekerlek sayısı, konumları ve dönüş yönlendirmeleri gibi bilgiler. Bu bilgiler, ROS'un üç boyutlu görselleştirme aracı olan Rviz tarafından görüntülemek için kullanılır (Yılmaz ve Bayındır, 2019:17).

Bu çalışmada, üzerin kamera, ana şase ve tekerlekler olan bir robot oluşturulmuştur. Farklı bölümlerden oluşan bir dünya oluşturulmuş olup bu dünya Gazebo ortamında açılmaktadır. Gazebo'nun ROS ile beraber çalışabilmesi için robotun tüm unsurlarının açıklandığı XML tabanlı bir URDF (Universal Robot Description Format) dosyası ve Gazebo için yapılandırma dosyaları oluşturulmuştur. URDF dosyası oluşturulurken robot ile ilişkili ekipmanların eklem ve bağlantı yerlerinin doğru bir biçimde konumlandırılması gerekmektedir. Gazebo ortamında kendi robotumuz yerine hazır bir robot olan Turtlebot 3 gibi mobil robotlarda kullanılabilir.



Şekil 6: Simülasyon Ortamındaki Uygulama

Yapılan testlerde, geliştirilen algoritma parametreleri değiştirildiğinde hedefe yaklaşma ve takip başarımının değişmediği görülmüş olup, sanal ortamda işlemin başarı ile gerçekleştiği Şekil 6'da olduğu gibi görülmüştür.

Geliştirilen sanal robotun simülasyon ortamındaki nesneye yönelmesi ve onu takip etmesi için geliştirilen uygulamanın C++ kodundan bir bölüm Şekil 7'de görülmektedir. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak robotun özellikleri belirlenen cismi takip etmesi sağlanmaktadır.

```

index = -1
for (int i = 0; i<image.data.size(); i+=3)
{
    if (image.data[i]==255 && image.data[i+1]==255
        && image.data[i+2]==255)
    {
        index = i;
        break;
    }
}
if (index != -1)
    index = (index%(image.width*3))/3;
if (index == -1) {
    moveRobot(0.0,0.0);
} else if (index < image.width * 2/3) {
    moveRobot(0.5,0.0);
} else if (index < image.width /3) {
    moveRobot(0.0,0.5);
} else {
    moveRobot(0.0, -0.5);
}

```

Şekil 7: Görüntü işleme ile Robotun Nesneyi takip etmesi

4- SONUÇ ve ÖNERİLER

Gezgin robotlar günümüzde başta askeri amaçlar olmak üzere terör eylemlerini, tuzakları mayınları temizlemede, kara aracı, hava aracı, sualtı aracı olarak askeri alanlarda keşif yapmak için kullanılırken, arazi taramalarında, tarımsal işlemlerde, ortam temizlik işlemleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu robotlar fiziksel olarak gerçek manada geliştirilmeden test edilmeden önce simülasyon ortamlarında geliştirilip test edilmesi hatalardan arındırılması gerekmektedir. Gerçek tasarımdan önce simülasyon çalışmalarının yapılması; ekonomik açıdan, dönülmez tasarım hatalarından, projenin uygunluğunu görme açısından faydalar sağlayacaktır.

Gazebo Simülasyon yazılımı çeşitli ortamlarda robotun gerçek zamanlı davranışını test etmek, geliştirmek ve iyileştirmek için kullanılır. Tasarlanmış ve bir algoritmaya göre çalışması simülasyon ortamında test edilmiş, hatalarından arındırılmış bir robot, daha sonraki aşamada gerçek robot davranışı beklentilerini karşılayacağı için üretimi yapılabilir.

Bu çalışmada, tasarlanan mobil robotun simülasyonu gerçekleştirilmiş ve test edilmiştir. Simülasyonla gerçekleştirilen robot gerçek dünyada bir robot davranışından beklenenleri sergilemiştir. Robot simülasyon ortamında test edilmiş iyileştirmesi yapılmış ve bu sayede bir nesneyi başarılı bir şekilde takip

ettiği görülmüştür. Bu alışma geliştirilerek farklı robot simülasyonları oluşturulup kullanılabilir. Sonraki çalışmalarda bir nesnenin yerini bulma işlemi, ortam değişiminin tespiti, hareketli bantlarda nesne sınıflandırma vb. görüntü işleme uygulamaları gerçekleştirilebilir. Bu amaçlarla farklı robot tasarımları, simülasyonlar ile gerçekleştirilip performansları test edilebilir.

Maddi imkanların kısıtlı olduğu durumlarda, kurum, kuruluş laboratuvarlarının kullanılamadığı durumlarda simülasyonlar robotik kodlama ğretiminde önemli bir yere sahip olacaktır. Eğitsel simülatörler yüz yüze eğitimin kesintiye uğradığı Covid-19 dönemlerinde olduğu gibi bir öğrenme aracı olarakta kullanılabilir.

REFERANSLAR

- Cybulski, B., Wegierska, A., ve Granosik, G. (2019). Accuracy comparison of navigation local planners on ROS-based mobile robot. 12th International Workshop on Robot Motion and Control, RoMoCo 2019 - Workshop Proceedings, 104–111. <https://doi.org/10.1109/RoMoCo.2019.8787346>
- Fıçıcı, T., Tüfekçi, Z., Ağgöl, B., Canbaz, S. , Erdemir, G., (2022), Özerk Gezin Bir Robot İçin Bilinmeyen Bir Ortamda Nesne Arama ve Haritalama Uygulaması, Fırat Üniversitesi Uzay ve Savunma Teknolojileri Dergisi, 1(1), 160-167
- Joseph, L., Cacace, J. (2018). Mastering ROS for Robotics Programming: Design, build, and simulate complex robots using the Robot Operating System. Packt Publishing Ltd.
- Kaplan, S., (2020), ROS: Robot Operating System Nedir?. <https://devnot.com/2020/ros-robot-operating-system-nedir/> Adresinden 13 Aralık 2023 tarihinde alınmıştır.
- Koca, Y.B., Gökçe, B., Aslan, Y. (2020), ROS/Gazebo Ortamında Tank Sürüş Özellikli Mobil Bir Robotun Simülasyonu, Journals of Materials and Mechatronics:A , 1(1), pp 29-41,
- Koenig N., Howard A., Design and Use Paradigms for Gazebo an Open-Source Multi-Robot Simulator, In 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), (IEEE Cat. No. 04CH37566), IEEE, 2149–2154, 2004.
- Köseoğlu, M., Çelik, O. M., ve Pektaş, Ö. (2017). Design of an autonomous mobile robot based on ROS. IDAP 2017 - International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium. <https://doi.org/10.1109/IDAP.2017.8090199>
- Linder, T., Arras, K. O. (2016). People detection, tracking and visualization using ros on a mobile service robot. In Robot Operating System (ROS) (pp. 187-213). Springer, Cham.
- Özer, E., Inner, B. (2021). Tekstil Sektörü için ROS Destekli Otonom Mobil Robot Geliştirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (26), 482-487.
- Quigley, M., Gerkey, B., Smart, W. D. (2015). Programming Robots with ROS: a practical introduction to the Robot Operating System. " O'Reilly Media, Inc."
- Zahir Y., Bayındır L., Simulation of Lidar-Based Robot Detection Task Using ROS and Gazebo, European Journal of Science and Technology, (October), 513–29, 2019.

Bölüm 19

ÜRETİMDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM VE YAPAY ZEKA

Dr. Ömer Faruk SEYMEN¹

Dr. Hüseyin DEMİRCİ²

GİRİŞ

Rekabetin yoğunlaştığı süreçte üretimin Yapay Zeka (YZ) ile desteklenmesi, çağdaş üretim anlayışında dönüştürücü bir ilerlemeye yol açmıştır. YZ eğitim, gündelik yaşam, sağlık ve üretimde sıklıkla karşımıza çıkmakta ve şu anda yapay zeka içeren uygulamalar her alanda kullanılmaktadır. Bu bölümde üretim süreçlerinin optimize edilmesinden karar alma ve kalite kontrolün geliştirilmesine kadar yapay zekanın üretim alanındaki çeşitli uygulamaları incelenmektedir. Teknolojik yenilik ve çevresel sorumluluğun kesişiminde bulunan YZ, detaylı ince ayrıntılı inceleme ve bilimsel araştırma gerektiren ve sürekli gelişen bir çalışma ve uygulama alanıdır.

Firmalar, bulundukları rekabet ortamında temel fonksiyonlarından biri olan üretim içindeki verimlilik, işgücü, kalite ve üretim maliyeti gibi zorlukları YZ'nin desteği ile düzenlemekte ve verimlilik ve müşteri odaklı bir dönüşüm geçirmektedirler. Dijital, fiziksel ve biyolojik teknolojilerin entegrasyonunun damgasını vurduğu Dördüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 4.0), YZ'nin sürdürülebilir uygulamaları teorik söylem alanlarının ötesine nasıl taşıyabileceğini incelemek için verimli bir zemin sağlamaktadır.

YZ'nin üretim sektörüne entegrasyonu, sahip olduğu veri işleme, veri analiz imkanları ile sunduğu imkanlarla verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından reform etkisi göstermiştir (Thon vd., 2021; Zhao ve Zhang, 2023). YZ, endüstrinin her aşamasında karar alma, maliyetleme, süreç yönetimi, kontrol, bakım ve otomasyon süreçlerinde dönüşümünü ile akıllı üretim sistemlerinin benimsenmesini sağlamıştır (Nascimento vd., 2019; Tzafestas ve Verbruggen, 1995).

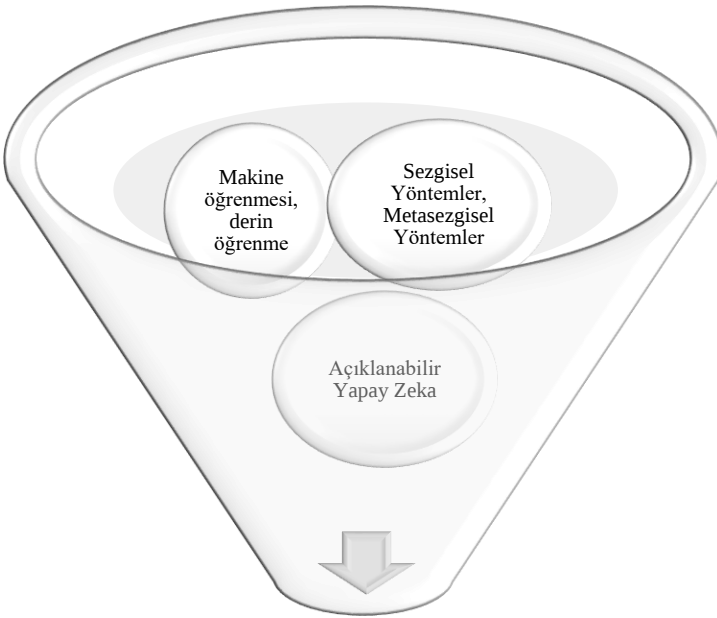
Makine mühendisliği bağlamında, üretim süreçlerinde üretkenliği ve otomasyonu artırmak için YZ teknolojisinden giderek daha fazla yararlanılmaktadır (Artıkın, 2022). Ek olarak, akıllı üretimde endüstriyel yapay

¹ Dr. Öğr. Üyesi; Sakarya Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Bölümü ofseymen@sakarya.edu.tr ORCID NO: 0000-0003-2224-5546

² Arş. Gör. Dr.; Sakarya Üniversitesi Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği huseyind@sakarya.edu.tr ORCID NO: 0000-0002-5784-0786

zekayı değerlendirmek için bir olgunluk modelinin geliştirilmesi, üretim performansını değerlendirmede ve akıllı üretim vizyonlarını gerçekleştirmede yapay zekanın önemini vurgulamıştır (Chen vd., 2022).

Küçük ve orta ölçekli işletmelerin dijitalleştirilmesinde blockchain, yapay zeka ve endüstriyel IoT'nin işbirlikçi rolü araştırılarak üretimde dijital dönüşüme yönelik teorik uygulamalar ve stratejiler sunulmuştur (Khan vd., 2023). Ek olarak, dijital otomasyon ve yapay zeka teknolojilerinin sentezi, uyarlanabilir ve değiştirilebilir üretim sistemlerine yol açarak yapay zekanın üretimde ilerlemesini teşvik etmiştir (Tseng vd., 2022).



Üretimde Yapay Zeka Yöntemleri

Şekil 1. Üretim Sorunlarını Çözmeye Yönelik Yapay Zeka Yöntemleri

Bu araştırma, sürdürülebilirlik ve üretim optimizasyonuna katkıda bulunan belirli YZ uygulamalarını anlatmayı amaçlamaktadır. İncelenen her bir kavram, üretimdeki çeşitli sorunları tespitine, çözümüne veya elimine etmeye ve ayrıca kaynak kullanımını da en iyileyen kestirimci bakım algoritmalarının anlatımına, tedarik zincirini baştan sona düzenleyen modellerin tanıtımına ve firmanın genel sürdürülebilirliğinin sağlanmasına katkıda bulunmaya ana hatlarıyla açıklanacaktır. Bu uygulamalar tartışılarak, yapay zekanın imalat sektöründe nasıl dinamik bir pozitif değişim aracı olarak faaliyet gösterdiğine dair tam bir bilgi sağlanmaya çalışılacaktır.

Ancak, yapay zekanın üretime dahil edilmesi tek boyutlu bir verimlilik faydasından daha fazlasını içermekte; insan-makine işbirliği potansiyeli ve dönüşümü gibi etik ve kavramsal tartışmalarının yer aldığı bir süreçtir (Bostrom, 2017). Yapay zeka destekli otomasyonun etik sonuçları, özellikle de işgücünün yerinden edilmesi ve sosyoekonomik etkileri açısından dikkatle incelenmelidir. Sonuç olarak, bu makale sadece YZ'nin verimlilik avantajlarını araştırmakla kalmayacak, aynı zamanda sürdürülebilir üretimin dokusuna dokunması gereken etik çerçeveleri ve sorumlu YZ uygulamalarını eleştirel bir şekilde değerlendirecektir. Şu sorular irdelenecektir:

- Yapay zeka ve sürdürülebilirliğin kesiştiği noktada ortaya çıkabilecek sonuçları şekillendirecek trendler nelerdir?

- Üretimde yapay zeka teknolojilerinin sorumlu ve adil bir şekilde konuşturulmasını sağlamak için hangi zorlukların üstesinden gelinmelidir?

Bu çalışmada disiplin sınırlarını aşan ve cevap aranan sorunlara katkıda bulunmak ve yapay zekanın imalat sektörü ve ötesi için sürdürülebilir ve dirençli bir gelecek yaratmada nasıl araçsal bir güç olarak hizmet edebileceğine dair bir anlayış sunulacaktır.

1. ÜRETİMDE YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ

Bu bölüm, endüstriyel süreçlerde YZ tekniklerinin uygulanmasının derinlemesine incelenmesini sağlayacaktır. Amaç, YZ teknolojisinin çeşitli endüstriyel bağlamlarda verimliliği, karar vermeyi ve genel üretkenliği nasıl artırabileceğini göstermektir. Tablo 1, üretimde kullanılan YZ ilkelerinin yanı sıra literatür verilerini ve bunların tarihsel gelişimini göstermektedir. Tabloda çeşitli YZ kavramları, bunların temel özellikleri, literatürde bilinen en eski çıktı çalışmaları ve üretimde nasıl kullanıldıkları açıklanmaktadır. Bu tabloda yer alan YZ kavramları sırasıyla açıklanacaktır.

Tablo 1: Üretimde genel yapay zeka yöntemleri ve açıklamaları

Kategori	Anahtar özellikler	Literatür	Üretim Uygulamaları
Makine Öğrenmesi	Sistemlerin deneyimlerden öğrenmesini ve gelişmesini sağlamak için algoritmalar kullanır	Samuel'in "Dama" (1959)	Tahmine Dayalı Analitik, Müşteri Segmentasyonu, Dolandırıcılık Tespiti, Öneri Sistemleri, Doğal Dil İşleme (NLP)
Derin Öğrenme	Çok katmanlı sinir ağları	McCulloch ve Pitts'in sinir ağları (1943), Rosenblatt'ın Perceptron'u (1957),	Görüntü ve Konuşma Tanıma, Otonom Araçlar, Sağlık Hizmetleri (Tıbbi

		Geri yayılım algoritması (1986), Evrimsel Sinir Ağları (CNN'ler) (1998), Deep Blue'nun Kasparov'u yenmesi (1997)	Görüntüleme), Finansal Tahmin
Sezgisel Algoritmalar	Temel kural veya pratik bir yaklaşım	İlk optimizasyon algoritmaları, Yerel arama buluşsal yöntemlerinin geliştirilmesi (1950'ler), Evrimsel algoritmalar (1960'lar), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (1992)	Gezgin Satıcı Problemi, İş Planlama, Kaynak Tahsisi
Metasezgisel Algoritmalar	Optimizasyon için daha üst düzey stratejiler	Genetik Algoritmalar (1975), Tavlama Simülasyonu (1983), Parçacık Sürü Optimizasyonu (1995), Tabu Arama (1986)	Araç Rotalama, Ağ Tasarımı ve Optimizasyonu, Tedarik Zinciri Yönetimi
Takviyeli Öğrenme	Temsilciler deneme yanılma yoluyla öğrenir	Ağlar (DQN) (2013), AlphaGo'nun başarısı (2016)	Robotik, Oyun Oynama (AlphaGo), Finans (Algoritmik Ticaret), Süreç Optimizasyonu

2. MAKİNE ÖĞRENMESİ

Makine öğrenimi algoritmaları, bilgisayarların kalıpları anlamasına, yargıda bulunmasına ve açıkça programlanmadan performanslarını geliştirmesine olanak tanıyan hesaplama modelleri veya teknikleridir. Makine öğreniminin amacı, bilgisayarların deneyim veya verilere dayanarak otomatik olarak öğrenmesini ve uyum sağlamasını sağlamaktır.

Temelde bilgisayara belirli bir faaliyeti yapması için açık talimatlar verilir. Öte yandan makine öğrenimi, bir sistemin her durum için açıkça programlanmadan verilerden öğrenmesini, kalıpları keşfetmesini ve tahminlerde veya yargılarda bulunmasını sağlayan algoritmalar kullanır. Algoritma, öğrenme aşaması boyunca sunulan verilere dayanarak dahili parametrelerini ayarlar ve yeni, daha önce görülmemiş veriler üzerinde genelleme ve tahmin yapmasına olanak tanır.

Makine öğrenimi genel olarak üç kategoride değerlendirilir:

- **Denetimli Öğrenme:** Bu algoritma, giriş verilerinin karşılık gelen çıkış etiketleriyle eşleştirildiği etiketli verilerden öğrenir. Algoritma bu eğitim

verilerine dayanarak tahminlerde bulunur veya kararlar alır ve tahminlerini doğru etiketlerle karşılaştırarak performansı değerlendirilir. Ortak görevler sınıflandırma ve regresyonu içerir.

- **Denetimsiz Öğrenme:** Denetimsiz öğrenme algoritmaları, etiketlenmemiş veriler üzerinde çalışarak veriler içindeki kalıpları veya yapıları bulmaya çalışır. Kümeleme ve boyutluluğun azaltılması, denetimsiz öğrenmede yaygın görevlerdir. Algoritma, açık bir rehberlik olmadan doğal yapıları keşfeder (Sanger, 1989).

- **Takviyeli Öğrenme (Reinforcement Learning):** Takviyeli öğrenmede, bir etmen, bir ortamla etkileşime girerek karar vermeyi öğrenir. Temsilci, eylemlerine bağlı olarak ödül veya ceza şeklinde geri bildirim alır ve zaman içinde en uygun stratejileri öğrenmesine olanak tanır (Sutton ve Barto, 2018). Takviyeli öğrenme genellikle bir aracın bir hedefe ulaşması için bir dizi karar vermesi gereken senaryolarda kullanılır.

Makine öğrenimi algoritmaları farklı görevler ve veri türleri için uygundur ve kullanılan algoritma, eldeki sorunun benzersiz ihtiyaçlarına göre belirlenir. Algoritmalar, veri kullanılabilirliği ve bilgisayar gücü geliştikçe makine öğrenimi de gelişmeye devam etmekte ve çeşitli sektörlerde yaygın olarak uygulanabilirliğini artırmaktadır. Makine öğrenimi algoritmaları, geleneksel üretim süreçlerini dönüştürerek üretimde geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Üretimdeki bazı önemli makine öğrenimi uygulamaları şunlardır:

2.1. Tahmine Dayalı Bakım (Predictive Maintenance)

Tahmine dayalı bakımda, denetimli makine öğrenimi teknikleri geçmiş ekipman verilerini analiz etmek için kullanışlıdır. Bu algoritmalar, gelişmiş örüntü tanıma kullanarak makine arızalarından önce gelen küçük semptomları tanır ve bakımın ne zaman gerekli olduğunu tahmin etmelerini sağlar (Susto vd., 2015). Birincil hedef, olası sorunları ciddi arızalara dönüşmeden önce tespit ederek arıza giderme süresini ve bakım maliyetlerini azaltmaktır. Bu yöntem yalnızca işletme verimliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda bakım süreçlerinin maliyet etkinliğini de önemli ölçüde iyileştirir.

2.2. Tedarik Zinciri Optimizasyonu

Tedarik zinciri optimizasyonu çerçevesinde makine öğrenimi modelleri, tarihsel tedarik zinciri verilerinin karmaşıklığını araştırır. Bu algoritmalar, talep modellerini tahmin eder ve önemli veri işlemeyi kullanarak envanter seviyelerini dinamik olarak optimize eder. Temel amaç, özellikle değişken pazar talepleri

ışığında tedarik zinciri verimliliğini ve yanıt verme yeteneğini geliştirmektedir (Carbonneau vd., 2008). Kuruluşlar, talep tahmininin doğruluğu ile envanter verimliliği arasında denge kurulması amacıyla tedarik zinciri operasyonlarında makine öğrenimi yöntemlerini uygulayarak daha çevik ve uyarlanabilir bir üretim ortamı yaratabilirler.

2.3. Kalite Tahmin Modelleri

Kalite tahmini konusunda uzmanlaşmış makine öğrenimi algoritmaları, yüksek ürün kalitesi arayışında ürün kalitesine ilişkin geçmiş verileri inceler. Bu algoritmalar, olası kusurlara işaret eden kalıpları ve eğilimleri tanır ve kusurların gerçek zamanlı olarak öngörülmesine ve bazı durumlarda önlenmesine olanak tanır (Lieber vd., 2013). Buradaki genel amaç, üretim sürecindeki olası sorunları en kısa sürede fark edip düzelterek ürün kalitesini arttırmaktır. Bu uygulama ile ürün kalitesi, üretim süreçlerinin genel verimliliği ve güvenilirliği artırılmış olur.

3. DERİN ÖĞRENME

Derin sinir ağları olarak da bilinen derin öğrenme çok katmanlı sinir ağlarına odaklanan bir makine öğrenimi yöntemidir. Bu ağlar, karmaşık hiyerarşik veri temsillerini öğrenebilir, resim ve konuşma tanıma, doğal dil işleme ve karmaşık desen tanıma zorluklarında iyi performans gösterir (Kahraman vd., 2021).

Derin Öğrenmenin Temel Bileşenleri şunlardır:

- *Sinir Ağları:* Derin öğrenme modelleri, katmanlar halinde düzenlenmiş birbirine bağlı düğümlerden oluşan sinir ağlarından oluşur. Her katman bilgiyi işler ve girdi verilerinden giderek daha soyut özellikler çıkarır.
- *Derin Sinir Ağları:* Sinir ağlarındaki gizli katman sayısının birden fazla olduğunu vurgular. Bu ağların derinliği, verilerdeki karmaşık kalıpları yakalayarak özelliklerin hiyerarşik temsillerini otomatik olarak öğrenmelerine olanak tanır.
- *Aktivasyon Fonksiyonları:* Sinir ağlarına doğrusal olmayan durumlar ekleyerek giriş ve çıkışlar arasındaki karmaşık eşlemeleri öğrenmesini sağlar. Yaygın aktivasyon fonksiyonları arasında ReLU (Düzeltilmiş Doğrusal Birim) ve sigmoid bulunur.
- *Geri yayılım (Backpropagation):* Derin öğrenme modelleri, eğitim sırasında düğümler arasındaki bağlantıların ağırlıklarını ayarlamak için geri yayılımı kullanır. Bu süreç, tahmin edilen sınıf veya değer ile gerçek sınıf veya değer arasındaki farkın en aza indirilmesini içerir.

Derin öğrenmeye ve bunun üretimde nasıl kullanılabileceğine yönelik bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir:

Kusur Tespiti için Bilgisayarlı Görme

Derin öğrenme modelleri, özellikle de evrişimli sinir ağları (CNN'ler), bilgisayar görüşü yoluyla kusur tespitinde devrim yaratmanın ön saflarında yer almaktadır. Üretim süreçleri bağlamında bu modeller, görüntüleri olağanüstü düzeyde ayrıntıyla analiz eder, kusurları olağanüstü düzeyde doğrulukla tespit edip sınıflandırır. Burada ele alınan temel zorluk, üretim aşamasında kusurları hızlıca ve doğrulukla tespit ederek kalite kontrol çabalarını otomatikleştirmek ve iyileştirmektir. Kuruluşlar, derin öğrenmeyi hata tespitine entegre ederek kalite güvence süreçlerinin hassasiyetini ve verimliliğini önemli ölçüde artırabilir (Kotan ve Öz, 2017).

Gerçek Zamanlı Analitik

Büyük miktarda gerçek zamanlı veriyi analiz edebilen derin öğrenme algoritmaları, üretim ortamlarında gerçek zamanlı analizlerin etkinleştirilmesinde faydalıdır. Bu algoritmalar, bu sürekli veri akışından karmaşık modeller ve öngörüler elde ederek karar vericilerin üretim hattından gelen en son bilgilere dayanarak hızlı ve eğitilmiş kararlar almasına olanak tanır (Liu vd., 2020). Burada ele alınan öncelikli konu, süreçlerin optimize edilmesi, darboğazların belirlenmesi ve sorunsuz operasyonların sağlanması için gerçek zamanlı verilerin hayati önem taşıdığı dinamik üretim ortamlarında hızlı karar verme gerekliliğidir.

Doğal Dil İşleme

Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing - NLP) algoritmaları, karar destek sistemleri alanında birden fazla kaynaktan gelen metin girdilerinin analiz edilmesi ve yorumlanmasında dilin bağlamını ve inceliklerini kavrayarak bağlama duyarlı karar desteği sağlamaktadırlar. Çok miktarda metinsel bilgiyle uğraşan üretim yöneticileri için bu verilerin ayrıştırılmasına yardımcı olarak bilinçli karar almayı olanaklı hale getirir böylelikle üretimde karar destek sistemlerinin verimliliğini ve etkinliğini artırır (Kotan, 2022).

4. SEZGİSEL VE METASEZGİSEL ALGORİTMALAR

Sezgisel yöntemler, karmaşık durumlara pratik ve çoğunlukla zayıf çözümler bulmak için kullanılan problem çözme yaklaşımları veya temel kurallardır (Johnson, 1973). Kesin algoritmaların aşırı çalışma süresi gerektirmesi sezgisel yöntemlerin ise daha büyük problemler için makul sürelerde iyi yanıtlar üretmesine rağmen, ancak en iyi yanıtın ortaya çıkacağına dair hiçbir garanti vermemesi söz konusudur (Lin ve Kernighan, 1973). Sezgisel yöntem, eldeki durum için "yeterince iyi" olan makul derecede iyi bir çözümü mümkün olduğu kadar hızlı bulmaya çalışır.

Sezgisel algoritma örnekleri aşağıda verilmiştir:

- **Açgözlü (Greedy) Sezgisel Yöntem:** Açgözlü bir algoritma, en iyi cevabı bulma umuduyla uzun vadeli sonuçları dikkate almadan en iyi yerel seçimi yapmaya çalışır. Açgözlü algoritmalar diğer optimizasyon algoritmaları gibi en iyi sonucu vermemekle birlikte matroid durumunda her zaman optimizasyon sorununu çözer (Vince, 2002).

- **En Yakın Komşu (Nearest Neighbour) Sezgisel Yöntemi:** Belirli bir bağlamda mevcut en yakın seçeneğin seçilmesi, genellikle yönlendirme veya zamanlama problemlerinde kullanılır. Gezgin Satıcı Problemi için bu algoritma her adımda açgözlü davranarak yerel minimumlara takılma eğiliminde olacaktır. En yakın komşu sezgisel yöntemiyle elde edilen tipik konfigürasyonlar, birbirinden uzak olan Grotschel'in 442-şehir kümelerini birbirine bağlamak için kaçınılmaz olarak kare boyunca uzun çizgilerle işaretlenerek yerel minimumlardan kaçılır ve hareketli satıcıya herhangi bir başlangıç enerjisi verilmeden derin veya geniş olmayan yerel minimumlarda denge sağlanır (Lin ve Hsueh, 1994).

- **Tepe Tırmanma (Hill Climbing) Sezgisel Yöntemi:** Küçük artımlı değişiklikler yaparak çözüm alanında daha iyi bir çözüme doğru tekrarlı olarak ilerlemektir yani amaç fonksiyonunun mevcut değerini iyileştiren yerel değişikliği seçilir (Selman ve Gomes, 2006). Bu algoritma lokal minimumu belirlemek için komşuluk konfigürasyonları farklılıklarına bağlı olarak komşudan komşuya geçme yöntemiyle çalışır (Borghoff vd., 2011).

- **Böl ve Fethet (Divide and Conquer) Sezgisel Yöntemi:** Böl ve fethet algoritması yönteminde girdi tarafından ortaya konan problem hemen çözülebilecek gibi ise doğrudan çözülür, fakat problem zorluk bakımından kapsamlı ise bağımsız alt problemlere ayrıştırılır ve önce alt problemler çözülür, daha sonra ise çözümler birleştirilerek genel optimizasyon sonucuna ulaşılır (Smith, 1985).

Üretim alanında karşılaşılan ortak zorluklardan biri, üretim hatlarındaki işlerin programlanmasının optimize edilmesidir. Bu sorunu çözmek için genetik algoritmalar devreye girerek verimli iş dizilerinin keşfedilmesini sağlayabilir. Sezgisel Yöntemler, problem çözme ve karar vermede oldukça yoğun olarak kullanıldıkları için özelde üretim ve imalat süresini en aza indirerek genel üretim verimliliğinin artırılmasına katkıda bulunur.

Sezgisel yöntemlerin bir diğer kullanıldığı alan da optimal yeniden sipariş noktalarının ve sipariş miktarlarının belirlenmesinin önemli olduğu envanter yönetimidir. Burada, klasik bir buluşsal yöntem olan ve etkin stok yönetimini kolaylaştırarak toplam stok maliyetlerini en aza indiren bir sipariş miktarına yaklaştıran Ekonomik Sipariş Miktarı (EOQ) modeli de envanter yönetiminde kullanılmaktadır (Weiss, 1982).

Teslimat araçlarına yönelik rotaların optimizasyonu da üretimde karşılaşılan diğer bir zorluktur. Uygun rotaları hızlı bir şekilde belirlemek için Gezin Satıcı Probleminde uygulanan En Yakın Komşu algoritması etkilidir. Bu sezgisel yöntem ile her adımda en yakın hedefi seçerek malların zamanında teslim edilmesi olanaklı hale gelmektedir.

Fabrika yerleşim tasarımı alanında, makinelerin ve iş istasyonlarının verimli malzeme akışı sağlayacak şekilde düzenlenmesi karmaşık bir süreçtir. Sezgisel bir yaklaşım olan Bilgisayarlı Tesislerin Görelî Tahsisi Tekniğı (CRAFT), iş istasyonlarının yakınlığı ve bağlantısına dayalı olarak kaynakların tahsis edilmesine yardımcı olmaktadır (Nugent vd., 1968).

Metasezgisel algoritmalar, bir problem alanında çözüm arayışına rehberlik etmek için tasarlanmış üst düzey stratejiler veya çerçevelerdir. Belirli kurallar veya yöntemler olan buluşsal yöntemlerin aksine Metasezgisel Algoritmalar, çok çeşitli sorunlara uygulanabilen daha genel algoritmalardır. Metasezgisel yöntemler genellikle kesin çözümü bulmanın zor olduğu veya hesaplama açısından pahalı olduğu optimizasyon problemlerinde kullanılır.

Metasezgisel algoritmaların temel özellikleri şunları içerir:

- **Genellik (Generality):** Metasezgisel Algoritmalar belirli bir düşük seviyeli (meta) sezgisel yöntem kümesini kontrol ederken, bir dizi problemde tatmin edici performans sunma yeteneğine de sahip olabilir (Li vd., 2023).
- **Uyarlanabilirlik (Adaptability):** Metasezgisel Algoritmalar optimizasyon süreci sırasında meta-sezgisel bir algoritmanın konfigürasyonunun evrimini ifade etmektedir. Daha da genişletilirse uyarlanabilir bir sezgisel algoritma, bir sezgisel optimizasyon sürecindeki kontrol akışını veya parametre değerlerini (veya her ikisini birden) değiştiren ve bunu yaparak metasezgiselin davranışını değiştiren bir mekanizma içermektedir (Sevaux vd., 2018).
- **Keşfetme ve Sömürme (Exploration and Exploitation):** Keşfetme, uzayının tamamen yeni bölgelerini ziyaret etme süreci iken sömürme ise daha önceden ziyaret edilmiş noktaların komşuluğu içindeki bölgelerinin ziyaret edilmesi sürecidir (Çrepinšek vd., 2013). Metasezgisel bir algoritmanın daha iyi çözümler bulması için keşfetme ve sömürme arasında iyi bir oran kurması gerekmektedir.

▪ **Yinelemeli İyileştirme (Iterative Improvement):** Genel kaliteyi artırmak için çözümlerin birden fazla yinelemeyle yinelemeli olarak iyileştirilmesi anlamına gelen bu özellik birçok algoritmanın ortak noktasıdır. Burada yinelemeli adımla iyileştirilen tamamlanmış ancak ön programla başlamış süreç söz konusudur. Prensipte böyle bir yinelemeli iyileştirme tekniği yerel bir optimuma sıkışma ihtimali mevcuttur, bundan kaçınmak için de daha önceden kötü değerlendirmeye sahip algoritmaların bir sonraki adımda adayı olarak seçilerek sürecin devamı sağlanabilir (Dorn vd., 1996).

Akademik çalışmalarda ve uygulamada yoğun olarak kullanılan meta-sezgisel algoritmalar şunlardır:

➤ **Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithm):** Doğal seçim süreci ve popülasyon genetiğinden ilham alan genetik algoritmalar, dizilerle temsil edilen değişkenlerle geniş arama uzaylarında çalışan olasılıksal arama süreçleridir (Goldberg, 1989). Canlıların evrimleri içinde kabul edilen kalıtım, mutasyon, doğal seçim ve çaprazlama gibi evrimsel biyoloji ilkelerini kullanan evrimsel algoritmaların bir alt sınıfıdır ve bir çok alandaki karmaşık sorunları çözmek için kullanılmaktadır (Kumar vd., 2010).

➤ **Tavlama Simülasyonu (Simulated Annealing):** Metalurjideki tavlama sürecini taklit eden tavlama simülasyonu, algoritmanın, azalan olasılıkla daha az optimal çözümleri kabul ederek yerel optimumdan kaçmasına olanak tanıyan bir olasılıksal optimizasyon algoritmasıdır (van Laarhoven ve Aarts, 1987).

➤ **Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization):** Karıncaların yiyecek arama davranışında salgıladıkları feromonları temel alınarak modellenen Karınca Kolonisi Algoritması modelde üretilen bir grup yapay karınca ile eldeki optimizasyon sorununa çözümler üretir ve gerçek karıncaların kullandığına benzer bir iletişim mekanizması kullanarak bu çözümlerin kalitesine ilişkin bilgileri iletir (Dorigo vd., 2006).

➤ **Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization):** Özellikle sürü halinde yaşayan ve hareket eden kuşlar ve balıklar gibi hayvanların sosyal davranışlarından ilham alan Parçacık Sürü Optimizasyonu, parçacıklar olarak bilinen rastgele çözümlerden oluşan bir popülasyonla başlayan popülasyon temelli bir arama tekniğidir (Shi, 2004). Diğer evrimsel hesaplama sistemlerinden farklı olarak PSO'daki her parçacığın kendisiyle ilişkili bir hızı vardır ve parçacıklar, geçmiş aktivitelerine bağlı olarak dinamik olarak değişen, arama uzayında değişen hızlarda hareket eder ve sonuç olarak, arama işlemi

sırasında parçacıklar giderek daha iyi arama alanlarına doğru hareket etmektedirler (Kennedy ve Eberhart, 1995).

Meta-sezgisel Algoritmalar özellikle hesaplama kısıtlamaları veya çözüm alanının büyüklüğü nedeniyle kesin bir çözüm bulmanın pratik olmadığı karmaşık optimizasyon problemleriyle uğraşırken faydalıdır.

Metasezgisel Algoritmalarla Üretim Planlama

Üretim planlama alanında yukarıda bahsedilen algoritmalar, çizelgeleri optimize etmek için etkili araçlar olarak ortaya çıkar. Burada ele alınan spesifik sorun, üretim hattı yüklerini dengeleme ve üretim süresini en aza indirme, böylece genel kaynak kullanımını iyileştirme ihtiyacı olmaktadır. Metasezgisel yaklaşımlar, üretim planlamanın doğasında bulunan kombinatoriyal optimizasyon zorluklarına etkili çözümler sunarak kuruluşlara verimliliği en üst düzeye çıkaran ve kaynak israfını en aza indiren programlar oluşturma yeteneği sunmaktadır.

Kaynak Dağıtımına Sezgisel Yaklaşımlar

En yakın komşu veya açgözlü algoritmalar da dahil olmak üzere sezgisel algoritmalar, dinamik üretim ortamlarında kaynak tahsisine yönelik hızlı karar alma zorunluluğunu gidermek için kullanılır. Bu algoritmalar, kaynak tahsisi zorlukları için optimal olmasa da hızlı çözümler sağlar. Ele alınan temel sorun, özellikle kaynak tahsisi gereksinimlerinin hızla değiştiği bağlamlarda karar vermede çeviklik ihtiyacıdır. Sezgisel yaklaşımlar, kaynak tahsisi senaryolarında hesaplama verimliliği ile çözüm optimalliliği arasındaki dengeyi sağlayan pragmatik çözümler sunmaktadır.

5. TAKVİYELİ ÖĞRENME

Takviyeli öğrenme (RL), bir aracının bir ortamla etkileşime girerek karar vermeyi öğrendiği bir tür makine öğrenimi paradigmasıdır (Sutton ve Barto, 2018). RL bir döngü içerisinde gerçekleşir. Bu döngüde ajan çevreyi gözlemler ve bir ceza ve ödül sistemi üzerinden durumu inceleyerek döngüye başlar. Ajan bu durumdan sonraki duruma geçme kararını vermek için ödül ve cezayı kullanır. Son olarak, ortamın geçişleri ve iç durumu, önceki durum ve ajanın eyleminin bir sonucu olarak değişir ve döngü bu şekilde tekrar başa döner (Esteso vd., 2023). Takviyeli öğrenme, daha önce çalışmanın başında ifade edildiği üzere uzun vadeli bir hedefe ulaşmaya çalışan bir araç için bir dizi karar vermesi gereken senaryolar için uygundur.

Takviyeli Öğrenmede Temel Kavramlar:

- Ajan: Bir ortamda kararlar alan ve eylemlerde bulunan varlık veya sistem.
- Çevre: Aracının etkileşimde bulunduğu dış sistem. Çevre, aracının eylemlerine yanıt vererek ödül veya ceza şeklinde geri bildirim sağlar.
- Durum: Ortamın mevcut durumunun veya konfigürasyonunun bir temsili.
- Eylem: Belirli bir duruma yanıt olarak temsilci tarafından verilen karar veya hareket.
- Ödül: Belirli bir durumda temsilcinin eylemiyle ilişkili anında fayda veya maliyeti gösteren sayısal bir değer.
- Politika: Aracının farklı durumlarda eylemlerini belirlemek için izlediği strateji veya kurallar dizisi.

Üretimde RL ile enerji tüketimi, üretim hızı ve malzeme kullanımı gibi temel süreçler optimize edilebilir. Stok seviyeleri, talep tahminlerine dayalı güçlendirilmiş öğrenme kullanılarak daha doğru tahmin edilebilir ve kontrol edilebilir. RL, üretim tesislerinin bakımını planlamak için de kullanılabilir. Ekipman performans verileri analiz edilerek bakım için ideal zaman hesaplanabilir. LR, üretim operasyonlarında kalite kontrolünü iyileştirmek için kalite kontrol sistemleri tarafından kullanılabilir. Anormallikler tespit edilebilir ve süreçler geliştirilebilir. Takviyeli öğrenme, atölye kaynaklarının daha iyi kullanılmasına yardımcı olabilir. Takviyeli öğrenme, üretim tesislerinin enerji verimliliğini artırmaya yardımcı olabilir (Panzer ve Bender, 2022).

Takviyeli öğrenme, otonom üretim sistemlerinde başvurulmuş ilk kavramlardan biridir (Rolf vd., 2023). Bu kapsamda makineler, RL'nin temelinde yer alan ödül ve ceza sistemi yoluyla optimum eylem dizisini öğrenecek şekilde eğitilir ve bu da onların görevleri kendi başına yerine getirmelerine olanak tanır. Burada ele alınan en önemli zorluk, bir yandan verimliliği optimize ederken bir yandan da tam otonom üretim sistemlerine doğru ilerlemektir. Kuruluşlar, takviyeli öğrenmeden yararlanarak otonom üretimin karmaşıklıklarını giderebilir ve gelişmiş operasyonel verimlilik için insan ve makine yeteneklerinin uyumlu bir şekilde entegrasyonunu sağlayabilir (Altenmüller vd., 2020).

Takviyeli öğrenme, en uygun planlama ve görev çizelgeleme sorununu çözmek için dinamik bir ortamda çevresel belirsizlikle başa çıkabilmesi, bulunduğu çevreyi kendi kendine öğrenme yeteneği, hesaplama açısından verimliliği ve son derece uyarlanabilir olması ile üretim faaliyetleri için optimize edilmiş programlar oluşturmaya, üretim süresini en aza indirmeye ve genel verimliliği artırmaya yardımcı olabilir (Shyalika vd., 2020). Takviyeli öğrenme, geçmiş deneyimlerden öğrenebilen ve değişen koşullara uyum sağlayabilen

otomatik sistemleri programlamak için kullanılabilir. Takviyeli öğrenme, kaynakların kullanımını optimize edebilen uyarlanabilir algoritmalar oluşturmak için de kullanılabilir (Waschneck vd., 2018).

Envanter yönetimi ve siparişlerin yerine getirilmesi gibi tedarik zinciri yönetimindeki kararları optimize etmek için takviye öğrenimi uygulanabilir. RL de diğer makine öğrenmesi yöntemleri gibi optimizasyon problemlerinde yaygın olarak kullanıldığı için üretim bileşenlerini düzenleyerek tedarik zinciri performansının artmasını sağlayabilir. Ancak, tedarik zincirindeki tüm bileşenleri bir modelde ele alarak bir model oluşturmak mümkün olmadığından optimizasyon problemini çözebilecek en iyi bileşenleri tespit etmektedir. RL, oluşturulan her bir optimizasyon modelindeki etkili bileşenlerin incelenmesi, sınıflandırılması ve bunları temel alarak uygulamaların türetilmesine olanak sağlamaktadır (Rolf vd., 2023).

Üretim gibi tüm alanlarda kullanılan Yapay Zekanın sadece uygulayıcıların anlayabildiği ve kavrayabildiği bir araç olmaktan çıkarmak amacıyla açıklanabilir yapay zeka kavramı ortaya atılmıştır. Burada amaç yapay zekanın uygulandığı alanlarda sorumlular ve kullanıcıların yapay zekanın neyi gerçekleştirdiğini, neleri içerdiğini anlamaları amaçlanmakta böylece kişisel ve iş güvenliği ile güvenirliliği sorgulanabilmektedir.

6. AÇIKLANABİLİR YAPAY ZEKA (XAI)

Açıklanabilir Yapay Zeka (XAI, biz burada AYZ kullanacağız), yapay zeka modellerinin kararlarının ve çıktılarının anlaşılır, şeffaf ve yorumlanabilir hale getirilmesini amaçlayan teknikleri ve yöntemleri ifade etmektedir (Sofianidis vd., 2021). AYZ'nin amacı, özellikle yapay zeka algoritmaları tarafından alınan kararların bireylerin yaşamlarını, güvenliğini veya refahını etkilediği senaryolarda, karmaşık yapay zeka sistemlerini insanlar için anlaşılır, güvenilir ve sorgulanabilir hale getirmektir (Ahmed vd., 2022). AYZ teknikleri, yapay zeka odaklı karar alma süreçlerinde şeffaflık sorununun üstesinden gelmek için dahil edilmektedir. Yapay zeka algoritmaları tarafından alınan kararlara açık ve anlaşılır açıklamalar sunan bu yöntem, paydaşlar arasında güven ve anlayış oluşturmayı amaçlamaktadır (Arrieta vd., 2020). AYZ'nin sağladığı şeffaflık, YZ tarafından gerçekleştirilen eylemlerin veya alınan kararların insan yaşamını veya kurumsal sonuçları etkilemesinin olasılığı ve varlığı dikkate alınması gereken bir durumdur.

AYZ ile ilgili yapılan ilgili literatür incelemesinde (Gerlings vd., 2020) üç temel başlık altında incelenmiştir.

6.1. AYZ İhtiyacı

Kavramsal olarak AYZ'ye atfedilen bir tanımlama olmamasına rağmen yapılan çalışmalarda AYZ'nin çeşitli kavramlar ile tanımlandığı görülmektedir. AYZ'nin teorik olarak sağlamayı amaçladığı *güvenin*, aynı zamanda *şeffaflık* sağladığını da belirtmektedir. Kullanıcılara sunulan bu duygular YZ'nin ürettiği sonuçların *anlaşılabilirliğini* de desteklediği ifade edilmektedir (Gilpin vd., 2018). AYZ'nin sadece kullanıcılar ve uygulayanlar için değil YZ uygulamalarının çıktılarının muhatabı olan toplum, devlet vd. tüm paydaşlar için gerekli olduğu belirten çalışmalarda YZ'de bir kalite veya standart geliştirilmesinin belirlenen sınırlar dahilinde uygulanmasını savunan görüşler de bulunmaktadır (Arrieta vd., 2020; Hall vd., 2019).

6.2. Yorumlanabilirlik ve Sadelik İkilemi

AYZ'nin *yorumlanabilirliği* önerilen bir durum olmasına rağmen, kullanıcıların veya diğer muhatapların anlaması için basit ve sade olarak anlatılmasının bazen önyargılar sunabileceği düşüncesi sebebiyle AYZ'nin *bütüncül* olarak insanlara anlatılmasının şeffaflığa göre daha iyi ikna edici olacağı düşünülmektedir (Adadi ve Berrada, 2018).

6.3. Açıklamalarda İlgili Taraflar

AYZ'nin açıklayıcı ve yorumlanabilir olduğunu insanlar tarafından anlaşılması ihtiyacının varlığı kabul edilmekle beraber bu açıklayıcılık ve yorumlayıcılık süreçlerinin kullanıcılar tarafından değil YZ'yi oluşturan kişiler tarafından sunulduğu görülmektedir. Bu da son kullanıcıların ve diğer tarafların kavrama yetilerine yönelik olmadığı belirtilmektedir (Brandão vd., 2019).

7. GELECEKTEKİ ÜRETİM VE YAPAY ZEKA TRENDLERİ VE ZORLUKLAR

Üretim alanında yapay zekanın gelişimine yönelik beklenen teknolojiler ve bunların getirdiği zorluklar da beraberinde gelecektir. Yakın gelecekte fiziksel araçların ve yapay zeka içeren sistemlerin, bu sistemlerde yer alan çeşitli algoritmaların ve insan- makine etkileşimi açısından sistem arayüzlerinin gelişimlerinin hızlanacağı tahmin edilmektedir (Lu, 2019). Ek olarak derin öğrenmenin günümüzdeki çığır açıcı ve insanlığı şaşırtıcı evrimi sadece büyük miktardaki verilerin çözümlenmesini değil kişisel ve iş hayatına dahil olmasını da beraberinde getirmektedir. Özellikle ChatGPT ile eğitimde ve iş yaşamındaki sahip olduğu potansiyelin toplumlar tarafından benimsenmesi YZ'nin yakın zamanda hayatın her alanında bir başvuru kaynağı ve yardımcı olması beklenmektedir.

Fizik biliminin ortaya attığı ve teknolojiyi de etkileyen kuantum kavramının YZ’da uygulanabilir olması düşüncesi ile ortaya çıkan *kuantum hesaplama* ile üretim optimizasyonun daha hızlı ve daha karmaşık veri işleme potansiyeline ulaşmasını sağlayacaktır. Üretimde karşılaşılan belirli kalıplar içinde gerçekleşmeyen ve çok değişkenli etkileşim ve tahmin zorluğu, kuantum hesaplama ile gerçek zamanlı çok boyutlu işleme yeteneklerinin uygulanması ile çözülmesi öngörülmektedir (Došilović vd., 2018). Sonuç olarak, kuantum hesaplama teknolojisindeki önemli ilerlemelerin, özellikle de kuantum bilgisayarların gerçekleştirilmesinin, gelecekteki yapay zeka için oyunun kurallarını değiştiren bir hesaplama platformu sağlaması bekleniyor. Blockchain ve uç bilişim gibi gelecekteki teknolojilerle karşılaştırılabilir. Bir başka potansiyel çekicilik de bu teknolojilerin yapay zeka performansını artırmak için nasıl entegre edilebileceğidir.

Arttırılmış zeka da yapay zeka sistemlerinde insan becerilerini kazanan ve kendi kendine hem becerilerini sürekli geliştiren hem de uygulamaya karar verme yetisine sahip bir yenilik olarak ortaya çıkmaya başlamıştır. Evrimsel mantıkla hareket eden bu yapay zeka uygulamaları bir nevi insansı zekaya dönüşmesi muhtemeldir (Lu, 2019). Burada etik zorluklarla birlikte insan-yapay zeka etkileşimindeki ortaklıkların etkili bir işbirliği çerçevesinde sağlanması zorlukları da bulunmaktadır.

İnsan ve sosyal boyutta yapay zekanın gelişmesi yeni üretim modellerinin ortaya çıkmasını da zorlayacaktır. Bu modelde insan kaynağının azaltılması ve akıllı üretim kapsamında yapay zekaya dayalı robotik işgücünün çoğunluğu oluşturduğu bir felaket senaryosu olarak değerlendirilmektedir (Burggräf vd., 2018).

Endüstri 4.0 düşüncesi ile hızlanan akıllı üretim ve imalat sistemleri sadece sosyal değil sosyo-teknik bir devrimi de beraberinde getirerek akıllı üretim teknolojilerinin çoğalması, bilgi işleme, kolektif zeka, kitle kaynak kullanımı ve yenilikçilik gibi insan bilgeliğiyle yaklaşma yoluyla bir önceki 3.0 devrimini dijital dönüşüme zorlamaktadır (Yao vd., 2017). Akıllı üretim, Nesnelerin İnterneti (IoT), Hizmetlerin İnterneti (IoS) ve İnsanların İnterneti’ni (IoP) üretim çerçevesinde entegre etmiştir (Xi-Fan vd., 2014).

SONUÇ

Yapay zeka uygulama entegrasyonu, üretim süreçlerini değiştiren, benzersiz düzeyde verimlilik, uyarlanabilirlik ve yenilik sağlayan dönüştürücü bir güçtür. Sunulan uygulamalar, makine öğrenimi algoritmaları ve derin öğrenmeden doğal dil işleme ve meta-sezgiselliğe kadar çeşitlilik gösteriyor ve yapay zekanın modern endüstri üzerindeki etkisinin boyutunu gösteriyor.

Yapay zeka destekli makine öğrenimi algoritmaları yalnızca arıza süresini ve bakım maliyetlerini azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda tedarik zinciri yanıt verme yeteneğini ve ürün kalitesini de geliştirerek geleneksel üretim prosedürlerinde yeni bir yöntem sunmaktadırlar.

Bilgisayarla görmede derin öğrenme tekniklerinin, özellikle hata tespiti ve gerçek zamanlı analiz için kullanılması, yapay zekanın kalite kontrolünü otomatikleştirme ve iyileştirme yeteneğini göstermektedir. Üretim süreçleri, makinelerin büyük hacimli görsel verileri değerlendirmesine olanak tanıyarak gelişmiş kusur tanımlama ve gerçek zamanlı karar verme özelliğinden yararlanabilir ve üretim hassasiyeti artırılabilir.

Otonom üretim sistemlerinin önemli bir bileşeni olan takviyeli öğrenme, üretimi, makinelerin optimal eylem dizilerini öğrendiği bir yöntemi beraberinde getirmektedir. Bu üretimin artmasıyla birlikte verimliliği de sürekli hale getirir.

Doğal dil işleme (NLP), karar destek sistemlerine metinsel verilerin kodunu çözerek bağlamsallaştırır ve bağlama duyarlı karar almayı etkinleştirerek yöneticilerin verileri daha etkin yorumlamasına ve karar almasına destek olur.

Meta-sezgisel ve buluşsal yöntemler alanında, optimizasyon tekniklerinin üretim planlama ve kaynak tahsisi gibi karmaşık sorunların çözümünde hayati önem taşıdığı bilinmekle beraber sahip oldukları kapsamlı sorun çözme yöntemlerinin varlığı da üretimde etkili ve pratik çözümler sunmaktadır.

Yapay zeka uygulamalarının üretimdeki potansiyelini göz önünde bulundurduğunda, yapay zeka ile üretim süreçlerinin etkileşiminin kapsamlı ve dikkat çekici bir devrime yol açtığı açıkça görülmektedir. Yapay zeka teknolojilerin akıllı entegrasyonu, endüstrilerin verimliliğe, karar almaya ve kaynak kullanımına yaklaşımında pozitif bir değişimi getireceği görülmektedir.

Açıklanabilir yapay zeka (XAI) yaklaşımları yapay zeka kullanımı ile ortaya çıkan analiz, yorumlama, karar verme, yönetme süreçlerinde şeffaflığa, sadeliğe, kullanım kolaylığın sağlanmasına, kontrol edilmesine, paydaşların arasındaki işbirliğine ve güvene yardımcı olarak endüstri politikalarına, beklentilere ve gerçekleştirilecek etik kaygılara yanıt verir ve düzenleyici yükümlülükleri karşılar.

Bu noktadan ileriye bakıldığında, devam eden yapay zeka uygulama araştırmaları ve uygulamaları kesinlikle akıllı, esnek ve duyarlı üretim ekosistemleri çağının en kısa zamanda yükselmesini sağlayacaktır. Yapay zeka odaklı üretime yönelik bu dijital dönüşümü içeren süreç imalat, sağlık, hizmet gibi tüm endüstrileri yeniliğe zorlayarak ve sürekliliği esas alarak küresel rekabette hayatta kalmak ve zamanı yakalamak için endüstrideki aktörlere duyarlılık, optimizasyon ve sürekli iyileştirmeyi önceliklendirmeyi amaçlamaktadır.

REFERANSLAR

- Adadi, A., ve Berrada, M. (2018). Peeking inside the black-box: A survey on explainable artificial intelligence (XAI). *IEEE access*, 6, 52138-52160.
- Ahmed, I., Jeon, G., ve Piccialli, F. (2022). From artificial intelligence to explainable artificial intelligence in industry 4.0: A survey on what, how, and where. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(8), 5031-5042.
- Altenmüller, T., Stüker, T., Waschneck, B., Kuhnle, A., ve Lanza, G. (2020). Reinforcement learning for an intelligent and autonomous production control of complex job-shops under time constraints. *Production Engineering*, 14, 319-328.
- Arrieta, A. B., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., García, S., Gil-López, S., Molina, D., ve Benjamins, R. (2020). Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information fusion*, 58, 82-115.
- Artkin, F. (2022). Applications of artificial intelligence in mechanical engineering. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 45, 159-163.
- Borghoff, J., Knudsen, L. R., ve Matusiewicz, K. (2011). Hill Climbing Algorithms and Trivium. İçinde A. Biryukov, G. Gong, ve D. R. Stinson (Ed.), *Selected Areas in Cryptography* (ss. 57-73). Springer Berlin Heidelberg.
- Bostrom, N. (2017). Ethical Issues in Advanced Artificial Intelligence. İçinde *Machine Ethics and Robot Ethics* (1st Edition). Routledge.
- Brandão, R., Carbonera, J., de Souza, C., Ferreira, J., Gonçalves, B., ve Leitão, C. (2019). Mediation challenges and socio-technical gaps for explainable deep learning applications. *arXiv preprint arXiv:1907.07178*.
- Burggräf, P., Wagner, J., ve Koke, B. (2018). Artificial intelligence in production management: A review of the current state of affairs and research trends in academia. *2018 international conference on information management and processing (ICIMP)*, 82-88.
- Carbonneau, R., Laframboise, K., ve Vahidov, R. (2008). Application of machine learning techniques for supply chain demand forecasting. *European Journal of Operational Research*, 184(3), 1140-1154. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.12.004>
- Chen, W., Liu, C., Xing, F., Peng, G., ve Yang, X. (2022). Establishment of a maturity model to assess the development of industrial AI in smart manufacturing. *Journal of Enterprise Information Management*, 35(3), 701-728.

- Črepinšek, M., Liu, S.-H., ve Mernik, M. (2013). Exploration and exploitation in evolutionary algorithms: A survey. *ACM computing surveys (CSUR)*, 45(3), 1-33.
- Dorigo, M., Birattari, M., ve Stutzle, T. (2006). Ant colony optimization. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 1(4), 28-39. <https://doi.org/10.1109/MCI.2006.329691>
- Dorn, J., Girsch, M., Skele, G., ve Slany, W. (1996). Comparison of iterative improvement techniques for schedule optimization. *European Journal of Operational Research*, 94(2), 349-361. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00162-X](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00162-X)
- Došilović, F. K., Brčić, M., ve Hlupić, N. (2018). Explainable artificial intelligence: A survey. *2018 41st International convention on information and communication technology, electronics and microelectronics (MIPRO)*, 0210-0215.
- Esteso, A., Peidro, D., Mula, J., ve Díaz-Madroñero, M. (2023). Reinforcement learning applied to production planning and control. *International Journal of Production Research*, 61(16), 5772-5789.
- G. A. Susto, A. Schirru, S. Pampuri, S. McLoone, ve A. Beghi. (2015). Machine Learning for Predictive Maintenance: A Multiple Classifier Approach. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 11(3), 812-820. <https://doi.org/10.1109/TII.2014.2349359>
- Gerlings, J., Shollo, A., ve Constantiou, I. (2020). Reviewing the need for explainable artificial intelligence (xAI). *arXiv preprint arXiv:2012.01007*.
- Gilpin, L. H., Bau, D., Yuan, B. Z., Bajwa, A., Specter, M., ve Kagal, L. (2018). Explaining explanations: An overview of interpretability of machine learning. *2018 IEEE 5th International Conference on data science and advanced analytics (DSAA)*, 80-89.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- Hall, P., Gill, N., ve Schmidt, N. (2019). Proposed guidelines for the responsible use of explainable machine learning. *arXiv preprint arXiv:1906.03533*.
- Johnson, D. S. (1973). Approximation Algorithms for Combinatorial Problems. *Proceedings of the Fifth Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, 38-49. <https://doi.org/10.1145/800125.804034>
- Kahraman, A., Kantardzic, M., Kahraman, M. M., ve Kotan, M. (2021). A data-driven multi-regime approach for predicting energy consumption. *Energies*, 14(20), 6763.
- Kennedy, J., ve Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*, 4, 1942-1948.

- Khan, A. A., Laghari, A. A., Li, P., Dootio, M. A., ve Karim, S. (2023). The collaborative role of blockchain, artificial intelligence, and industrial internet of things in digitalization of small and medium-size enterprises. *Scientific Reports*, 13(1), 1656.
- Kotan, M. (2022). Duygu Analizi ve Dijital Dönüşüm Üzerine Etkileri. İçinde *Dijital Etkileşimler: Sektörel Yansımaları II* (ss. 59-82). Gazi Kitabevi.
- Kotan, M., ve Öz, C. (2017). Surface inspection system for industrial components based on shape from shading minimization approach. *Optical Engineering*, 56(12), 123105-123105.
- Kumar, M., Husain, D. M., Upreti, N., ve Gupta, D. (2010). Genetic algorithm: Review and application. *Available at SSRN* 3529843.
- Li, W., Özcan, E., Drake, J. H., ve Maashi, M. (2023). A generality analysis of multiobjective hyper-heuristics. *Information Sciences*, 627, 34-51. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2023.01.047>
- Lieber, D., Stolpe, M., Konrad, B., Deuse, J., ve Morik, K. (2013). Quality Prediction in Interlinked Manufacturing Processes based on Supervised ve Unsupervised Machine Learning. *Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013*, 7, 193-198. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.033>
- Lin, S. C., ve Hsueh, H. C. (1994). Nearest-neighbour heuristics in accelerated algorithms of optimisation problems. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 203(3), 369-380. [https://doi.org/10.1016/0378-4371\(94\)90005-1](https://doi.org/10.1016/0378-4371(94)90005-1)
- Lin, S., ve Kernighan, B. W. (1973). An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling-Salesman Problem. *Operations Research*, 21(2), 498-516. <https://doi.org/10.1287/opre.21.2.498>
- Liu, Y., Zhang, W., ve Du, W. (2020). Progressive System: A Deep-Learning Framework for Real-Time Data in Industrial Production. *Processes*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/pr8060649>
- Lu, Y. (2019). Artificial intelligence: A survey on evolution, models, applications and future trends. *Journal of Management Analytics*, 6(1), 1-29.
- Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Rocha-Lona, L., ve Tortorella, G. (2019). Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(3), 607-627.
- Nugent, C. E., Vollmann, T. E., ve Ruml, J. (1968). An Experimental Comparison of Techniques for the Assignment of Facilities to Locations. *Operations Research*, 16(1), 150-173. <https://doi.org/10.1287/opre.16.1.150>

- Panzer, M., ve Bender, B. (2022). Deep reinforcement learning in production systems: A systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 60(13), 4316-4341.
- Rolf, B., Jackson, I., Müller, M., Lang, S., Reggelin, T., ve Ivanov, D. (2023). A review on reinforcement learning algorithms and applications in supply chain management. *International Journal of Production Research*, 61(20), 7151-7179.
- Sanger, T. D. (1989). Optimal unsupervised learning in a single-layer linear feedforward neural network. *Neural Networks*, 2(6), 459-473. [https://doi.org/10.1016/0893-6080\(89\)90044-0](https://doi.org/10.1016/0893-6080(89)90044-0)
- Selman, B., ve Gomes, C. P. (2006). Hill-climbing Search. İçinde *Encyclopedia of Cognitive Science*. John Wiley ve Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/0470018860.s00015>
- Sevaux, M., Sörensen, K., ve Pillay, N. (2018). Adaptive and Multilevel Metaheuristics. İçinde R. Martí, P. Panos, ve M. G. C. Resende (Ed.), *Handbook of Heuristics* (ss. 1-19). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07153-4_16-1
- Shi, Y. (2004). Particle swarm optimization. *IEEE connections*, 2(1), 8-13.
- Shyalika, C., Silva, T., ve Karunananda, A. (2020). Reinforcement learning in dynamic task scheduling: A review. *SN Computer Science*, 1, 1-17.
- Smith, D. R. (1985). The design of divide and conquer algorithms. *Science of Computer Programming*, 5, 37-58. [https://doi.org/10.1016/0167-6423\(85\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0167-6423(85)90003-6)
- Sofianidis, G., Rožanec, J. M., Mladenec, D., ve Kyriazis, D. (2021). A review of explainable artificial intelligence in manufacturing. *TRUSTED ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MANUFACTURING*, 93.
- Sutton, R. S., ve Barto, A. G. (2018). *Reinforcement learning: An introduction*. MIT press.
- Thon, C., Finke, B., Kwade, A., ve Schilde, C. (2021). Artificial intelligence in process engineering. *Advanced Intelligent Systems*, 3(6), 2000261.
- Tseng, M.-L., Ha, H. M., Tran, T. P. T., Bui, T.-D., Chen, C.-C., ve Lin, C.-W. (2022). Building a data-driven circular supply chain hierarchical structure: Resource recovery implementation drives circular business strategy. *Business Strategy and the Environment*, 31(5), 2082-2106.
- Tzafestas, S., ve Verbruggen, H. (1995). *Artificial intelligence in industrial decision making, control, and automation: An introduction*. Springer.
- van Laarhoven, P. J. M., ve Aarts, E. H. L. (1987). Simulated annealing. İçinde *Simulated Annealing: Theory and Applications* (ss. 7-15). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-015-7744-1_2

- Vince, A. (2002). A framework for the greedy algorithm. *Discrete Applied Mathematics*, 121(1), 247-260. [https://doi.org/10.1016/S0166-218X\(01\)00362-6](https://doi.org/10.1016/S0166-218X(01)00362-6)
- Waschneck, B., Reichstaller, A., Belzner, L., Altenmüller, T., Bauernhansl, T., Knapp, A., ve Kyek, A. (2018). Optimization of global production scheduling with deep reinforcement learning. *Procedia Cirp*, 72, 1264-1269.
- Weiss, H. J. (1982). Economic order quantity models with nonlinear holding costs. *European Journal of Operational Research*, 9(1), 56-60. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(82\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(82)90010-8)
- Xi-Fan, Y., Zhao-Tong, L., Yi, Y., Yi, Z., ve Hong, J. (2014). *Wisdom manufacturing: New humans-computers-things collaborative manufacturing model*.
- Yao, X., Zhou, J., Zhang, J., ve Boër, C. R. (2017). From intelligent manufacturing to smart manufacturing for industry 4.0 driven by next generation artificial intelligence and further on. *2017 5th international conference on enterprise systems (ES)*, 311-318.
- Zhao, Z., ve Zhang, L. (2023). Design of artificial intelligence cultural creative industry based on machine learning. *Soft Computing*, 1-12.

Bölüm 20

ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ YAKLAŞIMIYLA TEDARİKÇİ SEÇİMİ

Sezin GÜLERYÜZ¹
Oğuzhan DEMİRCİ²

1- GİRİŞ

Son yıllarda teknolojiye hızlı ilerleme ve ekonomik gelişmelerle birlikte, işletmelerin rekabet ettikleri pazarlarda yaşanan değişim biçimsel ve boyutsal olarak artmakta, rekabetin şiddeti ise giderek artmaktadır. Bu dinamik ortamda, rekabet üstünlüğü elde etmek için işletmelerin benimsemeleri gereken önemli stratejilerden biri Tedarik Zinciri Yönetimi'dir. İyi bir tedarik zinciri yönetimi, sadece piyasalarda rekabet avantajı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda pazar payında önemli artışlara da katkıda bulunabilir.

İşletmeler, müşterilerini memnun etmek için zamanın, yerin ve fiyatın en doğru şekilde ayarlamaları ve müşterileri ile birebir iletişim kurabilecekleri bir ortam yaratmalıdırlar. Müşteri taleplerinin artması ve ürün yaşam döngülerinin kısılması, tedarik zinciri yönetiminin önemini daha da artırmaktadır. Önceden işletmeler, üretim faaliyetlerini tek başlarına gerçekleştirirken, günümüz işletmeleri birçok süreci barındıran tedarik zinciri yönetiminde birbirinden farklı tedarikçilerle iş birliği yaparak iş süreçlerini hızlandırmışlardır. Bu durum, kar marjlarını artırmış ve maliyetleri düşürmüştür, ancak yönetimi karmaşık hale getirmiştir (Karagöz, 2014).

İşletmeler, bu değişen ortamda tedarik zincirini daha iyi yönetmenin önemini kavramışlardır. Artık işletmelerin birbirleri ile olan rekabeti sadece bununla kalmayıp, işletmelerin kendi tedarik zinciri süreçleri arasında da gerçekleşmektedir. Bu nedenle, işletmelerin küresel pazarı ve yeni trendleri dikkatlice incelemesi, ürünleri için en uygun koşullarda ve zamanında tedarik sağlayarak rekabet avantajı elde etmelerini sağlayacaktır. Ayrıca, işletmeler tedarik zinciri içindeki rollerini bilerek, rakiplerine göre avantajlı bir konumda olabileceklerdir.

Her bir işletmenin kendi organizasyon yapısı olduğu gibi, işletmenin yapısına uygun bir tedarik zinciri yönetimi uygulayan işletmeler başarılı işletmeler olarak görülebilir. Başarılı bir tedarik zinciri yönetimi ile giderler azalır, belirsizlik ortadan kalkar ve işletmelerin rekabet gücü artar. Bununla birlikte, işletmelerin tüm maliyet kalemlerini daha iyi analiz etmeleri ve ürün fiyatlarını ona göre belirlemeleri, mevcut rekabet ortamında kaçınılmazdır. Bu kontrol, sadece kendi iç süreçlerini değil, aynı zamanda tedarikçi, müşteri,

¹ Dr. Öğretim Üyesi; Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü. sguleryuz@bartin.edu.tr ORCID No:0000-0002-9858-7115.

² Lisans Öğrencisi.; İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü. oğuzhannndemircii@gmail.com ORCID No: 0009-0008-7520-4231.

dağıtıcı ve taşıyıcı gibi tedarik zincirini oluşturan unsurlar arasında güvene dayalı bir iş birliğini içermelidir. Bu şekilde, tedarik zincirinin tüm halkaları arasında etkin bir iletişim sağlanabilir. İşletmeler, tedarikçileri ile uyumlu çalışmalı ve tedarik zinciri sürecinin herhangi bir anında yaşanacak kopmanın, tüm bu tedarik zinciri etkileyeceğini anlamalıdır. Bu nedenle, işletmeler için tedarikçi seçimleri son derece mühimdir. Tedarikçi seçimi kararı alınırken, birçok çatışan faktör olması durumunda, problemi çoklu faktörler daha da karmaşık hale getirebilir. Bu durumda, Çok kriterli karar verme teknikleri, klasik tekniklere göre daha etkili analiz sağlayabilir. Çalışmada, literatürde sıklıkla kullanılan ve Saaty (1980) tarafından ortaya konan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Tekniği kullanılmıştır. Bu yöntem, karmaşık kararlar için yapısal bir çerçeve sağlar (Güleryüz ve Kocabaş, 2023). Problemi parçalara ayrılarak, daha küçük ve yönetilebilir alt problemler haline getirerek alternatifler arasında uygun seçenekleri belirlemede karar vericilere yardımcı olur (Özyörük ve Özcan, 2008).

Tedarikçi seçimi problemi ve önemi

Şirketler, uluslararası rekabet koşullarında varlıklarını devam ettirmek ve pazar paylarını genişletmek amacıyla sürekli olarak ürün gamını yenilemek ve yenilikçi ürünler sunmak durumundadır. Bu nedenle, işletmeler için hayati önem taşıyan tedarikçi seçimi, mevcut durumu ve gelecekteki konumu önemli ölçüde etkilemektedir. Tedarikçi seçimi, üretim sürecinin başlamadan önce hammadde ve malzemelerin temin edilmesi sürecini kapsar. Tedarikçinin işletmenin ihtiyaç duyduğu ürün ve hizmetleri istenen zaman ve kalitede ulaştırması kritiktir. Bu kontekste, tedarikçinin tüm süreçlerindeki kapasitesini bilerek ve zamanında üretim sistemine odaklanarak çalışması son derece kritik bir unsurdur. Çünkü tedarikçinin belirlenen süre içinde teslimat yapamaması, işletmenin operasyonlarını sekteye uğratabilir ve hatta üretim hatası riskini artırarak üretimi durdurabilir. (Yangınlar, 2018). Tedarikçi seçim aşamasında, teslim etme performansı, üretim süresi, zamanında ürün teslimat kabiliyeti, hızlı sipariş yanıtı ve esnek dağıtım gibi faktörler özellikle vurgulanmalıdır. Maliyet minimizasyonu, işletmelerin ürünlerini ve hizmetlerini üretme sürecinde dikkate almaları gereken önemli bir faktördür. İşletmeler, rekabet avantajı sağlayan ve maliyetleri minimize eden tedarikçilerle çalışmayı tercih ederler. Kalitenin yanı sıra, tedarikçinin kalite sistemleri, üretim süreci kontrolü ve günlük kalite kontrol faaliyetleri de değerlendirilmelidir. Tedarikçinin müşteri taleplerine hızlı tepki verebilme yeteneği, tasarım değişikliklerine ve ürün hacmindeki değişikliklere uyum sağlayabilme esnekliği, müşteri memnuniyetini artırır. İletişim yeteneği güçlü tedarikçilerle iş birliği yapmak, sipariş ve takip süreçlerini olumlu yönde etkiler. Teknolojik seviye, veri yedekleme sistemleri, yazılım ve donanım yetenekleri gibi faktörler de tedarikçi seçiminde önemlidir. İşletmeler, teknolojik gelişmelere ayak uyduran ve çevre dostu uygulamalara yönelik çabalar gösteren tedarikçilerle uzun vadeli ilişkiler kurarak başarılarını artırabilirler (Öztürk, vd., 2017).

YÖNTEM

AHP, Thomas Saaty (1980) tarafından geliştirilmiş olan bir metodolojidir ve özellikle karmaşık problemlerde çözüm sunmayı amaçlar. AHP, karar vericilere rehberlik ederek kriterler arasındaki önem derecelerini belirler ve bu kriterler baz alınarak alternatifler arasında seçim yapılmasına yardımcı olur. AHP tekniği, alternatifleri belirlenen öncelik sırasına göre düzenleyerek sonuca ulaşmayı amaçlar. Bu metodoloji, amacı, kriterleri ve alternatifleri yukarıdan aşağıya doğru hiyerarşik bir yapıda düzenleyerek kullanır. AHP, karmaşık problemlerin anlaşılmasını ve çözümünü kolaylaştırmak amacıyla üç ana başlık (Hiyerarşilerin oluşturulması prensibi, Üstünlüklerin belirlenmesi prensibi, Mantıksal ve sayısal tutarlılık prensibi) altında tasarlanmış etkili bir yöntemdir (Pamukçu, 2003). AHP uygulama adımları şu şekildedir:

Hiyerarşik Yapının Oluşturulması: Amaç, kriterler ve alternatifler tanımlanır (Saaty, 2008: 85).

Önceliklerin Belirlenmesi: Kriterler arası karşılaştırma matrisi, $n \times n$ boyutunda bir kare matrisi temsil eder. Bu matris, Thomas Saaty tarafından 1994 yılında tanımlanan "1-9 ölçeği" olarak bilinen Tablo 1'de gösterilen göreceli önceliklendirme ölçeğini kullanır (Çavuşoğlu, 2016).

Tablo 1: AHP Ölçeği Önem Dereceleri Tablosu (Saaty,1980)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor
3	Zayıf derecede daha önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine az derecede tercih ettiriyor
5	Güçlü önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettiriyor
7	Çok güçlü veya kanıtlanmış önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor
9	Kesin önem	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir doğruluğa sahip
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere iki ardışık yargı açısına düşen değerler

Önem Değerlerinin Hesaplanması: Kriterler için yapılan önem değerlerinin saptanabilmesi için işlemler alternatifler için yapılan matrisler de yapılır. Alternatiflerin önem değerlerinin belirlenmesinde, toplam n tane matris bulunur. Bir sonraki alternatifler için normalize matris ve alternatiflerin önem değerleri matrisi bulunmaktadır.

Tutarlılık Oranının Hesaplanması: AHP'de, tutarlılık oranının hesaplanması faktör sayısı ile temel değer (λ) denilen bir katsayının karşılaştırılması ile elde edilir.

UYGULAMA

Bu çalışmadaki metodoloji maddeler halinde incelenmiştir. Çalışmada ele alınan işletmenin adı gizli tutulmuş en çok ürün temini yaptığı 4 tedarikçi açısından seçim analiz edilmiştir. Tedarikçi seçimi için uzman görüşleri ve literatür taraması neticesinde kriterler belirlenmiş ve bu seçim için oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 1’de gösterilmiştir.

Amaç: İşletmenin belirlemiş olduğu kriterlere göre en iyi tedarikçinin belirlenmesi olarak ele alınmıştır.

Önem: Çalışmanın önemi, belirlenen kriterlere göre tedarikçiler arasından en iyisinin seçilmesiyle işletmeye en yüksek rekabet, kar, verimlilik gibi avantajları sağlaması olarak tanımlanmaktadır.

Yöntem: Çalışmada, AHP tekniği ele alınmıştır.

Sınırlılık: Çalışma, sadece bir işletme adına uygulanmıştır.

Alternatiflerin Belirlenmesi: Tedarikçi1, Tedarikçi2, Tedarikçi3, Tedarikçi4 olarak dört alternatif belirlenmiştir.

Kriterlerin Belirlenmesi: Altı adet kriter belirlenmiştir. Bunlar;

Teknik Yeterlilik: Tedarikçi seçiminde önemli kriterlerden biridir. Bu kriter işletmenin istediği hizmetleri yerine getirmesinde, geliştirme kabiliyetinde ve hız konusunu kapsamaktadır.

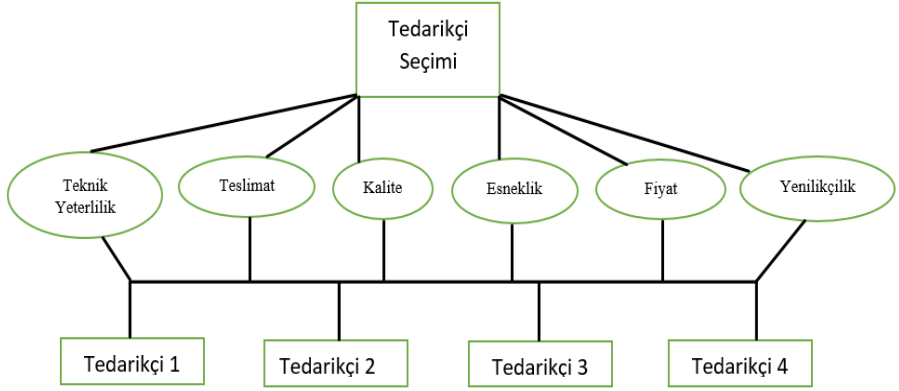
Teslimat: Tedarikçinin oluşturulan teslimat çizelgesine sadık kalma yeteneği, tedarikçi ile işletme arasındaki ilişkilerin olumlu olmasında ve sürdürülmesinde oldukça önemli bir kriterdir. Tedarikçi işletmenin talebine cevap verme ve yerine getirme konusunda eksiksiz bir süreç oluşturmalıdır. Aynı zamanda teslimatların güvenilir ve hızlı olması da önemlidir.

Kalite: Bir diğer önemli kriterlerden birisidir. Çünkü ham madde, malzeme vb. sağlayan tedarikçinin ürettiği ürünün kalitesi, işletmenin üretecek olduğu ürünün kalitesini doğrudan etkilemektedir. Tedarikçinin ürün kalite oranı, işletmenin isteğine uygun olan ürün oranını ve tedarikçiye iade edilen ürünlerin oranını içermektedir.

Esneklik: Tedarikçinin işletmenin(üreticinin) isteklerine ne oranda cevap verebildiği, değişen isteklere karşı tutumu tedarikçinin işletme gözündeki performansını ve kabiliyet oranını etkilemektedir. Esnek bir tedarikçi işletmenin isteklerini hızlı bir şekilde yerine getirebilme ve değişik talepleri kolay karşılayabilmesini sağlar.

Fiyat: Fiyatlandırma tedarikçi seçiminde üzerinde durulan en önemli kriterlerden biridir. Çünkü günümüz koşullarında az maliyet ile üretim oldukça önem arz etmektedir. Bu da işletmelerin karlılıklarını arttırmak için tedarik maliyetlerini minimuma indirmesiyle gerçekleştirebilmektedir. Burada tedarikçinin işletmeye karşı tutumu alınan mal miktarına göre uyguladığı indirim ve makul fiyata ürün vermesi seçiminde önemli rol oynamaktadır.

Yenilikçilik: Günümüz işletmeleri artık rekabetin de etkisi ile sürekli olarak gelişmeli ve yeni ürün ve hizmetler ortaya koyabilmelidir. Buna bağlı olarak tedarikçi seçiminde, tedarikçinin işletmenin istediği yeni ürün veya hizmeti karşılayabilme yeteneği, tedarikçinin seçiminde önemli bir rol oynar.



Şekil 1: Tedarikçi seçimi için hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Matrislerin Oluşturulması: 1 ile 9 arasında değerler içeren Tablo 1’deki ölçek kullanılarak, ilk olarak ana ölçütler ve varsa diğer ölçütler göz önünde bulundurularak karar durumlarını kıyaslamak amacıyla Tablo 2 oluşturulur. Oluşturulan karşılaştırma matrisi, köşegen elemanları 1 olan kare matrislerdir.

Tablo 2: Kriterlerin Karşılaştırma Matrisi ([C])

	Fiyat	Kalite	Teslimat	Teknik Yeterlilik	Esneklik	Yenilikçilik
Fiyat	1	5	3	7	9	7
Kalite	1/5	1	1/3	3	5	3
Teslimat	1/3	3	1	5	7	5
Teknik Yeterlilik	1/7	1/3	1/5	1	3	1
Esneklik	1/9	1/5	1/7	1/3	1	1/3
Yenilikçilik	1/7	1/3	1/5	1	3	1

Oluşturulan Matrisin Normalize Edilmesi: Matristeki değerler kendi sütun toplamına bölünerek, normalize edilir. Normalize edilmiş matrisin her bir sütun toplamı 1 olur. Tablo 3’de kriterler için oluşturulan normalize matris görülmektedir.

Kriterlerin Öncelik Vektörü ve Önem Ağırlıklarının Hesaplanması: Normalize edilmiş matrisin her bir satır toplamı, matrisin boyutuna bölünerek ortalaması alınır. Bulunan bu değerler her bir ölçüt için hesaplanan önem ağırlıklarıdır. Bu ağırlıklar, öncelik vektörünü ve Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 3: Kriterlerin Normalize Matrisi ([CN])

	Fiyat	Kalite	Teslimat	Teknik Y.	Esneklik	Yenilikçilik
Fiyat	0,518	0,507	0,615	0,404	0,321	0,404
Kalite	0,104	0,101	0,068	0,173	0,179	0,173
Teslimat	0,173	0,304	0,205	0,288	0,250	0,288

Teknik Yeterlilik	0,074	0,034	0,041	0,058	0,107	0,058
Esneklik	0,058	0,020	0,029	0,019	0,036	0,019
Yenilikçilik	0,074	0,034	0,041	0,058	0,107	0,058

Tablo 4: Sütun Vektörü (D) ve Kriterlerin Önem (Ağırlık) Değerleri

Fiyat	0,462
Kalite	0,133
Teslimat	0,251
Teknik Yeterlilik	0,062
Esneklik	0,030
Yenilikçilik	0,062

Tutarlılık Oranı ve Gerekli Olan Diğer Değerlerin Hesaplanması: İkili karşılaştırmaların yapılması ve önceliklerin belirlenmesi, ardından karşılaştırma matrislerinin tutarlılığının değerlendirilmesi süreciyle ilgili olarak, ikili karşılaştırmalar sonucunda elde edilen bir X matrisinin tutarlı olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılan bir yöntem olan "Tutarlılık İndeksi (Consistency Index-CI)" adlı katsayının hesaplanması gereklidir. Tutarlılığı değerlendirebilmek için "Rassal İndeks (Random Index-RI)" değerinin bilinmelidir. CI ve RI değerleri belirlendikten sonra Tutarlılık Oranı (CR) hesaplanır. Eşitlik ile tanımlı CR'nin 0.10'dan küçük olması durumunda karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu belirlenir. Örnek tutarlılık hesabı Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5: Lambda-Tutarlılık İndeksi-Rasgele İndeks-Tutarlılık Oranı Değerleri

LAMBDA (λ)	CI	RI	CR	
6,257	0,051	1,24	0,041 < 0,10	TUTARLI

Kriterlere Göre Alternatif Ağırlıkların Hesaplanması: Dört alternatifte göre altı kriter karşılaştırılır. Yukarıdaki işlemler tek tek burada da yapılır. Son olarak alternatiflerin ağırlıkları bulunarak toplanır en yüksek olan en iyi alternatif olarak seçilir. Bu değerlere göre Tedarikçi 1 en iyi alternatif olarak seçilir ve Tablo 6'da verilmiştir. Kriterlerin önem sırası ise Fiyat>Teslimat>Kalite>Teknik Yeterlilik>Esneklik =Yenilikçilik olarak belirlenmiştir.

Tablo 6: Kriterlere Göre Alternatif Ağırlıkların Hesaplanması

	Fiyat	Kalite	Teslimat	Teknik Y.	Esneklik	Yenilikçilik	Toplam	Sıralama
Tedarikçi 1	0,128	0,036	0,141	0,030	0,002	0,004	0,342	1
Tedarikçi 2	0,044	0,064	0,061	0,016	0,015	0,030	0,233	3
Tedarikçi 3	0,215	0,011	0,027	0,008	0,008	0,006	0,278	2
Tedarikçi 4	0,074	0,020	0,020	0,006	0,003	0,020	0,145	4

SONUÇ

Günümüz iş dünyasının giderek artan rekabet koşullarında, şirketlerin varlıklarını devam ettirebilmeleri için adaptif stratejilere olan ihtiyaçları kaçınılmaz hale gelmiştir. Müşteri ihtiyaçlarına hızlı yanıt verebilme becerisi, işletmeler için kritik bir öneme sahiptir. Bu süreçte, işletmeler kısıtlı kaynakları en etkili şekilde nasıl kullanabileceklerini araştırmakta ve en yüksek verimlilik, kaliteyi artırma ve maliyetleri düşürme hedefleriyle faaliyet göstermektedir (Akman ve Alkan, 2006). Tedarik zinciri yönetiminin, bilgi teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte rekabet avantajı sağlamada önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Tedarik zinciri yönetimi, doğru ürünleri, doğru miktarlarda, doğru yerde ve doğru zamanda temin etme amacını taşıırken, aynı zamanda maliyetleri minimumda tutma hedefini de içermektedir. Tedarikle dayalı işletmeler için, tedarikçi seçimi kritik bir karar sürecidir. İşletmeler, tedarikçi seçiminde stratejik hedeflerine uygun, kaynakları optimal kullanımı destekleyen ve iş süreçlerini etkinleştiren tedarikçileri belirlemeye çalışmaktadır (Yerlikaya ve Arıkan, 2017).

Bu araştırmada, öncelikle mevcut literatürdeki bilgiler gözden geçirilmiş ve uzmanlar tarafından tedarikçi seçimi konusundaki uygun kriterler belirlenmiştir. Oluşturulan bu kriterler fiyat, teslimat, kalite, teknik yeterlilik, yenilikçilik ve esnekliktir. AHP yöntemi kullanılarak, seçim kriterlerinin ağırlıkları belirlendi ve ikili karşılaştırmalar yapılarak sayısal değerlere dönüştürüldü, bu sayede kriterlerin birbirlerine göre üstünlükleri net bir şekilde ortaya konulmuştur. Tedarikçi seçiminde önemli olan 6 kriter belirlenmiştir. Ana kriterin “Fiyat”, en son kriterin ise “Esneklik ve Yenilikçilik” olarak belirlenmiştir. Belirlenen kriterler üzerinden 4 tedarikçiye göre ikili karşılaştırma yapılarak kriterlere en uygun tedarikçinin bulunması hedeflenmiştir. Uygulama sonucunda, öncelik ağırlıkları birleştirilerek genel ağırlıklar elde edilmiş ve en yüksek değeri, yani 0,304’ü gösteren Tedarikçi 1 tercih edilmiştir.

Bu uygulama tedarikçi odaklı olan ve adı gizli tutulan Bartsın’daki işletme üzerinde incelenmiştir. Ayrıca uygulanan yapı genel olarak tedarikçi seçimi konusunda farklı alanlarda faaliyet gösteren şirketlere de uygulanabilir. Çok kriterli karar verme tekniklerinden olan AHP ile başka alanlarda da en iyi tedarikçinin seçimi yapılabilir. Ayrıyeten farklı çok kriterli karar verme teknikleri kullanılabilir sonuçlar karşılaştırılarak araştırmanın daha da derinleşmesi sağlanabilir.

KAYNAKÇA

- Akman, G. ve Alkan, A. (2006). Tedarik Zinciri Yönetiminde Bulanık AHP Yöntemi Kullanılarak Tedarikçilerin Performansının Ölçülmesi: Otomotiv Yan Sanayiinde Bir Uygulama. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(9), 23-46.
- Gülyüz S. ve Kocabaş A. (2023). Makine ve Ekipman Seçim Kriterleri İçerisinde
- Dizel Jeneratör Setlerinin AHP Yaklaşımı ile Sınıflandırılması. International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches, 7(6).
- Karagöz, S. (2014). Tedarik Zinciri Yönetiminde Tedarikçi Seçimi ve AHP ile Uygulanması (Master's Thesis).
- Kaplan, R. (2010). AHP Yöntemiyle Tedarikçi Seçimi: Perakende Sektöründe Bir Uygulama. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 139.
- Merve, A. K. (2018). AHP ve TOPSIS Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 17(34), 69-89.
- Özyörük, B. ve Özcan, E. C. (2008). Analitik Hiyerarşi Sürecinin Tedarikçi Seçiminde Uygulanması: Otomotiv Sektöründen Bir Örnek. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 13(1), 133-144.
- Öztürk, M., Paksoy, T. ve Öztürk, M. (2017). Aralık Tip-2 Bulanık Mantık Yönteminin Tedarikçi Seçiminde Kullanımının Önemi Üzerine Bir Araştırma. Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 10(2), 1-18.
- Saaty T., The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, 1980.
- Yerlikaya, M. A. ve Arıkan, F. (2017). AHP -Kritik TOPSIS Bütünleşik Yaklaşımı ile Akreditasyon-Temelli Tedarikçi Seçimi. The International New Issues İn Social Sciences, 5(5), 627-635.
- Yangınlar, G. (2018). Tedarikçi Seçim Kriterlerinin Önemi. Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 5(8), 236-250.

Bölüm 21

ZEYTİNYAĞI ÜRETİM ATIKLARINDAKİ BİYOAKTİF BİLEŞENLER VE ATIKLARIN ISIL PROSESLERDE KULLANIM İMKANLARI (Bioactive Components in Olive Oil Production Wastes and Their Uses in Frying Process)

Ceren SÖĞÜT¹
Şeyma ŞİŞİK OĞRAŞ²

ÖZET

Türkiye için önemli bir sektör olan zeytinyağının, atıkları da sektörde önemli bir pay oluşturmaktadır. Zeytinyağı üretim atıkları, zeytin yaprağı, pirina, çekirdek ve karasudur. Zeytin yaprağı hariç sistem üzerinde oluşan atıkların miktarı ve içeriği üretim prosesine göre değişiklik göstermektedir. Zeytin meyvesinin yaşamsal faaliyetleri etkileyerek canlının hayatını sürdürebilmesi için gerekli olan biyoaktif bileşenlerce zengin olduğu bilinmekte ve yararlı olduğu düşünülen bu bileşiklerin başında oleuropein, hidroksitirozol, vanilik asit, p-kumarik asit, verboskosit gibi fenolik bileşikler gelmektedir. Bu bileşiklerin antioksidan, antikarsinojenik, antimikrobiyal aktiviteler gösterdikleri çalışmalarla tespit edilmiştir. Zeytinyağı üretimi sırasında bu bileşiklerin %90'ına yakını pirina ve karasuya geçtiği için değerlendirilemediği bildirilmektedir. Isıl prosesler gıda hazırlamada yaygın tercih edilen yöntemler olup, bu işlemler esnasında oksidasyon, hidroliz ve polimerizasyon gibi pek çok kimyasal reaksiyon meydana gelmekte ve bu reaksiyonların önlenmesi için antioksidanlar yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu çalışmada biyoaktif bileşenler açısından zengin atıklar ve ısıl proseslerde antioksidan olarak kullanım imkanları derlenmiştir.

Anahtar kelimeler : Zeytinyağı atıkları, biyoaktif madde, karasu, pirina, ısıl proses

Keywords: Olive oil waste, bioactive substance, black water, pomace, thermal process

¹Yüksek Lisans Öğrencisi: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü cerensogutt@gmail.com

² Doç. Dr.: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü seymasisik@atauni.edu.tr

GİRİŞ

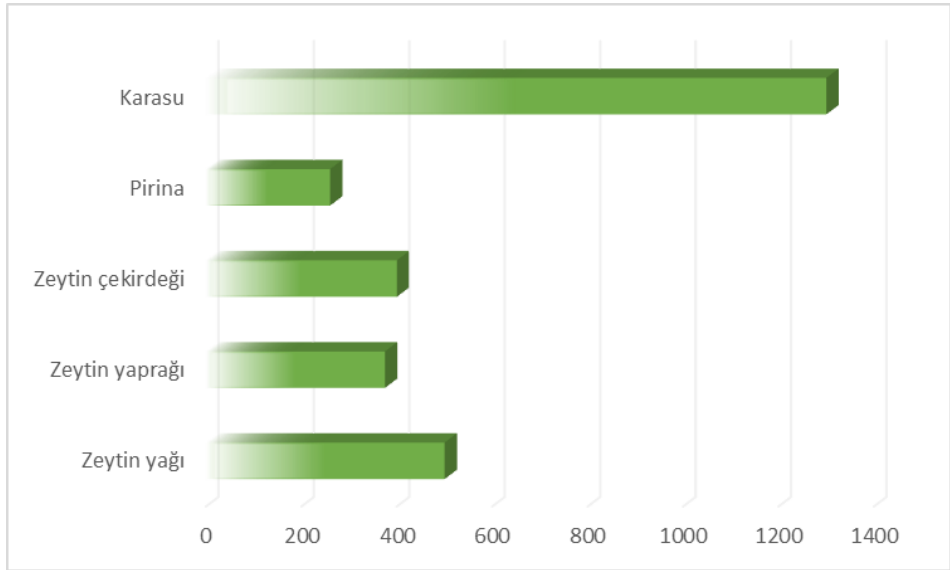
Zeytin (*Olea europaea L.*), 7000 yılı aşkın süredir yetiştirilen yaprak dökmeyen bir ağaçtır (Cavalheiro et al., 2015). Oleaceae familyasına ait olan ve toplam 10,8 milyon ha alan kaplayan *Olea europaea L.*, Akdeniz havzası ülkeleri başta olmak üzere 41 farklı ülkede yetiştirilmektedir (Cavaca et al., 2020). Türkiye’de dane zeytin üretimi 2022 yılında yaklaşık olarak 2.232 bin ton olarak açıklanmıştır (TÜİK 2023). Zeytin yaklaşık %50 su, %22 yağ, %1,6 protein, %3 şeker, %5,8 selüloz, %1,5 mineral madde, %2 polifenoller, %0,7 organik asit ve tuzları, %0,8 pektik maddeler içermektedir (Kiristakis, 1998). Zeytin, yoğun acılığı nedeniyle doğal meyve olarak tüketilememekte, daha çok yağlık ve sofralık zeytin olarak değerlendirilmektedir. Zeytin yan ürünleri uzun yıllardır çevre korunmasında etkili bir atık malzeme olarak görülmekte olup son yıllarda bu ürünlerin sahip olduğu fenoller ve antioksidanlar gibi yüksek katma değerli bileşiklerin kaynağı olmaları nedeniyle gıda, kozmetik ve ilaç endüstrilerinde doğal katkı maddeleri olarak yeniden kullanımları öne çıkmaktadır (Calvano and Tamborrino, 2022).

Zeytinyağı, yalnızca zeytin ağacının (*Olea Europaea L.*) meyvelerinden elde edilen, yağın kimyasal ve fiziksel bozulmasına yol açmayan, karakteristik ve ayırt edici özelliklerini koruyan mekanik ekstraksiyon işlemleri ile elde edilen yağ olarak tanımlanmaktadır (Borello and Domenici, 2018). Türkiye’de yaklaşık olarak 182 milyon zeytin ağacı bulunmakta 2017-2018 ile 2021-2022 yılları arasında yıllık ortalama 223.000 ton zeytinyağı üretildiği belirtilmiştir (IOOC 2022, Ruiz-Carrasco et al., 2023). Zeytinyağının faydalı etkileri, güçlü antioksidan aktiviteye sahip olan tekli ve çoklu doymamış yağ asitleri, skualen, triterpenik asitler, fitosteroller, tokoferoller ve polifenoller gibi çeşitli biyoaktif bileşen sınıflarıyla ilişkilidir (Klikarovà et al., 2019; Piroddi et al., 2016). Zeytinyağının sağlık üzerindeki bu faydalı etkilerinin, tekli doymamış yağ asidi içeriği, antioksidan ve anti-inflamatuar özelliklere sahip fenolik bileşiklerin varlığından kaynaklandığı ve ayrıca bu bileşiklerin çeşitli farmakolojik aktiviteler ve faydalı etkiler gösterdiği bildirilmektedir (Rouibah et al., 2019; Santangelo et al., 2018). Zeytinyağı üretimi; presleme (geleneksel sistem), iki fazlı ve üç fazlı dekantör üretim sistemleri olmak üzere üç farklı şekilde uygulanmaktadır (Domingues et al., 2021). Geleneksel üretim prosesinde zeytinler, taş kırıcılarda kırıldıktan sonra oluşan zeytin hamuru bez çuvalara doldurulmakta, mekanik bir presin altına yerleştirilmekte ve sıkıştırılmaktadır. Bu sıkıştırma esnasında, yağ çuval deliklerinden süzülerek zeytin posasından ayrılmaktadır (Hepsağ ve Kaya 2018). Üç fazlı dekantör prosesinde, suda çözünen bileşikler seyreltilerek, zeytin macununu üç parçaya ayıran prosese sıcak su eklenmesiyle yağ fazı, katı atık (pirina ve çekirdek) ve karasu çıkmaktadır

(Torres and Maestri, 2006). İki fazlı dekantör prosesi ise zeytinyağı atıklarında %75 oranında azalma sağlayan, bir katı atık (alperujo, zeytin yaşı kabuğu, yaşı prina veya iki fazlı zeytin değirmeni atığı) ve bir sıvı (zeytinyağı) atık çıkarıldığı için "iki fazlı" üretim şeklinde ifade edilen ekstraksiyon yöntemidir (Roig et al., 2006). Bu sistemin, tesis atıklarının hacmini ve bertaraf sorunlarını önemli ölçüde azalttığını, ayrıca bu ekstraksiyon sisteminin hidroksitirozol bakımından zengin, zeytinyağından 10-100 kat daha yüksek konsantrasyona sahip sıvı/katı bir yan ürün açığa çıkarttığı belirtilmektedir (Lafka et al., 2011).

Zeytinyağı Üretim Atıkları ve Biyoaktif Bileşenler

Zeytin yağının işlenmesi esnasında değişik miktarlarda zeytinyağı ve farklı yan ürünler (pirina, karasu, çekirdek ve yaprak) (Şekil 1) oluşmaktadır (Galanakis and Kotsiou, 2017).



Şekil 1. Bir hektar alandaki zeytin ağacı arazisinden elde edilen yan ürün miktarları (Espeso et al., 2021)

Zeytinyağı üretim atıklarında bulunan fenolik bileşikler antioksidan, antimikrobiyal, antiinflamatuvar, hipoglisemik, anti-hipertansif ve antikolesterolemik gibi biyoaktiviteler ile ilişkilendirilmiştir (Özcan and Matthaus, 2017). Biyoaktif bileşenler sadece zeytin ve zeytinyağında değil zeytin yaprağı, zeytin çekirdeği, zeytin pirina ve zeytin karasu gibi işleme ürünlerinde de önemli miktarlarda bulunmaktadır (Abbattista et al., 2021). Biyoaktivite özelliklerinin birçoğunu esas olarak hidroksitirozol, tirozol, verbascosin, oleuropein gibi fenolik bileşikler ve zeytinyağı yan ürünlerinde bulunan

flavonoidler veya tekli doymamış yağ asitlerinden almaktadır (Araujo et al., 2015; Özcan and Matthaus, 2017). Çeşitli biyolojik aktivitelerinin gıda, ambalaj, ilaç ve kozmetik endüstrilerindeki potansiyel kullanımları sebebiyle, büyük araştırma çabaları zeytin yan ürünlerinden fenolik bileşiklerin ve terpenoidlerin geri kazanılmasına yöneliktir (Cavaca et al., 2020; Skaltsounis et al., 2015).

Zeytinyağı ve atıklarında bulunan fenolik bileşikler esas olarak fenolik alkoller, fenolik asitler flavonoidler, sekoiridoitler ve lignanları içermektedir (Şekil 2) (Servili et al., 2014). Tirosol ve hidroksitirosol zeytinyağı ve atıklarında bulunan en önemli fenolik alkoller olup zeytinin çeşidine ve olgunlaşma aşamalarına bağlı olarak değişken miktarlarda bulunabilmektedir (Wani et al., 2018). Zeytinyağı ve atıklarında gallik, kafeik, p-kumarik, hidroksi benzoik, ferulik ve vanilik asitler ve verbascosit gibi ana fenolik asitleri içermektedir (Otero et al., 2021). Zeytinyağı ve yan ürünlerinde yaygın olarak tanımlanan flavonlar luteolin, apigenin ve rutindir. Flavonoidlerin yaklaşık %5,6'sı zeytinyağında, kalan %94,4'ü yan ürünlerinde bulunabilmektedir (Otero et al., 2021). Sekoiridoidler, biyosentetik olarak hidroksitirozolün elenolik asit ile esterleşmesinden türetilen oleuropein ve tirozolün elenolik asidin metillenmiş bir türevidir olan oleosid 11-metil ester ile esterleşmesinden türetilen ligstrosiddir (Bianchi, 2003; Czerwin et al., 2012). Oleuropein, *Olea europaea* L.'nin meyve, yaprak, tohum ve yağ gibi farklı kısımlarında bulunan bir sekoiridoid glikozittir. Meyvenin gelişimi sırasında daha yüksek konsantrasyonlarda bulunurken olgunlaşma süreci içerisinde konsantrasyonları kademeli olarak azalmaktadır (Araujo et al., 2015; Imran et al., 2018).



Şekil 2. Zeytinyağı yan ürünlerinde bulunan biyoaktif bileşikler (Khwaldia et al., 2021)

Zeytin Yapağı

Yüzyıllar boyunca zeytin yapağı ve özleri sağlık ile ilişkilendirilmiş ve halk sağlığında diyabet, hipertansiyon ve hiperkolesterolemi tedavisinde kullanılmıştır (de Bock et al., 2013; Sato et al., 2007). Zeytin yaprakları, zeytin yetiştiriciliğinin ana yan ürünlerinden biri olarak kabul edilmekte ve hasatta toplam zeytin ağırlığının %10'unu ve zeytin ağacı budaması sırasında 25 kg/ağacı temsil etmektedir (Khemakhem et al., 2017). Zeytin değirmeninde (yaprak, taş, pirina ve karasu) ve zeytin ağaçlarının budanması sırasında büyük miktarda biyokütle üretilmektedir (Contreras et al., 2020). Bu işlem esnasında ortaya çıkan biyokütle içinde, ağırlığın yaklaşık %50'si ince dallardan, %25'i yapraklardan kalan %25'lik kısım ise kaba dallardan veya odundan oluşmaktadır (Gullon et al., 2020). Zeytin yaprakları çok çeşitli fenolik bileşikleri, basit fenoller ve flavonoidleri (flavonlar, flavanonlar, flavonoller, 3-flavanoller) (Talhaoui et al., 2015), bununla birlikte zeytin yapağı oleuropein, ligstrosid veya oleurosit gibi tirozol yapısından türetilen diğer sekoiridoidleri de içermektedir (Quirantes-Piné et al., 2012). Zeytin yapraklarının biyoaktiviteleri yani antioksidan, anti-

inflatuar, hipoglisemik, anti-hipertansif, antimikrobiyal, antikanser ve antikolesterolemik özellikleri son derece önem taşımakta ve bu doğal bileşikler, fonksiyonel bileşenler olarak kullanılmaktadır (Herrero et al., 2011; Rahmanian et al., 2015; Roselló-Soto et al., 2015). Benincasa et al., (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, zeytin yapraklarından elde edilen ekstraktların hem antioksidan hem de antimikrobiyal aktivitesini test etmiş, gıda ürünlerinin besin profilini iyileştirmek ve antimikrobiyal etkileri yoluyla biyolojik koruma sağlamak için gıda sektöründe kullanılabileceklerini doğrulamışlardır. Bu yan ürünlerin fenolik bileşimi, zeytin yaprağı ekstraktlarının diğer gıda ürünlerine fonksiyonel bir katkı maddesi olarak eklenmesine yol açmıştır.

Pirina

Zeytinin katı kısmından elde edilen bir yan ürün olduğundan dolayı ham pirina yağının çıkarılmasından sonra elde edilen ve esas olarak çekirdek, kabuk ve posadan oluşan ekstrakttır (Çelekli vd., 2021). Pirina, değirmende işlenen zeytinin toplam ağırlığının %35-40'ını oluşturmaktadır (Akay et al., 2015). 1000 kg zeytinin geleneksel sistemle ekstraksiyonu sırasında 400 kg zeytin pirina üretilirken üç fazlı sistemlerde 800 kg, iki fazlı sistemlerde ise 500 kg zeytin pirina üretilmektedir (Flammini et al., 2021). Yüksek oranda organik madde, yağ, karbonhidrat ve suda çözünen fenolik madde içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir (Rodrigues et al., 2015). Pirinanın kimyasal bileşiminde bulunan polifenoller, değerli bir yan ürün olarak pirinayı ön plana çıkarmaktadır (Ghanbari, et al., 2012). Zeytin pirina, hidroksitirozolü (antioksidan özelliği) yüksek miktarda içermekte aynı zamanda oleuropein, tirozol, kafeik asit, p-kumarik asit, vanilik asit, verbaskosit, elenolik asit, kateşol ve rutin bakımından da önemli bir içeriğe sahip olduğu bilinmektedir (Ghanbari et al., 2012; Rigane et al., 2012; Uribe et al., 2013). Zeytin pirinasının içeriğindeki antioksidan miktarı zeytinyağının içeriğindeki antioksidan miktarından yüksek olabilmektedir (Sánchez de Medina et al., 2012).

Karasu

Zeytin karasu, zeytin meyvesinin yumuşak dokularını ve yağ çıkarma işleminin çeşitli aşamalarında kullanılan suyu içeren bir atık olduğu bilinmektedir (La Scalia et al., 2017). Zeytin karasu, zeytin meyvesinin geçirdiği işleme ve mahsulün özelliklerine bağlı olarak farklı miktarlarda açığa çıkmaktadır (Domingues et al., 2021). Dünyada yıllık tahminlere göre açığa çıkan zeytin karasu miktarının 10 ila 30 milyon metre küp arasında olduğu tahmin edilmektedir (Genethliou et al., 2020) Üç fazlı zeytinyağı üretim sürecinden kaynaklanan sulu atık olan zeytin karasu %90 oranında sudan oluşmakta ve

düşük miktarda organik bileşiklerle birlikte mineral tuzları da içermektedir (Battista et al., 2013). Bileşimine göre bazı farklılıklar gösterebilmekte ancak genel olarak karbonhidratlar, proteinler, yağ asitleri, karotenoidler, tokoferoller ve fenolikler gibi yüksek konsantrasyonda organik bileşiklerden oluşmaktadır (La Scalia et al., 2017). Geleneksel dekantasyon sırasında oluşan bu bileşimin içeriği üç fazlı işlemde kaynaklanan büyük miktarlarda yıkama ve ekstraksiyon işlemi aşamalarından da kaynaklanmaktadır (Gullon et al., 2020). Zeytin karasu, yüksek antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteye sahip fenolik bileşikler (basit fenoller, sekoiridoidler, flavonoidler ve lignanlar) içerdiği bilinmektedir (Khwaldia et al., 2021). Zengin fenolik bileşik içeriğinde bulunan maddeler fitotoksik etki gösterebilmekte ve bu sorunda zeytin karasuyunun tarımsal amaçlarla kullanımını sınırlandırdığı bildirilmektedir (Despoudi et al., 2021; Di Nunzio et al., 2020; Domingues et al., 2021).

Çekirdek

Zeytin çekirdekleri veya zeytin pirinasının (ezilmiş çekirdekler, kabuklar ve posa) yatay santrifüjleme yoluyla ayrılmasından sonra elde edilen lignoselülozik madde içeren, düşük nemli bir yan üründür (Matos et al., 2010; Padilla-Rascon et al., 2020; Rodríguez et al., 2008). Zeytinyağı üretimi için tercih edilen iki fazlı ayırma sistemi, yüksek miktarda katı kalıntı içermektedir ve bunun sonucunda zeytin çekirdeğinin zeytin pirinasından ayrılmasıyla oluşan bu yan ürünleri değerlendirmek için kullanılan uygulama haline gelmektedir (Matos et al., 2010; Padilla-Rascon et al., 2020). Zeytin çekirdeklerinden yan ürün olarak elde edilen lignoselülozik maddeler hem zeytinyağı endüstrisinde (kıırma çekirdek) hem de sofralık zeytin endüstrisinde (bütün çekirdek) zeytin meyvelerinin ağırlıkça yaklaşık %10'unu temsil ettiği bildirilmektedir (Padilla-Rascón et al., 2020). Zeytin çekirdeğinin ana bileşenleri içerik olarak selüloz (%30-34), hemiselüloz ve lignin karışımından (%21-28) oluşmaktadır (Matos et al., 2010). Zeytinyağının ana bileşenleri de olan oleik ve linoleik asit bakımından zengin olan zeytin çekirdeği az miktarlarda tokoferoller, skualen, steroller ve triterpenoidleri, fenolik bileşik içeriğiyle ilgili olarak da özellikle sekoiridoid bileşikler ve türevlerini de içermektedir (Maestri et al., 2019; Rodríguez et al., 2008).

Üretim Atıklarının Isıl Proses Uygulamaları

Isıl işlem genellikle gıda ürünlerinin raf ömrünü uzatmak amacıyla uygulanmaktadır (Choi et al., 2006). Haşlama, buharlaştırma, kızartma, sterilizasyon, pastörizasyon ve gıdaların ısıtılması dahil olmak üzere ısıl işlem için çok sayıda potansiyel uygulama bulunmaktadır. Isıtma, gıdaların işlenmesi

ve muhafazası için kullanılan en eski yöntemlerden biridir ve insanoğlu tarafından uzun yıllardır kullanılmaktadır (Kaur and Singh, 2015). Derin yağda kızartma, farklı organoleptik ve duyuşal özelliklere sahip gıdaları işlemek veya muhafaza etmek için evşel ve ticari pişirme yöntemlerinde yaygın olarak kullanılan bir ısıl proseştir (al Faruq et al., 2022). Derin yağda kızartma işlemi genel olarak 150-200°C aralığındaki bir sıcaklıkta olan yenilebilir bir yağ veya katı yağa daldırılarak pişirilmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır (Farkas et al., 1996). Kızartma işlemi sırasında gıdanın kimyasal, fiziksel ve duyuşal özellikleri değışmektedir (Manjunatha et al., 2014). Kızartma yağı uzun süre havaya ve yüksek sıcaklığa maruz kaldığında, yağ bileşenlerinde lipid oksidasyonu, hidroliz, izomerizasyon ve polimerizasyon gibi bir dizi kimyasal reaksiyon meydana gelerek kızartma yağının bozulmasına neden olmaktadır (Wang et al., 2023). Biyoaktif bileşiklerin çoğunun ısıya karşı nispeten kararsız olması sebebiyle, ısıl işlem sırasında doğal bileşenlerin önemli ölçüde kaybolabileceğı bildirilmektedir (Choi et al., 2006). Antioksidanlar, yağ içeren gıdalardaki tat bozulmasını önlemek ve lipid oksidasyonundan kaynaklanan zararlı bileşenlerin oluşmasını engellemek amacıyla ilave edilmektedir (Şahin 2019). Bu nedenle, doğal antioksidanların kullanımının, n-3 PUFA bakımından zengin yağın oksidatif stabilitesini iyileştirdiğı düşünülmektedir (Chandrasekar et al., 2016). Başta fenolik bileşikler olmak üzere çeşitli fitokimyasalların serbest radikal temizleme kabiliyetleri nedeniyle doğal antioksidanların kullanımına yönelik artan bir ilgi söz konusu olmaktadır (Salar et al., 2016). Bu anlamda zeytinyağı üretim atıkları son yıllarda ısıl proseslerde doğal antioksidan olarak yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Isıtma sırasında ayçiçek yağının stabilitesini araştırdıkları bir çalışmada Farag et al. (2007), doğal antioksidan kaynağı olarak zeytin yaprağı suyu kullanmışlardır. 180 C de ısıtılan ayçiçek yağına zeytin yaprağı suyunun eklenmesinin antioksidan etki sağladığını ve 800 ppm yaprak suyu ilavesinin ayçiçek yağının stabilitesini arttırmada BHT'ye göre daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Atalay vd., (2018) ise zeytin fenolikleriyle zenginleştirilmiş ayçiçek yağının kızartma koşullarındaki değışimlerini inceledikleri çalışmalarında, zeytin fenolik ekstraktlarının bitkisel yağların termo-oksidatif stabilitesini ve raf ömrünü arttırabileceğini tespit etmişlerdir.

Aydeniz vd., (2012), zeytin yaprağı, fındık yaprağı ve yeşil yapraklı fındık kabuğundan hazırlanan ekstraktların kızartma koşullarında etkisini araştırdıkları çalışmalarında, palm, ayçiçek ve zeytin yağına ilave edilen ekstraktların termo-oksidatif stabiliteyi arttırmak için kullanılmasında başarılı olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda, serbest yağ asitleri ve peroksit değıerlerinde

önemli bir artış ve 7. kızartmadan sonra en düşük serbest yağ asitliği ve peroksit değerini belirlemişlerdir.

Zeytinyağı, ayçiçek yağı ve soya fasulyesi yağına, oleuropein içeriği bakımından zengin olan zeytin yaprağı ekstraktı ile kg/yağ başına 100 mg toplam fenolik takviye seviyesinde zenginleştirdikleri çalışmalarında Chiou et al., (2012), ekstrakt ilave edilmiş yağlarla ev tipi kızartma koşullarında, 8 kez kızartma işlemi yapmışlardır. İlave ekstrakt içeren yağların, derin kızartma esnasında kademeli olarak azaldığını ve sekizinci kızartmadan sonra oleuropein içeriğinin yağlarda hala tespit edildiğini bildirmişlerdir. Chiou et al., (2009) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ayçiçek, zeytinyağı ve rafine palm yağına, zeytin ağacı yapraklarından elde edilen polifenoller bakımından zengin bir ekstrakt ile kg/yağ başına 120 ve 240 mg toplam polifenol seviyelerinde ilave edilmiştir. Kızartma yağlarının toplam polifenol ve tokoferol içeriği, oksidatif stabilitesi ve antioksidan kapasitesinin yüksek olduğu, fitosterol ve skualen içeriğinin ise etkilenmediği tespit edilmiştir. Ekstrakt ilave edilmiş yağlarla yapılan patates kızartmalarında, kontrol grubu yağlarla kızartılan patateslere göre toplam polifenol, tokoferol, fitosterol, skualen içeriği ve antioksidan aktivitesi daha yüksek çıktığı rapor edilmiştir. Zeytin yapraklarından elde edilen polifenollerce zengin ekstraktların palm, zeytinyağı ve ayçiçek yağına, kilogram yağ başına 120 ve 240 mg toplam polifenol seviyelerinde takviye edildiği bir çalışmada; zeytin yaprağı ekstraktında on dört polifenol türü tespit edilmiş olup, bunlar arasında oleuropeinin(1.25 g/kg zeytin yaprağı) baskın olduğu, tüm zenginleştirilmiş yağların kızartma öncesinde ve sonrasında oleuropein içerdiği, oleuropein ve diğer polifenol türlerinin, zenginleştirilmiş yağlarda pişirilen tüm patates kızartmalarında tespit edildiği ve zenginleştirilmiş yağlarla tavada kızartılmış patates kızartması tüketilerek polifenol alımının, kızartma yağı türüne bağlı olarak, ticari yağlarda kızartılmış patates kızartmasına göre 6 ila 31 kat daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Chiou et al., 2007). Zeytin ve ısırgan otu yapraklarının ekstraktları karboksimetil selüloz (CMC) ve arap zıncı ile birleştirilerek patatesler için yenilebilir kaplama olarak kullanıldıkları araştırmalarında Kurek et al., (2022), yenilebilir kaplamaların ekstraktlarla zenginleştirilmesi ve kızartma öncesinde patateslerin görünür renginde önemli bir değişiklik ile sonuçlandığını ve kızartma sonrasında, kaplanmış patateslerdeki yağ kütlesi oranının, kaplanmamış örneklerle kıyasla yaklaşık %15 oranında azaldığını bildirmişlerdir.

Esposto et al., (2015) tarafından rafine zeytinyağına, zeytinyağı atık suyundan elde edilen fenolik bileşiklerin farklı konsantrasyonlarda ilave edildiği bir çalışmada kızartmaya olan etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda 400 mg fenol/kg ilavesinin tokoferollerin oksidasyonunu ve düşük moleküler ağırlıklı

aldehitlerin emisyonunu azalttığı tespit edilmiştir. Zeytin karasuyunun biyoaktif bileşenlerinin potansiyel kullanımını araştırdıkları çalışmalarında, Harzalli et al., (2022), rafine ayçiçek yağı ve zeytinyağına katkı maddesi olarak ilave ettikleri zeytin karasu ekstraktının biyoaktif bileşenleri arttırdığı, rafine ay çiçek yağında kızartma sırasında toksik bileşikler ve insan sağlığını tehdit eden aldehitli uçucu bileşenleri azalttığını bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada ise, zeytin karasuyundan elde edilen fenolik ekstraktın rafine zeytinyağının stabilizasyonu ve kızartma işlemi sırasında patates kızartması kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmış, dondurulmuş ve önceden kızartılmış patatesler, farklı konsantrasyonlarda fenolik ekstrakt ile zenginleştirilmiş rafine zeytinyağında 180°C'de 8 dakika boyunca kızartma işlemine tabi tutulmuştur. Karşılaştırma için sentetik antioksidan (bütillenmiş hidroksitoluen) ile zenginleştirilmiş yağ kullanılan çalışmada; fenolik ekstraktın, kızartma esnasında yağ stabilize edici ajan olabileceğini hem yağdaki hem de gıdadaki antioksidanların korunmasında ve istenmeyen bileşiklerin (akrolein ve hekzanal) oluşumunun azaltılmasında ve akrilamid üretiminin tersine önemli bir rol oynadığını bildirmişlerdir (Sordini et al., 2019).

Derin kızartma sırasında (180°C'de) rafine ayçiçek yağının stabilitesini arttırmak için zeytin karasu ve lesitinli pirina ekstraktlarının antioksidan olarak potansiyel uygulamasını araştırmışlardır. Sonuçlara göre, ayçiçek yağının zeytin karasu ve zeytin pirina ekstraktları ile zenginleştirilmesinin derin kızartma yağlarında faydalı bir uygulama olduğunu ve bu ekstraktların derin kızartma esnasında yağların lipid oksidasyonunu geciktirmek için lesitinle kullanılabileceğini tespit etmişlerdir (Günel-Köroğlu vd., 2019).

SONUÇ

Zeytinyağı atıkları içerdikleri yüksek orandaki biyoaktif özelliğe sahip fenolik bileşikler nedeniyle yukarıda belirtilen çalışmalardan da görüldüğü üzere gıda uygulamasında kullanılabilirliği açısından umut verici sonuçlar içeren laboratuvar ölçekli pek çok çalışma yapılmıştır. Ancak günümüzde zeytinyağı üretim prosesi atıklarının pirina hariç teknolojik olarak büyük çapta değerlendirilmesi mümkün olmamaktadır. Pirina genellikle pirina yağı, yakıt ve yem olarak değerlendirilmekte, zeytin yaprağı ve karasu ise henüz yaygın bir değerlendirme potansiyeline sahip değildir. Özellikle karasu direk doğaya bırakılmak suretiyle yüksek oranda çevre kirliliğine sebep olmaktadır. İçerdikleri yüksek orandaki biyoaktif bileşiklerin hem yeni ürünlerin geliştirilmesi hem de atıkların ekonomiye kazandırılarak çevre kirliliğinin azaltılması konusunda pek çok yeni çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

REFERANSLAR

- Abbattista, R., Ventura, G., Calvano, C.D., Cataldi, T.R.I., and Losito, I., (2021). Bioactive Compounds in Waste By-Products from Olive Oil Production: Applications and Structural Characterization by Mass Spectrometry Techniques *Foods*, 10(6), 1236.
- Akay, F., Kazan, A., Celiktaş, M. S., & Yesil-Celiktaş, O. (2015). A holistic engineering approach for utilization of olive pomace. *Journal of Supercritical Fluids*, 99, 1–7.
- Al Faruq, A., Khatun, M. H. A., Azam, S. M. R., Sarker, M. S. H., Mahomud, M. S., Jin, X. (2022). Recent advances in frying processes for plant-based foods. *Food Chemistry Advances*, 1, 100086.
- Araujo, M., Pimentel, F.P., Alves, R.C., M. Oliveira, M.B.P.P., (2015). Phenolic compounds from olive mill wastes: Health effects, analytical approach and application as food antioxidants. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 200-211.
- Atalay, A.B., and İnanç, A.L., (2018). Stability of Sunflower Oil Enriched with Olive Phenolics in Deep Frying Condition. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*, 35 (2), 152-163.
- Aydeniz, B., Yılmaz, E., (2012). Enrichment of frying oils with plant phenolic extracts to extend the usage life. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 114(8):933-941.
- Battista, F., Ruggeri, B., Fino, D., Erriquens, F., Rutigliano, L., & Mescia, D. (2013). Toward the scale-up of agro-food feed mixture for biogas production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4), 1223–1230.
- Benincasa, C., Santoro, I., Nardi, M., Cassano, A., & Sindona, G. (2019). Eco-friendly extraction and characterisation of nutraceuticals from olive leaves. *Molecules*, 24 (19), 1–14.
- Bianchi, G. (2003). Lipids and phenols in table olives. *European Journal of Lipid Science And Technology*, 105(5), 229–242.
- Borello, E., and Domenici, V., (2019). Determination of Pigments in Virgin and Extra-Virgin Olive Oils: A Comparison between Two Near UV-Vis Spectroscopic Techniques. *Foods*, 8(1), 18.
- Calvano, C.D., and Tamborrino, A., (2022). Valorization of Olive By-Products: Innovative Strategies for Their Production, Treatment and Characterization. *Foods*, 11(6), 768.
- Cavaca, L. A. S., López-Coca, I. M., Silvero, G., & Afonso, C. A. M. (2020). The olive-tree leaves as a source of high-added value molecules: Oleuropein. In A. Rahman (Ed.), *Studies in natural products chemistry*, 131–180.

- Cavalheiro, C. V., Picoloto, R. S., Cichoski, A. J., Wagner, R., de Menezes, C. R., Zepka, L. Q., Barin, J. S., (2015). Olive leaves offer more than phenolic compounds: Fatty acids and mineral composition of varieties from Southern Brazil. *Industrial Crops and Products*, 71, 122–127
- Chandrasekar, V., Belur, P.D., Regupathi, I., (2016). Effect of hydroxybenzoic acids antioxidants on the oxidative stability of sardine oil. *Resource-Efficient Technologies* 2(1), 114-118.
- Chiou, A., Kalogeropoulos, N., Salta, F. N., Efstathiou, P., & Andrikopoulos, N. K. (2009). Pan-frying of French fries in three different edible oils enriched with olive leaf extract: Oxidative stability and fate of microconstituents. *Lebensmittel-Wissenschaft Technologie*, 42(6), 1090-1097.
- Chiou, A., Salta, F.N., Kalegeropoulos, N., Mylona, A., Ntalla, I., Andrikopoulos, N.K., (2007). Retention and distribution of polyphenols after pan-frying of french fries in oils enriched with olive leaf extract. *Sensory and Nutritive Qualities of Food*, 72, 574- 584.
- Chiou, A.; Kalogeropoulos, N.; Efstathiou, P.; Papoutsis, M.; Andrikopoulos, N.K., (2012). French Fries oleuropein content during the successive deep frying in oils enriched with an olive leaf extract. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 48, 1165–1171.
- Choi, Y., Lee, S.M., Chun, J., Lee, H.B. Lee, J., (2006). Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food Chemistry*, 99(2), 381-387.
- Contreras, M. del M., Romero, I., Moya, M., & Castro, E. (2020). Olive-derived biomass as a renewable source of value-added products. *Process Biochemistry*, 97, 43–56.
- Czerwin, M., Kiss, A. K., & Naruszewicz, M. (2012). A comparison of antioxidant activities of oleuropein and its dialdehydic derivative from olive oil, oleacein. *Food Chemistry*, 131, 940–947.
- Çelekli, A., Gün, D., & Bozkurt, H. (2021). Bleaching of olive pomace oil with *Spirulina platensis* as an eco-friendly process. *Algal Research*, 54, 102210–102216.
- De Bock, M., Derraik, J. G. B., Brennan, C. M., Biggs, J. B., Morgan, P. E., Hodgkinson, S. C., et al. (2013). Olive (*Olea europaea* L.) leaf polyphenols improve insulin sensitivity in middle-aged overweight men: A randomized, placebo- controlled, crossover trial. *Plos One*, 8(3).
- Despoudi, S., Bucatariu, C., Otles, S., Kartal, C., Otles, S., (2021). Food waste management, valorization, and sustainability in the food industry. In *Food waste recovery*, 3-19.

- Di Nunzio, M., Picone, G., Pasini, F., Caboni, M. F., Gianotti, A., Bordoni, A., et al. (2018). Olive oil industry by-products. Effects of a polyphenol-rich extract on the metabolome and response to inflammation in cultured intestinal cell. *Food Research International*, 113, 392–400.
- Domingues, E., Fernandes, E., Gomes, J., Castro-Silva, S., & Martins, R. C. (2021). Olive oil extraction industry wastewater treatment by coagulation and Fenton's process. *Journal of Water Process Engineering*, 39, 101818 1-8.
- Espeso, J., Isaza, A. Lee, J.Y., Sörensen, P.M., Jurado, P., Avena-Bustillos, R.J., Olaizola, M., Arbolea, J.C., (2021). Olive Leaf Waste Management. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Volume 5.
- Esposito S, Taticchi A, Di Maio I, Urbani S, Veneziani G, Selvaggini R, Servili M. (2015). Effect of an olive phenolic extract on the quality of vegetable oils during frying. *Food Chemistry*, 176: 184-192.
- Farag, R. S., Mahmoud, E. A., and Basuny, A. M. (2007). Use crude olive leaf juice as a natural antioxidant for the stability of sunflower oil during heating. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(1), 107–115.
- Farkas, B.E., Singh, R.P. And Rumsey, T.R. (1996). Modeling heat and mass transfer in immersion frying. I. Model development. *J. Food Eng*, 29,211-226.
- Flamminii, F., Di Mattia, C. D., Difonzo, G., Neri, L., Faieta, M., Caponio, F., & Pittia, P. (2019). From by-product to food ingredient: evaluation of compositional and technological properties of olive leaves phenolic extracts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99, 6620–6627.
- Galanakis, C.M., and Kotsiu, K., (2017). Recovery Of Bioactive Compounds From Olive Mill Waste. *Olive Mill Waste Recent Advances for Sustainable Management*, 205-229.
- Genethliou, C., Kornaros, M., & Dailianis, S. (2020). Biodegradation of olive mill wastewater phenolic compounds in a thermophilic anaerobic upflow packed bed reactor and assessment of their toxicity in digester effluents. *Journal of Environmental Management*, 255, 109882.
- Ghanbari, R., Anwar, F., Alkharfy, K. M., Gilani, A. H., Saari, N. (2012). Valuable nutrients and functional bioactives in different parts of olive (*Olea europaea* L.): A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(3), 3291–3340.
- Gullon, P., Gullon, B., Astray, G., Carpena, M., Fraga-Corral, M., Prieto, M. A. (2020). Valorization of by-products from olive oil industry and added-

- value applications for innovative functional foods. *Food Research International*, 137, 109683.
- Günel-Köroğlu, D., Turan, S., Kiralan, M., Ramadan, M. F. (2019). Enhancement of sunflower oil stability during deep-frying using extracts from olive oil by-products and soy lecithin. *International Food Research Journal*, 26(4): 1269-1277.
- Harzalli, Z., Willenberg, I., Medfai, W., Matthäus, B., Mhamdi, R., Oueslati, I., (2022). Potential use of the bioactive compounds of the olive mill wastewater: Monitoring the aldehydes, phenolic compounds and polymerized triacylglycerols in sunflower and olive oil during frying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(11): 1-15.
- Hepsağ, F. And Kaya, R. (2018). Natürel Zeytinyağı Üretim Aşamalarının Aroma Bileşenleri Üzerine Etkileri. *Batman Üniversitesi. Yaşam Bilimleri Dergisi*, Cilt 8 Sayı 1/2. 47-58.
- Herrero, M., Temirzoda, T. N., Segura-Carretero, A., Quirantes, R., Plaza, M., & Ibañez, E. (2011). New possibilities for the valorization of olive oil by-products. *Journal of Chromatography A*, 1218(42), 7511–7520.
- Hydroxytyrosol rich extract from two-phase Chemlali olive pomace by chemical treatment. *Journal of Food Science*, 77(10), 1077–1083.
- Imran, M., Nadeem, M., Gilani, S. A., Khan, S., Sajid, M. W., & Amir, R. M. (2018). Antitumor perspectives of oleuropein and its metabolite Hydroxytyrosol: Recent updates. *Journal of Food Science*, 83(7), 1781–1791.
- International Olive Oil Council World Olive Oil Figures. Available online: <http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/131-world-olive-oil-figures> (accessed on 17 October 2022).
- Kaur, M., & Singh, N. (2005). Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 91(3), 403-411.
- Khemakhem, I., Ahmad-Qasem, M. H., Catalán, E. B., Micol, V., García-Pérez, J. V., Ayadi, M. A., & Bouaziz, M. (2017). Kinetic improvement of olive leaves' bioactive compounds extraction by using power ultrasound in a wide temperature range. *Ultrasonic Sonochemistry*, 34, 466–473.
- Khwaldia, K., Attour, N., Matthes, J., Beck, L., Schmid, M., (2021). Olive by products and their bioactive compounds as a valuable source for food packaging applications. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*. 21(2): 1218-1253.
- Kiristakis, A.K., 1998. *Olive Oil. From Tree to the Table*, 2nd ed.; Food and Nutrition Pres., CT, USA.

- Klikarovà, J., Rotondo, A., Cacciola, F., Ceslovà, L., Dugo, P., Mondello, L., & Rigano, F., (2019). The phenolic fraction of Italian extra virgin olive oils: Elucidation through combined liquid chromatography and NMR approaches. *Food Analytical Methods*, 12(8), 1759–1770.
- Kurek, M., Repajić, M., Ščetar, M., Radošević, L., Pedisić, S., Pelaić, Z., Ilevaj, B. and Galić, K., (2022). Physical, Chemical and Sensory Characterization of Deep-Fried Fresh-Cut Potatoes Coated with Hydrocolloid/Herbal Extracts, 60(4), 521-532.
- La Scalia, G., Micale, R., Cannizzaro, L., & Marra, F. P. (2017). A sustainable phenolic compound extraction system from olive oil mill wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3782–3788.
- Lafka, T. I., Lazou, A. E., Sinanoglou, V. J., & Lazos, E. S. (2011). Phenolic and antioxidant potential of olive oil mill wastes. *Food Chemistry*, 125(1), 92–98.
- Maestri, D., Barrionuevo, D., Bodoira, R., Zafra, A., Jimenez-Lopez, J., & Alch'e, J. de D. (2019). Nutritional profile and nutraceutical components of olive (*Olea europaea* L.) seeds. *Journal of Food Science & Technology*, 56(9), 4359–4370.
- Manjunatha, S., Ravi, N., Negi, P., Raju, P., Bawa, A. (2014). Kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of gethi (*dioscorea kamoonsensis kunth*) strips. *Journal of Food Science and Technology*, 51,3061-3071.
- Matos, M., Barreiro, M. F., & Gandini, A. (2010). Olive stone as a renewable source of biopolymers. *Industrial Crops and Products*, 32(1), 7–12.
- Otero, P., Oliveira, P.G., Rodríguez, M.C., Martínez, M.B., Chamorro, F., Echave, J., Garcia-Perez, P., Cao, H., Xiao, C., Simal-Gandara, J., Prieto, M.A., (2021). Applications of by-products from the olive oil processing: Revalorization strategies based on target molecules and green extraction Technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 116 (2021) 1084–1104.
- Özcan, M.M., and Matthäus, B., (2017). A review: benefit and bioactive properties of olive (*Olea europaea* L.) leaves. *European Food Research and Technology*, 243:89-99.
- Padilla-Rascon, C., Ruiz, E., Romero, I., Castro, E., Oliva, J. M., Ballesteros, I., et al. (2020). Valorisation of olive stone by-product for sugar production using a sequential acid/steam explosion pretreatment. *Industrial Crops and Products*, 148, 112279.
- Piroddi, M., Albini, A., Fabiani, R., Giovannelli, L., Luceri, C., Natella, F., Rosignoli, P., Rossi, T., Taticchi, A., Servili, M., & Galli, F., (2016).

- Nutrigenomics of extra-virgin olive oil: A review. *Biofactors*, 43(1), 17–41.
- Quirantes-Piné, R., Zurek, G., Barrajón-Catalán, E., Bäßmann, C., Micol, V., Segura-Carretero, A., Fernández-Gutiérrez, A. (2013). A metabolite-profiling approach to assess the uptake and metabolism of phenolic compounds from olive leaves in SKBR3 cells by HPLC–ESI/TOF-MS. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 72, 121–126.
- Rahmanian, N., Jafari, S. M., & Wani, T. A. (2015). Bioactive profile, dehydration, extraction and application of the bioactive components of olive leaves. *Trends in Food Science and Technology*, 42(2), 150–172.
- Rigane, G., Bouaziz, M., Baccar, N., Abidi, S., Sayadi, S., & Salem, R. B. (2012). Recovery of hydroxytyrosol rich extract from two-phase Chemlali olive pomace by chemical treatment. *J. Food Sci.* 2012, 77, 1077–1083.
- Rodrigues, F., Pimentel, F. B., Oliveira, M. B. P. P. (2015). Olive by-products: Challenge application in cosmetic industry. *Industrial Crops and Products*, 70, 116–124.
- Rodriguez, G., Lama, A., Rodriguez, R., Jimenez, A., Guill'en, R., & Fernandez-Bolanos, J. (2008). Olive stone an attractive source of bioactive and valuable compounds. *Bioresource Technology*, 99(13), 5261–5269.
- Roig, A., (2006). An overview on olive mill wastes and their valorisation methods. *Waste Management*, 26(9). 960-969.
- Roselló-Soto, E., Koubaa, M., Moubarik, A., Lopes, R. P., Saraiva, J. A., Boussetta, N., Barba, F. J. (2015). Emerging opportunities for the effective valorization of wastes and by-products generated during olive oil production process: Non-conventional methods for the recovery of high-added value compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 296–310.
- Rouibah, Z., Ben Mensour, A., Rekik, O., Boumendjel, M., Taibi, F., Bouaziz, M., El Feki, A., Messarah, M., & Boumendjel, A., (2019). Chemical composition, antioxidant activities, in an allergic asthma model, of *Olea europaea* L. leaf extracts from Collo (Skikda, Algeria). *Drug and Chemical Toxicology*, 1–12.
- Ruiz-Carrasco, B., Fernandez-Lobato, L., Lopez-Sanchez, Y., Vera, D., (2023). Life Cycle Assessment of Olive Oil Production in Turkey, a Territory with an Intensive Production Project. *Fermentation*, 9(5), 442.
- Salar R.J., Purewal S.S., Bhatti M.S., (2016). Optimization of extraction conditions and enhancement of phenolic content and antioxidant activity of pearl millet fermented with *Aspergillus awamori* MTCC-54. *Resour. Effic. Technol.*; 2:148–157.

- Sánchez de Medina, V., Priego-Capote, F., & Luque de Castro, M. D. (2012). Characterization of refined edible oils enriched with phenolic extracts from olive leaves and pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(23), 5866–5873.
- Santangelo, C., Vari, R., Scazzocchio, B., De Sanctis, P., Giovannini, C., D'Archivio, M., & Masella, R., (2018). Anti-inflammatory activity of extra virgin olive oil polyphenols: Which role in the prevention and treatment of immune-mediated inflammatory diseases? *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders—Drug Targets*, 18(1), 36–50.
- Sato, H., Genet, C., Strehle, A., Thomas, C., Lobstein, A., Wagner, A., et al. (2007). Anti-hyperglycemic activity of a TGR5 agonist isolated from *Olea europaea*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 362(4), 793–798.
- Servili, M., Sordini, B., Esposto, S., et al., (2014). Biological Activities of Phenolic Compounds of Extra Virgin Olive Oil. *Antioxidants* 3: 1–23.
- Skaltsounis, A.-L., Argyropoulou, A., Aligiannis, N., & Xynos, N. (2015). Recovery of high added value compounds from olive tree products and olive processing by products. In D. Boskou (Ed.), *Olive and olive oil bioactive constituents*, 333–356.
- Soler-Rivas, C., Espín, J.C. and Wichers, H.J. (2000). Oleuropein and related compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80, 1013–1023.
- Sordini, B., Veneziani, G., Servili, M., Esposto, S., Selvaggini, R., Loreface, A., and Taticchi, A. (2019). A quanti-qualitative study of a phenolic extract as a natural antioxidant in the frying processes. *Food Chemistry*, 279, 426–434.
- Şahin. S., (2019). Doğal Katkı Maddelerinin Bitkisel Yağların Stabilitelerine Etkileri. *Çukurova Tarım Gıda Bil. Dergisi*, 34(1): 69–78.
- Talhaoui, N., Taamalli, A., Gómez-Caravaca, A.M., Fernández-Gutiérrez, A., Antonio Segura-Carretero, A., (2015). *Food Research International*, 77(2), 92–108.
- Torres, M. M., & Maestri, D. M. (2006). The effects of genotype and extraction methods on chemical composition of virgin olive oils from Traslasierra Valley (Cordoba, Argentina), *Food Chemistry*, 96 (4), 507–511.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (Temmuz 2023). Türkiye'de Dane Zeytin Üretimi Raporu.
- Uribe, E., Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., López, L., Pereira, K., López, J., Di Scala, K. (2013). Quality characterization of waste olive cake during

hot air drying: Nutritional aspects and antioxidant activity. *Food and Bioprocess Technology*, 6(5), 1207–1217.

Wang, D., Xiao, H., Lyu, X., Chen, H., Wei, F., (2023). Lipid oxidation in food science and nutritional health: A comprehensive review. *Oil Crop Science*, 8(1), 35-44.

Wani, T. A., Masoodi, F. A., Gani, A., Baba, W. N., Rahmanian, N., Akhter, R., et al. (2018). Olive oil and its principal bioactive compound: Hydroxytyrosol – a review of the recent literature. *Trends in Food Science & Technology*, 77(February), 77–90.

Bölüm 22

KATKI ELEMENLARIN VE LEHİMLEMENİN ELMASLI KESİCİ TAKIMLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNE GENEL BAKIŞ

Erdoğan ÖZDEMİR¹
Serkan ISLAK²

ÖZET

Elmas, mükemmel mekanik özellikleri nedeniyle mekanik işleme alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Lehimleme teknolojisi, dolgu metalleri ve elmas aşındırıcılar arasında metalürjik ve kimyasal bağlar gerçekleştirebilen elmas ve alt tabaka arasında güçlü bağ mukavemeti ile kullanılır. Bu çalışma, elmaslı kesici takımlar için dolgu metalleri ve sert lehimleme yöntemlerini sistematik olarak gözden geçirilmektedir. Dolgu metalleri, sert lehimleme işlemi ve güvenilirlik elmas takımlar için en önemli faktörler olabilir, sert lehimli bağlantıların mekanik özellikleri ve mikroyapı gelişimi ayrıntılı olarak tartışılır, kırılma mekaniği ve artık gerilme sorunları ana güvenilirlik sorunları olarak kabul edilir. Elmas takımların lehimlenmesindeki en son gelişmelerin sistematik bir incelemesi, sürekli artan elmas takımlar için lehimleme teknolojisinin daha fazla araştırılması ve uygulanması için bir referans sağlayabileceği düşüncesiyle burada sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elmas kesici takımlar, lehimleme, mekanik özellikler

1. GİRİŞ

Bilinen en sert aşındırıcı malzeme olan elmaslar, testere veya dairesel aletler gibi kesme ve taşlama aletlerinde sement karbürler, beton veya doğal taş gibi sert malzemeleri işleyebilir. Geleneksel elmaslı aletler temel olarak tane tutma mukavemeti düşük, metal doldurma alanı dar ve elmas tanelerinin beklenenden daha erken dökülmesine neden olan elektrolizle kaplanmış elmaslı aletler, sinterlenmiş elmaslı aletler ve reçine bağlı elmas aletleri içermektedir. 1990'larda, elmas taneleri, dolgu metalleri ve alt tabaka arasındaki kimyasal ve

¹ Doktora Öğrencisi; Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı. erdincoz.666@gmail.com ORCID No: 0009-0004-1199-5389

² Prof. Dr.; Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. serkan@kastamonu.edu.tr ORCID No: 0000-0001-9140-6476

metalurjik reaksiyonla elmas aletlerde yüksek sıcaklıkta sert lehimleme teknolojisi kullanıldı ve temel olarak elmaslar ve alt tabaka arasındaki tutma mukavemeti geliştirildi. Elmas taşların sert lehimlenmesi, elmasların uygun ve düzenli ayarı, elmasların yüksek sabitleme kuvveti, kumların yüksek çıkıntısı, yükleme zorluğu, büyük talaş yerleşimi, yüksek hizmet ömrü ve çevre korumada nispeten düşük maliyet gibi birçok avantaja sahiptir. (Liang, 2021). Teknolojideki ilerlemelere ve birçok sentetik malzemenin kullanılmaya başlanmasına rağmen, doğal taş günlük yapı ve dekoratif tüketimde hala hayati önemini korumaktadır (Eyuboğlu vd., 2003).



Şekil 1: Elmas testere bıçağı (Liang, 2021)

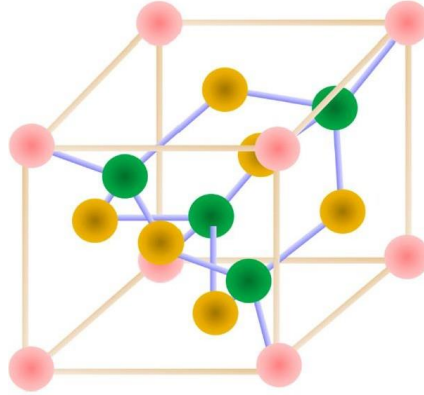
Taşların işlenmesi için tasarlanmış dairesel elmas testere bıçakları, elmas taneleri, bir bağlayıcı matris ve soketlerin tutturulduğu çelik bir çekirdekten oluşur (Luo ve Liao, 1995). Ti, Cr, V, Zr, Mo ve W aktif elementleri içeren Cu esaslı, Ni esaslı ve Ag esaslı aktif dolgu metallerinin farklı elmas takımlardaki elmas tanelerinin sert lehimlenmesinde, sert lehimleme sırasında aktif elementler elmastaki karbon ile reaksiyona girer, karbürler elmasın yanında kimyasal olarak bağlanır. Oluşan karbürler, kimyasal bağlanma ve tutma mukavemeti elde etmek için elmasın yakınında bulunabilir, sonuç olarak aktif dolgu metalleri sert lehimleme sırasında elması kolayca ıslatabilir (Liang, 2021).

Bu çalışmada, elmaslar, dolgu metalleri, sert lehimleme işlemi ve elmas takımlar için mekanik özellikler sistematik olarak gözden geçirilmiştir. Elmas-metal ara yüzey reaksiyonu, ıslatma özellikleri, mekanik özellikler ve sert lehim bağlantılarının yorulma hatası araştırılmıştır.

2. ELMAS

Elmas binlerce yıldır en değerli taş olarak bilinir. Elmas doğadaki en sert maddedir. Elmas, sanat ve el sanatları, endüstride kesici aletler gibi birçok kullanım alanına sahiptir. Grafit, yüksek sıcaklık ve basınçta sentetik elmas oluşturabilir. 18. yüzyıldan beri elmasın saf karbondan oluştuğu kanıtlanmıştır; araştırmacılar sentetik elmas üzerinde çalışmaya başlamıştır. 1950'lerde yüksek basınçlı araştırma ve yüksek basınçlı deneysel teknolojinin geliştirilmesine dayanarak, sentetik elmas başarıyla elde edilmiştir. Şimdiye kadar, yapay elmas çeşitli endüstrilerde ve proses endüstrilerinde de yaygın olarak kullanılmıştır.

Elmas, genellikle kesici aletler, aşınmaya dayanıklı kaplamalar, delme aletleri, taşlama aletleri için kullanılır. Elmas, modern uygarlığın genel ilerlemesi için birçok kullanım alanına sahiptir ve birçok nedenden dolayı kullanılır. Örneğin, makine parçalarının imalatında verimlilik ve doğrulukta önemli bir artış; zor sondaj koşullarına sahip yerlere petrol kuyusu sondajı; yarı iletken elemanların bilgisayar çiplerinin kesilmesinin iyileştirilmesi vb.



Şekil 2: Elmasın yapısı (Liang, 2021)

3. ELMAS ALETLER İÇİN DOLGU METALİ

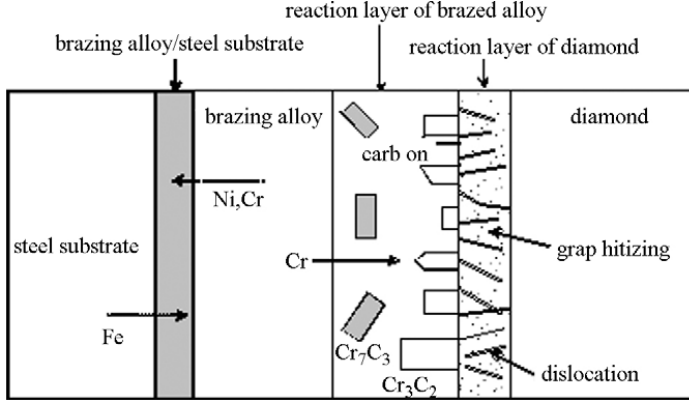
Elmasların sert lehimlenmesinde Ni-Cr, Cu-Sn ve Ag-Cu gibi birçok dolgu metali kullanılmıştır. Elmas taşların sert lehimlenmesi için, uygun dolgu metallerinin seçimi zorunludur, çünkü uygun bir direnci garanti eder ve elmas özelliklerini etkilemez. Ek olarak, elmas ve dolgu metalleri arasında iyi bir kimyasal reaksiyon ile elmas sıkışmasını teşvik etmek zorunludur, bu da işleme sırasında oluşan kuvvetlere dayanabilir. Elmas taneleri bir ızgara desenine yerleştirilebilir ve elmas takımlara sağlam bir şekilde lehimlenebilir (Liang, 2021).

3.1. Ni Esaslı Dolgu Metalleri

Ni-Cr bazlı dolgu alaşımları, yüksek mukavemetleri, düşük maliyetleri ve ısı, aşınma ve korozyona karşı üstün dirençleri nedeniyle elmas aşındırıcı aletlerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Lehim alaşımlarına Ti, Cr veya V gibi karbür oluşturan elementlerin eklenmesi, arayüzey bağlanma mukavemetini artırmak için yardımcı olmalıdır. Ni-Cr alaşımı, güçlü mekanik mukavemeti ve yüksek aşınma direnci nedeniyle lehimli elmas aletlerin imalatında popüler bir seçim haline gelmiştir. Ancak Ni-Cr alaşımı elmaslarda termal hasara neden olabilir, çünkü Ni elementi normal basınç altında ve yüksek sıcaklıkta (800 °C'nin üzerinde) elmasın grafitte dönüşümünü teşvik edebilen bir katalizördür (Duan vd., 2019).

Chen ve arkadaşları, Ni-14-Cr-10P dolgu metali ve sentetik elmas taneleri kullanarak 950 santigrat derecede AISI 1045 çelik substrat üzerinde sert lehimleme yaptıkları bir çalışmada, arayüzey krom karbürlerle sert lehimlenen elmasın yüzeyinde Cr_3C_2 tabakası ve Cr_7C_3 karbür tabakası oluştuğunu gözlemlemişlerdir (Chen vd., 2018). Arayüzey reaksiyon ürünü Cr karbür, dolgu alaşımının elmas kumlara ıslanabilirliğini artırır ve mikro sertlikte bir artışa neden olur (Shen vd., 2019).

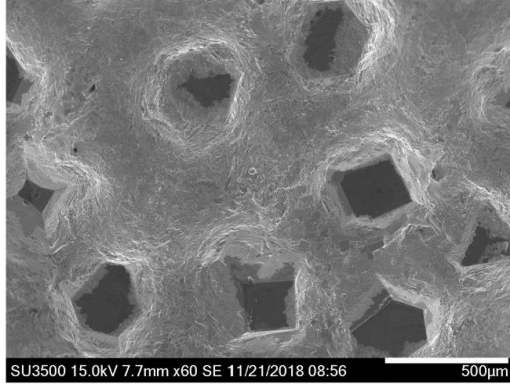
Şekil 3, arayüzey mikroyapısının detay mekanizmasını ve elmas tanelerinin sert lehimlenmesinde fazların oluşumunu açıklamaktadır. Sert lehimleme işleminde, sert lehim alaşımının reaksiyon tabakasının oluşumu, elmas yüzeyindeki grafitleştirici C'nin sıvı alaşıma difüzyonu ve Cr_3C_2 ve Cr_7C_3 içeren karbür oluşumu olmuştur. Cr_3C_2 elmasın yakınında çekirdeklenmiş ve elmasın yakınında yüksek C konsantrasyonu nedeniyle sert lehim alaşımına kadar büyümüştür. Cr_7C_3 ise C konsantrasyonunun daha az olduğu bölgede oluşmuştur. Elmasın reaksiyon tabakası, Cr ile dislokasyon çekirdeği veya grafitleşen elmasın yüzeyindeki diğer kusurlar arasındaki reaksiyonla oluşmuştur. Sert lehim alaşımı-çelik altlığın reaksiyon tabakası, sert lehim alaşımı ve çelik altlık arasında Ni, Cr ve Fe'nin birlikte difüzyonu ile oluşmuştur (Wang vd., 2009).



Şekil 3: Elmas, sert lehim alaşıımı ve çelik alt tabaka arasındaki arayüzlerin oluşum mekanizması şeması (Wang vd., 2009)

Ni-Cr-Si dolgu maddesi ve Cu-Ce ilavesinin 1050 °C ve 10 dakika bekleme süresi parametrelerinde kullanıldığı bir çalışmada, arayüzey tabakalarının baskın fazları kısmen tane sınırlarında kolayca oluşan sert ve kırılgan fazlar olan Ni_3Si ve Cu_5Si intermetalik bileşiklerini içermiştir. Cu-Ce alaşım ilavesi miktarı kritik bir değeri aştıkça, kompozit lehim alaşımında ve yapıştırma arayüzünde daha kırılgan metaller arası bileşikler oluşmuştur. Elmas yüzeylerdeki bileşikler çoğunlukla Cr_3C_2 ve Cr_7C_3 içermekte olup, elmaslar ve Ni-Cr kompozit lehim arasında kimyasal kombinasyonların hala geliştiğini doğrulamaktadır. Bu nedenle, uygun miktarda Cu-Ce alaşımının eklenmesi, elmaslar ve sert lehim alaşımları arasında kimyasal kombinasyonların gelişmesini önleyemez (Duan vd., 2019).

Mukhopadhyay ve arkadaşlarının çalışmasında, Ni-Cr bazlı dolgu malzemesi kullanılarak 1050 °C sıcaklıkta ve vakumda 5 dakika bekleme süresinde, ara yüzeyde Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 ve Cr_3C_2 fazları ve nikel matris içinde tutarlı olmayan bir faz olan krom demir karbür $[(\text{Cr}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6]$ tipik bir intermetalik faz tespit edilmiştir. Konumu, artık gerilimin etkisi altında mikro çatlakların gelişimini potansiyel olarak kolaylaştırmaktadır (Mukhopadhyay vd., 2017).



Şekil 4: Ni bazlı kompozit lehim kullanılarak lehimlenmiş elmas tanelerinin mikrografı (Duan vd., 2019)

3.2. Cu Esaslı Dolgu Metalleri

Cu esaslı alaşımlar, Ni-Cr-B-Si alaşımlarına kıyasla daha düşük sert lehimleme sıcaklıklarına, sert lehimlemenin neden olduğu küçük artık gerilmelere ve minimum grafitleşmeye sahiptir; Cu bazlı alaşımlar ayrıca daha zayıf aşınma direnci sergiler, bu da aşınma sırasında takımların kumlarının kolayca düşmesine neden olur. Pratikte, Cr veya Ti genellikle aktif bir element ve elmas lehimleme için dolgu alaşımının gerekli bir bileşeni olarak kullanılır. Ti'nin aktivitesi Cr'ninkinden daha yüksektir; bu nedenle, Ti elmasın sert lehimlenmesi için daha uygundur; ancak, Ti içeren dolgu alaşımlarının hazırlanması ve sert lehimlenmesi yüksek vakum altında yapılmalıdır, bu da işlem maliyetini artırır (Lu vd., 2017).

Al_2O_3 /elmas/cBN/SiC ve Cu-Sn-Ti dolgu maddesi kullanılan bir araştırma raporunda, lehimleme işlemi sırasında Cu- Sn-Ti dolgu maddesi alaşımındaki Ti'nin tercihen elmas, c-BN, Al_2O_3 veya SiC'nin çıplak yüzeyine doğru ayrıştığı ve arayüzeyde (Ti-C), (Ti-N), (Ti-B), (Ti-O), (Ti-Si) ve Ti-(Cu-Al) bileşikleri gibi fazlardan oluşan Ti açısından zengin bir reaksiyon tabakası oluşturduğu bulunmuştur. Taneler ve aktif dolgu maddesi arasında kimyasal metalürjik kombinasyonun olduğu doğrulanmıştır (Liu vd., 2016).

Lu ve arkadaşları tarafından Q235 çeliği, elmas ve Cu-Sn-Ti dolgu metali lehimleme sıcaklığı 1020 °C ve bekleme süresi 5 dakika üzerinde yapılan bir çalışma, dolgu alaşımının katılaşma sürecinde önce Cu bazlı katı çözelti dendritlerinin kristalleştiğini, ardından peritektik ve ötektik dönüşümün gerçekleştiğini, dolgu alaşımındaki Cr atomlarının ise çelik alt tabakaya difüze olduğunu göstermiştir. Son olarak, dolgu alaşımında oluşan mikroyapı Cu bazlı katı çözelti dendritleri, $\text{Cu}_{5,6}\text{Sn}$, Cu_3Sn , Ni_3Sn ve ötektik Cu bazlı katı çözeltiden oluşur. Buna ek olarak, modifiye edilmiş Cu bazlı alaşımın sertliği

üç kattan fazla artmış, bu da Cu bazlı dolgu metalinin Ni-Cr-B-Si dolgu metaline göre düşük sertliğini telafi etmiştir. Sonuç olarak, elmastaki termal hasar azaltılmıştır (Lu vd., 2017).

Bir araştırma, argon atmosferi altında, Cu-Sn-Ti alaşımı kullanılarak elmas parçacıklarının güçlü bir lehim bağlantısının elde edilebileceğini, elmas lehimleme arayüzünde Ti elementi ve Sn elementinin ayrışma olaylarının gözlemlendiğini ve elmas lehimleme arayüzünde Ti_2C 'nin ortaya çıktığını göstermiştir. Sıvı faz koşulu altında, Cu-Sn-Ti alaşımı reaktif ıslatma yoluyla elmas tanelerini ıslatabilir ve böylece lehimleme etkisini gerçekleştirebilir (Zhang vd., 2017).

Cu-Sn-Ti dolgu alaşımı ve B_4C katkısı kullanılarak yapılan elmas lehimleme araştırması SEM karakterizasyon sonuçlarının ara yüzeyde yeni bileşiklerin oluştuğunu gösterdiğini ortaya koymuştur. EDS ve XRD karakterizasyonları, buradaki bileşiklerin TiC ve $Cu_{5,6}Sn$ gibi intermetalik bileşikler olduğunu kanıtlamaktadır. B_4C içeriğinin artmasıyla TiC içeriği önce artar sonra azalır. B_4C içeriği %2 olduğunda, en yüksek TiC içeriği elde edilir (Cui vd., 2022).

Klotz ve arkadaşlarının bir makalesinde, Cu-Sn-Ti-Zr dolgu malzemesi kullanılarak yapılan elmas sert lehimlemede, sert lehim alaşımındaki aşırı Cu'un, ilerleyen reaksiyon cephesi tarafından elmas/TiC arayüzünde nano boyutlu partiküller şeklinde dışarı atıldığı ve hapsedildiği bildirilmiştir. Sütunlu TiC tabakasının kübik tabaka ve Cu partikülleri üzerinde daha fazla büyümesi, C'nin TiC içinden difüzyonu ile kontrol edildi ve bu nedenle zamana ve sıcaklığa bağlıydı. TiC katmanlarının oluşumu, termal genleşme ve kafes parametresi uyumsuzluğu nedeniyle gerilmelere neden olmuştur. Lokalize gerilmeler, elmastaki istifleme hataları ve artan kalınlıkla TiC katmanının parçalanması yoluyla belirgindi (Klotz vd., 2008).

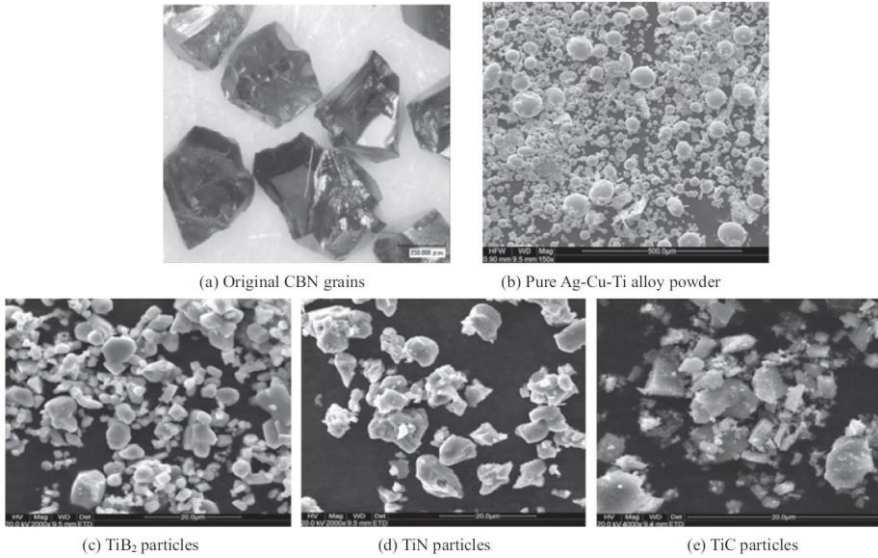
3.3. Ag Esaslı Dolgu Metalleri

Si_3N_4 seramik, Invar alaşımı ve Ag-Cu-Ti+ TiN_p dolgu alaşımı kullanılarak 1070 °C lehimleme sıcaklığı, 10 dakika bekleme süresi parametrelerinde yapılan bir çalışma, Si_3N_4 seramiğin Ag-Cu-Ti+ TiN_p kompozit dolgu kullanılarak Invar alaşımına başarılı bir şekilde lehimlendiğini ve tipik mikroyapının şu şekilde olduğunu göstermiştir: Si_3N_4 'e bitişik arayüzey reaksiyon tabakası ($TiN+Ti_2N+TiSi+Fe_2Ti$), TiN_p ile birlikte Ag bazlı ve Cu bazlı katı çözelti, dalgalı Fe_2Ti+Ni_3Ti intermetalikleri ve intermetalikler ile Invar alaşımı arasında Ag-Cu ötektik alanı (Wang vd., 2016).

WC-Co/karbon çeliği ve Ag bazlı dolgu alaşımının indüksiyon lehimlemesi üzerine yapılan bir çalışma, α -Cu'nun bağlantılardaki dağılım modelinin güçlendirme mekanizmasında önemli rol oynadığını göstermiştir. Ara

katmandaki ada benzeri α -Cu, yüksek sertliği nedeniyle bir dağılım güçlendirme etkisine sahiptir. (Jiang vd., 2016).

Bir araştırmada, Ag-Cu-Ti/TiX (TiX=TiB₂, TiN veya TiC) kompozit dolgu malzemeleri CBN tanelerini ve AISI1045 çelik matrislerini 920 °C'de 5 dakika süreyle birleştirmek için kullanılmıştır. Bu araştırma, CBN taneleri ve Ag-Cu-Ti/TiX kompozit dolgu maddesi arasındaki sıkı birleşmenin, sert lehimleme arayüzünde kimyasal sonuçlar (yani TiN, TiB₂ ve TiB) oluşturmak için Ti, B ve N atomlarının ara difüzyonu yoluyla elde edildiğini göstermiştir. TiX partiküllerinin reaksiyon sınırlama kabiliyeti arasındaki fark, temel olarak Ti ve CBN'nin yüksek sıcaklıklardaki sert lehim kimyasal reaksiyonunun termodinamik davranışı, özellikle de sert lehim sistemindeki Ti'nin kimyasal aktivitesindeki değişim tarafından belirlenir (Miao vd., 2016).

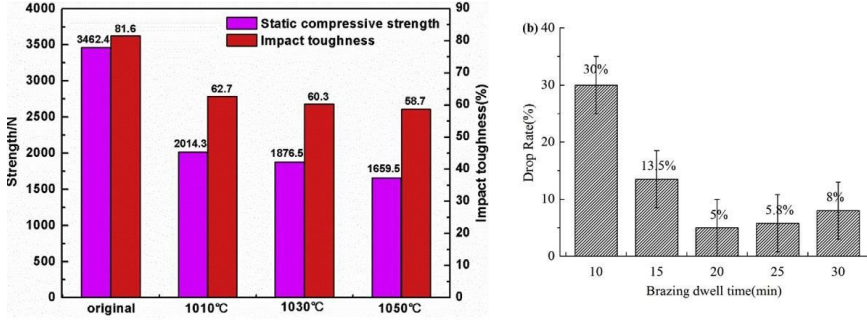


Şekil 5: SEM görüntüleri (a) CBN taneleri (b) Saf Ag-Cu-Ti alaşım tozu (c) TiB₂ partikülleri (d) TiN partikülleri (e) TiC partikülleri (Miao vd., 2016)

Ag-Cu-Ti dolgu alaşımı ve TiB₂, TiN ve TiC seramik katkılı sert lehimleme üzerine yapılan bir çalışma, takviye partiküllerinin (örneğin TiB₂, TiN ve TiC) Ag-Cu-Ti/TiX kompozit dolgu malzemelerinin AISI 1045 çelik matris yüzeyindeki yayılma davranışı üzerinde önemli bir bastırma etkisi gösterdiğini ortaya koymuştur. TiB₂ ve TiC partikülleri ile karşılaştırıldığında, TiN partikülleri genellikle yayılma davranışını kontrol etmede daha belirgin bir etkiye sahiptir (Miao vd., 2016).

4. LEHİMLEME PROSESLERİ

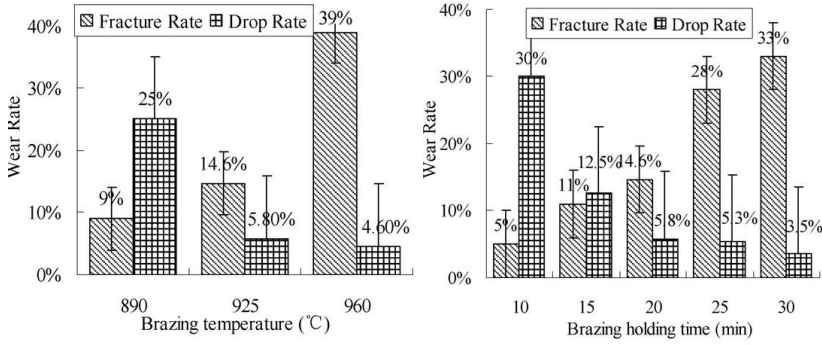
Lehimleme teknolojisi dolgu malzemesi tipi, elmas tane boyutu, lehimleme sıcaklığı, bekleme süresi ve proses ortamı (vakum veya inert gaz) gibi birçok parametreden etkilenir. Şekil 6'da Ni-Cr-B- Si dolgu malzemesinin farklı sıcaklıklarda (1010 °C, 1030 °C ve 1050 °C) ve farklı bekleme sürelerinde (10-15-20-25 ve 30 dakika), artan lehimleme sıcaklığı ile mukavemetin azaldığı ve ideal bekleme süresinin 20 dakika olduğu gösterilmektedir. (Xiao vd., 2019).



Şekil 6: Sert lehim parametrelerinin mekanik özellikler üzerindeki etkisi (Xiao vd., 2019)

Sert lehimleme sıcaklığı ve bekletme süresinin bağlantı mukavemeti ve bağlantıların aşınma mukavemeti üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve Şekil 7a ve 7b'de gösterilmiştir. Sert lehimleme sıcaklığı ve bekletme süresinin artırılmasının, sırasıyla tane düşme oranı yoluyla bağlantı mukavemetini iyileştirebileceğini ve tane kırılma oranı yoluyla tane mukavemetinin hasarını artırabileceğini göstermektedir. (Liu vd., 2016).

Ag bazlı dolgu alaşımı kullanılarak yapılan bir deneyde, kesme mukavemeti ve sert lehimleme sıcaklığı karşılaştırıldığında 30 saniye bekleme süresi için 770 °C'nin ideal sıcaklık olduğu bir çalışmada gösterilmiştir. Ayrıca bu çalışmada en yüksek kayma mukavemetinin 30 saniye bekleme süresinde elde edildiği ortaya konmuştur (Jiang vd., 2016). Ag-Cu-Ti-In dolgu malzemesi kullanılarak cBN gritlerinin sert lehimlenmesini araştıran bir makale, cBN-alaşım arayüzündeki reaksiyon tabakasında TiN ve TiB₂ bulunduğunu göstermiştir. Daha yüksek titanyum içeriği ve daha yüksek sert lehimleme sıcaklığı, ağırlıkça %10 Ti içeren alaşım durumunda cBN-alaşım arayüzeyinde yoğun reaksiyon ürünlerinin oluşmasına yol açmıştır. (Ghosh ve Chattopadhyay, 2017).



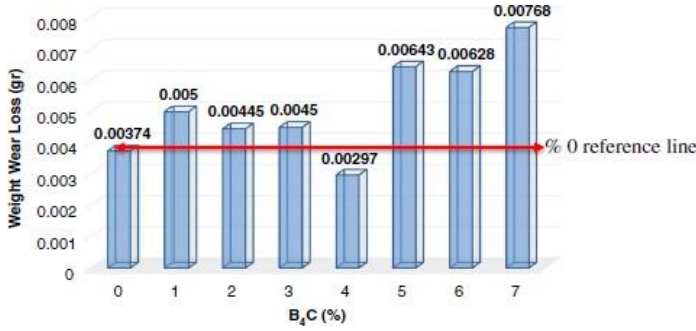
(a) Holding time is 20 min.

(b) Brazing temperature is 925 (°C)

Şekil 7: Sert lehimleme sıcaklığı ve bekletme süresinin birleşme mukavemeti üzerine etkisi (Liu vd., 2016)

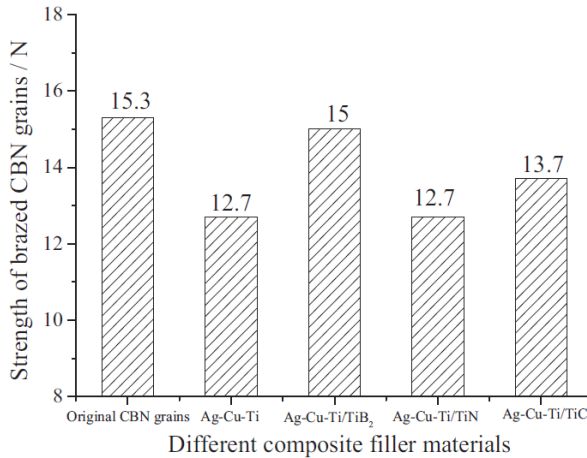
5. SERAMİK KATKILARI

Kimyasal metalürji kombinasyonu sayesinde, elmas/WC karışımı aşındırıcı ile AISI 1045 çelik alt tabaka arasında sıkı bir bağlanma mukavemeti elde edilmiştir. Bu nedenle, sert lehimleme elmas/WC karışımı aşındırıcı takımlar, yüksek malzeme kaldırma oranı ve uzun hizmet ömrü gibi çeşitli avantajlar sunarak endüstriyel kesme ve taşlama alanındaki potansiyel uygulamalar için kullanışlı hale getirmektedir (Xiao vd., 2019). Xiao ve ark. WC partiküllerinin eklenmesinin Ni-Cr aktif dolgu maddelerinin ve elmas tanelerinin ıslatma yoğunluğunu azalttığını bildirmiştir. Bu arada, WC takviyesi lehimli elmasın grafitleşme derecesini azaltmıştır. Ayrıca, Ni-Cr kompozit dolgu maddesi ve WC takviyeli elmas soketinin sertliği ve aşınma direnci, saf Ni-Cr dolgu maddesi içeren elmas soketinden daha yüksekti. Matrisin eğilme mukavemeti, WC içeriği ile ağırlıkça %30 WC'ye kadar yavaş yavaş artmış, ardından WC'nin daha fazla eklenmesiyle keskin bir düşüş göstermiştir (Xiao vd., 2019). Xiao ve ark. elmas tanelerinin sürekli bir tünel fırın kullanılarak modifiye edilmiş Ni-Cr-W alaşımı ile çelik bir alt tabaka üzerinde lehimlendiğini bildirmiştir. Lehimlenen elmas, arayüzde belirgin çatlaklar ve delikler olmadan alaşımla sıkıca birleştirilmiştir. W ilavesi alaşımın yapısını ve elmas ile alaşım arasındaki metalürjik bağı bozmazken, Ni'nin korozyon etkisini azaltmış ve elmas şeklinin bütünlüğünü iyileştirmiştir. (Xiao vd., 2022). B₄C katkılı elmas soketlerin granit kesimindeki kesme performansının incelenmesi, matris yüzeyinin kırılmasının artan sertlikle azalması nedeniyle en düşük spesifik aşınma değerinin %4 B₄C katkılı oranda elde edildiğini ortaya koymuştur. % 4 B₄C katkılı soketlerde %0 B₄C katkılı soketlere göre %6,0 daha azdır ve testere ömrü artmaktadır. En yüksek aşınma değeri %7 bor karbür katkılı oranda elde edilmiştir (Ekincioglu ve Altındağ, 2019).



Şekil 8: Bor karbür katkısına göre ağırlık aşınma kaybındaki değişim (Ekincioglu ve Altındağ, 2019)

Bir çalışmada, cBN'nin WC-Co'ya sert lehimlenmesi, Ag-Cu-In-Ti sert lehim alaşımı kullanılarak mikrodalga hibrit ısıtma ile başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, Ti'nin cBN ile bir reaksiyon tabakası TiB₂, TiB ve TiN üretmek için cBN'ye doğru yayıldığını göstermiştir. Bu reaksiyon tabakası, sert lehim alaşımıyla uyumluluğu artırarak cBN'nin WC-Co ile seramik katkı maddelerinin sert lehimleme üzerindeki etkisini inceleyen bir makalede, TiB₂, TiN ve TiC partiküllerinin saf Ag-Cu-Ti alaşımına eklenmesinin, sert lehimleme sırasında takviye partiküllerinin özel yeniden dağılımı ve potansiyel çekirdeklenme ajanı nedeniyle yapıştırma katmanının daha ince bir metalurjik mikro yapısına yol açtığı belirtilmiştir. Kompozit yapıştırma tabakasının kristal boyutu karşılaştırılabilir, saf Ag-Cu-Ti yapıştırma tabakasında elde edilenden biraz daha küçüktür (Miao vd., 2016).



Şekil 9: %8 takviye içeren farklı kompozit dolgu malzemeleri kullanılarak lehimlenen CBN tanelerinin ortalama basınç dayanımı (Miao vd., 2016)

6. LEHİMLİ ELMAS TAKIMLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Sun ve Xiao (2018) yaptıkları çalışma ile Ni-Cr-Si-B-Fe dolgu malzemesi kullanarak 1080 °C'de farklı bant hızlarında tünel fırın yöntemi ile elmas lehimleme çalışmasını rapor eden bant birleşmesine yardımcı olur (Sun ve Xiao, 2018). Sert lehimli eklem kesme mukavemetinin, 12 dakikanın üzerindeki mikrodalga maruz kalma süresi için cBN'den daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç, üretkenliği en az %70 oranında artırarak cBN uçlu WC-Co takımlarının maliyetini düşürmeyi vaat etmektedir (Tamang ve Aravindan, 2019).

Elmas matkap uçlarının delme performansı üzerine yapılan bir yayında, ağırlıkça %5 Cu-Ce alaşımı içeren Ni-Cr kompozit lehimli yeni lehimli elmas matkap uçları en uzun takım ömrüne ve en yüksek delme verimliliğine ulaşmıştır. Ayrıca, delinen delik sayısı geleneksel muadillerine kıyasla %60 artarken, delme süresi %23,5 azalmıştır (Duan vd., 2019).

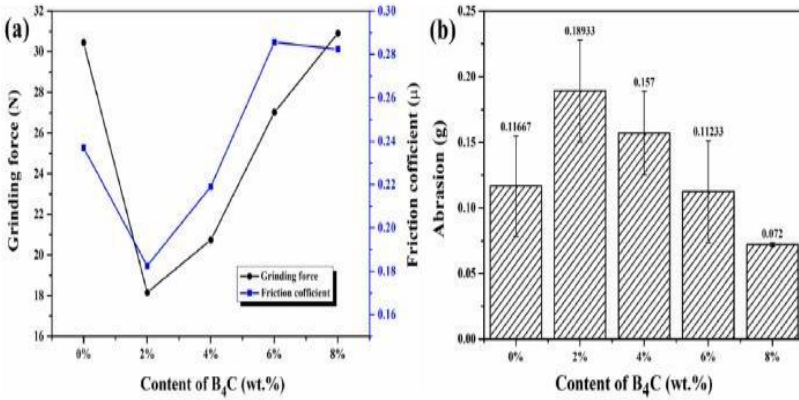
Yapılan bir araştırmada, ağırlıkça %35 Ni-Cr alaşımının kullanıldığı Ni-Cr kompozit alaşımıyla üretilen ön lehimli elmasların yüzey morfolojisi, Ni-Cr alaşımıyla üretilen elmaslarınkinden daha iyi olmuştur. Ni-Cr kompozit alaşımında ağırlıkça %30 Ni-Cr alaşımı kullanıldığında ön lehimli elmasların basınç dayanımı ve darbe tokluğu zirve yapmıştır (Duan vd., 2015).

Lu ve Kwon (2022), WC/NiCrBSi(Co) arayüzünün ve kompozit kaplama/substrat arayüzünün bağlanma mukavemetlerinin sırasıyla 100-140 MPa ve 300-360 MPa'ya ulaştığını ve bunların termal sprey kaplamadan çok daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Lehimli kompozit kaplamanın aşındırıcı aşınma direncinin de aynı bileşimdeki alev kaplamadan daha iyi olduğu görülmektedir (Lu ve Kwon, 2002).

Zhang ve ark. (2017) tarafından KSC82 karbon çelik tel, Cu-Sn-Ti dolgu maddesi ve elmas kullanılarak, 930 °C sert lehimleme sıcaklığı ve 1 m/dak tel hızı kullanılarak yapılan bir çalışmada, 0,75 mm çapındaki sert lehimleme elmas tel testeresinin çekme ve akma mukavemetlerinin sırasıyla 1289,08 ve 923,18 MPa olduğu ve KSC82 metalik tele kıyasla yaklaşık %41 ve %60 oranında azaldığı sonucu elde edilmiştir. Öte yandan, sert lehim elmas tel testerenin plastisitesi iki kattan fazla artarak gerçek hizmet koşulları altında mekanik performans gereksinimlerini tam olarak karşılayabilmiştir. Kesme testinden sonra, sert lehim elmas tel testerenin çekme ve akma dayanımları sırasıyla 1125,96 ve 846,08 MPa'dır ve bu da gerçek hizmet koşulları altında mekanik performans gereksinimlerini hala karşılayabilir (Zhang vd., 2017).

Lehimli elmasların aşınma direnci üzerine yapılan bir çalışmada, B₄C katkısının, B₄C ekleme miktarı ağırlıkça %2 olduğunda, sürtünme katsayısının ve taşlama kuvvetinin minimum olduğu görülebilir. Elmasın

mikrotopografisinin analizi ile birleştirildiğinde, ilave miktarı ağırlıkça %2 olduğunda elmasın maruz kalma derecesi daha yüksektir, kesme kenarının etkili kesme alanı daha büyüktür ve kesme işlemi sırasındaki direnç daha küçüktür. Etkili kesme kenarı maruziyeti yüksektir ve aynı kesme koşulları altında malzeme kaldırma miktarı daha fazladır. ilave miktarı ağırlıkça %2 olduğunda, mermer levhanın kaldırma miktarı maksimum 0,189 g değerine ulaşır ve ilave miktarı ağırlıkça %2 olduğunda elmas aşındırıcı tanelerin aşınma performansı daha iyidir (Cui vd., 2022).



Şekil 10: B₄C partikül içeriğinin elmas segmentlerin aşınması üzerindeki etkisi (Cui vd., 2022)

Seramik katkı maddelerinin sert lehimlemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştıran bir makalede, Ag-Cu-Ti/TiX bağlama katmanının mikrosertliğinin her zaman saf Ag-Cu-Ti alaşımı ile elde edilenden daha yüksek olduğu ve bunun Ag-Cu-Ti/TiX bağlama katmanının kristal arıtma mikroyapısına atfedildiği belirtilmiştir. Ayrıca, Ag-Cu- Ti/TiX kompozit dolgu malzemeleri ile hazırlanan lehimli bağlantının kesme mukavemetindeki iyileşme genellikle takviye partiküllerinin eklenmesinden faydalanmaktadır (Miao vd., 2016).

SONUÇ

Ni bazlı, Cu bazlı ve Ag bazlı dolgu alaşımları elmas ve cBN gritlerin sert lehimleme işlemini başarıyla gerçekleştirdiği yapılan literatür çalışmalarında vurgulanmıştır. Ti, Cr ve V gibi elementleri içeren dolgu alaşımları ısıtma özelliklerinden dolayı arayüzey yapışma mukavemetini arttırdığı ifade edilmiştir. Çalışmalar, sert lehimleme sıcaklığı, sert lehimleme bekleme süresi ve vakum veya inert gaz ortamının başarılı bir sert lehimleme işlemi için önemli

parametreler olduğunu göstermiştir. Elmas ve dolgu ara yüzeyinde Cr_3C_2 , Cr_7C_3 , $\text{Cu}_{5,6}\text{Sn}$, TiC , Cu_3Sn , Ni_3Sn , TiN , TiB_2 , TiB gibi ara metalik fazların oluşabileceği vurgulanmıştır. tespit edilmiştir. WC ve B_4C seramik katkıların, yüksek malzeme kaldırma ve uzun çalışma ömürleri nedeniyle endüstriyel kesme ve taşlama uygulamaları için umut verici olduğu, lehimleme işleminde meydana gelen termal hasar, artık gerilme, elmas kırılma mekanizması ve elmas düşmesi gibi sorunların azaltıldığı yapılan literatür çalışmalarında açıklanmıştır.

REFERANSLAR

- Chen, J., Mu, D., Liao, X., Huang, G., Huang, H., Xu, X., et al. (2018). Jinchang Chena,b, Dekui Mua,b,*, Xinjiang Liaoa,b, Guoqin Huanga,b, Hui Huanga,b, Xipeng Xua,b, Jinchang Chena,b, Dekui Mua,b,*, Xinjiang Liaoa,b, Guoqin Huanga,b, Hui Huanga,b, Xipeng Xua,b,. *Interfacial microstructure and mechanical properties of synthetic diamond brazed by Ni-Cr-P filler alloy* (74), 52-60.
- Cui, B., Zhao, W., Zuo, R., Cheng, Y., Zhong, S., Li, H., et al. (2022). The abrasion resistance of brazed diamond using Cu–Sn–Ti composite alloys reinforced with boron carbide. *Diamond and Related Materials* (124), 108926.
- Duan, D., Sun, L., Lin, Q., Fang, X., Li, C., & Jiang, Z. (2019). Effect of Cu-Ce alloy addition on the microstructure and mechanical performance of brazed diamonds with Ni-Cr alloy. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* (80), 253-258.
- Duan, D.-Z., Xiao, B., Wang, W., Zhang, Z.-Y., Wang, B., Han, P., et al. (2015). Interface characteristics and performance of pre-brazed diamond grains with Ni–Cr composite alloy. *Journal of Alloys and Compounds* (644), 626-631.
- Ekincioglu, G., & Altındağ, R. (2019). Investigation of the effect of boron carbide-doped diamond sockets on cutting performance in granite cutting. *Arabian Journal of Geosciences* (12), 170.
- Eyuboglu, A. S., Ozcelik, Y., Kulaksiz, S., & Engin, I. C. (2003). Statistical and microscopic investigation of disc segment wear related to sawing Ankara andesites. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* (40), 405–414.
- Ghosh, A., & Chattopadhyay, A. (2017). Interfacial reaction and wetting behavior of active Ag-Cu filler alloys on surface of cBN grits and its influence on failure patterns of brazed joint. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* (68), 96-103.
- Jiang, C., Chen, H., Wang, Q., & Li, Y. (2016). Effect of brazing temperature and holding time on joint properties of induction brazed WC-Co/carbon steel using Ag-based alloy. *Journal of Materials Processing Technology* (229), 562-569.
- Klotz, U. E., Liu, C., Khalid, F. A., & Elsener, H.-R. (2008). Influence of brazing parameters and alloy composition on interface morphology of brazed diamond. *Materials Science and Engineering A* (495), 265-270.

- Liang, Z. (2021). Filler metals, brazing processing and reliability for diamond tools brazing: A review. *Journal of Manufacturing Processes* (66), 651–668.
- Liu, S., Xiao, B., Xiao, H., Meng, L., Zhang, Z., & Wu, H. (2016). Characteristics of Al₂O₃/diamond/c-BN/SiC grain steel brazing joints using Cu–Sn–Ti active filler powder alloys. *Surface and Coatings Technology* (286), 376-382.
- Lu, J., Qi, W., Li, Y., Qi, F., Qian, M., & Qiu, X. (2017). Analysis on brazed diamond joints with modified Cu-based filler alloy. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* (67), 141-146.
- Lu, S.-P., & Kwon, O.-Y. (2002). Microstructure and bonding strength of WC reinforced Ni-base alloy brazed composite coating. *Surface and Coatings Technology* (153), 40-48.
- Luo, S., & Liao, Y. S. (1995). Study of the behaviour of diamond saw-blades in stone processing. *Journal of Materials Processing Technology* (51), 296-308.
- Miao, Q., Ding, W., Zhu, Y., Chen, Z., & Fu, Y. (2016). Brazing of CBN grains with Ag-Cu-Ti/TiX composite filler - The effect of TiX particles on microstructure and strength of bonding layer. *Materials and Design* (98), 243-253.
- Miao, Q., Ding, W., Zhu, Y., Chen, Z., Xu, J., & Yang, C. (2016). Joining interface and compressive strength of brazed cubic boron nitride grains with Ag-Cu-Ti/TiX composite fillers. *Ceramics International* (42), 13723-13737.
- Mukhopadhyay, P., Simhan, D., & Ghosh, A. (2017). Challenges in brazing large synthetic diamond grit by Ni-based filler alloy. *Journal of Materials Processing Tech.* (250), 390-400.
- Shen, J., Li, L., Wu, X., Chen, H., Huang, W., & Mu, D. (2019). Interfacial characteristics of titanium coated micro-powder diamond abrasive tools fabricated by electroforming-brazing composite process. *International Journal of Refractory Metals* (84), 104973.
- Sun, B.-J., & Xiao, B. (2018). Effects of process parameters on interfacial microstructure, residual stresses, and properties of tunnel furnace brazed diamonds. *Diamond & Related Materials* (85), 98-103.
- Tamang, S., & Aravindan, S. (2019). Brazing of cBN to WC-Co by Ag-Cu-In-Ti alloy through microwave hybrid heating for cutting tool application. *Materials Letters* (254), 145-148.

- Wang, C., Zhou, Y., Zhang, F., & Xu, Z. (2009). Interfacial microstructure and performance of brazed diamond grits with Ni–Cr–P alloy. *Journal of Alloys and Compounds* (476), 884-888.
- Wang, T., Liu, C., Leinenbach, C., & Zhang, J. (2016). Microstructure and strengthening mechanism of Si3N4/Invar joint brazed with TiNp-doped filler. *Materials Science and Engineering A* (650), 469-477.
- Xiao, H., Wang, S., & Xiao, B. (2022). Microstructural characteristics and mechanical properties of diamond grinding wheel brazed with modified Ni–Cr–W alloy using continuous tunnel furnace. *Ceramics International* , 9258-9268.
- Xiao, H., Xiao, B., Liu, S., & Wu, H. (2019). Interfacial analysis of vacuum brazing diamond/WC mixed abrasives with NiCrBeSi active filler. *Vacuum* (164), 158-164.
- Xiao, H.-Z., Xiao, B., & Wu, H.-H. (2019). Interfacial characteristics and mechanical properties of the vacuum brazing diamond grains segment with Ni-Cr composite active filler and tungsten carbide reinforcement. *Journal of Alloys and Compounds* (781), 226-234.
- Zhang, Z.-Y., Xiao, B., Duan, D.-Z., Wang, B., & Liu, S.-X. (2017). Investigation on the brazing mechanism and machining performance of diamond wire saw based on Cu-Sn-Ti alloy. *International Journal of Refractory and Metals* (66), 211-219.