

MÜHENDİSLİKTE İLERİ VE ÇAĞDAŞ ÇALIŞMALAR 2



Editörler
Prof. Dr. Melike YALILI KILIÇ
Prof. Dr. İlker KILIÇ



MÜHENDİSLİKTE İLERİ VE ÇAĞDAŞ ÇALIŞMALAR 2

Editörler

Prof. Dr. Melike YALILI KILIÇ

Prof. Dr. İlker KILIÇ



MÜHENDİSLİKTE İLERİ VE ÇAĞDAŞ ÇALIŞMALAR 2

Editörler: Prof. Dr. Melike YALILI KILIÇ, Prof. Dr. İlker KILIÇ

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek

Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design

Baskı: ARALIK 2023

Yayıncı Sertifika No: 49837

ISBN: 978-625-6643-13-0

© Duvar Yayınları

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

Tel: 0 232 484 88 68

www.duvaryayinlari.com

duvarkitabevi@gmail.com

İÇİNDEKİLER

Bölüm 16

KATMA DEĞERİ YÜKSEK KİMYASALLARIN ÜRETİLMESİNDE
ATIK LİGNOSELÜLOZİK BİYOKÜTLENİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Abdulkadir GÜL, Esra GÜL

Bölüm 225

TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE SİLİCİ TAKIM GEOMETRİSİNİN
YÜZEY KALİTESİNE ETKİSİ

Emin ÖZDEMİR

Bölüm 359

KİTOSAN VE NİŞASTA BAZLI BİYOPOLİMER/METAL YÜKLEMELİ
BENTONİT NANOKOMPOZİT FİLM SENTEZİ VE
KARAKTERİZASYONU

Fatma TOMUL, Muhittin GÜLPINAR

Bölüm 4.....72

DENİZ SONDAJ GEMİSİ HELİKOPTER HELİDECK PLATFORMUNUN
CAP 437 STANDARDINA GÖRE YÜZEY SÜRTÜNME KATSAYISI
ANALİZİ VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Gültekin ÇOŞKUN, Gencay SARIŞIK

Bölüm 583

BORU HATLARINDA PİG KULLANIMI

İnci TÜRK TOĞRUL

Bölüm 6102

ALTERNATİF YAKITLARIN SIKIŞTIRMA ATEŞLEMELİ
MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR ÜZERİNE ETKİLERİ

Halil İbrahim AKOLAŞ

Bölüm 7113

İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN
ALTERNATİF YAKITLAR

Halil İbrahim AKOLAŞ

Bölüm 8126

DERİN ÖĞRENME KULLANILARAK OTOMATİK ASMA
YAPRAKLARININ SINIFLANDIRILMASI

Muhammet ÇAKMAK

Bölüm 9145

SAKARYA HAVZASINDA YER ALAN SAKARYA, BİLECİK VE
KÜTAHYA İSTASYONLARININ METEOROLOJİK VERİLERİN TRENDİ
Murat CUMA, Ahmet İyad CEYHUNLU, Gökmen ÇERİBAŞI

Bölüm154

10SAPANCA HAVZASININ HİDRO-METROLOJİK VERİLERİN
TREND ANALİZİ
Murat CUMA, Ahmet İyad CEYHUNLU, Gökmen ÇERİBAŞI

Bölüm 11163

YENİLENEBİLİR ALTERNATİF DİZEL VE
BENZİNLİ MOTOR YAKITI OLARAK BİYOETANOL
Murat KARABEKTAŞ, Mehmet ÇALIŞKAN, Kemal ERMİŞ

Bölüm 12186

HARİTA MÜHENDİSLİĞİNDE DİK KOORDİNAT SİSTEMİ VE
TEMEL ÖDEVLER
Nihat ERSOY

Bölüm 13210

BİNEK TAŞITLARDA PASİF GÜVENLİK SİSTEMLERİ
Ömer ÇERLEK, Adem TÜYLÜ, Kubilay HAN

Bölüm 14225

KONTROLLÜ ANTİBİYOTİK SALIMI:
BİYOBOZUNUR GIDA AMBALAJI ÖRNEĞİ
Özlem AYDIN

Bölüm 15225

AYDINLATMADA ENERJİ TÜKETİMİNİN AZALTIKMASI
Selmin ENER RÜŞEN

Bölüm 16258

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE VERİMLİLİĞE ETKİ EDEN
PARAMETRELERİN İNCELENMESİ
Selmin ENER RÜŞEN, Mahmut Sami ALKAN

Bölüm 17271

KABLOSUZ İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİNDE SİBER RİSK UNSURLARI
Semih ÇAKIR, Nesibe YALÇIN2

Bölüm 18287

18MUTFAK ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE
FARKLI BİR YAKLAŞIM

Abdülkadir DİLBER, Süleyman GÖKMEN

Bölüm 19301

BİR TRAKTÖR MONTAJ FABRİKASI İÇİN RİSK ÖNCELİKLENDİRME

Turgay MUTLUOĞLU, Tülay KORKUSUZ POLAT

Bölüm 20317

YAPAY ZEKA VE İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ:
GELECEĞİN TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜMÜ VE UYGULAMALARI

Uğur KAFKAS

Bölüm 21335

LASTİK VE KAUÇUK MALZEMELERİN
ÇEKME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ
(ISO 37 VE ASTM D412 GÖRE)

Bülent AYDEMİR

Bölüm 22353

BULUT BİLİŞİM TEKNOLOJİSİNİN TEMELİ VE
GELECEĞE YÖNELİK ÖNERİLER

Sezin GÜLERYÜZ , Yuşa Çağatay GÜNAYDIN

Bölüm 1

KATMA DEĞERİ YÜKSEK KİMYASALLARIN ÜRETİLMESİNDE ATIK LİGNOSELÜLOZİK BİYOKÜTLENİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Abdulkadir GÜL¹
Esra GÜL²

1. GİRİŞ

Son zamanlarda petrol ürünleri yerine lignoselülozik biyokütlenin hammadde olarak kullanıldığı ürünler birçok endüstriyel alanda kullanılmaya başlanmıştır (Ikeda vd., 2006). Ucuz ve kolay erişilebilir olan lignoselülozik maddeler, dünya çapında biyokütlenin yaklaşık %50'sini oluşturmakta ve çeşitli katma değeri yüksek değerli ürünlerin üretimi için düşük maliyetli bir hammadde olarak kullanılabilir (Hendriks ve Zeeman, 2009). Lignoselülozik biyokütlenin hammadde olarak kullanılması sadece hammadde maliyetini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda katı atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesine de yardımcı olur (Dong vd., 2019; Menon ve Rao, 2012; Zhao vd., 2020). Lignoselülozik bileşenlerin kimyasal özellikleri, onları önemli biyoteknolojik değere sahip bir substrat haline getirmektedir (Malherbe ve Cloete, 2003). Tarımsal hammaddelerin endüstriyel olarak işlenmesi sonucunda her yıl büyük miktarda lignoselülozik atık ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların çoğu hayvan yemi olarak kullanılmakta veya bertaraf edilmesi için yakılmaktadır. Ancak bu tür atıklar genellikle şeker, mineral ve protein açısından zengin bir bileşime sahiptir ve bu nedenle "atık" olarak değil, diğer endüstriyel süreçler için hammadde olarak değerlendirilmelidir. Bu atıklarda karbon kaynaklarının, besin maddelerinin ve nemin bulunması mikroorganizmaların gelişimi için uygun koşulları sağlamakta ve bu durum fermentasyon ve biyodönüşüm süreçlerinde yeniden kullanımları için büyük olanaklar sunmaktadır (Solange vd., 2012).

Lignoselülozik biyokütlenin bileşimleri yapısal olarak değişiklik göstermektedir. Ana bileşen selülozdur (%35-50), bunu hemiselülozlar (%20-30) ve lignin (%10-25) takip etmektedir. Proteinler, yağlar ve kül gibi küçük

¹ Arş. Gör. Dr.; Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Genetik ve Biyomühendislik Bölümü. kadirgul@gumushane.edu.tr ORCID No: 0000-0003-4879-6194

² Arş. Gör.; Malatya Turgut ÖZAL Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Biyomühendislik Bölümü. esra.oz@ozal.edu.tr ORCID No: 0000-0002-4140-6299

bileşenlere ek olarak lignoselülozik biyokütlenin geri kalan kısmını oluşturur (Sjostrom, 1981). İdeal bir lignoselülozik biyokütle ucuzdur, yüksek verimle kolayca işlenebilir ve hem hidroliz hem de enzim üretimi için uygundur. Lignoselülozik biyokütlenin biyoyakıt gibi değerli ürünlere dönüştürülmesi dünya çapında önemli bir etkiye sahiptir (Menon ve Rao, 2012). Lignoselülozik biyokütle, biyoyakıt üretiminde ve dünyanın fosil yakıt tüketimindeki bağımlılığının azaltılmasında önemli bir role sahiptir (Meng ve Ragauskas, 2014). En büyük yenilenebilir karbonhidrat kaynağı olarak bilinen lignoselülozik biyokütleden fermente edilebilir şekerlerin elde edilmesi, fosil yakıtlara olan ekonomik bağımlılık ve bu yakıtların çevre ve iklim üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir (Kristensen, 2009). Bu nedenle, biyokütle kullanımı gelecekte sadece enerji değil, aynı zamanda kimyasal madde ve malzeme tedarikinde de önemli bir katkı sağlayacaktır (Kristensen, 2009). Örnek olarak, lignoselülozik biyokütle laktik asit üretiminde kullanılabilir. Laktik asit fermantasyonunda kullanılan hammaddenin maliyeti, proses ekonomisini doğrudan etkilediği için çok önemlidir (Abdel-Rahman vd., 2011). Glukoz, sakkaroz veya nişasta gibi rafine şekerlerin kullanımı, laktik asit fermantasyonu için hammadde olarak kullanıldıklarında çok pahalı olabilir (Abdel-Rahman vd., 2011). Bu nedenle, lignoselülozik biyokütlenin kullanımı, yüksek bulunabilirlik, sürdürülebilirlik ve düşük maliyet açısından fermantasyon sürecinin ekonomisine katkıda bulunmak için umut verici bir yoldur (Abdel-Rahman vd., 2011). Biyoyakıt ve laktik asit üretiminin yanı sıra, yan ürünler de farklı endüstriyel alanlarda da kullanılabilir. Turunçgil kabuğundan elde edilen pektin gıda endüstrisinde jelleştirici olarak kullanılabilir (Kuivanen vd., 2012). Aynı şekilde, turunçgil kabuğundan elde edilen limonen gıda endüstrisinde antimikrobiyal ve aroma bileşiği olarak kullanılabilir (Kuivanen vd., 2012). Bu çalışmanın amacı, çeşitli lignoselülozik atıkların özelliklerinden bahsetmenin yanı sıra çevre dostu bir şekilde katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesinin ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik açısından önemi vurgulamaktır.

2. LİGNOSELÜLOZİK BİYOKÜTLE TÜRLERİ

Doğada birçok madde lignoselülozik biyokütle kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Bu maddelerin en büyük avantajları atık maddeler olmasından dolayı ekonomik bir şekilde temin edilmesi ve bunların değerlendirilerek çevreye olan zararlarının bertaraf edilmesidir. Bu kapsamda en çok karşılaşılan lignoselülozik maddelerden bazıları aşağıdaki başlıklarda özetlenmiştir.

2.1. Kuru Çim

Doğada yetişen otlar, lignoselülozik biyokütle üretimi için kullanılan potansiyel adaylardır. Etanol üretiminde kullanılmak üzere seçilen başlıca otsu bitkiler şalter otu (*Panicum virgatum*), Miscanthus (*Miscanthus* spp. *Anderss*), kanarya otu (*Phalaris arundinacea*), dev kamış (*Arundo donax L.*), yonca (*Medicago sativa L.*) ve Napier (*Pennisetum purpureum*) otudur. Bu çimlerin gıda bitkilerine göre enerjik, ekonomik ve çevresel avantajları vardır (Faraco, 2013). Dallı darı özellikle düşük maliyeti, bolluğu, hastalıklara karşı dirençli olması ve dönüm başına yüksek şeker substratı verimine sahip olması nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Limayem ve Rick, 2012).

2.2. Orman Atıkları

Ormanlardan elde edilen lignoselülozik atık kaynakları arasında doğal ormanlardan arta kalan artıklar, kereste fabrikalarından gelen talaş, ölü ağaçlardan elde edilen dallar ve hızlı büyüyen kısa rotasyonlu orman ağaçları yer almaktadır. Sert ve yumuşak ağaç olmak üzere iki tür orman ağacı vardır. Yumuşak ağaçlar açık tohumlu ağaçlardan kaynaklanır ve sedir, çam, ladin, selvi, köknar, baldıran ve kızılğacı içerir. Bu ağaçlar çok hızlı büyür ve sert ağaçlara kıyasla daha az yoğundur. Sert ağaçlar anjiyospermdir ve kavak, söğüt, meşe, pamuk ağacı ve titrek kavağı içerir. Bu ağaçlar, tüm yıl boyunca büyüdükleri ve daha az kül içerdikleri için mevsimlik bitkileri kullanmaktan daha avantajlıdır (Faraco, 2013).

2.3. Belediye Katı Atıkları

Toplumda üretilen atık maddeler çeşitli çevre, sağlık ve güvenlik sorunlarına yol açmaktadır. Bununla birlikte, kentsel ve endüstriyel katı atık maddeler lignoselüloz içerir ve bu nedenle etanole dönüştürülebilir ve biyoyakıt için potansiyel bir kaynaktır. Katı atıklar mutfak atıkları, bahçe atıkları, kağıt ve karton atıklardan oluşmaktadır. Atıklarda bulunan şekerler, nişastalar, lipitler ve proteinler mikroorganizmalar tarafından kolayca parçalanabilir. Faraco ve Hadar'a (2011) göre, Akdeniz'deki 150 milyar ton atığın %50'sinden yılda 17 ile 25 milyar ton etanol üretilebilir.

2.4 Tarımsal Atıklar

Tarımsal sanayi atıkları, tarımsal ürünlerin endüstriyel olarak işlenmesi sırasında ortaya çıkmaktadır. Tarımsal faaliyetlerden elde edilenler arasında meyvelerden, baklagillerden veya tahıllardan (pirinç, buğday, mısır, sorgum, arpa vb.) elde edilen saman, sap, yaprak, kabuk, tiftik, tohum, taş, posa, şeker kamışının öğütülmesinden elde edilen küspe, kullanılmış kahve telvesi,

biracılıkta kullanılmış tahıllar ve meyve kabukları gibi maddeler yer almaktadır. Bu atıklar yıl boyunca büyük miktarlarda üretilir ve yeryüzünde en bol bulunan yenilenebilir kaynaklardır. Bu atıklar temel olarak endüstriyel açıdan ilgi çekici bileşikler olan şekerler, fibriller, proteinler ve minerallerden oluşmaktadır. Tarımsal sanayi artıkları, doğrusal ve kristal polisakkaritler selüloz, dallanmış selülozik olmayan ve kristal olmayan heteropolisakkaritler (hemiselülozlar) ve dallanmış (kristal olmayan) ligninden oluşan kompakt, kısmen kristal yapıdaki lignoselülozdan oluşur (Nigam ve Pandey, 2009). Lignoselüloz, kovalent olmayan kuvvetler ve kovalent çapraz bağlarla güçlü bir şekilde bağlanmış üç farklı polimerden oluşur (Perez vd., 2002). Bu bağlar nedeniyle, maddelerin içindeki karbonhidratların erişilebilirliği ciddi şekilde engellenmekte ve sonuç olarak potansiyel enerji kaynağı olan önemli miktarda kullanılmadan kalmaktadır. Lignoselülozun ticari olarak değerlendirilmesi ancak kullanımının önündeki engeller biyoteknoloji yoluyla kolaylıkla aşıldığında mümkün olabilecektir (Tandon, 2015).

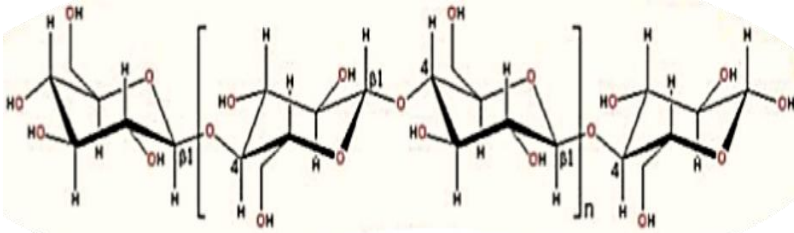
3.LİGNOSELÜLOZİK MADDELERİN BİLEŞİMİ VE YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Bitkiler esas olarak yapısal açıdan önemli bir rol oynayan lignoselülozdan oluşur (Nanda vd., 2014). Bitki türü, olgunluk, iklim ve çevre koşulları gibi çeşitli parametreler lignoselülozun kimyasal bileşimini etkiler (Mohapatra vd., 2017; Langsdorf vd., 2021). Bitkilerin karbonhidrat bileşimi önemli ölçüde farklılık gösterir ve genetik ve çevresel faktörlerden etkilenir (Betts vd., 1991). Selüloz (%35-50), lignoselülozda en bol bulunan polimerdir, bunu sırasıyla hemiselülozlar (%20-30) ve lignin (%10-25) takip eder (Baldrian ve Valaskova, 2008).

3.1 Selüloz

Selüloz, lignoselülozik biyokütlenin çekirdek kısmını oluşturan bir polisakkarittir (Periyasamy vd., 2022). Selüloz, tekrarlanan sellobiyoz birimlerinden (b-1,4 glikozidik bağlantı yoluyla birleştirilmiş iki susuz glukoz halkası) oluşan yüksek moleküler ağırlıklı doğrusal bir homopolimerdir (Şekil 1). Uzun zincirli selüloz polimerleri hidrojen ve van der Waals bağları ile birbirine bağlanır ve bu da selülozun mikrofibriller halinde paketlenmesine neden olur. Bu hidrojen bağlarının oluşmasıyla, zincirler paralel olarak düzenlenir ve kristal bir yapı oluşturma eğilimindedir. Bu nedenle, selüloz mikrofibriller hem yüksek kristalli bölgelere (toplam selülozun yaklaşık 2/3'ü) hem de daha az düzenli amorf bölgelere sahiptir. Bitki hücrelerindeki selülozun kristal bölgeleri genellikle kristal yapının selülozun kaynağına bağlı olduğu

amorf bölgelerle ayrılır. Daha düzenli veya kristal selüloz daha az çözünür ve daha az parçalanabilir (Tahezadeh ve Karimi, 2008; Zhang vd., 2004). Genel olarak, selülozda yaklaşık 800-10.000 birim glukoz bulunur ve bazı durumlarda 17.000'e kadar uzayabilir (Haldar ve Purkait, 2020). Selüloz, kristalin veya kristalin olmayan formlarda bulunabilir. Selüloz, bağıl nemi %60 olan 20 °C oda sıcaklığında %8-14 oranında su emen higroskopik bir maddedir. Düşük sıcaklıklarda selüloz seyreltik asitlerde çözünmez. Gerçekleştirilen hidroliz derecesi, polimerin çözünürlüğü ile oldukça ilişkilidir (Muktham vd., 2016). Sonuç olarak, selülozun hidroliz oranını etkileyen faktörler çözünürlüğünü de etkiler. Selüloz kristal yapısını tutan hidrojen bağlarını kırmak için uygulanan ısı enerjisi nedeniyle daha yüksek sıcaklıklarda çözünür hale gelir. Bununla birlikte, hidroliz önemli ölçüde polimer bozunmasına neden olsa da güçlü asitlerde de çözünür (Kim, 2013).



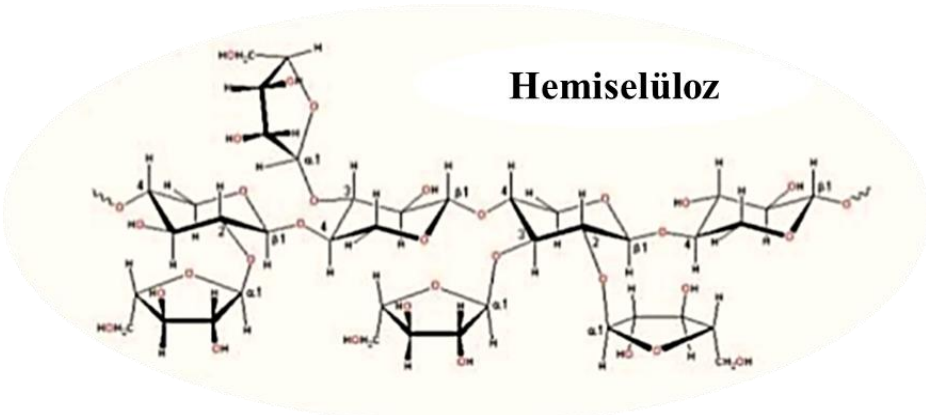
Selüloz

Şekil 1: Selülozun kimyasal yapısı (Radenkovs vd., 2018)

3.2 Hemiselüloz

Hemiselüloz, D-ksiloz, D-arabinoz, D-galaktoz, D-mannoz, D-4-O-metilglukuronik, D-galakturnik ve D-glukuronik asit ve diğer ester bağlı asetil, kumaril ve feruloil parçalarından oluşan oldukça karmaşık heterojen bir polisakarittir (Şekil 2) (Perez vd., 2002). Hemiselüloz, omurgasındaki ana şeker yapısına göre ksilanlar, mannanlar, glukonlar, glukuronoksilanlar, arabinoksilanlar, glukomannanlar, galaktomannanlar, β -glukanlar ve ksiloglukanlar gibi farklı sınıflandırmalara sahiptir. Selüloz ile karşılaştırıldığında, hemiselülozlar şeker birimlerinin bileşimi, daha kısa zincirlerin varlığı ve ayrıca yapısını selüloza göre hidrolize etmeyi kolaylaştıran ana zincir moleküllerinin dallanması ile farklılık gösterir. Hemiselülozlar yapısal olarak selülozdan daha karmaşık olmasına ve tam hidroliz için önemli ölçüde daha fazla enzim gerektirmesine rağmen, selüloz gibi paketlenmiş kristal yapılar oluşturmaz ve bu nedenle enzimatik hidrolize daha duyarlıdır (Saha, 2003). Hemiselülozlar genellikle ikincil duvarda bulunur ve selüloz ile

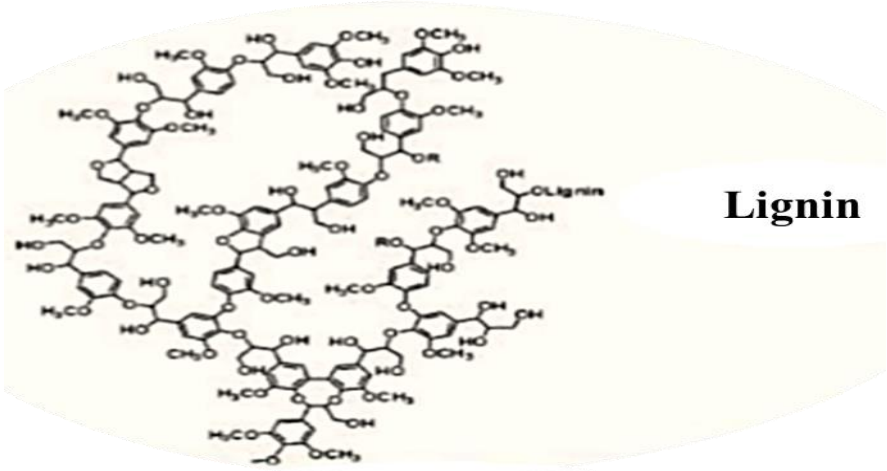
bağlantılıdır, ancak birincil hücre duvarında da bulunabilirler. Sert ağaçlarda ve otlarda ana hemiselüloz bileşeni glukoronoksilan iken yumuşak ağaçlarda glukomannandır (Jeffries, 1994). Bununla birlikte, hemiselüloz içeriği aynı bitkinin farklı bölümleri arasında, örneğin gövde ve yapraklar arasında değişebilir (Perez vd., 2002).



Şekil 2: Hemiselülozun kimyasal yapısı (Radenkovs vd., 2018)

3.3 Lignin

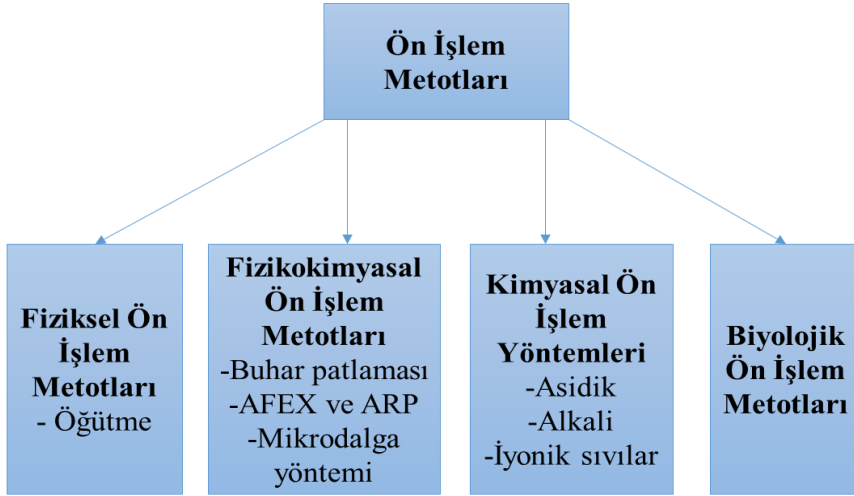
Lignin, ağırlıklı olarak bitkilerin ksileminde bulunan karmaşık, aromatik bir heteropolimerdir (Donaldson, 2001). Üç boyutlu büyük bir yapıda birbirine bağlanmış fenilpropan birimlerinden oluşan çok karmaşık bir moleküldür (Şekil 3). Ligninin monomerleri olarak p-kumaril alkol (p-hidroksifenil propanol), koniferil alkol (guaiasil propanol) ve sinapil alkol (şiringil alkol) olmak üzere üç polimerize fenil propiyonik alkol mevcuttur. Lignin, selüloz ve hemiselüloza sıkı sıkıya bağlıdır ve işlevi, hücre duvarına sertlik ve uyum sağlamak, ksilem damarlarına su geçirmezlik kazandırmak ve mikrobiyal saldırılara karşı fizikokimyasal bir bariyer oluşturmaktır. Moleküler yapısı nedeniyle ligninler kimyasal ve enzimatik bozunmaya karşı son derece dirençlidir. Genel olarak bitkiler her bir bileşenin farklı konsantrasyonlarından oluşur. Örneğin sert ağaçtaki ana lignin bileşeni gayakol ve syringol iken yumuşak ağaçtaki ana bileşen koniferil alkoldür (Jeffries, 1994; Perez vd., 2002). Karbonhidrat polimerleri ve lignin miktarları bitkiden bitkiye farklılık göstermektedir. Buna ek olarak, tek bir bitkideki çeşitli bileşenler arasındaki oranlar da yaşa, büyüme aşamasına ve diğer koşullara göre değişebilir. Lignin-karbonhidrat ve hemiselüloz-selüloz etkileşimleri bitkinin sertliğini etkilerken aynı zamanda bileşimini ve yapısını da etkileyebilir (Tandon, 2015).



Şekil 3: Ligninin kimyasal yapısı (Radenkovs vd., 2018)

4.LİGNOSELÜLOZİK BİYOKÜTLE İÇİN ÖN İŞLEM YÖNTEMLERİ

Lignoselülozik biyokütle güçlü bir yapıya sahip olduğundan, enzimatik hidrolizden önce, enzimlere daha duyarlı hale getirmek için ön işlem yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Ön işlem yöntemleri yardımıyla selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi ana bileşenlerin çözünürleştirilmesi veya ayrılması sağlanır (Menon ve Rao, 2012). Ön işlem yöntemlerinin temel amacı lignini değiştirmek veya uzaklaştırmak ve selülozun kristalleşme derecesini azaltmaktır (Kristensen, 2009). Kristensen'e (2009) göre, selüloz hidrolizinde, ligninin ve bazı durumlarda hemiselülozun uzaklaştırılması hidroliz verimliliğini artırmak için hayati önem taşımaktadır. İdeal ön işlem yöntemi, selüloz-hemiselüloz matrisini başarılı bir şekilde bozmalı, selülozun kristalliğini azaltarak amorf selüloz miktarını artırmalı, lignini lignoselüloz yapısından ayırmalı, enzim erişilebilirliğini başarılı bir şekilde sağlamak için biyokütlenin gözenekliliğini artırmalıdır (Yavaş, 2010). Ayrıca, ön işlem sırasında hidrosimetilfurfural (HMF) ve levülinik asit gibi inhibitör bileşiklerin oluşumu önlenmelidir (Yavaş, 2010). Ön işlem yöntemi, hammaddenin türüne, çevresel etkiye ve prosesin ekonomisine bağlı olarak değişebilir. Ön işlem yöntemleri fiziksel, fizikokimyasal, kimyasal ve biyolojik yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4: Lignoselülozik maddelerin ön işleminde yaygın kullanılan metotlar (Poçan, 2015)

4.1. Fizikokimyasal Ön İşlem Yöntemleri

Fizikokimyasal ön işlem yöntemleri hem kimyasal hem de fiziksel ön işlem yöntemlerini birleştirir. Buhar patlaması, amonyak fiber patlaması (AFEX), amonyak geri dönüşüm perkolasyonu (ARP) ve mikrodalga kimyasal işlemleri fizikokimyasal ön işlem yöntemlerine örnektir (Menon ve Rao, 2012). Buhar patlamasında, biyokütle yüksek basınçlı doymuş buhara maruz bırakılır ve daha sonra basınç aniden düşürülür (Menon ve Rao, 2012). Bu yöntemde, biyokütle 160-260°C aralığında sıcaklık ve buna karşılık gelen 0,69-4,83 MPa basınç ile muamele edilerek yüksek basınç ve sıcaklık nedeniyle hemiselüloz bozunması ve lignin dönüşümü sağlanır ve ardından biyokütle atmosferik basınca maruz bırakılır (Menon ve Rao, 2012). Basıncıdaki ani düşüş selüloz demetlerinin defibrilasyonuna neden olarak selülozun enzimlere daha iyi erişebilmesini sağlar (Stelte, 2013). Amonyak fiber patlama yöntemi (AFEX) buhar patlamasına çok benzemektedir çünkü her iki yöntem için de yüksek basınç ve yüksek sıcaklık önemli parametrelerdir (Menon ve Rao, 2012). Ancak AFEX'te biyokütle belirli bir süre boyunca yüksek basınç ve sıcaklıkta sıvı amonyağa maruz bırakılmaktadır (Menon ve Rao, 2012). AFEX, selülozun kristalizasyonunu, kısmi hemiselüloz depolimerizasyonunu arttırdığı ve substratların lignin işlenmesi zor yapısını bozduğu için ümit verici bir ön işlem yöntemidir (Kim vd., 2009). Bir diğer fizikokimyasal ön işlem yöntemi de amonyak geri dönüşüm perkolasyon yöntemidir (ARP). AFEX ile benzer bir yöntem olmasına rağmen, bu işlemde sıvı amonyak yerine sulu amonyak

(ağırlıkça %10-15) kullanılır ve ön işlemden sonra amonyak geri dönüştürülür (Menon ve Rao, 2012).

Mikroalga kimyasal ön işlem yöntemi, fizikokimyasal ön işlem yöntemi olarak da sınıflandırılmaktadır. Reaksiyon süresinin kısılması nedeniyle geleneksel ısıtma kimyasal ön işlem yöntemlerinden daha etkili bir yöntemdir (Menon ve Rao, 2012). Karbon malzemeler mikroalga enerjisini kolayca emebilir, bu nedenle mikroalga ısıtma lignoselülozların ön işlemi için uygundur (Diaz vd., 2015). Mikroalga ön işleminde farklı çözücüler kullanmak mümkündür, ancak gliserol, tetrahidrofurfuril alkol, etilen glikol gibi yüksek kaynama noktasına sahip çözücüler, delignifikasyonu (lignoselülozik biyomalzemelerden ligninin uzaklaştırılması) iyileştirdikleri için tercih edilir (Diaz ve vd., 2015). Diaz vd. (2015), mikroalga ön işleminin selülozun polimerizasyonunu ve kristalliğini azalttığı, lignin depolimerizasyonuna neden olduğu ve spesifik yüzey alanını çok kısa sürede artırdığı için biyokütle çalışmalarında ümit verici bir yöntem olduğunu belirtmiştir.

4.2. Kimyasal Ön İşlem Yöntemleri

Kimyasal ön işlem yöntemleri de lignoselülozik biyokütlenin değerli ürünlere dönüştürülmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Menon ve Rao'nun (2012) çalışmasına göre, kimyasal ön işlem yöntemlerinin temel amacı lignin ve/veya hemiselülozu uzaklaştırmak ve selülozun kristalleşme derecesini azaltmaktır. En iyi bilinen kimyasal ön işlem yöntemleri asit ve alkali ön işlemdir. Asit ön işlemi seyreltik asit veya konsantre asit kullanılarak gerçekleştirilebilir (Menon ve Rao, 2012). Rosgaard ve Meyer (2007), asit ön işlemi kullanılarak lignoselülozik biyokütlenin hemiselüloz kısmının çözünür hale geldiğini ve kalan kısmın esas olarak selüloz ve ligninden oluştuğunu belirtmiştir. Asit ön işlemleri, hemiselülozu giderme kabiliyeti nedeniyle lignoselülozik biyokütleyi parçalamak için tüm sürecin bir parçası olarak kullanılabilir (Menon ve Rao, 2012).

Alkali ön işlem, seyreltik veya konsantre baz kullanımı nedeniyle asit ön işlemine benzer. Sodyum hidroksit (NaOH) ve kalsiyum hidroksit (Ca(OH)₂) alkali ön işlemlerde kullanılan yaygın bazlardır. NaOH'ın lignoselülozik biyokütlenin lignin yapısını bozabildiği ve enzimlerin hemiselüloz ve selüloza erişilebilirliğini artırdığı belirtilmiştir (Kristensen, 2009). Alkali ön işlemin pirinç samanlarının yapısında kimyasal ve morfolojik değişikliklere neden olduğu ve enzim erişilebilirliğini artırdığı tespit edilmiştir (Remli vd., 2014). Ayrıca, NaOH yüklemesinin enzimatik muameleyi etkileyen en önemli parametre olduğu belirlenmiştir (Chen vd., 2013). Wang vd. (2012) araştırmalarına göre, alkali ön işlem görmüş mısır saplarında selülozun glukozaya dönüşümünde işlem

görmemiş mısır sapına kıyasla yaklaşık 4 kat artış gözlenmiştir. Bazı durumlarda, hidroliz verimini artırmak için farklı ön işlem yöntemlerinin kombinasyonu daha etkili hale gelmektedir. Örneğin, asit ön işlemi (hemiselülozun uzaklaştırılması) alkali ön işlemle (ligninin uzaklaştırılması) birlikte kullanılırsa, enzimatik hidrolize çok duyarlı olan nispeten zayıf selüloz elde edilebilir (Menon ve Rao, 2012). Bu iyi bilinen kimyasal ön işlem yöntemlerine ek olarak, son zamanlarda iyonik sıvılar/yeşil çözücüler olarak bilinen yeni bir çözücü sınıfı ortaya çıkmıştır (Menon ve Rao, 2012). İyonik sıvılar, yüksek termal kararlılık ve düşük uçuculuk gibi bazı avantajlara sahiptir, bu da onlara toksik ve kararsız olan ve ağır koşullarda çalışan diğer geleneksel çözücülere göre üstünlük sağlamaktadır (Haykir vd., 2013).

4.3. Biyolojik Ön İşlem Yöntemleri

Biyolojik ön işlem yöntemi, lignoselülozların kimyasal yapısını değiştirmek ve onları enzimatik hidrolize daha duyarlı hale getirmek için odunsu maddeleri bozabilen beyaz-kahverengi-yumuşak çürükçül funguslar ve bakteriler gibi mikroorganizmaları kullanır (Menon ve Rao, 2012). Kahverengi çürükçül fungusların sadece selülozu parçalayabildiği, beyaz çürükçül mantarların ise selüloz ve lignini parçalayabildiği bildirilmiştir (Sun ve Cheng, 2002). Biyolojik ön işlem yöntemleri, düşük enerjiye ihtiyaç duymaları ve kimyasal ön işlemler gibi ağır koşullara ihtiyaç duymamaları nedeniyle tercih edilmektedir (Yavaş, 2010).

5. LİGNOSELÜLOZİK ÜRÜNLER

Lignoselüloz, yeryüzünde en bol bulunan biyokütle olduğundan, geniş kullanılabilirliği, alternatif bir yem stoğu ve enerji kaynağı olarak değerlendirilebilecek olması birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Esas olarak yakıt, kâğıt ve kâğıt hamuru endüstrisinde, gıda ve yem için protein olarak kullanılmaktadır. Bu başlık altında, lignoselülozik atıklardan biyoetanol, biyodizel, laktik asit ve glukonik asit üretimi üzerinde durulmuştur. Lignoselülozik malzemeler ve bunlardan elde edilen ürünler Tablo 1'de, lignoselülozik biyokütleden fermentasyon yoluyla elde edilen ürünler ise Tablo 2'de gösterilmektedir (Tandon, 2015).

Tablo 1: Lignoselülozik biyokütle kaynakları ve bunlardan elde edilen ürünler (Tandon, 2015).

Lignoselülozik kaynaklar	Artık maddeler	Ürünler
Mısır, buğday, pirinç, soya fasulyesi	Atık su, kepek	Atık su, kepek, hayvan yemi

Şeker kamışı ve diğer şeker ürünleri	Küspe	Yakıt olarak
Hayvansal atıklar	Gübre, diğer atıklar	Toprak düzenleyicileri
Ormancılık-kağıt ve kağıt hamuru	Ağaç artıkları, ağaç kabukları, yapraklar vb.	Toprak düzenleyicileri
Testere ve kontrplak atıkları	Talaş, odun talaşı, testere tozu	Kağıt hamuru ve kağıt endüstrileri, yonga ve elyaf levha
Topluluklardan gelen lignoselülozik atıklar	Eski gazeteler, kağıtlar, kartonlar, eski tahtalar, kullanılmayan mobilyalar	Küçük bir kısmı geri dönüştürülür, kalan kısmı yakılır
Çimenler	Kullanılmayan çimler	Yakma işlemi
<i>Nypa</i> sp.	Sap	Biyodizel
Yağlar ve yağlı tohum bitkileri fındık, pamuk tohumu, zeytin, soya fasulyesi vb.	Kabuklar, tiftik, elyaf, çamur, pres keki, atık su	Hayvan yemi, gübre

5.1 Biyoyakıtlar

Biyoyakıt, dizel ve petrole alternatif olarak canlı organizmalardan elde edilen yenilenebilir bir enerjidir. Canlı organizmalar bitkiler, algler ve fungusları içerebilir. Etanol ve biyodizel iki temel yakıt türüdür (Tandon, 2015).

5.1.1 Biyoetanol

Biyoetanol, farklı hammaddelerden elde edilen şekerlerin fermente edilmesiyle üretilen etanolik bir sıvıdır. Yaygın hammaddeler arasında mısır, arpa, yulaf, pirinç, buğday, şeker kamışı ve sorgum bulunmaktadır (Kim and Dale, 2004). Biyoetanol, yenilenebilir olmasının yanı sıra ucuz olması nedeniyle petrole alternatif olarak kullanılmaktadır. Toksisitesi düşüktür, sera gazlarına neden olmaz ve biyolojik olarak parçalanabilir. Günümüzde önde gelen birçok otomobil şirketi, daha yüksek yanma gücü sağlayan kombinasyonu nedeniyle petrol ve biyoetanolu birleştirmektedir. Yaygın karışım oranı %10 etanol ve %90 petroldür (E10). Bazı yakıt tasarruflu araçlar E85, %85 etanol ve %15 petrol ile çalışabilmektedir. Biyoetanolün alternatif bir yakıt kaynağı olarak kullanılmasının birçok avantajı vardır. Öncelikle, fosil yakıtlara kıyasla daha az karbondioksit açığa çıkararak çevreyi daha az kirletir ve daha az sera gazı üretilmesine neden olur. Salınan karbondioksit bitkiler tarafından emilir ve fotosentez yoluyla bitkilerin büyümesi için kullanılır. Bitkiler etanol için ana kaynak olduğundan, tarımsal ekonominin gelişmesine yardımcı olacaktır. Dolayısıyla, yenilenemeyen kaynaklar yavaş yavaş azaldığı için, biyoetanol gelecekte çok faydalı olacaktır. Biyoetanol üretmek için lignoselülozik atıklardan şeker fermente edilmelidir. Lignoselülozik atıklar hemiselüloz,

selüloz ve ligninden oluşur. İlk olarak biyokütlenin yapısının bozulmasını sağlamak için enzimler veya asitlerle muamele edilir. Hemiselüloz ve ligninin hidrolizi gerçekleşir ve etanole fermente edilir. Daha sonra, invertaz içerdiği için fermantasyon işlemi sırasında ortama maya eklenir. İnvvertaz enzimi, selülozik bileşendeki bozunmuş şekeri glukoz ve fruktoza dönüştürmek için bir katalizör görevi görür. Mayadaki bir diğer enzim olan zimaz ise fruktoz ve glukozu etanol ve karbondioksit'e dönüştürür. Sonuç olarak, lignoselülozik biyokütle, büyük miktarlarda biyoetanol üretmek için büyük bir potansiyele sahiptir (Tandon, 2015).

5.1.2 Biyodizel

Biyodizel, bitkisel yağlardan, hayvansal yağlardan veya geri dönüştürülmüş restoran yağlarından üretilen bir yakıt türüdür. Fungus lipidi de biyodizel gibi alternatif yakıtlar için ümit verici bir seçenektir. Lipidler biyodizel üretimi için hammadde kaynağıdır. Biyodizel, nötr lipidlerin transesterifikasyonu ile üretilen yağ açıl metil/etil esterlerinin karışımını içerir ve kaynağın kökeni yağlı mikroorganizmalardan veya doğal kaynaklardan geliyorsa, biyodizel olarak adlandırılır. Biyodizel saf haliyle araçlar için alternatif bir yakıt kaynağı olarak kullanılabilir (B100) ya da %2, %5 ve %20 oranında petrol dizeli ile kombine edilebilir. Yenilenebilir enerjinin bir başka şeklidir. Daha az kirliliğe neden olur, toksik değildir ve biyolojik olarak parçalanabilir. Her yerde bulunabilen, hızlı büyüyen organizmalar oldukları, ucuz karbonhidrat substratlarında bile büyüyebildikleri ve ayrıca belirli stresli kültürel koşullarda yüksek yağ içerikleriyle bilindikleri için özellikle funguslar biyodizel üretiminde dünya çapında büyük bir ilgi görmektedir. *Mucor circinelloides*, *Aspergillus* sp. ve *Mortierella isabellina* gibi bazı fungusların potansiyel biyodizel üreticileri olduğu belirlenmiştir (Zheng vd., 2012). Bu iki temel ana yakıt ürününün dışında aseton, bütanol (Elliott, 2004), 2,3-bütandiol (Elliott, 2004) ve metanol (Detroy and St Julian, 1982) lignoselülozik kaynaklar kullanılarak üretimleri için büyük bir potansiyel taşımaktadır (Tandon, 2015).

5.2 Lignoselüloz Madde Kaynaklı Kimyasallar

5.2.1 Glukonik Asit

Lignoselülozik atıklardan glukonik asit üretilebilir. Glukonik asit gıda ve ilaç endüstrilerinde önemli bir kimyasaldır. Glukonik asit (penta-hidroksi-kaproik asit), glukozun 1. karbon molekülünde bulunan aldehit grubunun bakterilerde glukoz dehidrogenaz (GDH), funguslarda ise glukoz oksidaz (GO) enzimi yardımıyla karboksil grubuna oksidasyonu ile türetilir. Glukonik asit,

aşındırıcı, uçucu ve toksik olmayan hafif bir organik asittir (Hustede vd., 1989). Kalsiyum glukonat, glukonik asit ve kalsiyum karbonatın nötrleştirilmesiyle oluşan bir üründür. Hipokalsemiyi tedavi etmek için kullanılan bir ilaçtır. Ayrıca aşırı dozda magnezyum sülfat ve hidroflorik asit yanıklarında da kullanılır. Ikeda vd. (2006) *A. niger*'i selüloz mikrofibrerleri üzerinde immobilize etmiş ve sürekli bir devridaim reaktöründe 158 g/l glukonik asidi 6.56 g/L.saat verimlilikle üretmişlerdir.

5.2.2 Laktik Asit

Lignoselülozik atıklar yüksek kullanılabilirliği, sürdürülebilirliği ve düşük maliyeti göz önüne alındığında laktik asit üretimi için ümit verici bir hammaddedir (Abdel-Rehman vd., 2011). Biyoplastik (PLA-poli laktik asit) üretmek için kullanılabilir. Kalsiyum laktat, laktik asit ve kalsiyumun fermantasyonu ile üretilen bir kalsiyum tuzudur (siyah veya beyaz renkli). Yiyeceklerde, içeceklerde ve takviyelerde bulunan bir kalsiyum güçlendiricidir. Aynı zamanda bir antiasit olarak da işlev görür. Yaygın olarak peynir yapımında, kabartma tozu olarak kullanılır ve meyvelerde koruyucu olarak kullanılır (Tandon, 2015).

5.2.3 Propiyonik, Süksinik, Fumarik, İtakonik ve Malik Asit

Propiyonik asit, *Propionibacterium* türlerinin glukoz fermantasyonunun önemli bir son ürünüdür. Yan ürünler asetik asit ve karbon monoksittir (CO). Fermantasyon, iki pirüvik asit molekülünün propiyonik aside indirgenmesini ve üçüncü bir molekülün asetik asit ve karbon dioksiti verecek şekilde oksidasyonunu içerir. Propiyonik asit üretimi, *P. arabinosum*'un odun şekeri ve sülfat atık likörü gibi lignoselülozik atıklar kullanılarak pilot ölçekte denenmiştir (Tablo 2). Anaerobik fermantasyonlar sırasında mayada süksinat oluşumu için iki mekanizma önerilmiştir. Bunlardan biri, TCA döngüsünün normal oksidatif mekanizması yoluyla süksinat oluşumudur. Diğeri ise ara maddeler olarak malat ve fumarat içeren indirgeyici bir yol üzerindedir. Fumarik asit esas olarak glukoz veya melasın *Rhizopus* cinsine ait türlerle fermantasyonu yoluyla üretilir. Fumarik, ticari olarak fitalik ve malik anhidritlerin üretiminde bir yan ürün olarak veya malik asidin ısı ve katalizörle izomerleştirilmesiyle üretilir. Fumarik asitten malik asit ve maleik anhidrit dahil olmak üzere çeşitli kimyasallar üretilebilir. İtakonik asit, genellikle glukozun *Aspergillus terreus* tarafından fermentasyonuyla üretilen bir dikarboksilik asittir. Sentetik polimerlerin üretimi sırasında plastikleştirici olarak yaygın şekilde kullanılır. Metillenmiş polyesterler ve metillenmiş spandeks, türetilmiş ürünlerinden bazılarıdır. Glukoz pahalı bir hammadde olduğundan itakonik asit

üretim maliyeti yüksektir. Bu nedenle, üretim maliyetini en aza indirmek için lignoselülozik atıkların hammadde olarak kullanıldığı üretim için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (Tandon, 2015).

Tablo 2: Lignoselülozik biyokütleden fermantasyon yoluyla elde edilen ürünler (Tandon, 2015).

Fermantasyon ürünleri	Türev Kimyasallar	Uygulamalar
Metanol, etanol, 2,3-Bütandiol, aseton ve butanol	Etilen, formaldehit	Yakıt, solvent, endüstriyel kimyasallar
Laktik asit, sitrik asit, asetik asit, propiyonik asit, itakonik asit ve süksinik asit	Poli-laktik asit	Gıda takviyesi ve koruyucular, polimerler, reçineler, çözücüler, plastikleştiriciler, elastomerler
Glutamik asit, lizin	Pentandiol, pentadiamin	Gıda takviyesi, plastikleştiriciler
Gliserol, 1,3-propandiol	-	Plastik formülasyonları
3-Dehidroshikimik asit, vanilin, gallik asit ve adipik asit üretir	Vanilin, adipik asit	Aromalar, Plastikler

6. SONUÇLAR

İklim değişiklikleri, azalan fosil rezervler, yakıt arzı ve güvenliği konusundaki artan endişeler, yenilenebilir kaynaklardan kimyasal ve yakıt üretimi konusundaki ilgiyi yeniden canlandırmıştır. Yenilenebilir ve doğada bol miktarlarda bulunan en önemli yenilenebilir kaynak olan lignoselülozik atıklar, tarımsal ve katı belediye atıklarının önemli bir bölümünü oluşturur. Lignoselülozik atıklar, yeşil yakıtlar, ilaç, kimya ve nötrasötik bazlı endüstrilerde önemli bir konuma sahip olan, fermantasyon yoluyla biyoyakıt ve kimyasalların üretimi için büyük bir potansiyel oluşturan önemli bir karbonhidrat, şeker, mineral, protein deposudur. Üretimdeki bolluğa rağmen, tarımsal atıkların değerli endüstriyel ürünlere dönüştürülmesi için verimli ve uygun üretim teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Lignoselülozik biyokütlenin ön işleme tabi tutulması, selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi ana bileşenlerin etkin bir şekilde ayrıştırılması için bir ön koşuldur. Lignoselülozik biyokütle için başlıca ön işlem teknolojileri fiziksel, kimyasal, biyolojik ve hibrit tekniklerdir. Her yöntemin kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır. Tek bir yöntem hammaddelerin etkin kullanımı için verimli olmayabilir. Bu nedenle, hammaddelerin türüne ve nihai kullanıma bağlı olarak hibrit teknikler kullanılabilir. Hidroliz, polisakkaritleri monomerik birimlere dönüştürmek için kullanılan ek bir yöntemdir. Ürün geri kazanımını artırmak için çeşitli ön işlem ve hidroliz teknolojileri üzerinde kapsamlı araştırmalar

yürütölmektedir. Ön işlemler ve dönüştürme teknolojileri, özellikleri, çalışma koşulları, faydaları, dezavantajları ve uygulamalarıyla birlikte farklı çalışmalarda ifade edilmiştir. Bu nedenle, belirli bir ön işlemin veya hidrolizin uygulanıp uygulanmayacağına karar verirken, hammaddelerin uygunluğunu, işlemler maliyetini, çevresel etkiyi ve işlemlerin nihai ürünler üzerindeki etkisini göz önünde bulundurmak gerekmektedir.

REFERANSLAR

- Abdel-Rahman, M. A., Tashiro, Y., and Sonomoto, K. (2011). Lactic acid production from lignocellulose-derived sugars using lactic acid bacteria: overview and limits. *Journal of biotechnology*, 156(4), 286-301.
- Baldrian, P., and Valaskova, V. (2008). Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi. *FEMS microbiology reviews*, 32(3), 501-521.
- Betts, W. B., Dart, R. K., Ball, A. S., and Pedlar, S. L. (1991). Biosynthesis and structure of lignocellulose. In *Biodegradation: natural and synthetic materials* (pp. 139-155). London: Springer London.
- Chen, Y., Stevens, M. A., Zhu, Y., Holmes, J., and Xu, H. (2013). Understanding of alkaline pretreatment parameters for corn stover enzymatic saccharification. *Biotechnology for biofuels*, 6, 1-10.
- Detroy, R. W., and St Julian, G. (1982). Biomass conversion: fermentation chemicals and fuels. *CRC Critical reviews in microbiology*, 10(3), 203-228.
- Diaz, A. B., de Souza Moretti, M. M., Bezerra-Bussoli, C., Nunes, C. D. C. C., Blandino, A., da Silva, R., and Gomes, E. (2015). Evaluation of microwave-assisted pretreatment of lignocellulosic biomass immersed in alkaline glycerol for fermentable sugars production. *Bioresource technology*, 185, 316-323.
- Donaldson, L. A. (2001). Lignification and lignin topochemistry—an ultrastructural view. *Phytochemistry*, 57(6), 859-873.
- Dong, H., Zheng, L., Yu, P., Jiang, Q., Wu, Y., Huang, C., and Yin, B. (2019). Characterization and application of lignin-carbohydrate complexes from lignocellulosic materials as antioxidants for scavenging in vitro and in vivo reactive oxygen species. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 8(1), 256-266.
- Elliott, D. C. (2004). Biomass, chemicals from (No. PNNL-SA-36685). Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States).
- Faraco, V. (Ed.). (2013). *Lignocellulose conversion: enzymatic and microbial tools for bioethanol production*. Springer Science & Business Media.
- Faraco, V., and Hadar, Y. (2011). The potential of lignocellulosic ethanol production in the Mediterranean Basin. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(1), 252-266.
- Haldar, D., and Purkait, M. K. (2020). Micro and nanocrystalline cellulose derivatives of lignocellulosic biomass: A review on synthesis, applications and advancements. *Carbohydrate polymers*, 250, 116937.
- Haykir, N. I., Bahcegul, E., Bicak, N., and Bakir, U. (2013). Pretreatment of cotton stalk with ionic liquids including 2-hydroxy ethyl ammonium

- formate to enhance biomass digestibility. *Industrial Crops and Products*, 41, 430-436.
- Hendriks, A. T. W. M., and Zeeman, G. (2009). Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresource technology*, 100(1), 10-18.
- Hustede, H., Haberstroh, H. J., and Schinzig, E. (1989). Gluconic acid. *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*, 15, 211-216.
- Ikedo Y, Park EY and Okuda N, (2006). Bioconversion of waste office paper to gluconic acid in a turbine blade reactor by the filamentous fungus *Aspergillus niger*, *Bioresource Technology*, 27, 109–116.
- Jeffries, T. W. (1994). Biodegradation of lignin and hemicelluloses. *Biochemistry of microbial degradation*, 233-277.
- Kim, S., and Dale, B. E. (2004). Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass and bioenergy*, 26(4), 361-375.
- Kim, T. H. (2013). Pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioprocessing technologies in biorefinery for sustainable production of fuels, chemicals, and polymers*, 91-110.
- Kim, Y., Hendrickson, R., Mosier, N. S., & Ladisch, M. R. (2009). Liquid hot water pretreatment of cellulosic biomass. *Biofuels: Methods and Protocols*, 93-102.
- Kristensen, J. B. (2008). Enzymatic hydrolysis of lignocellulose. Substrate interactions and high. no.: *Forest and Landscape Research*, (42-2008).
- Kristensen, J. B. (2009). Enzymatic hydrolysis of lignocellulose. Substrate interactions and high. no.: *Forest and Landscape Research*, (42-2008).
- Kuivanen, J., Mojzita, D., Wang, Y., Hilditch, S., Penttilä, M., Richard, P., and Wiebe, M. G. (2012). Engineering filamentous fungi for conversion of D-galacturonic acid to L-galactonic acid. *Applied and environmental microbiology*, 78(24), 8676-8683.
- Kuivanen, J., Mojzita, D., Wang, Y., Hilditch, S., Penttilä, M., Richard, P., and Wiebe, M. G. (2012). Engineering filamentous fungi for conversion of D-galacturonic acid to L-galactonic acid. *Applied and environmental microbiology*, 78(24), 8676-8683.
- Langsdorf, A., Volkmar, M., Holtmann, D., and Ulber, R. (2021). Material utilization of green waste: A review on potential valorization methods. *Bioresources and Bioprocessing*, 8(1), 1-26.
- Limayem, A., and Ricke, S. C. (2012). Lignocellulosic biomass for bioethanol production: current perspectives, potential issues and future prospects. *Progress in energy and combustion science*, 38(4), 449-467.

- Malherbe, S., and Cloete, T. E. (2003). Lignocellulose biodegradation: fundamentals and applications. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 1, 105-114.
- Meng, X., and Ragauskas, A. J. (2014). Recent advances in understanding the role of cellulose accessibility in enzymatic hydrolysis of lignocellulosic substrates. *Current opinion in biotechnology*, 27, 150-158.
- Menon, V., and Rao, M. (2012). Trends in bioconversion of lignocellulose: biofuels, platform chemicals and biorefinery concept. *Progress in energy and combustion science*, 38(4), 522-550.
- Mohapatra, S., Mishra, C., Behera, S. S., and Thatoi, H. (2017). Application of pretreatment, fermentation and molecular techniques for enhancing bioethanol production from grass biomass—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1007-1032.
- Muktham, R., Bhargava, S., Bankupalli, S., and Ball, A. (2016). A review on 1st and 2nd generation bioethanol production-recent progress. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 2016(6), 72-92.
- Mussatto, S. I., Ballesteros, L. F., Martins, S., and Teixeira, J. A. (2012). Use of agro-industrial wastes in solid-state fermentation processes. *Industrial waste*, 274.
- Nanda, S., Mohammad, J., Reddy, S. N., Kozinski, J. A., and Dalai, A. K. (2014). Pathways of lignocellulosic biomass conversion to renewable fuels. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 4, 157-191.
- Nigam, P. S., and Pandey, A. (2009). *Biotechnology for Agro-Industrial-Residues-Utilisation*. Springer.
- Pérez, J., Munoz-Dorado, J., De la Rubia, T. D. L. R., and Martinez, J. (2002). Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. *International microbiology*, 5, 53-63.
- Periyasamy, S., Karthik, V., Senthil Kumar, P., Isabel, J. B., Temesgen, T., Hunegnaw, B. M., ... and Vo, D. V. N. (2022). Chemical, physical and biological methods to convert lignocellulosic waste into value-added products. A review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(2), 1129-1152.
- Radenkovs, V., Juhnevica-Radenkova, K., Górnas, P., and Seglina, D. (2018). Non-waste technology through the enzymatic hydrolysis of agro-industrial by-products. *Trends in food science and technology*, 77, 64-76.
- Remli, N. A. M., Shah, U. K. M., Mohamad, R., and Abd-Aziz, S. (2014). Effects of chemical and thermal pretreatments on the enzymatic saccharification of rice straw for sugars production. *BioResources*, 9(1), 510-522.

- Rosgaard, L., and Meyer, A. S. (2007). Enzymatic hydrolysis of pretreated barley and wheat straw. *Chem Eng Tech Univ Denmark*, 1, 1-124.
- Saha, B. C. (2003). Hemicellulose bioconversion. *Journal of industrial microbiology and biotechnology*, 30(5), 279-291.
- Sjöström, E. (1981). *Fundamentals and Applications of Wood Chemistry*. Wood chemistry, Academic Press Inc., New York, 223-245.
- Stelte, W. (2013). Steam explosion for biomass pre-treatment. *Danish Technological Institute*, 1-15.
- Sun, Y., and Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource technology*, 83(1), 1-11.
- Taherzadeh, M. J., and Karimi, K. (2008). Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. *International journal of molecular sciences*, 9(9), 1621-1651.
- Yavaş, S. (2010). Conversion of lignocellulosic biomass to nanofiber by microfluidization and its effect on the enzymatic hydrolysis [M.S. - Master of Science]. Middle East Technical University.
- Zhang, Y. H. P., and Lynd, L. R. (2004). Toward an aggregated understanding of enzymatic hydrolysis of cellulose: noncomplexed cellulase systems. *Biotechnology and bioengineering*, 88(7), 797-824.
- Zhao, Z., Sakai, S., Wu, D., Chen, Z., Zhu, N., Gui, C., ... and Yong, Q. (2020). Investigation of synthesis mechanism, optimal hot-pressing conditions, and curing behavior of sucrose and ammonium dihydrogen phosphate adhesive. *Polymers*, 12(1), 216.
- Zheng, Y., Yu, X., Zeng, J., and Chen, S. (2012). Feasibility of filamentous fungi for biofuel production using hydrolysate from dilute sulfuric acid pretreatment of wheat straw. *Biotechnology for biofuels*, 5(1), 1-10.

Bölüm 2

TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE SİLİCİ TAKIM GEOMETRİSİNİN YÜZEY KALİTESİNE ETKİSİ

Emin ÖZDEMİR¹

1. GİRİŞ

Talaşlı imalat süreçlerinde işlenmiş bir komponentin yüzey kalitesi, yüksek performans, uzun ömre ve güvenilirliğe artan talep nedeniyle daha önemli hale gelmiştir (Kurniawan vd., 2010). Çünkü üretilen komponentlerin işlevselliği genellikle temas halindeki yüzeylerin özelliklerine bağlıdır. Yeni takımların, operasyonların ve stratejilerin pratik uygulaması her zaman tüm parametrelerin karmaşıklığı ve bunların karşılıklı ilişkileri içindeki yüzey kalitesi ile bağlantılıdır (Neslusan vd., 2012). İmal edilen komponentlerdeki en önemli gereksinim, yüksek yüzey kalitesi ve arzu edilen yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğü talaşlı imalat uygulamalarında yüzey kalitesini belirleyen bir parametredir (Bertolini vd., 2009). Yüzey pürüzlülüğü birçok endüstriyel bileşen için temel gereksinimdir ve metallerin ve metal alaşımlarının işlenebilirliğini tanımlamak için dikkate alınan önemli parametrelerden biridir (D'Addona ve Raykar 2016). Aşırı pürüzlülük, yüzeylerdeki bazı noktalarda gerilme yoğunluğunu ve yorulmayı indükleyerek çatlak başlangıcını neden olur. Ayrıca korozyon başlangıcının işlenen yüzeylerdeki mevcut kusurlarında daha muhtemel olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, yorulma ve korozyon direnci gibi malzeme performansını arttırmada yüzey pürüzlülüğünün ve yüzey kusurlarının azaltılması önemli rol oynamaktadır (Bertolini vd., 2009).

Üretim süreçlerindeki modern iyileştirmeler, yüksek ürün kalitesini korurken üretkenliği artırmak ve üretim maliyetlerini düşürmek için tasarlanmış yeni teknolojilerin ve üretim araçlarının geliştirilmesini teşvik etmektedir. Bu anlamda verimliliği artırmak için kesici takım üreticileri sürekli olarak yeni kesici takım malzemeleri araştırırken kesici uçlar için yeni kaplamalar ve geometriler geliştirmektedirler (Stachurski vd., 2012). Bir tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü çok sayıda faktörden etkilenir. En önemli faktörlerden biri kesici takım geometrisidir. Kesici takım teknolojisi, talaşlı imalat endüstrisinde yeni

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

gelişmeler sağlamıştır. Bunlardan silici uçlar, kesici uçta daha fazla köşe radyüsüne sahip olarak yüzey kalitesi sorununu çözebilir (Kıyak vd., 2016). Diğer yandan büyük kesici uç yarıçapı ve silici gibi geometrik özellikler, takım ile iş parçası arasındaki kontak yüzeyini genişleterek daha büyük kesme kuvvetleri ve yüksek sıcaklıkların meydana gelmesine sebep olurlar (Guddat vd., 2011). Bu durum kesici takım ile iş parçası arasındaki artan yapışma etkisinden dolayı yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olabilmektedir (Pu vd., 2012) Yüksek yüzey kalitesinin sağlanması ve mevcut sorunların aşılmasına yönelik yeni yaklaşımların hayata geçirilmesi gerekmektedir. Bu yüzden komponent ömrünün ve performansının geliştirilmesi için yüzey kalitesi özelliklerini kontrol ederek yeni kesici takımlar ve işleme teknikleri geliştirmek talaşlı imalatın gelişimi açısından oldukça önemlidir (Jawahir vd., 2014).

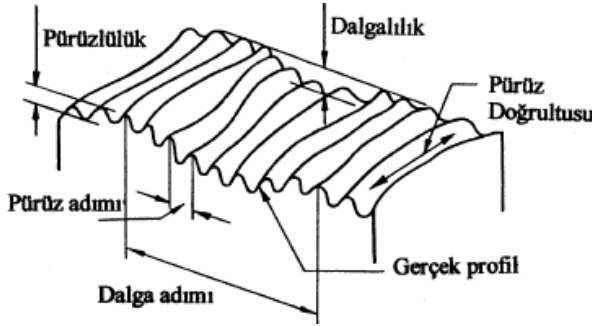
Sonuç olarak talaşlı imalat operasyonlarında kesici takım ucu yarıçapı ve silici geometrisi gibi parametrelerin yüzey kalitesine etkisini belirlemek için çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu bölümde kesici takımdaki silici geometrisinin yüzey kalitesi ve özellikle yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Öncelikle kesici takım ile elde edilen yüzey kalitesi hakkında genel bilgiler verilmiş, ardından silici kesici uçların geleneksel kesici uçlarla karşılaştırılması konusunda yapılan bilimsel çalışmalar gözden geçirilmiştir. Silici kesici uçların özellikle tornalama operasyonlarındaki uygulamaları incelenmiş ve silici kesici uçların bilimsel ve endüstriyel uygulamalarına ilişkin açıklamalar yapılmıştır.

2. YÜZEY KALİTESİ VE PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Yüzey kalitesi, işlenen parça yüzeyinde kesici takımın neden olduğu ilerleme izlerinden ve baskılardan oluşan düzgünsüzlük olarak ifade edilir. İşlenen bir parçadaki yüzey kalitesini ifade eden düzgünsüzlük iki çeşittir. Birincisi çok küçük yüzeysel hatalardan oluşan ve yüzey pürüzlülüğü olarak adlandırılan mikro geometrik düzgünsüzlük, ikincisi işlenen parçanın ideal formundan sapmaları gösteren ve form düzgünsüzlüğü (makro dalgalanmalar) olarak ifade edilen geometrik bozukluktur (Akkurt, 1996, Yılmaz, 2016).

Genellikle yüzeyler karmaşık ve düzensiz işlemlerle üretilirler. Minimum kalite kontrol ile birçok işlemde genel yüzey doku gereksinimleri tam olarak karşılanmamaktadır. Servis koşullarına göre yüksek dayanım gerektiren komponentlerin imalatında genel olarak detaylı yüzey kalitesi gereklidir. Yüzey dokusu, üç boyutlu yüzey topografyasında nominal yüzeyden sapmalar olarak tanımlanır ve dört elemandan oluşur. Bunlar, pürüzlülük, dalgalanma (dalgalılık), yataylık ve çatlaklar olarak sıralanabilir. Az da olsa bir miktar pürüzlülüğün

işlenen yüzeylerde kaldığı talaşlı imalat süreçlerinde tam anlamıyla düzgün bir yüzey elde edilemez (Kuş, 2013).



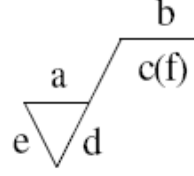
Şekil 1. Yüzey karakteristikleri (Kirik, 2010)

İşlenen bir yüzeyin kontrolündeki üç önemli faktör, yorulma ömrü, yataklık etme özelliği ve aşınma olarak sıralanabilir. İşlenen yüzeylerde meydana gelen en önemli yüzey sapmaları dalgalık ve pürüzlülüktür (Şekil 1). Pürüzlülük talaşlı imalatın doğası gereği takım izinden veya diğer düzensizliklerden oluşur. Pürüzlülük uzunluğundan büyük olan dalgalanma ise bütün düzensizlikleri içerir. Pürüzlülük yüzeyin kalitesini tayin ederken, dalgalanma yüzeyin geometrik şeklini ifade eder. Düz bir yüzey denildiğinde dalgasız, pürüzsüz denildiğinde dalgalı, fakat gözle bakıldığında veya tırnakla kontrol edildiğinde pürüzlülükleri fark edilemeyen yüzeyler ifade edilir. Ayrıca yataylık imalat metodundan kaynaklanan belirli bir yüzey durumuna kaymadır. Yüzeydeki yükselteleri, hava boşluklarını ve kazıntıları içermekte olan çatlaklık ise pürüzlülüğü aşırı etkilemeyen ve kasıtsız olarak meydana gelen işlenen yüzeydeki aralıkların değişimidir. Şekil 1’de görünen yüzey özellikleri işleme yöntemine bağlı olarak değişir (Kirik, 2010).

2.1. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı imalat sürecinde işleme metodu, kesici takım ve iş parçası malzemesine bağlı olarak, talaş kaldırma işleminin indüklediği fiziksel, kimyasal ve ısıl faktörler ile kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlerin etkisi ile iş parçasının işlenen yüzeylerinde kaçınılmaz izler meydana gelir. İşlenen yüzeydeki nominal çizginin altında ve üstünde düzensiz sapmalara neden olan bu durum yüzey pürüzlülüğü olarak tanımlanır. İşlenen yüzeylerde, işleme yönteminin tipi fark etmeksizin yüzey pürüzlülüğünden kaçınılmaz (Güllü, 1998).

- | |
|---|
| a: Ra pürüzlülük değeri (μm) |
| b: İşleme metodu |
| c: Esas uzunluk (mm) |
| d: İşleme izlerinin yönü |
| e: İşlenecek aşırı kalınlık (mm) |
| f: Diğer pürüzlülük değeri |



Şekil 2. Yüzeysel pürüzlülüğünün özellikleri (Kirik, 2010)

Talaşlı imalatta yüzeysel kalitesini belirleyen en önemli parametre yüzeysel pürüzlülüğdür. Farklı yöntemlerle işlenen aynı malzemenin yüzeysel pürüzlülük değeri sayısal olarak aynı olmasına rağmen bunların korozyon, aşınma, sürtünme ve yorulma dirençleri bazen farklıdır. İş parçası yüzeisindeki işleme izlerinin yönleri ve dağılımları servis performansını etkilediğinden dolayı iş parçasının teknik resminde yüzeysel pürüzlülüğü değeri yanında işleme metodunun da belirtilmesi gereklidir. İyi yüzeysel kalitesi, korozyon direncini, yorulma ve aşınma mukavemetini yükseltir (Kirik, 2010). Kalite açısından en önemli kriterlerden biri olan işlenmiş parça yüzeilerinin tribolojik özellikleri, yüzeysel pürüzlülüğünden birinci derecede etkilenmektedirler (Griffiths, 2001; Tekaslan vd., 2008). Pürüzlülük, sürtünmeye neden olan temas, aşınma, ışık yansımaları, kaplama, ısı iletimi, yağ filmi tutma ve dağıtma kabiliyeti gibi komponentlerin çeşitli fonksiyonel özelliklerini etkiler. İş parçasında arzu edilen yüzeysel kalitesinin elde edilmesinde esas alınacak standart yüzeysel pürüzlülüğü değeri teknik resim üzerinde sembol ile belirtilir (Şekil 2). TS 2040 EN ISO 1302 ile standartlaştırılmış pürüzlülük değeri ve talaşlı imalat metoduna göre işleme izleri, izdüşüm düzlemine paralel, dik, her iki yönde çapraz, çok yönlü dairesel ve radyal olarak sınıflandırılmıştır (Kirik, 2010).

Yüzeysel pürüzlülüğü, ilerleme, kesici uç yarıçapı, kesme hızı ve talaş derinliği gibi kesme parametrelerinin yanında soğutma-yağlama tekniğine de bağlıdır (Griffiths, 2001; Tekaslan vd., 2008). Yüzeysel pürüzlülüğüne etki eden en önemli kesme parametreleri ilerleme ve kesici uç burun yarıçapı iken en az etkili parametre ise kesme hızıdır. İlerleme ve talaş derinliğinin artması ile yüzeysel pürüzlülüğü yükselirken, kesme hızının belli bir değere kadar artması ile yüzeysel pürüzlülüğü azalma eğilimindedir (Özek vd., 2006; Tekaslan vd., 2008; Liu vd., 2008). Kesici uç burun yarıçapı arttıkça buna bağlı olarak yüzeysel kalitesi ve kenar mukavemeti de artar. Fakat burun yarıçapının fazla büyük olması kesme direncini yükselterek tırlamaya neden olabilir. Bu sebeple kesici uç burun yarıçapı seçilirken optimum değer tercih edilmelidir. Kesme parametrelerinin ve koşullarının yanı sıra yüzeysel pürüzlülüğüne etki eden diğer parametreler, takım

tezgâhı rijitliği, yataklama sisteminden kaynaklı hatalar, takım tutucu rijitliği, takım aşınması etkisi, kesici takım geometrisi ve iş parçası malzemesinin mekanik özellikleri olarak sıralanabilir (Yılmaz, 2016).

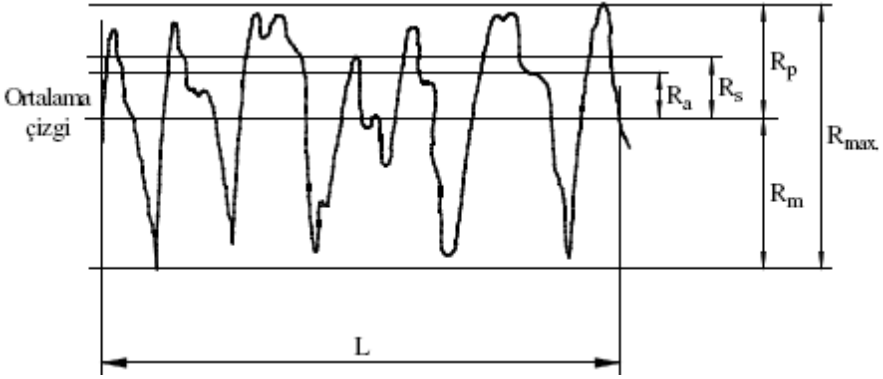
Tornalama gibi tek noktalı kesme işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü parametrelerinden aritmetik ortalama pürüzlülük değeri Ra, teorik olarak Eş. 1’de sunulan formül ile hesaplanabilir. Eş. 1 incelenirse, ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) azaltılarak yüzey kalitesinin iyileşmesi için ilerlemenin (f) düşürülmesi veya kesici uç burun yarıçapının (r) artması gerektiği görülmektedir (Yılmaz vd., 2016; Özel ve Karpaz, 2005).

$$Ra = \frac{f^2}{18\sqrt{3} r} \quad (1)$$

Diğer yandan konvansiyonel kesici uç burun yarıçapının daha geniş ve düz bir forma kavuştuğu silici kesici uç geometrisi ile nispeten daha yüksek ilerlemelerde iyi yüzey kalitesi ve düşük pürüzlülük oluşturma kapasitesi bu ilişkiyi değiştirmiştir (Liu vd., 2008). Ayrıca yüzey pürüzlülüğü, Eş. 1’de yer almayan diğer kesme parametreleri ve kesici takım ile iş parçası özelliklerinin yanı sıra talaşlı imalat işlemi sırasındaki titreşimden ve talaş oluşumu gibi etmenlerden de etkilenir (Özel ve Karpaz, 2005; Benardos ve Vosniakos, 2003; Yılmaz vd., 2016).

2.2. Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri

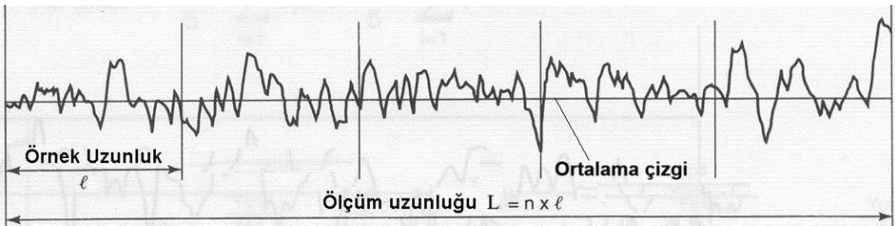
İşlenen yüzeylerin incelenmesi geometrik açıdan üç boyutlu (3D) bir problemdir. Fakat işlenen yüzeye dik alınan bir kesit düzlemi üzerinde hata profillerinin incelenmesi ile problem iki boyuta indirgenebilir. Standart olarak yüzey pürüzlülüğü, işlenen yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir ölçüm uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tespit edilir (Kirik, 2010). İşlenen yüzeylerin pürüzlülüğünün sayısallaştırılması için kullanılan parametreler Şekil 3 ve Şekil 4’de gösterildiği üzere, örnekleme uzunluğu ve ölçüm uzunluğu, ortalama çizgisi, aritmetik ortalama (Ra), profil maksimum tepe yüksekliği (Rp), profil maksimum dip derinliği (Rm), maksimum tepe-dip yüksekliği (Rt), ortalamaların kareleri toplamının karekökü veya aritmetik ortalama sapmaların karekökü (Rq) ve on nokta yüksekliği (Rz) şeklinde sıralanabilir.



Şekil 3. Yüzey kalitesi için sayısal değerler (Kirik, 2010)

2.2.1. Örnekleme uzunluğu, örnek sayısı ve ölçüm uzunluğu

Şekil 4’de ℓ ile gösterilen örnekleme uzunluğu pürüzlülük izleme genişliği olup, kesici takımın ilerlemesini temsil edecek büyüklükte seçilir. Profil üzerindeki bütün örnekleme uzunluklarının yan yana gelmesi ile L ile ifade edilen ölçüm uzunluğu meydana gelir. L ölçüm uzunluğu n örnek sayısı kadar ($n > 5$) ℓ örnekleme uzunluğunun yan yana gelmesinden oluşur ($L = \ell \times n$) (Kuş, 2013). Örnek uzunluk tekrarlanan yüzey düzensizliklerinin en büyük aralığını gösteren ortalama pürüzlülük yüksekliğinin ölçümünü içermektedir. Standart örnek uzunluk değerleri 0.08, 0.25, 0.8 ve 2.5 mm’dir. Herhangi bir değer belirtilmediği durumda 0.8 mm kabul edilir (Lou vd., 1998).



Şekil 4. Yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi (Şirin, 2012)

2.2.2. Ortalama çizgi (merkez-eksen çizgisi)

Şekil 4’de gösterildiği üzere ölçüm uzunluğu aralığında, yüzeyin profilinin üstte ve altta kalan alanlarının eşit olduğu yerden geçen doğrudur (Şirin, 2012).

2.2.3. Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a)

Yüzey pürüzlülüğünün en fazla kullanılan parametresi olan R_a , işlenen yüzeyde oluşan girinti ve çıkıntılarının alan bakımından eşitlendiği ortalama çizginin üstünde ve altında kalan alanların aritmetik ortalamasını veren çizgiler arası

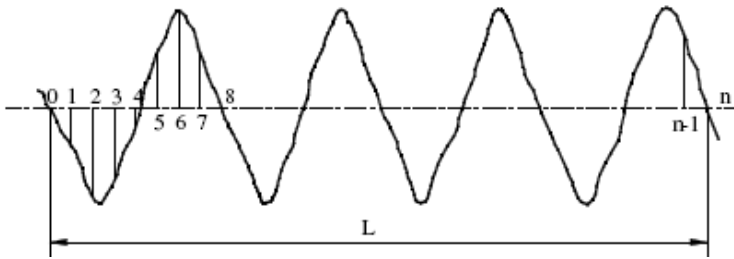
mesafedir. Diğer bir ifadeye göre Ra, seçilen örnekleme uzunluk aralığında, ortalama çizginin altında ve üstünde meydana gelen profil sapmalarının aritmetik ortalamasıdır (ISO 4287/1-1984). Matematiksel olarak Eş. 2’de ifade edildiği gibidir (Kirik, 2010).

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (2)$$

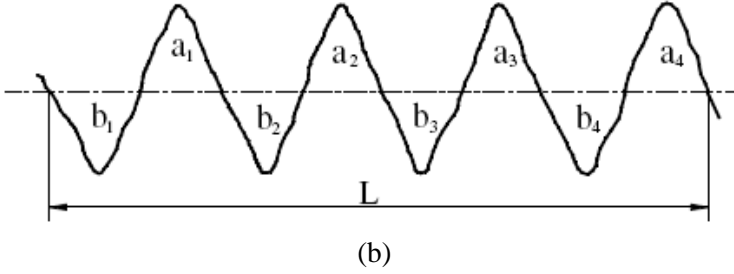
Eş. 2’de L, örnekleme uzunluğunu, y, ortalama çizgiden bağımsız dikeydeki yer değiştirmeleri ifade etmektedir. Eş. 2’den yola çıkılarak Ra, işlenen yüzey profiline ait ordinatların veya alanların yardımı ile hesaplanabilir. Şekil 5a’da gösterildiği gibi yüzey eğrisinin bütün ordinatlarının orta çizgiden ortalama yüksekliği olarak da tanımlanabilir. Şekil 3.5a’da gösterilen 1, 2, 3, ..., n ordinatlar ve $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$ ordinatların yükseklikleri olmak üzere Eş. 3’de ki şekilde hesaplanabilir. Ayrıca Şekil 5b’de görüldüğü gibi Ra, merkezdeki ortalama çizginin ve yüzey izleri arasındaki hattın alt ve üst eşdeğer alanı olarak da belirlenir. Eş. 4’de gösterildiği üzere, orta çizginin üstünde (a alanları toplamı A) ve altında kalan alanların (b alanları toplamı B) toplamının örnek uzunluğa (L) bölünmesi ile hesaplanır (Galyer, 1993).

$$Ra(\mu m) = (h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n) \times \frac{1000}{n} \quad (3)$$

$$Ra(\mu m) = \left(\frac{A_{alanı} + B_{alanı}}{L} \right) \times \frac{1000}{\text{Düşey büyütme}} \quad (4)$$



(a)



Şekil 5. Ra pürüzlülük değerinin gösterimi (Galyer, 1993)

2.2.4. Profil maksimum tepe yüksekliği (R_p)

Yüzey profilinde belirlenen örnekleme uzunluğu aralığındaki en yüksek tepe ile merkezdeki ortalama çizgi arasındaki mesafedir (Şekil 3). R_p değeri, dar girinti ve geniş çıkıntılardan oluşan yüzeylerde küçük, geniş girinti ve dar çıkıntılardan oluşan yüzeylerde büyüktür (Kirik, 2010).

2.2.5. Profil maksimum dip derinliği (R_m)

Yüzey profilinde belirlenen örnekleme uzunluğu aralığındaki en dipteki girinti ile ortalama çizgi arasındaki mesafedir (Şekil 3) (Kirik, 2010).

2.2.6. Maksimum tepe-dip yüksekliği (R_{max} , R_t)

Şekil 3’de gösterildiği üzere L örnekleme aralığındaki en yüksek tepe ile en düşük dip arasındaki mesafe tepe-dip yüksekliği olarak tanımlanır ve R_{max} veya R_t ile gösterilir. R_t , örnekleme uzunluğundaki yüzey düzensizliklerinin frekansı dikkate alınmaz ise yüzey pürüzlülüğünün tam bir tanımıdır. R_t tepe-dip yüksekliği ortalama değerini daha doğru hesaplayabilmek için profildeki ve en düşük dip ve en yüksek tepe hesaba katılmaz (Kirik, 2010).

2.2.7. Ortalamaların kareleri toplamının karekökü (R_q , R_s , RMS)

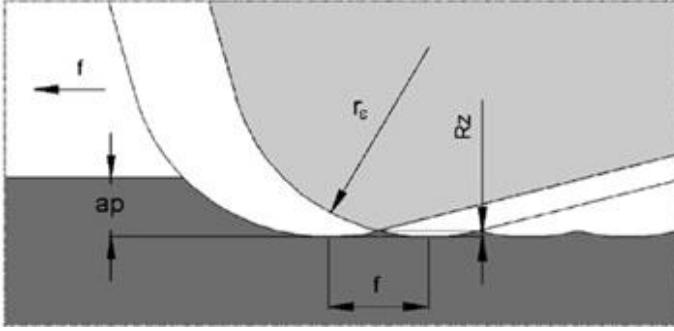
Belirlenen örnekleme uzunluğu aralığında, merkezdeki ortalama çizgisinin üstünde ve altında oluşan sapmaların geometrik ortalaması olup aşağıdaki şekilde hesaplanır (Eş. 5) (Yim ve Kim, 1991).

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2(x) dx}$$

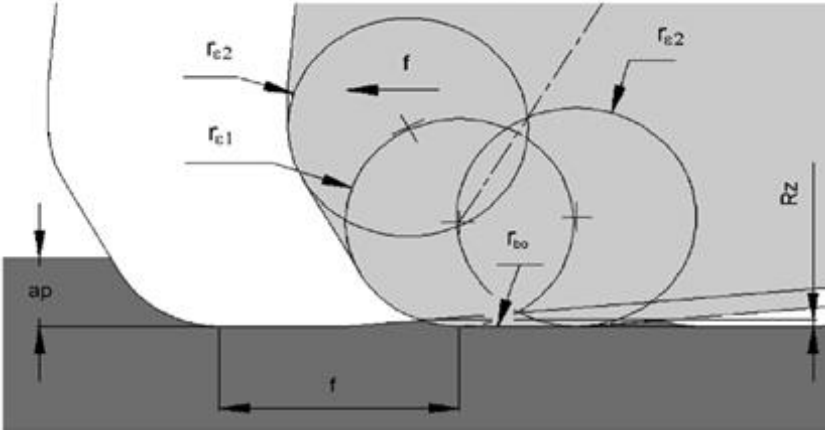
(5)

veya Şekil 5a’da 1, 2, 3, ..., n sayıları ile ifade edilen ordinatların yükseklikleri $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$ ise

durumu değiştirmiştir. Bir diğer önemli özelliği ise geliştirilmiş talaş kırma kapasitesidir. Silici geometriler aynı zamanda düşük ilerlemelerde iyi talaş kontrolü ile yüksek, verimli ilerlemelerde düzgün talaş kırmayı birleştirmek üzere tasarlanmıştır. Silici uçlar, normalden daha yüksek bir ilerleme hızında iş parçası üzerinde iyi bir yüzey kalitesi sağlamak için özel çok radyüslü geometri ile tasarlanmışlardır (şekil 7b) (D’Addona ve Raykar 2016).



(a)

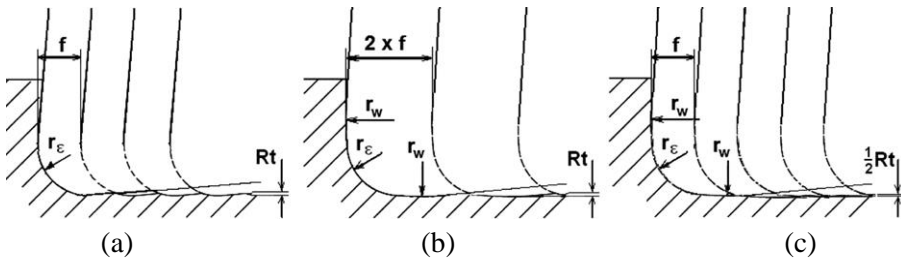


(b)

şekil 7. a) Konvansiyonel ve b) silici kesici uçların karşılaştırılması, (f: ilerleme, a_p : talaş derinliği, r_e kesici uç burun yarıçapı; r_{e1} ve r_{e2} : silici eğri yarıçapları, r_{bo} : düzeltme kısım yarıçapı; R_z : tepe-dip pürüzlülük yüksekliği) (Grzesik ve Wanat, 2006).

Silici geometrili kesici uçlar burun yarıçapına bitişik silici yarıçapları ile çok az veya sıfır boşluk açısına sahiptir. Konvansiyonel geometrili bir kesici uç sadece bir tane yarıçapa sahipken (şekil 7a), silici kesici uç birkaç yarıçapın birleşmesiyle daha geniş bir kesici uç geometrisi ile meydana gelir (şekil 7b). Silici geometri, kesici ucun yan yüzünün ezme (burnishing) eylemi ile yüzey

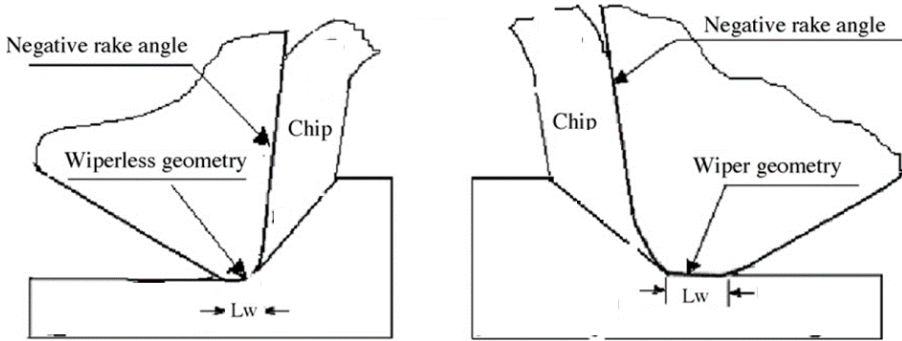
kalitesinin iyileşmesini sağlar. Konvansiyonel kesici uç için kullanılan mevcut ilerlemenin iki katına çıkarılmasına müsaade eden bu modifikasyon, konvansiyonel kesici uçlarla karşılaştırılabilir yüzey kalitesi sağlar (Şekil 8a ve 8b). Şekil 8c'deki gibi mevcut ilerleme değerlerinde ise konvansiyonel uçlara nazaran daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerine ($1/2 Rt$) ve daha iyi yüzey kalitesine olanak tanır (Kurniawan vd., 2010). Aynı zamanda üreticiler tarafından sağlanan verilere göre (Seco, 2015; Sandvik, 2019), bir iş parçasının standart ilerleme hızında işlenmesi, işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğünü iki kat azaltacaktır. Sonuç olarak, bazı durumlarda pahalı aşındırıcı işleme proseslerinden kaçınılabilir. Takım imalatçıları ayrıca işlenmiş yüzeyin daha iyi pürüzsüzlüğü ile birlikte iş parçasının elde edilen yuvarlaklığının taşlama sonucu ile karşılaştırılabilir olduğunu iddia etmektedir (Stachurski vd., 2012).



Şekil 8. İlerleme ve yüzey pürüzlülüğü açısından; a) konvansiyonel, b) ve c) silici-wiper geometrili kesici takımların karşılaştırması (f: ilerleme, r_ϵ : burun yarıçapı, r_w : silici yarıçapı ve Rt : tepe-dip pürüzlülük yüksekliği) (Kurniawan vd., 2010).

Yüzey pürüzlülüğünü azaltarak yüzey kalitesinin yükselmesini sağlayan silici uç geometrisi ayrıca kesici takımın mukavemetinin yükselmesini sağlar (Çakır, 2006, Kıyak vd., 2016). Fakat kesici takım geometrisi kesme işlemi esnasında işlenen yüzeyde oluşan kuvvet bileşenlerini etkiler (Dabade vd. 2007). Silici kesici ucun büyük burun geometrisi ve iş parçası ile arasındaki daha uzun temas yüzeyi kesme direncini yükselterek tırlama titreşimlerine ve iş parçası yüzeyinde daha fazla termo-mekanik kuvvete neden olur (D'Addona ve Raykar, 2016; Yılmaz, 2016). Ayrıca uzun silici kenar yüzeyi deforme etmemeli veya kabul edilemez kesme kuvvetleri oluşturmamalıdır (D'Addona ve Raykar 2016). Diğer yandan farklı bir çalışmada aynı deforme olmamış talaş kesiti için silici kesici uçların silicisiz kesici uçlara göre daha düşük kesme kuvveti büyüklüğü sağladığı bildirilmiştir (Şekil 9). Kesme kuvvetlerinin büyüklüğündeki bu eğilim, silici uç kullanıldığında artan takım-ış parçası temas alanından kaynaklanıyor olabilir.

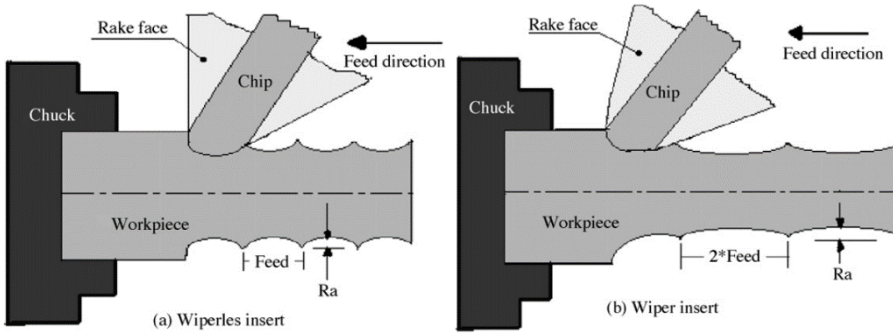
Çünkü bu durum kesme bölgesinde daha fazla ısı oluşumuna neden olarak iş parçası malzemesinin termal yumuşamasının artmasına olur (Dabade vd. 2007).



Şekil 9. Takım-iş parçası arasındaki temas boyu (Lw: Takım temas boyu) (Dabade vd. 2007)

3.1. Silici Uç Geometrisinin Teorik Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Talaşlı imalat prosesin fiziğinden (Şekil 10), ilerleme hızı ve kesici kenar geometrisinin işlenmiş yüzey pürüzlülüğünü etkileyeceği anlaşılmaktadır. İlerleme hızı profilin hatvesini, kesici kenar geometrisi ise profilin derinliğini belirler. Elde edilen yüzey, Şekil 10'da gösterildiği gibi silici tarafından temizlenir ve böylece yüzey pürüzlülüğü iyileşir (Dabade vd. 2007).



Şekil 10. İşlenmiş yüzey modeli (Dabade vd. 2007).

İdeal koşullar altında işlenmiş yüzeyi oluşturmak üzere komponent üzerinde çoğaltılan konvansiyonel kesici uç ve silici kesici uç ilerleme izlerinin grafiksel gösterimi Şekil 11'de gösterilmektedir. Tepe noktaları, tornalanan yüzey üzerinde kesici uç tarafından yeniden oluşturulmuştur. Teorik yüzey pürüzlülüğü, tepe-dip yüksekliği R_t (silici kesici uç ve konvansiyonel kesici uç için sırasıyla R_{tw} ve

silici uç burun yarıçapı r_w arasındaki ilişkiler silici kesici uçlu ve konvansiyonel kesici uçlu bu üç durum için sırasıyla aşağıda verilmiştir (Liu vd., 2008).

Küçük ilerleme durumu ($f_c > f_n$):

$$\sqrt{r_\varepsilon^2 - (r_\varepsilon - R_{tw})^2} + \sqrt{r_w^2 - (r_w - R_{tw})^2} = f_n \text{ (silici uç için)} \quad (10)$$

$$R_{tc} = r_\varepsilon \sqrt{r_\varepsilon^2 - f_n^2} / 4 \text{ (konvansiyonel uç için)} \quad (11)$$

Geçiş ilerlemesi durumu ($f_c < f_n < f_w$):

$$\sqrt{r_\varepsilon^2 - (r_\varepsilon - R_{tw})^2} + \sqrt{r_w^2 - (r_w - R_{tw})^2} = f_n \text{ (silici uç için)} \quad (12)$$

$$\sqrt{r_\varepsilon^2 - (r_\varepsilon - R_{tc})^2} + (r_\varepsilon + R_{tc}) \tan K_r + \frac{r_\varepsilon}{\sin K_r} - \frac{r_\varepsilon - R_{tc}}{\sin K_r \cos K_r} = f_n \quad (13)$$

(konvansiyonel uç için)

Büyük ilerleme durumu ($f_n > f_w$):

$$\sqrt{r_\varepsilon^2 - (r_\varepsilon - R_{tw})^2} + (r_w + R_{tw}) \tan K_r + \frac{r_w}{\sin K_r} - \frac{r_w - R_{tw}}{\sin K_r \cos K_r} = f_n \quad (14)$$

(silici uç için)

Geçiş ilerlemesi durumundaki konvansiyonel kesici uç için tepe-dip yüksekliği R_{tc} , kesici uç burun yarıçapı r_ε , küçük kesme kenarı açısı K_r ve uygulanan ilerleme hızı f_n arasındaki ilişki Eş. 13’de ifade edildiği üzere büyük ilerleme durumundaki ile aynıdır (Liu vd., 2008).

4. SİLİCİ GEOMETRİNİN YÜZEY KALİTESİNE ETKİSİ

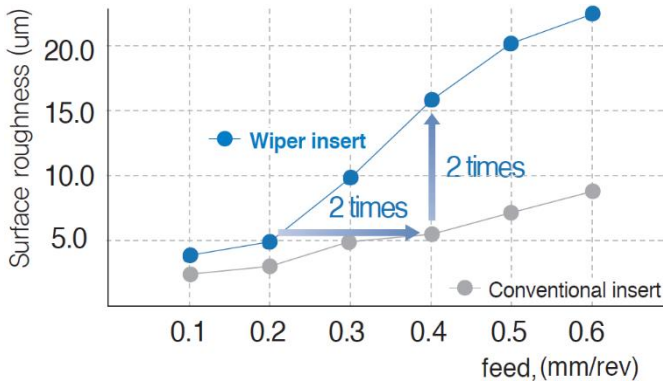
Kesici takım üreticilerinden Sandvik, konvansiyonel uçlara kıyasla silici kesici uç kullanıldığında işleme süresinin yaklaşık %30 azaltılabileceğini ve talaş kırmanın daha kolay hale geleceğini belirtmiştir. Şirket, silici kesici uçların orta ila kaba işlemede geleneksel kesici uçlara kıyasla üretkenliği artıracaklarını ve inceleme operasyonlarında daha yüksek kaliteli yüzey kalitesi elde edilebileceğini

bildirmiştir. Belirlenen bazı ilerleme hızlarına göre elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri Tablo 1’de sunulmuştur (Sandvik, 2001).

Tablo 1. Silici ve konvansiyonel kesici uçlar ile elde edilen yüzey pürüzlülükleri (Sandvik, 2001)

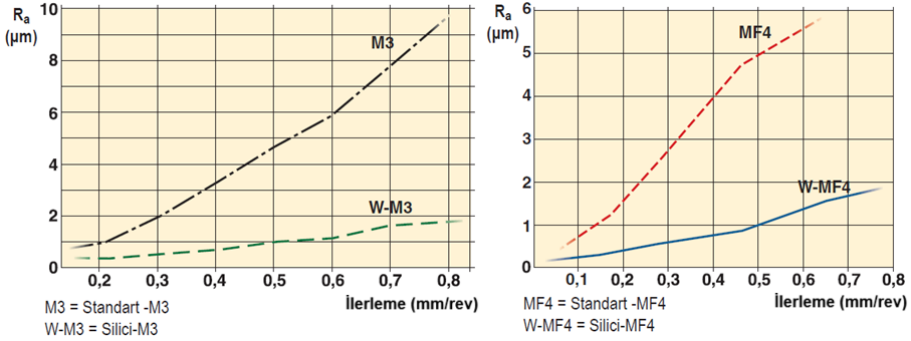
İlerleme (mm/ r_n)	Silici uç	Konvansiyonel uç
	Burun yarıçapı: 0.8 mm	Burun yarıçapı: 0.8 mm
0.20	0.37	1.62
0.35	0.55	3.77
0.50	0.67	4.62
0.65	1.53	5.49
	Burun yarıçapı: 1.2 mm	Burun yarıçapı: 1.2 mm
0.20	0.34	1.21
0.35	0.41	2.81
0.50	0.59	4.22
0.65	1.17	5.48

Ayrıca Sandvik Coromant'a göre (Sandvik, 2001) seramik ve CBN ile set tornalama için özel olarak tasarlanmış silici kesici uçlar yeni verimlilik seviyeleri sağlamıştır. Bu çok radyüslü kesici uçlarla 0.05–0.20 mm/rev konvansiyonel ilerleme hızı değerlerinin iki katı kullanılarak aynı yüzey kalitesi korunabilir. Yüksek hızlı işlemeye benzer şekilde yeni terim olan yüksek ilerlemeli işleme, silici kesici uçlarla yapılan işlemlerde önerilmektedir. Başka bir kesici takım üreticisi Korloy, Şekil 12’de görüldüğü üzere silici uç ile konvansiyonel uca nazaran aynı ilerlemede iki kat daha az yüzey pürüzlülüğü veya konvansiyonel uç ile elde edilebilen yüzey pürüzlülüğünün 2 daha hızlı ilerlemede silici uç ile elde edilebileceğini bildirmiştir (Korloy, 2022).



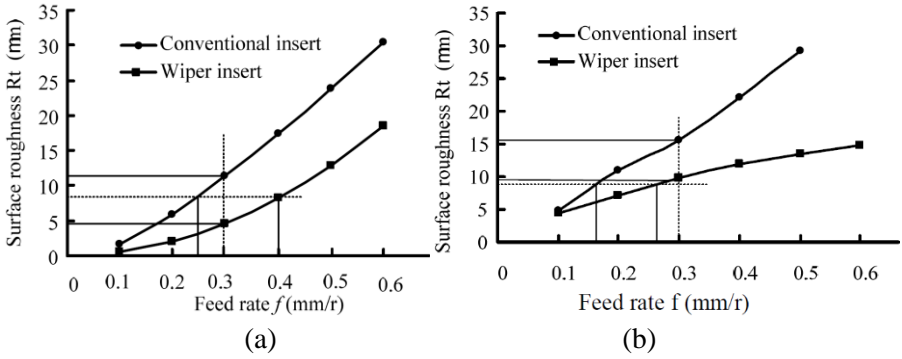
Şekil 12. Konvansiyonel ve silici uçların karşılaştırılması (Korloy, 2022)

Diğer bir kesici takım üretici Seco, Şekil 13’de görüldüğü üzere silici kesici takım ile yüksek ilerlemelerde düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilerek talaşlı imalatta gelişme sağlandığını belirtmiştir (Seco, 2015). Görülüyor ki talaşlı imalatta verimliliği ve/veya yüzey kalitesini arttırmak için silici geometrili kesici takımların kullanılması takım üreticileri tarafından tavsiye edilmektedir.



Şekil 13. Konvansiyonel (standart) kesici uçlar ile silici geometrili kesici uçların çelik işlemede karşılaştırılması (Seco, 2015)

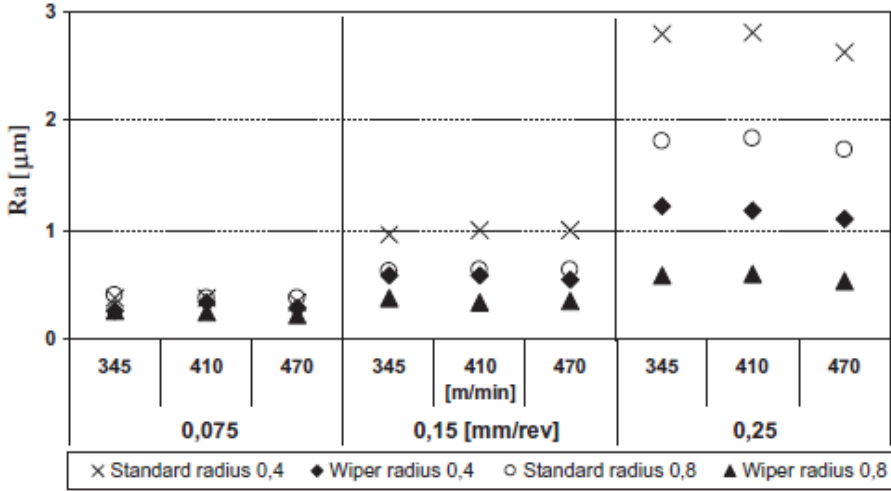
Kesici takım üreticilerinin yanı sıra konvansiyonel ve silici geometrili kesici takımların yüzey kalitesi bakımından karşılaştırılması için araştırmacılar tarafından birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Bunlardan biri Liu ve arkadaşları tarafından yapılan (Liu vd., 2008) yumuşak çeliğin konvansiyonel ve silici uçlarla tormalanması sürecindeki teorik ve deneysel analizdir. Deneysel sonuçlar, teorik analiz sonuçlarını ve silici kesici uçların mükemmel yüzey pürüzlülüğü sağlamadaki etkinliğini kanıtlamıştır. Her iki kesici uç tipi için düşük ilerleme hızları seçildiğinde yüzey pürüzlülüğünün benzer olacağı, ancak yüksek ilerleme değerlerinde tamamen farklı olacağı görülmüştür (Şekil 14). Özellikle, konvansiyonel olanlara göre iki kat ilerleme hızına sahip silici uçlar kullanılarak tormalama işleminde daha düşük pürüzlülük değerlerine sahip yüzeyler sağlanabileceği belirtilmiştir. Sonuçlar ayrıca silici kesici uç kullanımının, yüksek ilerlemeli tormalama operasyonlarında işlenmiş yüzey pürüzlülüğünü değiştirmeden kesme verimliliğini önemli ölçüde artıran etkili bir yol olduğunu göstermiştir.



Şekil 14. Yumuşak çelikte yüzey pürüzlülük değerleri, a) teorik, b) deneysel (Liu vd., 2008)

Correia ve Davim (Correia ve Davim, 2011), konvansiyonel ve silici geometrili karbür kesici uçlar ile AISI 1045 karbon çeliğinin işlenmesi sürecinde kesici uçları karşılaştırmışlardır. Konvansiyonel kesici uçların kullanıldığı düşük ilerleme hızlarında elde edilen pürüzlülük değerlerine eşdeğer pürüzlülüğün, yüksek ilerleme hızlarında silici geometrili uçlar ile elde edildiğini belirtilmiştir (Şekil 15). Yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerlemenin ve takım uç yarıçapının çok etkili olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, silici geometrili kesici uçlar ile silindirik taşlama işlemine gerek kalmadan gerekli mekanik hassasiyeti sağlayacak yüzey kalitesi elde etmenin mümkün olduğu görülmüştür.

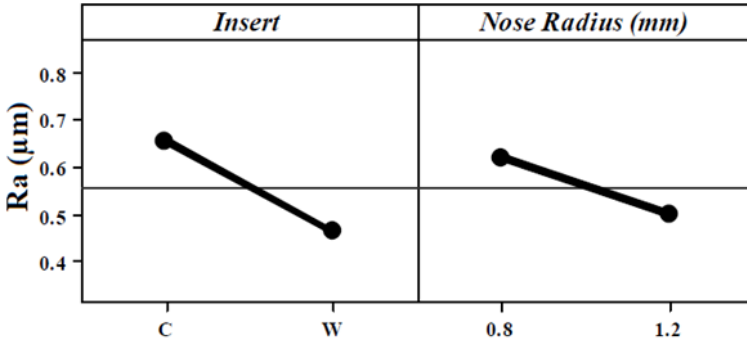
Burun yarıçapı 0.4 mm ve 0.8 mm olan konvansiyonel ve silici geometrili kesici uçlar ile C45 çeliğinin tornalama testlerinde silici uçlar ile yüzey pürüzlülüğünde (R_a) en az üç kat azalma sağlanmıştır. Düşük işleme hızlarında silici kesici uç ile elde edilen pürüzlülüğün bazı durumlarda referans değerinden beş kat daha düşük olduğu gözlenmiştir. Konvansiyonel uçların kullanıldığı aynı koşullarda burun yarıçapı 0.4 mm olan kesici uçlar için R_a değerinin, burun yarıçapı 0.8 mm olan kesici uçlara göre %62 ila %163 arasında daha yüksek olduğunu belirtmek gerekir. Silici kesici uçlar için elde edilen pürüzlülük değerleri karşılaştırıldığında, burun yarıçapı 0.8 mm olan kesici uçlar için R_a değerlerinin, burun yarıçapı 0.4 mm olan kesici uçlara göre daha büyük olduğu gözlemlendi. Bazı durumlarda bu fark %70 ila 90'a ulaşmıştır (Stachurski vd., 2012).



Şekil 15. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi (Correia ve Davim, 2011)

Takım tezgahlarındaki ve proses teknolojisindeki gelişmeler, sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesine odaklanmakta ve hızlı bir şekilde sert işlemenin endüstriyel öneminin artmasına yol açmaktadır (Neslusan vd., 2012). Sert işleme, otomotiv, makaralı rulman, hidrolik ve kalıp endüstrisi gibi önde gelen sanayi dallarında ürün kalitesinin artırılması için artık kabul edilen bir yöntemdir. Dişli çarklar, rulman bilezikleri ve diğer aktarma parçaları sert tormalama için tipik uygulamalardır. Sert tormalama, kesici takım esasen seramik ve düşük veya yüksek içerikli kübik bor nitrür (CBN) olduğu durumlarda sertliği 60HRC'den yüksek olan çelik iş parçalarının torna tezgahında işlenmesi işlemidir. Seramik veya CBN takımlarla tormalama genellikle üretim maliyetlerini, üretim süresini (tedarik sürelerini) azaltabilir ve genel ürün kalitesini iyileştirir. Geleneksel olarak, sertleştirilmiş bir çelik parça üzerinde son işlem taşlama ile yapılır (Grzesik ve Wanat, 2006). Fakat sert işleme, belirli koşullar altında taşlama işlemine ciddi bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Yüksek esneklik ve karmaşık iş parçası geometrisini tek sette üretme yeteneği, taşlamayla karşılaştırıldığında sert işlemenin temel avantajlarını temsil eder. Ayrıca, taşlama işleminin kesme işlemleriyle değiştirilmesi soğutucu sıvıların önlenmesini sağlar ve bu nedenle sert işleme ekolojik açıdan ilginç bir alternatif olarak kabul edilebilir (Neslusan vd., 2012). Sonuç olarak yüksek üretkenlik, yüksek esneklik ve soğutma sıvısından kaçınmak için, sert tormalama günümüzde sertleştirilmiş çeliklerin ince-bitirme işleminde taşlama işlemine alternatiftir (Guddat vd., 2011).

Ölçü aletlerinin yapımında yağda sertleştirilebilen, çarpılma ve büzülmeye uğramayan çelik malzeme tipi yaygın olarak kullanılmaktadır. D'Addona ve Raykar yaptıkları araştırmada (D'Addona ve Raykar, 2016); 55 HRC yağda sertleştirilmiş çeliğin silici uç ve konvansiyonel uç ile işlenmesi sonucu, uç geometrisinin ve burun yarıçapının (0.8 mm ve 1.2 mm) yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Konvansiyonel kesici uç için ortalama pürüzlülük değeri 0.654 civarında iken silici kesici uç için ortalama pürüzlülük değeri 0.462 civarındadır (Şekil 16). Silici uçlar konvansiyonel kesici uçlarla karşılaştırıldığında yüzey pürüzlülüğünü yaklaşık %30 azaltmıştır. Bu durum, silici ucun çok yarıçaplı olmasına ve ana kesici kenarın kesme işlemini gerçekleştirirken sonraki yarıçapların düzensizlikleri silmesine atfedilmiştir. Aynı kesme koşullarında silici kesici ucun sağladığı pürüzlülük profili üniform iken konvansiyonel kesici uç için pürüzlülük profilinin düzenli olmadığı belirtilmiştir.



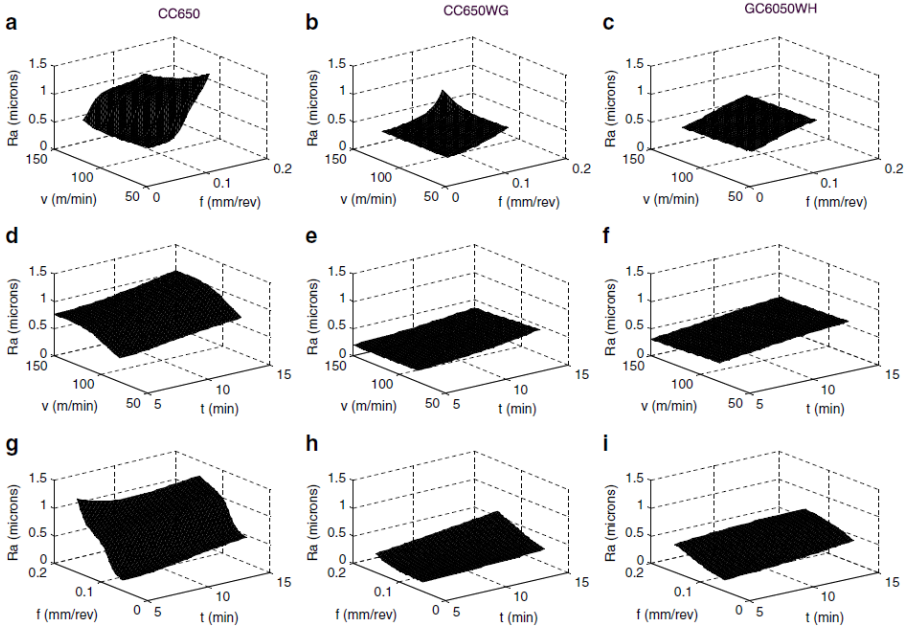
Şekil 16. Kesici uç geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi (D'Addona ve Raykar, 2016)

Ayrıca silici kesici uç geometrisinin konvansiyonel kesici uçlara kıyasla taşlama işlemiyle karşılaştırılabilir üstün yüzey kalitesi sağladığı belirtilmiştir (Tablo 2). Diğer yandan silici kesici uç kenarının iş parçasıyla temas uzunluğunun konvansiyonel kesici uçla karşılaştırıldığında daha uzun olacağı ve dolayısıyla silici kesici ucun işlenmiş iş parçası yüzeyinde daha fazla termomekanik kuvvete neden olacağı unutulmamalıdır (D'Addona ve Raykar, 2016).

Tablo 2. Yüzey kalitesinin karşılaştırması (D'Addona ve Raykar 2016)

Proses / Kesici uç	Ra (µm)
Taşlama işlemi	0.193
Konvansiyonel uç	0.652
Silici uç	0.197

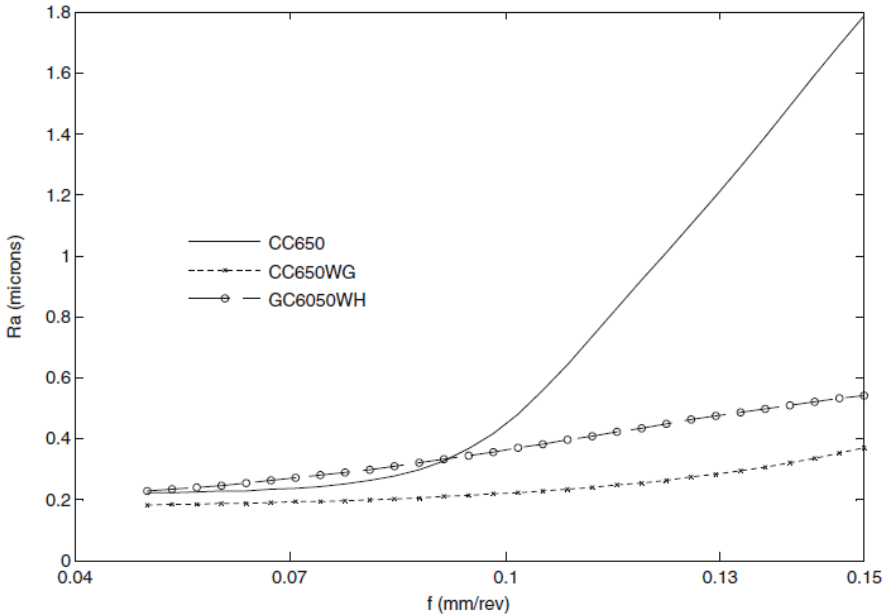
Alümina bazlı seramik takımların sert işlemede kullanılması, işleme maliyetlerini azaltmak, malzeme özelliklerini iyileştirmek ve çevresel faydalar sağlamak amacıyla taşlamaya cazip bir alternatiftir. AISI D2 çeliği takım ve kalıp imalatının yanı sıra yüksek aşınma direnci ve düşük maliyetin gerekli olduğu diğer uygulamalarda kullanılan en önemli sertleştirilmiş çeliklerden biridir. AISI D2 gibi sertleştirilmiş takım çeliklerinin tornalama sürecinde yüzey pürüzlülüğünü ve takım ömrünü iyileştirmek için takım burun yarıçapı geometrisinde gelişmeler elde edilmiştir (Davim ve Figueira, 2007). Seramik takımlarla sert tornalama, yüksek hassasiyetli ve sertleştirilmiş parçaların işlenmesinde taşlama işlemine alternatif sağlar. Ancak asıl endişe, pahalı kesici takımların maliyeti ve prosesin işlenebilirlik üzerindeki etkisidir. Kesme koşullarının kötü seçilmesi aşırı takım aşınmasına ve iş parçasının yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olabilir (Gaitonde vd., 2011).



Şekil 17. İki değişkenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini gösteren cevap yüzey grafikleri, a-c) kesme hızı ve ilerleme, d-f) kesme hızı ve işleme süresi, g-i) ilerleme ve işleme süresi (Gaitonde vd., 2011)

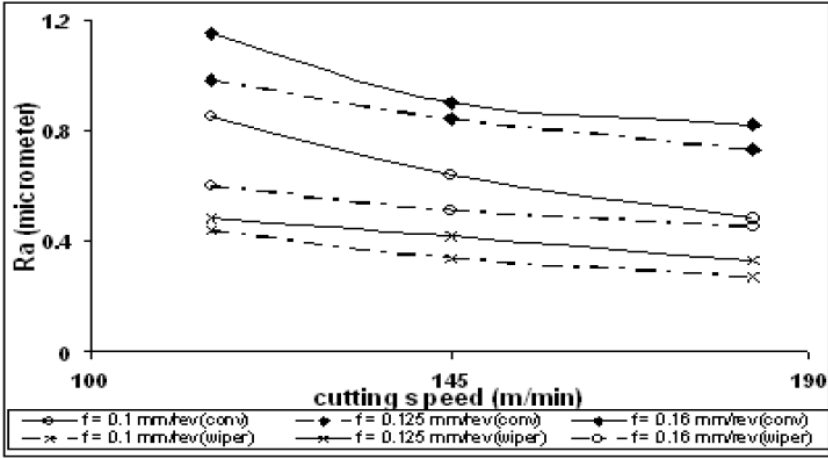
AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin CC650, CC650WG ve GC6050 gibi üç farklı seramik kesici uçla sert tornalamasında yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerinde kesme hızı (v), ilerleme hızı (f) ve işleme süresinden (t) oluşan iki faktörlü etkileşim etkileri, AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin sert

tornalanması sırasında CC650, CC650WG ve GC6050WH olmak üzere üç farklı seramik kesici uç için üç boyutlu (3D) cevap yüzey grafikleri aracılığıyla analiz edildi (Şekil 17). Şekil 17’de Ra’nın v , f ve t proses parametreleriyle neredeyse doğrusal olarak ilişkili olduğu açıkça kanıtlanmaktadır. Test edilen bütün kesici uçlar için üç parametrenin tümü daha düşük seviyelerde olduğunda Ra minimumdur. Silici seramik kesici uçlar (CC650WG ve GC6050WH), yüzey pürüzlülüğü açısından konvansiyonel kesici uçlarla (CC650) karşılaştırıldığında daha iyi performans göstermiştir (Gaitonde vd., 2011).



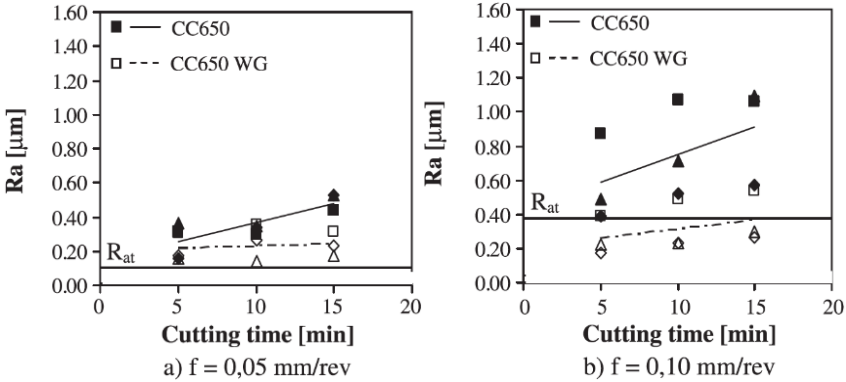
Şekil 18. Seramik uçların pürüzlülüğü etkisi ($v=85$ m/min; $t=5$ min) (Gaitonde vd., 2011)

Şekil 18'de görüldüğü üzere üç seramik kesici ucun (CC650, CC650WG ve GC6050) hepsi 0.09 mm/rev ilerleme hızının altındaki düşük değerlerde hemen hemen aynı yüzey pürüzlülüğü sağlamıştır. Ancak konvansiyonel CC650 kesici uç 0.09 mm/rev ilerleme hızının üzerindeki değerlerde yüzey pürüzlülüğünün keskin bir şekilde artmasına neden olmuştur. Bu gibi durumlarda silici seramik kesici uçlar, konvansiyonel kesici uçlarla karşılaştırıldığında daha iyi performans gösterirler. Ayrıca CC650WG kesici uç, GC6050WH uç ile karşılaştırıldığında tüm ilerleme hızı değerlerinde mümkün olan minimum yüzey pürüzlülüğünü sağlamıştır. Kesici uçların hepsi karşılaştırıldığında CC650WG silici seramik kesici ucun minimum yüzey pürüzlülüğü sağladığı görülmüştür (Gaitonde vd., 2011).



Şekil 19. Silici ve konvansiyonel uçlara ait yüzey pürüzlülüğü (Yusof vd., 2008)

Sertleştirilmiş (55 HRC) AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin silici ve konvansiyonel geometrili seramik kesici uçlar ile tornalanması Yusof ve arkadaşları (Yusof vd., 2008) tarafından ayrıca incelenmiştir. Araştırma neticesinde konvansiyonel uca nazaran silici takımın işlediği yüzey kalitesinin çok daha üstün olduğu bildirilmiştir (Şekil 19).

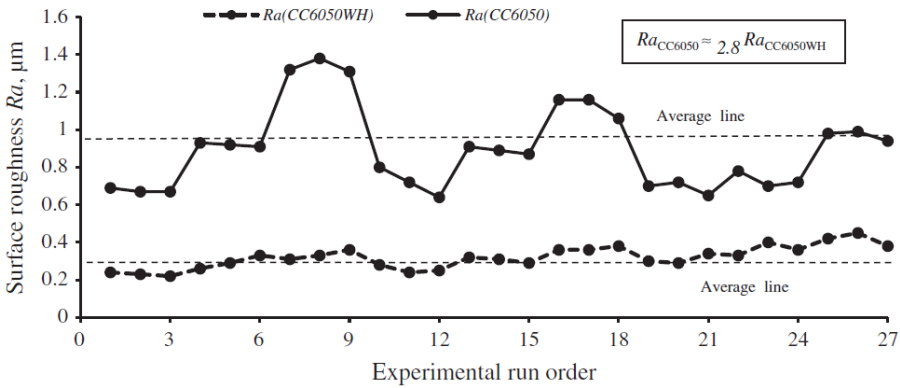


Şekil 20. İşleme süresinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi (Davim ve Figueira, 2007)

Son zamanlarda silici seramik kesici uçlar giderek daha fazla kullanılan kesici takımların önemli bir sınıfı olarak ortaya çıkmıştır. Davim ve Figueira tarafından AISI D2 sertleştirilmiş çeliğin sert tornalanmasında elde edilen yüzey pürüzlülüğüne konvansiyonel kesici uç ile silici kesici ucun etkisi incelenmiştir (Davim ve Figueira, 2007). Şekil 20, konvansiyonel CC650 ve silici CC650WG

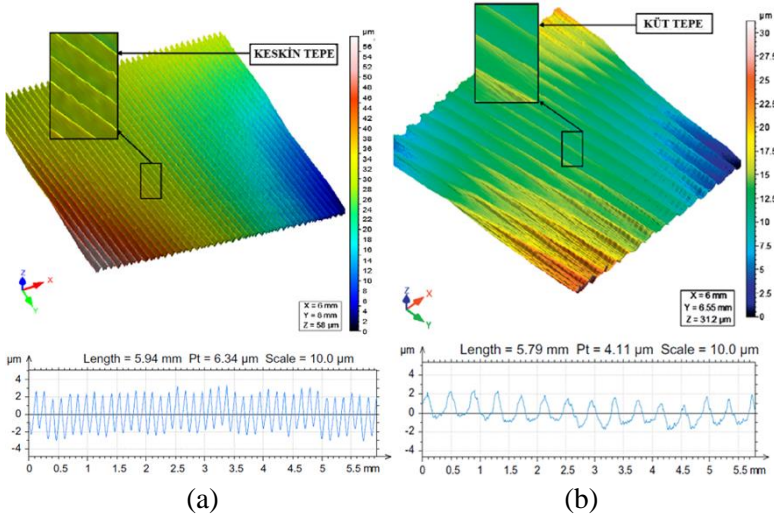
seramik takımların işleme süresi ve ilerleme hızının bir fonksiyonu olarak aritmetik ortalama pürüzlülük değeri Ra'nın gelişimini göstermektedir. Grafiklere göre Ra'nın kesme süresiyle ve çoğunlukla da ilerlemeyle arttığı görülmektedir. Genel olarak CC650WG silici takım ile CC650 konvansiyonel takımdan daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmiştir. Uygun işleme parametreleri ile soğuk iş takım çeliğinin sert tormalanması sürecinde taşlama işlemine gerek kalmadan CC650WG silici takım $Ra < 0.5 \mu\text{m}$ ve CC650 konvansiyonel takım $Ra < 0.8 \mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü ve $IT < 7$ mekanik hassasiyette yüksek boyutsal doğruluk sağlamışlardır.

Sertleştirilmiş (60 HRC) AISI 4140 çeliğinin kuru şartlar altında kaplamalı konvansiyonel (CC650) ve silici geometrili (CC650WH) seramik kesici uçlar ile sert tormalama işlemleri sonucunda genel olarak silici geometrili kesici uçların yüzey pürüzlülüğü açısından daha iyi performans gösterdiği bildirilmiştir (Şekil 21) (Elbah vd., 2013).



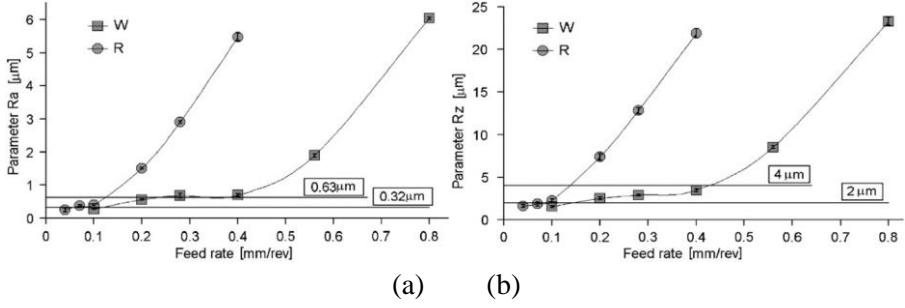
Şekil 21. Konvansiyonel (CC6050) ve silici uç (CC6050WH) Ra değerleri (Elbah vd., 2013)

AISI 4140 çeliğinin sert tormalanmış yüzeylerinin üç boyutlu (3D) görüntülerinin temsili örnekleri izometrik görünüm ve kontur haritaları aracılığıyla Şekil 22'de görselleştirilmiştir. 3D görselleştirme, test edilen her iki uçla üretilen yüzeylerin keskin ve küt tepe noktaları gibi bazı karakteristik özelliklerini doğrulamıştır. Konvansiyonel ve silici takımlar için elde edilen taranmış yüzeylerde oklarla lokalize edilen karakteristik keskin ve kısmen küt tepeler mevcuttur. Tepe sırtları boyunca yan akışın varlığı konvansiyonel takım için çok yoğun iken silici ile işlemede daha zayıftır. Konvansiyonel uç için ilerleme yönü boyunca iki boyutlu (2D) profil, çok tekrarlanabilir bir tepe-dip biçimi gösterirken, silici uç için ilerleme yönü boyunca profil rastgele bir yapı göstermiştir (Elbah vd., 2013).



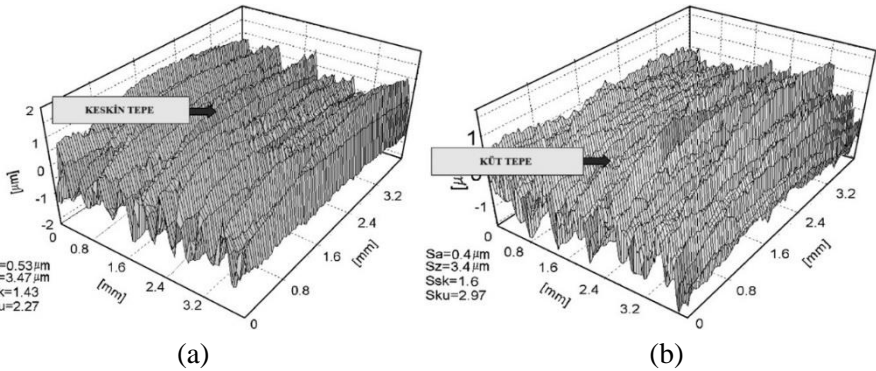
Şekil 22. 3D topografya, a) konvansiyonel (CC6050), b) silici uç (CC6050WH) (Elbah vd., 2013)

Konvansiyonel ve silici geometrili alümina-titanyum karbon (TiC) seramik kesici uçlar kullanarak 60 HRC sertliğindeki düşük kromlu alaşımli çeliğin tornalanması sonucu elde edilen yüzeylerin kalitesi endüstride en sık kullanılan iki yüzey pürüzlülüğü olan Ra ve Rz parametresindeki değişiklikler gözlemlenerek incelenmiştir. Şekil 23'de gösterildiği gibi ilerleme hızı 0.04–0.4 mm/rev aralığında değiştirilerek konvansiyonel kesici uçlarla yapılan tornalama işleminden sonra Ra parametresi 0.24 ila 5.47 µm arasında değişirken, Rz parametresi 1.62 ile 21.89 µm arasında değişmiştir. Silici kesici uçlarla 0.1–0.8 mm/rev ilerleme aralığında tornalanan yüzeyler ise 0.28 ile 6.03 µm arasında değişen Ra parametresi ve 1.54 ile 23.3 µm arasında değişen Rz parametresi değerleri ile karakterize edilmiştir. Minimum pürüzlülük değerine karşılık gelen ilerleme hızı burun yarıçapına bağlıdır. Tek yarıçaplı buruna sahip konvansiyonel kesici uçlar için sınırlayıcı ilerleme hızı 0.04 mm/rev değerine eşit iken silici kesici uçlar için bu değer 0.1 mm/rev değerine yükselir. Şekil 23'de Ra ve Rz parametrelerinin karakteristik değerleri, Ra için 0.32–0.63 µm ve Rz için 2–4 µm olarak işaretlenmiştir. Sonuç olarak silici kesici uç ile ince-bitirme sert tornalama işleminin, konvansiyonel uç ile daha düşük ilerleme hızında yapılan sert tornalamaya kıyasla karşılaştırılabilir yüzey pürüzlülüğü sağladığı görülmüştür (Grzesik ve Wanat, 2006).



Şekil 23. Konvansiyonel (R) ve silici (W) takımlarla tornalama için a) Ra b) Rz parametrelerinin değerleri (Grzesik ve Wanat, 2006)

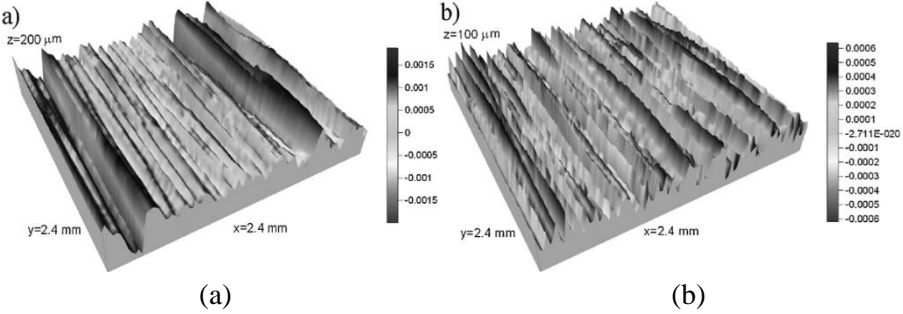
Sert tonalanmış yüzeylerin 3D görüntüleri hem izometrik görünüm hem de kontur haritaları ile görselleştirilmiştir. Sırasıyla konvansiyonel (Şekil 24a) ve silici (Şekil 24b) takımlar için elde edilen taranmış periyodik-anizotropik karakteristik yüzey yapısında oklarla lokalize edilen keskin ve kısmen küt tepeler mevcut olduğu görülmüştür. Sonuçlar, eşdeğer ilerleme hızlarında (yani konvansiyonel için 0.1 mm/rev ve silici takımlar için 0.2 mm/rev) elde edilen yüzeylerin benzer 3D pürüzlülük parametrelerine ve karşılaştırılabilir eğim ve basıklık değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca silici takımın belirgin şekilde daha küçük eğimlere sahip küt tepeler içeren ve daha iyi yataklama özelliğine sahip işlenmiş yüzeyler sağladığı görülmüştür (Grzesik ve Wanat, 2006).



Şekil 24. Tornalanmış yüzeylerin 3D topografyası, a) konvansiyonel uç b) silici uç (Grzesik ve Wanat, 2006)

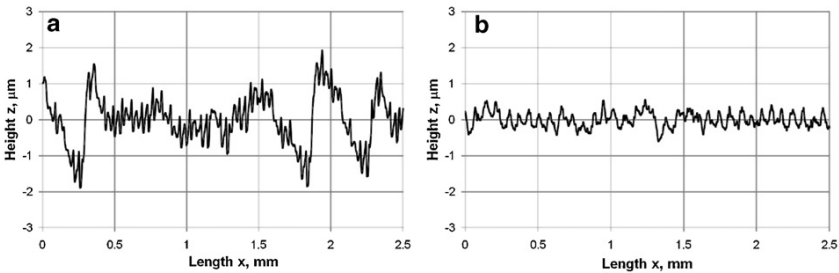
Diğer bir araştırmada Grzesik ve Zak (Grzesik ve Zak, 2012), Al₂O₃-TiC seramik kesici uçlar ile yaklaşık 60 HRC sertliğindeki 41Cr4 düşük alaşım çeliğin sert tornalama operasyonlarında konvansiyonel ve silici takımların

işlenen yüzeylerin 2D ve 3D pürüzlülük parametrelerini ve servis özelliklerini nasıl etkilediğini incelemiştir. İşlenen karakteristik yüzeyler ve profiller sırası ile Şekil 25 ve 26'da gösterilmektedir. Şekil 25a, konvansiyonel seramik uç tarafından işlenen yüzeyin (HT-W1) lokal olarak daha derin dip-vadiler ve bunların arasında daha küçük düzensizlikler içerdiğini göstermektedir. Öte yandan silici kesici uç ile işlenen yüzey (HT-S1) oldukça derin dip-vadiler içermektedir (Şekil 25b).



Şekil 25. 41Cr4 çeliğinde işlenen yüzeylerin izometrik görünüşleri (0.064 mm/rev), a) HT-S1, b) HT-W1 (Grzesik ve Zak, 2012)

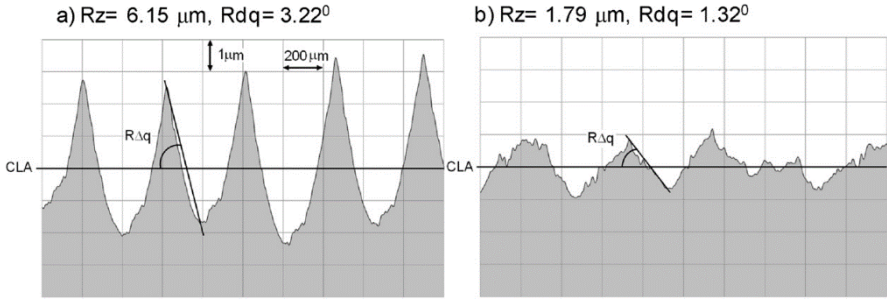
Şekil 26'da tornalama operasyonlarında işlenen yüzey profillerinde oluşan düzensizlikler, aralarındaki boşluklar ve bunların eğimleri açıkça görünmektedir. Numune uzunluğu üzerinde tahmin edilen pürüzlülük parametreleri, ortalama tepe aralığını (R_{sm}), RMS-ortalamaların kareleri toplamının karekökünün dalga boyunu ($R_{\Delta q}$) ve RMS eğimini ($R_{\Delta q}$) içerir. Genel olarak, Şekil 26a ve b'de gösterildiği gibi, seramik takımlar ile sert tornalama sonucu düzenli olarak dağılmış tepe noktalarına sahip profiller üretilmiştir (Grzesik ve Zak, 2012).



Şekil 26. 41Cr4 çeliğinde işlenen yüzey profil örnekleri (0.064 mm/rev), a) HT-S1, b) HT-W1 (Grzesik ve Zak, 2012)

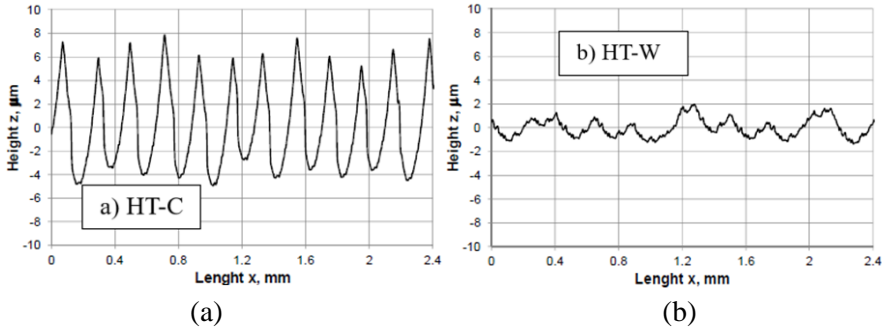
Şekil 27a'da görüldüğü üzere konvansiyonel kesici uç tarafından işlenen yüzeye ait profildeki tepeler arasındaki boşluklar ilerleme hızına eşittir. RMS

(ortalamaların kareleri toplamının karekökü) eğimleri tarafından ifade edilen profil şekillerinin modifikasyonları Şekil 27'de karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Konvansiyonel ve silici uçlar ile işlenen yüzeyler için RMS eğimlerinin tipik değerleri sırası ile yaklaşık $R\Delta q \cong 3^\circ$ ve $1^\circ(1.5^\circ)$ 'dir. Konvansiyonel uca nazaran (HT-S2) silici kesici uç kullanılarak tornalanan yüzeyin (HT-W2) RMS eğiminin ($R\Delta q$) 1/2~1/3 aralığında önemli bir oranda daha az olduğuna dikkat edilmelidir. Bu görüntü silici uçların işlediği yüzeylerin, konvansiyonel kesici uçlar tarafından işlenen yüzeyler kadar keskin tepeler içermediğinin kanıtıdır (Grzesik ve Zak, 2012).



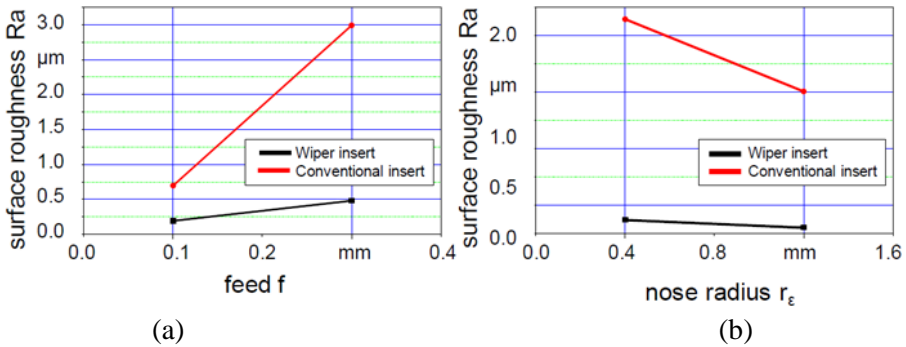
Şekil 27. Keskin tepe noktalarına sahip tornalanmış yüzey profilleri (0.21 mm/rev), a) HT-S2, b) HT-W2 (Grzesik ve Zak, 2012)

62-64 HRC sertleştirilmiş 100Cr6 çeliğinin konvansiyonel ve silici geometrili seramik takımlar kullanılarak sert tornalama ile işlenen yüzey dokusu, pürüzlülük parametresi ile karakterize edilmiştir. Yüzey profilleri ve yükseklik parametreleri, silici takımın konvansiyonel takıma göre önemli ölçüde daha düşük yükseklik parametresi değerleri sağladığını göstermektedir (Şekil 28). Şekil 28, konvansiyonel takım ile işlenen yüzeylerin, silici takım ile işlenenlere göre önemli ölçüde daha yüksek tepeler ve daha derin dip-vadiler içerdiğini göstermektedir. Konvansiyonel kesici uç Şekil 28a'da gösterildiği üzere kesici takım ucu izlerinin düzenli dağılımını sağlamıştır. Fakat silici uç ile işlenen yüzey profilleri, profillerde oluşan düzensizlikler nedeniyle yarı periyodik olarak değerlendirilebilir (Şekil 28b). Silici takım için R_a değeri $0.18 \mu\text{m}$ iken konvansiyonel takım için $2.15 \mu\text{m}$ ölçülmüştür. Deneysel ölçüm sonuçları, silici geometrinin yüksek ilerlemelerde (0.21 mm/rev) düşük pürüzlülük değerlerine sahip yüzeyler elde etmeyi mümkün kıldığını göstermektedir (Neslusan vd., 2012).



Şekil 28. 100Cr6 çeliğinin yüzey profilleri (0.21 mm/rev) (Neslusan vd., 2012)

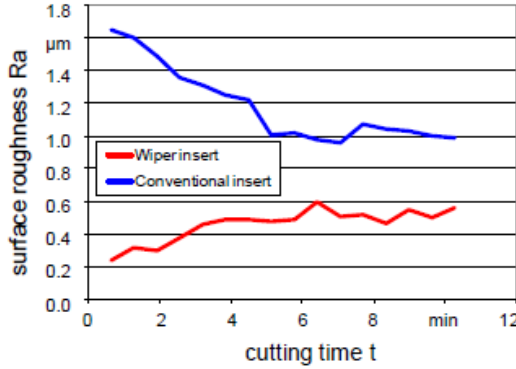
Sert tornalamada artan ilerleme hızlarında silici geometrili PCBN kesici uçların kullanılması, konvansiyonel kesici uçlarla karşılaştırıldığında yüzey pürüzlülüğünü azaltmaktadır. Guddat ve arkadaşları (Guddat vd., 2011), konvansiyonel ve silici geometrili PCBN uçlar ile 58-62 HRC sertleştirilmiş AISI 52100 (100Cr6) çeliğinin tornalama işleminde kesici uç geometrisinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre kesici uç tipinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olduğu, silici ucun daha iyi yüzey kalitesi sağladığı ve kesici uç burun yarıçapındaki artış ile pürüzlülüğün azaldığı bildirilmiştir. Şekil 29a ve b sırasıyla ilerleme(f) x kesici uç tipi ve köşe yarıçapı(r_ϵ) x kesici uç tipi için etkileşim grafiğini göstermektedir. İlerleme ve kesici uç burun yarıçapı değişimlerinden doğan pürüzlülük değişimlerine karşı silici ucun daha stabil olduğu görülmüştür.



Şekil 29. Etkileşim grafikleri, a) ilerleme (f) x kesici uç tipi, b) burun yarıçapı (r_ϵ) x kesici uç tipi (Guddat vd., 2011)

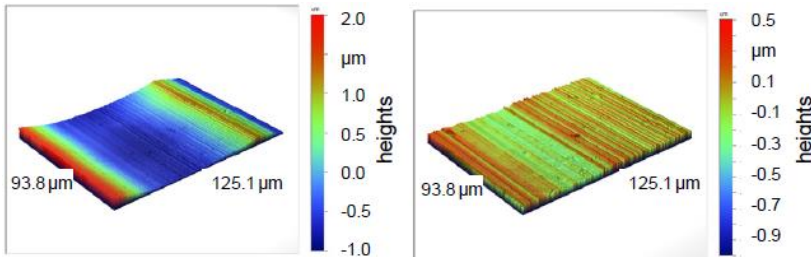
İşlenmiş yüzey pürüzlülüğü kesme süresinin dolayısıyla takım aşınmasının bir fonksiyonu olarak değerlendirildiğinde, silici uç kullanılarak üretilen yüzeyin konvansiyonel geometriye sahip bir uç kullanılarak üretilen yüzeyden üstün

olduğu gözlenmiştir (Şekil 30). Silici geometrili kesici takımında artan aşınma ile yüzey pürüzlülüğü artarken, konvansiyonel geometrili kesici takımında artan aşınma ile yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Her iki kesici uç belirli bir kesim süresinden sonra sabit bir değere ulaşma eğiliminde olup, silici geometrili kesici uç yaklaşık 5 dakika işleme süresinden sonra $Ra \approx 0.5 \mu\text{m}$, konvansiyonel ucun ise yaklaşık 5.5 dakika işleme süresinden sonra $Ra \approx 1.0 \mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü sağladığı görülmüştür (Guddat vd., 2011).



Şekil 30. İşleme zamanına göre yüzey pürüzlülüğü değişimi (Guddat vd., 2011)

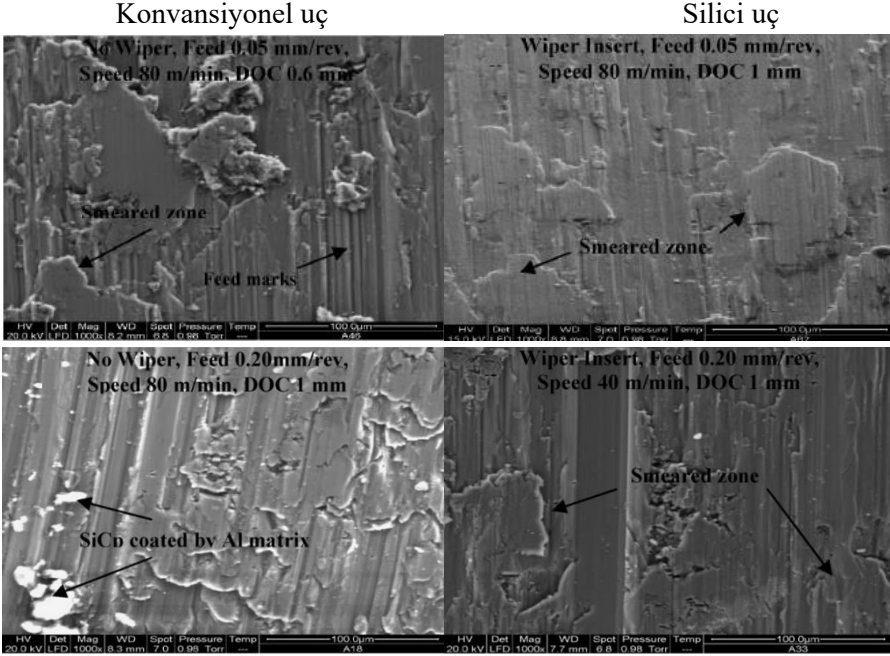
Aynı araştırmada yüzeylerin 2D ölçümlerinin yanı sıra 3D topografyaları da incelenmiştir. Deneylede silici uç ile daha pürüzsüz yüzeyler elde edilmiştir (Şekil 31, daha iyi netlik için dikey eksendeki ölçeğin aynı olmadığına dikkat ediniz). Yeni ve aşınmış kesici uçlarla kesme deneylerinden elde edilen yüzey topoğrafyaları karşılaştırıldığında, yeni kesici uç daha düzgün bir yüzey üretirken, aşınmış kesici ucun işlediği yüzeyde sıcaklık ve sürtünmeden etkilenen alanların ortaya çıktığı açıkça görülmüştür (Guddat vd., 2011).



Şekil 31. Yüzeylerin 3D topografyası a) konvansiyonel uç, b) silici uç (Guddat vd., 2011)

Dabade ve arkadaşları (Dabade vd. 2007), takviyeli alüminyum kompozit malzemeleri (Al/Si/10p ve Al/Si/30p) silici ve konvansiyonel CBN uçlar ile

işledikleri araştırmada, silici kesici uçların işlenmiş yüzeylerdeki ilerleme izleri, çukurlar ve çatlakların sayısını azaltmada oldukça etkili olduğunu gözlemlemişlerdir (Şekil 32). Silici kesici uçlarla işlenmiş yüzeylerin konvansiyonel kesici uçlarla işlenenlere göre çok daha temiz olduğu görülmüştür. Bu durum, kesici takım ile iş parçası arasındaki daha uzun temas boyuna ve buna bağlı olarak oluşan yüksek termal yumuşamaya atfedilmiştir.



Şekil 32. İşlenen yüzeylerin SEM fotoğrafları (Dabade vd. 2007)

5. SONUÇ

Talaşlı imalatta silici uç kullanımı konvansiyonel kesici uçlara kıyasla daha üstün yüzey kalitesine ve daha yüksek verimliliğe yol açar. Özellikle tormalama işleminde silici kesici kenar geometrisinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi oldukça önemlidir. Silici uçlar ince-bitirme tormalama operasyonlarında konvansiyonel uçlara göre daha fazla geleceğe sahiptir. İmalat endüstrisinde son işleme operasyonu olarak sert tormalama tekniklerinin uygulanmasında çok sıkı toleransla işlenmiş yüzeyler sağladığı görülmüştür. Konvansiyonel uçlara kıyasla daha geniş kesici uç burun geometrisine sahip silici uçlar ile taşlama işlemi ile mukayese edilebilecek ve hatta daha iyi yüzey kalitesi sağlanmıştır. Birden fazla yarıçapın sağladığı geniş burun geometrisi silici ucun kesici kenar mukavemetini artırmıştır. Silici kesici uçların, talaş kırma kabiliyetini kaybetmeden ve iyi yüzey kalitesi sağlayarak yüksek ilerlemelerde tormalama kapasitesine sahip olduğu

görülmüştür. Yüksek ilerleme hızlarındaki ince-bitirme operasyonlarında silici kesici uç kullanımı yüksek yüzey kalitesi ve daha kısa işleme süresi sağlamaktadır. Silici takım iki kat daha büyük ilerleme hızında, normal ilerlemede konvansiyonel uç kullanıldığında elde edilen seviyelerde belirli yüzey pürüzlülüğü parametreleri sağlar. Düşük ilerleme hızlarında ise hem silici hem de konvansiyonel kesici uçlar ile benzer yüzey kalitesi elde edilir. Özetlemek gerekirse, silici kesici uç kullanımının, konvansiyonel kesici uçlara kıyasla üstün yüzey kalitesine ve yüksek verimliliğe yol açtığı ifade edilebilir. İmalat süresi ve maliyet tasarrufu göz önüne alındığında silici kesici uçların yüksek potansiyele sahip olduğu kanıtlanmıştır.

Yukarıda bahsedilen avantajlara ek olarak, silici ucun özel geometrisinden kaynaklanan bazı dezavantajları da vardır. İş parçasının dönme eksenine göre farklı açılarda olan yüzeylerin üniform pürüzsüzlüğünün sağlanamaması ve karmaşık yüzeyleri tornalarken şeklin doğru biçimde çoğaltılmasının zorluğu sıralanabilir. Silici geometrisi takım ve iş parçasının temas alanını genişleterek daha yüksek termo-mekanik yüklere (kesme kuvvetleri ve sıcaklık) neden olur. İşleme esnasında üretilen yüksek pasif kuvvet, iş parçasında titreşime ve boyutsal yanlışığa veya işlenen parçanın şeklinin bozulmasına neden olur. Ayrıca özellikle yumuşak malzemelerin işlenmesinde kesme sıcaklığı artışı ve iş parçası ile kesici takım arasında yükselen yapışma etkilerinden dolayı yüzey pürüzlülüğü artabilir.

REFERANSLAR

- Akkurt, M. (1996). *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları. (Üçüncü baskı)*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 1-40.
- Benardos, P. G. and Vosniakos, G. –C. (2003). Predicting surface roughness in machining: a review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(8), 833-844.
- 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.
- Correia, A. E. and Davim, J. P., (2011). Surface Roughness Measurement in Turning Carbon Steel AISI 1045 Using Wiper Inserts. *Measurement*, 44(5), 1000-1005.
- Çakır, M.C., (2006). *Modern Talaşlı İmalatın Esasları*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- D'Addona, D. M., and Raykar, S. J., (2016). Analysis of Surface Roughness In Hard Turning Using Wiper Insert Geometry. *Procedia CIRP*, 41, 841-846.
- Dabade, U. A., Dabade, Joshi, S. S., Balasubramaniam, R., Bhanuprasad, V. V., (2007). Surface Finish and Integrity of Machined Surfaces on Al/SiCp Composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 192-193, 166-174.
- Davim, J. P, Figueira, L. (2007). Comparative Evaluation of Conventional and Wiper Ceramic Tools on Cutting Forces, Surface Roughness, and Tool Wear in Hard Turning AISI D2 Steel. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 221(4), 625-633.
- Elbah, M., Yaltese, M. A., Aouici, H., Mabrouki, T. and Rigal, J. F., (2013). Comparative Assessment of Wiper and Conventional Ceramic Tools on Surface Roughness in Hard Turning AISI 4140 Steel. *Measurement*, 46(9), 3041-3056.
- Galyer, J.F.W., and Shotbolt, C.R. (1993). *Metrology For Engineers*. Cassel Publishers Limited, London, 9: 191-194.
- Gaitonde V. N., Karnik S. R., Figueria L. and Davim J. P., (2011). Performance Comparison of Conventional and Wiper Ceramic Inserts in Hard Turning Through Artificial Neural Network Modeling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52, 101-114.
- Griffiths, B. J. (2001). *Manufacturing Surface Technology in: Surface Integrity and Functional Performance*. London: Penton Press.

- Grzesik, W. and Wanat, T. (2006). Surface Finish Generated in Hard Turning of Quenched Alloy Steel Parts Using Conventional and Wiper Ceramic Inserts. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46(15), 1988-1995.
- Grzesik, W., and Źak, K. (2012). Modification of surface finish produced by hard turning using superfinishing and burnishing operations. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(1), 315-322.
- Guddat, J., M'Saoubi, R., Alm, P. and Meyer, D., (2011). Hard Turning of AISI 52100 Using PCBN Wiper Geometry Inserts and The Resulting Surface Integrity. *Procedia Engineering*, 19, 118-124.
- Güllü, A. (1998). *Talaşlı Üretimde Yüzey Problemleri ve Yüzey Pürüzlülüğünü Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Ders Notları, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- 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.
- Kıyak, M., Çetin, M., and Emiroğlu, U., (2016, 3-5 November). *Silici Geometrili Kesici Uçlarla Tornalamada Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi*. 7th International Symposium on Machining, İstanbul, 288-296.
- Kirik, A. (2010). *Tornalamada Kesme Parametrelerindeki Değişime Göre Yüzey Pürüzlülüğünün Tahmini İçin Model Geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Korloy. (2022). *Cutting Tools*. Korloy, Kore.
- Kurniawan, D., Yusof, N. M. and Sharif, S., (2010). Hard Machining of Stainless Steel Using Wiper Coated Carbide: Tool Life and Surface Integrity. *Materials and Manufacturing Processes*, 25(6), 370-377.
- Kuş, A. (2013). *AISI 52100 Rulman Çeliğinin Tornalanmasında Uygun Kesici Takım ve Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Liu, Z., Zhang, P., Guo, P. and Ai, X., (2008). Surface Roughness in High Feed Turning With Wiper Insert. *Key Engineering Materials*, 375-376, 406-410.
- Lou, M.S., Chen, J.C., and Li, C.M. (1998). Surface Roughness Prediction Technique For CNC End-Milling. *Journal of Industrial Technology*, 15 (1): 2-6.
- Neslusan, M., Grzesik, W. and Zak, K., (2012). Analysis of Surface Roughness on Bearing Steel Parts After Cutting, Superfinishing and Burnishing Operations. *Journal of Machine Engineering*, 12(1), 111-118.

- Özek, C., Hasçalık, A., Çaydaş, U., Karaca, F. ve Ünal, E. (2006). Turning of AISI 304 austenitic stainless steel. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 2, 117-121.
- Özel, T. and Karpaz, Y. (2005). Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(4-5), 467-479.
- Pu, Z., Outeiro, J. C., Batista, A. C., Dillon Jr, O.W., Puleo, D. A. and Jawahir, I. S., (2012). Enhanced surface integrity of AZ31B Mg alloy by cryogenic machining towards improved functional performance of machined components, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 56, 17-27.
- Sandvik. (2001). *Wiper Tools, Turning Productivity*. Sandvik Coromant, İsveç.
- Seco. (2015). *Katalog ve Teknik Rehber 2015*, Seco, İsveç.
- Stachurski, W., Kruszynski, B. and Midera, S., (2012). Influence of Cutting Conditions in Turning With Wiper Type Inserts on Surface Roughness and Cutting Forces. *Mechanics and Mechanical Engineering*, 16(1), 25-32.
- Şirin, Ş. (2012). *Al₂O₃ Seramik Malzemenin Talaşlı İmalat Yöntemleriyle Şekillendirilmesinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- 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.
- Yılmaz, B. (2016). *Pnömatik Tahrikli Dinamik Talaş Kırıcı Tasarımı ve İşleme Parametrelerine Etkilerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, B., Karabulut, Ş. ve Güllü, A., (2016, 3-5 November). *AISI 304 paslanmaz çeliğinin tormalanması esnasında kullanılan dinamik talaş kırıcının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerinin araştırılması*. 7th International Symposium on Machining, İstanbul, 279-287.
- Yim, D.Y., and Kim, S.W. (1991) Optimum Sampling for Ra Roughness Measurement. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 205: 139-142,
- Yusof, N. M., Zainal, A. M., Hendriko, H. and Kurniawan, D., (2008). Hard Turning of Cold Work Tool Steel Using Wiper Ceramic Tool. *Jurnal Mekanikal*, 25, 92-105.

Bölüm3

KİTOSAN VE NIŞASTA BAZLI BİYOPOLİMER/METAL YÜKLEMELİ BENTONİT NANOKOMPOZİT FİLM SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU

Fatma TOMUL¹
Muhittin GÜLPINAR²

ÖZET

Bu çalışmada, kitosan ve nişasta bazlı biyopolimer-metal yüklemeli bentonit nanokompozit filmler hazırlanmıştır. Metal yüklemeli bentonit bazlı nanoyapıların ve biyopolimer-metal yüklemeli bentonit nanokompozit filmlerin hazırlanması olmak üzere iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Metal yüklemeli bentonit bazlı nanoyapılar, Hançılı yöresi bentonit minerali (HB) başlangıç malzemesi olarak kullanılarak hegzadesiltrimetilamonyum bromür (CTAB) ile modifiye edildikten sonra iyon değişimi ile gümüş (Ag) ve çinko (Zn) yerleştirilerek hazırlanmıştır. Ayrıca doğal HB ile titanyum-sütunlu bentonit (Ti-SHB) ve iyon değişimi ve emdirme ile bakır (Cu) veya Ag yüklenerek hazırlanmış titanyum sütunlu bentonit yapılar nanodolgu olarak kullanılmıştır. Biyopolimer olarak kitosan ve nişasta ile nanokompozit filmler hazırlanmıştır. Kitosan ve nişasta bazlı biyopolimer-metal yüklemeli bentonit nanokompozit filmler çözelti birleştirme tekniği ile hazırlanmıştır. Kitosan ve nişasta bazlı biyopolimer-metal yüklemeli bentonit nanokompozit filmler X-ışını kırınım (XRD) ve Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) analiz teknikleri ile incelenmiştir. XRD analizlerinde kil bazlı nanoyapılara yüklenen metal türüne göre kilin polimer matris içinde dağılım karakterinin değiştiği görülmüştür. FTIR analizleri kitosan ve kil arasında etkileşim olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyopolimer, nanokil, nanokompozit film, karakterizasyon

GİRİŞ

Günümüzde, gıda ve ilaç endüstrisinde ambalaj malzemesi olarak kullanılabilme potansiyeli yüksek olan biyoyoumlu, biyobozunur ve toksik olmayan biyopolimer bazlı yeni nesil nanokompozit film malzemelerin

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 Muhittin GÜLPINAR Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Türkiye mhhtn_417_15@gmail.com ORCID No: 0000-0001-8208-1665.

geliştirilmesine yönelik çalışmalara ilgi artmakta ve malzeme mühendisliği araştırmalarının odak noktasını oluşturmaktadır. Biyopolimer bazlı nanokompozit filmlerin üretilmesinde kullanılan polimerlerden polisakkarit, protein ve lipid gibi doğal kaynaklardan elde edilen biyopolimerlerin petrol bazlı plastiklerin yerine kullanılabilir alternatif ambalaj malzemesi olarak değerlendirilmesinde biyopolimerlerin; biyobozunur, yenilebilir, çevre dostu ve antikanserojen olmaları (Subramaniam vd., 2023) gibi avantajları gözönünde bulundurulmaktadır (Rhim, 2007; Rhim vd., 2013). Son yıllarda, çevre kirliliğini azaltmak için petrol bazlı ürünlerin yerine kullanılabilir, kitosan ve nişasta gibi biyobozunur, biyoyoumlu ve toksik olmayan polimerler ile kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır (Souza vd., 2017; Madhumitha vd., 2018; Aguirre-Loredo vd., 2023; Reis vd., 2023; Santhosh vd., 2024). Bununla birlikte, kitosan ve nişasta bazlı nanokompozit film malzemelerin mekanik ve su direncinin düşük olması gibi özellikleri biyopolimer bazlı ambalaj malzemelerinin endüstriyel kullanımları bakımından büyük bir kısıtlamaya neden olduğu için bu eksiklikler iyileştirilmeye ve giderilmeye çalışılmaktadır. Bu kapsamda değerlendirildiğinde, biyopolimerlerin ışığa ve alev direncini, bariyer ve mekanik özelliklerini güçlendirebilmek ve geliştirmek için çeşitli nanodolgu malzemeleri kullanılarak biyopolimer-nanodolgu nanokompozit film sentez çalışmaları önem kazanmıştır. Ayrıca, nanodolgu yapılar, gıda ve ilaç endüstrisi için geniş spektrumlu yeni özellikler sağlamaktadır. Biyopolimer-nanodolgu nanokompozit film oluşturmak için polimerik malzemelerle birleşebilen montmorillonit, saponit ve kaolinit gibi killerde nanodolgu yapılar arasında bulunmaktadır. Nano ölçekli killer arasında da 2:1 tabakalı yapıya sahip olan montmorillonit daha çok ilgi çekmekte ve incelenmektedir (Madhumitha vd., 2018; Reis vd., 2023; Bangar vd., 2023). Diğer taraftan gıda ve ilaç ambalaj malzemelerinin gıdaları ve ilaçları bakterilere karşı koruması ve mikroorganizmalardan arındırması da gıda ve ilaç ambalaj malzemelerinde aranan özellikler arasında yer almaktadır. Gümüş, çinko, bakır ve titanyum gibi metalleri içeren nanodolgu malzemelerin geliştirilmesi mikroorganizmalarla kirleticilerin büyümesini minimize etmek için oldukça yararlıdır (Lahbib vd., 2023; Mouzahim vd., 2023; Sarangi vd., 2023). Bu nedenle antimikrobiyal aktiviteye sahip biyopolimer-kil nanokompozit malzemelerin geliştirilmesine ilgi de gittikçe artmaktadır. Gümüş, bakır, titanyum ve çinko nanoparçacıkların antimikrobiyal özelliklere ve düşük toksiteye sahip olması da bu metalleri bu tür uygulamalar için özelleştirmektedir.

Bu nedenle bu çalışma kapsamında çözelti birleştirme tekniği ile biyopolimer-metal yüklemeli bentonit nanokompozit filmler hazırlanmıştır.

Biyopolimer-metal yüklemeli bentonit nanokompozit filmlerin hazırlanmasında biyopolimer olarak kitosan ve nişasta, başlangıç kil minerali olarak montmorillonit içeriği yüksek Orta Anadolu yöresi (Hançılı) bentonit kullanılmıştır. Ancak killerin hidrofilik doğası hidrofobik polimer matris ile uyumunu ve dağılımını sınırlamaktadır. Bu sınırlamaları gidermek için killerin çeşitli yöntemlerle modifiye edilmesi gerekmektedir (Olafadehan vd., 2020). Bu nedenle bu çalışma kapsamında CTAB ile modifiye edilmiş bentonite kullanılmıştır. Biyopolimer-kil nanokompozit malzemelere antibakteriyel özellik kazandırmak için CTAB ile modifiye edilmiş bentonite gümüş ve çinko yüklenmiştir. Ayrıca bakır, gümüş ve titanyum içerikli sütunlu bentonitler ile de polimer/kil nanokompozit filmler hazırlanmış ve farklı nanodolgu yapıların, biyopolimer-kil nanokompozit malzemelerin yapısal özellikleri üzerine etkileri XRD ve FTIR tekniklerinin kullanımıyla belirlenmiştir.

MATERYAL ve METOT

Biyopolimer/Metal Yüklemeli Bentonit Nanokompozit Filmlerin Hazırlanmasında Kullanılan Malzemeler

DeneySEL çalışmalarda analitik saflıkta kimyasal maddeler kullanılmış, çözeltiler deiyonize su ile hazırlanmıştır. Biyopolimer/metal yüklemeli bentonit nanokompozit filmlerin hazırlanmasında düşük molekül kütleli kitosan ve nişasta (Sigma Aldrich), setiltrimetilamonyum bromür (CTAB, C₁₉H₄₂NBr, Merck), gümüş nitrat (AgNO₃, Merck), çinkoasetat (ZnC₄H₆O₄, Merck), titanyum(IV)propoksit [Ti(OC₃H₇)₄, Sigma Aldrich], gliserol (C₃H₈O₃, Sigma Aldrich) ve asetik asit (CH₃COOH, Sigma Aldrich) kullanılmıştır. Hançılı (Çankırı) yöresi montmorillonit içeriği yüksek olan ve görünümüne göre Hançılı Beyaz Bentonit (HB) olarak adlandırılmış bentonit kil örneği başlangıç kili olarak kullanılmıştır.

Metal Yüklemeli Bentonit Nanodolgu Yapıların Hazırlanması

Hekzadesiltrimetilamonyum bromür ile modifiye edilmiş bentonit: Modifikasyon 1 g bentonit ve 0.56 g CTAB'ın 100 mL'suda 8 saat karıştırıldıktan sonra süzülerek ayrılması ve kurutulması ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen malzeme O-HB (Organik-HB) olarak kodlanmıştır. Gümüş ve çinko yüklemeli organik bentonit, O-HB örneğinden 1 g alınıp, 100 mL 0,1 M ilgili metal çözeltilisine (gümüş nitrat veya çinko nitrat) eklenmiştir (10 mmol Ag veya Zn/g O-HB). Karışım 60 °C'de 2 saat manyetik karıştırıcıda karıştırma altında, 15 dakika 60 °C'de ultrasonik prop ile ultrases uygulandıktan sonra katı faz sıvıdan santrifüj ile ayrılmış, iyon fazlalıkları giderilinceye kadar yıkanmış

ve 60 °C etüvde 24 saat bekletilerek kurutulduktan sonra toz haline getirilmiş, Ag-O-HB ve Zn-O-HB şeklinde kodlanmıştır. Ayrıca çalışma grubumuzda sentezlenen farklı kombinasyonlu gümüş ve bakır yüklemeli titanyum sütunlu bentonitlerin biyopolimer/kil nanokompozit film sentezinde nanodolgu olarak kullanılabilceği düşüncesi Tomul vd., 2016 kapsamında hazırlanmış Ti-, Cu/Ti-, Cu emdirilmiş Ti-, Ag emdirilmiş Ti-sütunlu bentonit örnekleri (Ti-SHB, Cu/Ti-PHB, Cu@Ti-SHB ve Ag@Ti-SHB) nanodolgu olarak kullanılarak biyopolimer/kil nanokompozit film deneysel çalışmalarının yürütülmesinde rol oynamıştır.

Kitosan Bazlı Metal Yüklemeli Bentonit Nanokompozit Film Sentezi

Kitosan-kil nanokompozit malzemeler Shahbazi vd., 2017 tarafından önerilen sentez reçetesine göre sentezlenmiştir. 2 g kitosan 100 mL %1 asetik asit çözeltisine ilave edilerek hazırlanan karışıma eş zamanlı olarak 2 mL plastikleştirici ajan olarak gliserol ilave edilmiştir. Elde edilen karışım 65°C'de 30 dakika karıştırılmıştır. Diğer taraftan 50 mL suda 0,1 g metal yüklemeli sütunlu bentonit nanodolgu yapılar 40°C'de 30 dakika karıştırıldıktan sonra 30 dakikada ultrasonik banyoda (Bandelin Sonorex, işlem frekansı 35 kHz) bekletilmiştir. Kitosan-metal yüklemeli sütunlu bentonit nanokompozit karışımın hazırlanması için 50 mL nanokil karışımı ile 50 mL kitosan karışımı karıştırılmıştır. Kitosan içeriği %1 ve kil içeriği %0,05 olan kitosan-metal yüklemeli sütunlu bentonit nanokompozit karışımı 65°C'de 2 saat karıştırılarak bekletilmiştir. Kitosan-metal yüklemeli sütunlu bentonit nanokompozit film karışımlarından 35 mL alınmış ve 70 mm çaplı cam petrilere aktarıldıktan sonra 40°C'de 48 saat bekletilerek film oluşumu sağlanmıştır. Karşılaştırma amacıyla kil içermeyen kitosan filmde benzer şekilde hazırlanmıştır.

Nişasta ve Kitosan Bazlı Biyopolimer-Metal Yüklemeli Bentonit Nanokompozit Hazırlanması

Biyopolimer olarak tek başına nişasta kullanımı ile biyopolimer-metal yüklemeli bentonit nanokompozit hazırlanmasında film oluşumu sağlanamadığından, nişasta ile birlikte kitosan kullanılarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. 1 g nişasta ile 0,03 g kil alınarak 25 mL saf suda 50 °C de 40 dakika manyetik karıştırıcı üzerinde karıştırılmıştır. Diğer taraftan 0,5 g kitosan 25 mL %1'lik asetik asit çözeltisine ilave edilerek hazırlanan çözeltiliye eş zamanlı olarak 3,968 mL gliserol ilave edilmiş ve 50 °C'de 40 dk karıştırıldıktan sonra bu karışım üzerine nişasta ve kil içeren karışım 1,2 mL/min akış hızında ilave edilmiştir. Oluşan karışım 1 saat karıştıktan sonra 35 mL alınarak 70 mm çaplı cam petri kaplarına aktarılmış ve oda sıcaklığında

kuruyuncaya kadar bekletilmiştir. 0,5 g nişasta ve 1,0 g kitosan ile Zn-O-HB nanodolgu yapılar kullanılarakta nanokompozit film çalışmaları yürütülmüştür.

Karakterizasyon Çalışmaları

Tüm kitosan ve nişasta bazlı biyopolimer-metal yüklemeli bentonit nanokompozit filmlerin X-ışını kırınım desenleri (XRD) ve FTIR analizleri yürütülmüştür. Kitosan-kil nanokompozit malzemelerin kristal yapısı hakkında bilgi edinmek için X-ışını kırınım desenleri (XRD) 2θ (yansıma açısı) = 5^0 - 60^0 aralığında, dalga boyu 0,15406 nm olan “CuK α ışın kaynaklı Rigaku Ultima IV Difraktometre” ile elde edilmiştir. Malzeme yapısındaki fonksiyonel grupları belirlemek için biyopolimer-kil nanokompozit filmlerin FTIR/ATR spektrumları (700 cm^{-1} - 4000 cm^{-1}) Perkin Elmer Frontier FTIR Spektrofotometre ile elde edilmiştir.

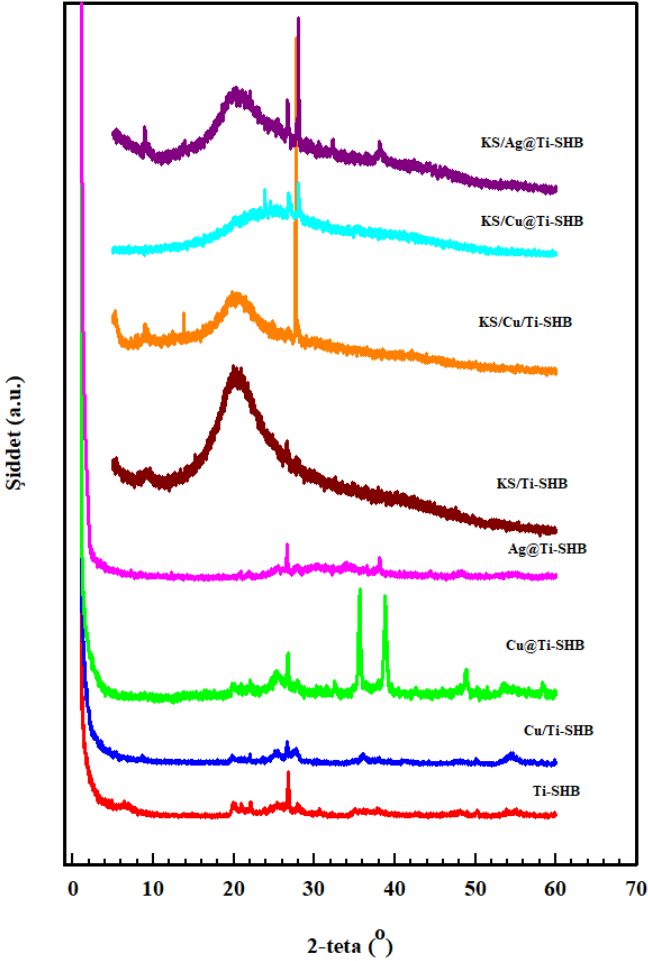
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

X-Işını Kırınım Desenleri (XRD)

CTAB ile modifiye edilmeksizin metal yüklemesi gerçekleştirilen sütunlu bentonit nanodolgu yapılar ile hazırlanan kitosan bazlı biyopolimer/metal yüklemeli sütunlu bentonit nanokompozit filmlerin XRD desenleri Şekil 1’de kitosan içermeyen nanokil yapıların XRD desenleri ile birlikte gösterilmiştir. Cu ve Ag yüklenmiş titanyum-sütunlu kil örneklerinin (Cu/Ti-SHB, Cu@Ti-SHB ve Ag@Ti-SHB) örneklerinin X-ışını kırınım desenleri incelendiğinde sadece titanyum içeren sütunlu kilin (Ti-SHB) XRD deseninde düşük Bragg açısı bölgesinde Bragg açısının $6,24$ değerinde kristal yapıya ait düşük şiddetli ve yayvan bir pik gözlenerek buna karşılık gelen katmanlar arası uzaklık değeri $1,79\text{ nm}$ olarak elde edilmiştir. Değişik kombinasyonlarda metal yüklemeli sütunlu kil nanodolgu yapıların XRD desenlerinde 001 düzleminde pik gözlenmemesi modifikasyon sırasında kil tabakalarının paralel olmayan düzenini karakterize eden bozulmuş tabakalı yapının oluştuğuna işaret etmektedir. Bütün metal yüklemeli sütunlu bentonit nanodolgu yapıların X-ışını kırınım desenlerinde $25,38^0$ kırınım açısında anatazin (TiO_2) karakteristik piki gözlenmiştir. Cu@Ti-SHB örneğinin X-ışını kırınım deseninde $35,54^0$; $38,82^0$; $48,82^0$; $58,36$ ve $66,28^0$ kırınım açılarında gözlenen CuO pikleri (Tomul, 2011) ve Ag@Ti-SHB örneğinin X-ışını kırınım deseninde $38,10^0$ kırınım açısında gözlenen metalik Ag piklerinin (Sahel vd., 2014) varlığı bu metallerin yapıya yerleştiğini göstermektedir.

Değişik metal kombinasyonlarına sahip metal içerikli sütunlu kil içeren kitosan bazlı biyopolimer-sütunlu bentonit nanokompozit filmlerin XRD

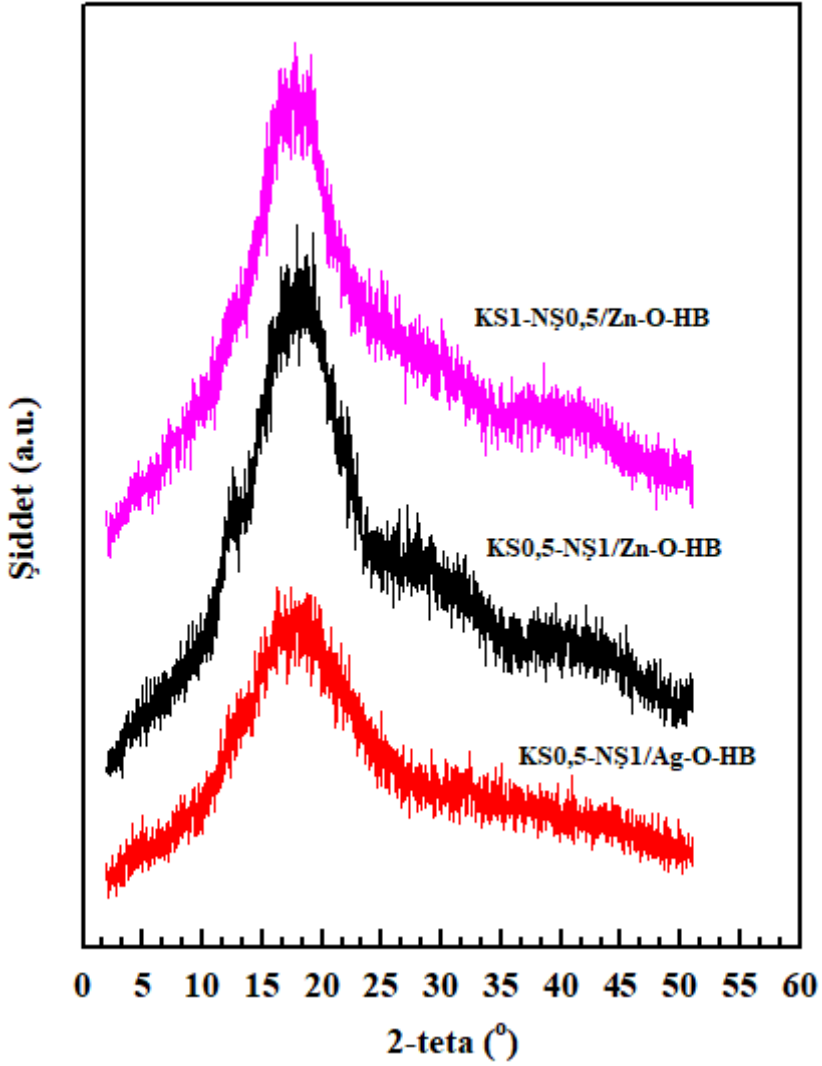
desenlerinin, Ti-SHB'ye yerleştirilen ikinci metalin türü ve yüklenme şekline göre değiştiği görülmüştür. Bakırın Ti ile birlikte, gümüşün ise emdirme ile yüklendiği sütunlu kil nanodolgu yapıları nanokompozit filmlerde sadece Ti yüklendiği sütunlu kil nanodolgu yapıları nanokompozitte olduğu gibi dağılmış ve aralanmış tabakalı her iki yapının da olduğu, bakırın emdirme ile yüklendiği sütunlu kil nanodolgu içeren nanokompozit yapısının ise dağılmış tabakalı ve kristalinitesinin düşük olduğu görülmüştür (Şekil 1).



Şekil 1. Ti-SHB, Cu/Ti-SHB, Cu@Ti-SHB, Ag@Ti-SHB sütunlu bentonit nanodolgu yapılarının ve KS/Ti-SHB, KS/Cu/Ti-SHB, KS/Cu@Ti-SHB, KS/Ag@Ti-SHB kitosan/sütunlu bentonite nanokompozit filmlerin XRD desenleri

Nişasta ve kitosan matris bazlı gümüş ve çinko içeren biyopolimer-metal yüklemeli organik bentonit nanokompozit filmlerin XRD desenlerinde (Şekil 2)

ise kil pikleri gözlenmemiş, sadece $2\Theta=18^\circ$ dolaylarında kitosanın karakteristik piki gözlenmiştir. Bu sonuç nişasta ve kitosan bazlı biyopolimer matrisin birlikte kullanımı ile dağılmış tabakalı nanokompozit yapıların oluştuğunu ve bu oluşum üzerinde kil modifikasyonunun etkisinin olmadığını göstermektedir.



Şekil 2. Gümüş ve çinko yüklemeli organik bentonit içeren nişasta ve kitosan bazlı nanokompozit filmlerin XRD desenleri

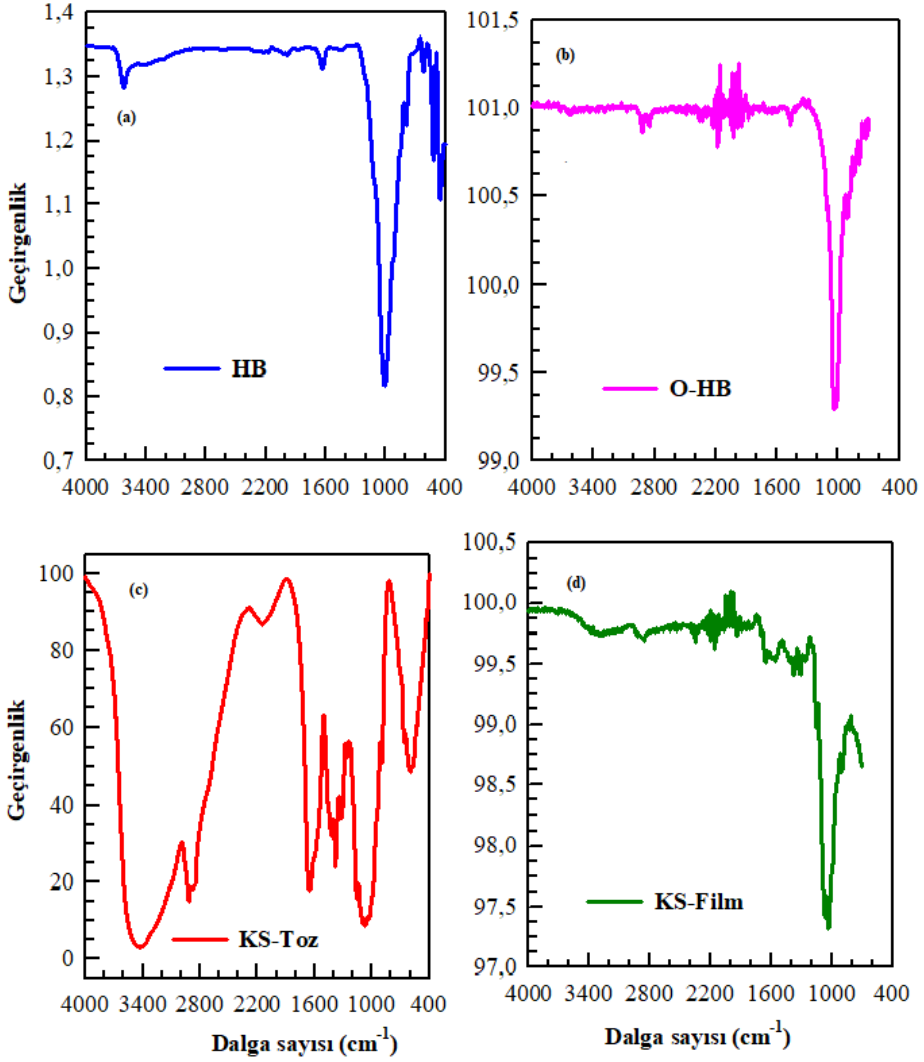
FTIR Spektrumları

Olası kitosan/kil etkileşimlerini incelemek için HB, O-HB, kitosan ve kil içermeyen kitosan filmlerin FTIR spektrumları Şekil 3'te, metal yüklemeli sütunlu bentonitlerin ve bu nanodolgu yapılar ile hazırlanan kitosan bazlı biyopolimer/kil nanokompozit filmlerin FTIR spektrumları Şekil 4a, b, nişasta ve kitosan matris bazlı biyopolimer- gümüş ve çinko içeren organik bentonit nanokompozit filmlerin FTIR spektrumları ise Şekil 4c'de gösterilmiştir.

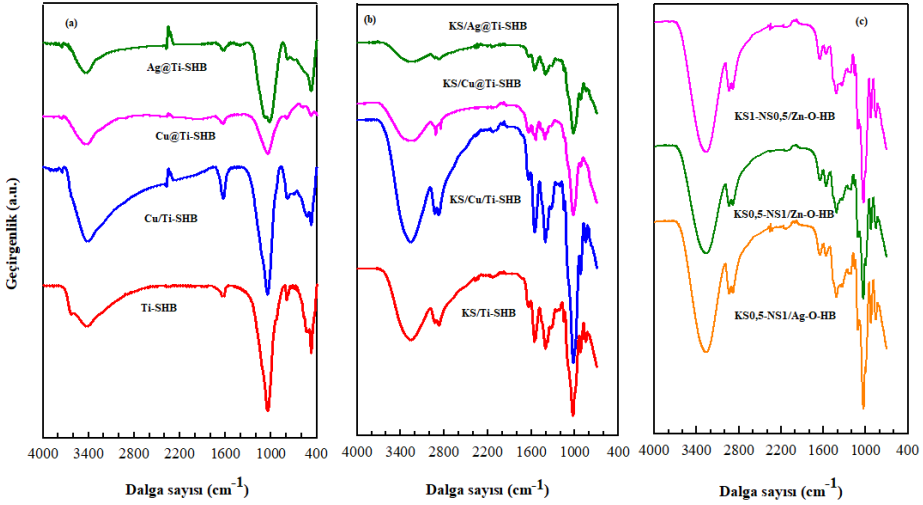
HB örneği için (Şekil 3a), silikat kil mineralinin tetraeder yapısındaki karakteristik Si-O-Si gerilme titreşiminden kaynaklanan bant yaklaşık 1006 cm^{-1} dalga sayısında, Si-O bükülme ve Al-O gerilme titreşiminden kaynaklanan pikler ise sırasıyla $518\text{--}453\text{ cm}^{-1}$ dalga sayılarında gözlenmektedir (Madejová, 2003). Bu piklerin dışında HB için 3626 cm^{-1} 'de yapısal OH gerilme titreşiminden, 1629 cm^{-1} dalga sayısında ise yüzey hidroksil gruplarından kaynaklanan su bükülme titreşim pikleri gözlenmektedir (Madejová, 2003). CTAB ile modifiye edilmiş O-HB örneğine ait FTIR spektrumu (Şekil 3b) incelendiğinde 2922 cm^{-1} ve 2858 cm^{-1} 'de gözlenen -CH gerilmeleri yüzey aktif maddenin yapıya başarıyla girdiğini göstermektedir. Toz kitosanın FTIR spektrumunda 3434 cm^{-1} 'de gözlenen geniş bant -NH ve -OH gerilme, 2919 cm^{-1} de C-H gerilme, 1374 cm^{-1} de C-H bükülme, 1657 cm^{-1} de amid II bandı ve C-O gerilme, 1438 cm^{-1} de -NH gerilme ve 1104 cm^{-1} de C-OH gerilme titreşimlerinden kaynaklanan pikler gözlenmiştir (Şekil 3c). Kitosan filmin FTIR spektrumunda (Şekil 3d) ise $3400\text{--}2500\text{ cm}^{-1}$ arasında yüksek dalga sayılarında -NH ve -OH gerilme titreşimlerinin örtüşmesi ile oluşan pik ile 2922 cm^{-1} ve 2858 cm^{-1} 'de CH gruplarının gerilim titreşim pikleri, $1700\text{ cm}^{-1}\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ arasında amid gruplarının karakteristik pikleri (C=O gerilme ve N-H bükülme) toz kitosana göre oldukça düşük şiddetli olarak gözlenmiştir (Branca vd., 2016).

Farklı metal yüklemeli sütunlu bentonit nanodolgu yapıları içeren biyopolimer/kil nanokompozit filmlerin FTIR spektrumları incelendiğinde ise kitosan/kil nanokompozit filmlerin spektrumlarının kitosan ve HB için karakteristik olan piklerin kombinasyonu olduğu görülmektedir. Nanokompozit filmlerde (Şekil 4b) 3267 cm^{-1} 'de gözlenen karakteristik pik, kitosanın -OH ve -NH, HB'nin -OH fonksiyonel grupları arasında hidrojen bağı oluşmasından kaynaklanmaktadır. Kitosanda 1657 cm^{-1} 'de gözlenen pikin nanokompozit filmlerde şiddetinin önemli ölçüde azalarak 1650 cm^{-1} 'ye kayması kitosanın protonlanmış amin gruplarının deformasyon titreşiminden kaynaklanmaktadır (Darder vd., 2003). Kitosan içeren filmlerin FTIR spektrumlarında (Şekil 4b) nanokil yapıların FTIR spektrumlarından (Şekil 4a) farklı olarak özellikle $1700\text{ cm}^{-1}\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ arasında amid gruplarının karakteristik piklerinin (C=O gerilme

ve N-H bükülme) varlığı kitosan ile kil arasında etkileşim olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. (a) HB, (b) O-HB, (c) KS-Toz ve (d) KS-Film örneklerin FTIR spektrumları



Şekil 4. (a) Ti-SHB, Cu/Ti-SHB, Cu@Ti-SHB ve Ag@Ti-SHB (b) KS/Ti-SHB, KS/Cu/Ti-SHB, KS/Cu@Ti-SHB ve KS/Ag@Ti-SHB (c) KS0,5-NŞ1/Ag-O-HB, KS0,5-NŞ1/Zn-O-HB ve KS1-NŞ0,5/Zn-O-HB örneklerin FTIR spektrumları

SONUÇLAR

Bu çalışmada, gıda ambalaj malzemesi olarak kullanılma potansiyeline sahip kitosan ve/veya nişasta bazlı biyopolimer-metal yüklemeli bentonit nanokompozit filmler çözelti birleştirme tekniği ile hazırlanmıştır. Hazırlanan biyopolimer/metal yüklemeli bentonit nanokompozit filmlerin yapısal özellikleri üzerine biyopolimer kaynağı ve nanodolgu olarak kullanılan yapıların içerdiği metal türünün etkisini belirlemek için yürütülen karakterizasyon çalışmaları ile bilgiler edinilmiştir.

X-ışını kırınım analizleri,

Değişik metal kombinasyonlarına sahip metal içerikli sütunlu bentonit yapıların kitosan matrise ilavesi ile hazırlanan biyopolimer-kil nanokompozit filmlerin yapılarının, ikinci metalin türü ve yüklenme şekline göre değiştiğini göstermiştir. Bakırın Ti ile birlikte, gümüşün ise emdirme ile yüklendiği nanokil katkılı nanokompozit filmlerde sadece Ti yüklenmiş nanokil içeren nanokompozitte olduğu gibi dağılmış ve aralanmış tabakalı her iki yapısında olduğu, bakırın emdirme ile yüklendiği nanokil içeren nanokompozit yapısının ise dağılmış tabakalı olduğu görülmüştür. Nişasta ve kitosan matrise Ag-O-HB ve Zn-O-HB nanokil ilavesi ile hazırlanan nanokompozitlerin metal

türü ve miktarına bağlı olmaksızın dağılmış tabakalı yapılara sahip olduğunu göstermiştir.

FTIR analizleri,

O-HB örneğin FTIR spektrumunda 2922 cm^{-1} ve 2858 cm^{-1} 'de gözlenen -CH gerilme pikleri yüzey aktif maddenin yapıya başarıyla girdiğini göstermiştir. Kitosan filmin FTIR spektrumunda 3400 cm^{-1} - 2500 cm^{-1} arasında -NH ve -OH gerilme titreşimlerinin örtüşmesi ile oluşan pik ile 2922 cm^{-1} ve 2858 cm^{-1} 'de CH gruplarının gerilim titreşim pikleri, 1700 cm^{-1} - 1200 cm^{-1} arasında amid gruplarının karakteristik pikleri (C=O gerilme ve N-H bükülme) toz kitosana göre oldukça düşük şiddetli olarak gözlenmiştir. Kitosan/kil nanokompozit filmlerin FTIR spektrumlarının kitosan ve nanokil yapılar için karakteristik olan piklerin kombinasyonu olduğu görülmüştür. Biyopolimer/kil nanokompozit filmlerin FTIR spektrumunda yaklaşık 3267 cm^{-1} 'de gözlenen karakteristik pik, kitosanın -OH ve -NH, nanokil yapıların -OH fonksiyonel grupları arasında hidrojen bağı oluştuğunu göstermiştir. Ayrıca biyopolimer/kil nanokompozit filmlerin her bir bileşeninin FTIR spektrumlarında gözlenen pik şiddetleri ve konumlarının, nanokompozit filmlerde değişmesi kitosan ve kil arasında etkileşim olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 0530-YL-2018/2017K12-41003 nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Aguirre-Loredo, R. Y., Fonseca-García, A., Calambas, H. L., Salazar-Arango, A., & Caicedo, C. (2023). Improvements of thermal and mechanical properties of achira starch/chitosan/clay nanocomposite films. *Heliyon*, 9(6).
- Bangar, S. P., Chaudhary, V., Akhila, P. P., & Sunooj, K. V. (2023). Recent functionality developments in Montmorillonite as a nanofiller in food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 104148.
- Branca, C., D'Angelo, G., Crupi, C., Khouzami, K., Rifici, S., Ruello, G., Wanderlingh, U., 2016. Role of the OH and NH vibrational groups in polysaccharide-nanocomposite interactions: A FTIR-ATR study on chitosan and chitosan/clay films. *Polymer*, 99, 614–622.
- Darder, M., Colilla, M., Ruiz-Hitzky, E., 2003. Biopolymer-Clay Nanocomposites Based on Chitosan Intercalated in Montmorillonite. *Chemistry of Materials*. 15, 3774-3780.
- Lahbib, M., Meftah, M., Mejri, C., Oueslati, W., & Amara, A. B. H. (2023). The starting stoichiometry, keys parameter to enhance the intrinsic microstructural and functional properties of synthesized hybrid nanocomposites chitosan/Na-montmorillonite/ZnO nanoparticlest type. *Applied Surface Science Advances*, 13, 100369.
- Madejová, J., 2003. FTIR techniques in clay minerals studies: a review. *Vibrational Spectroscopy*, 31, 1–10.
- Madhumitha, G., Fowsiya, J., Mohana Roopan, S., & Thakur, V. K. (2018). Recent advances in starch–clay nanocomposites. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 23(4), 331-345.
- Mouzahim, M. E., Eddarai, E. M., Eladaoui, S., Guenbour, A., Bellaouchou, A., Zarrouk, A., & Boussen, R. (2023). Effect of Kaolin clay and Ficus carica mediated silver nanoparticles on chitosan food packaging film for fresh apple slice preservation. *Food Chemistry*, 410, 135470.
- Olafadehan, O.A., Bello, V.E. & Amoo, K.O. Production and characterization of composite nanoparticles derived from chitosan, CTAB and bentonite clay. *Chem. Pap.* 76, 5063–5086 (2022).
- Reis, C. A., Júnior, M. G., Moreira, F. K. V., Marconcini, J. M., & Vaz, L. E. V. D. S. B. (2023). Synthesis and characterization of chitosan/montmorillonite nanocomposites for application as edible coating. *Food Science and Technology International*, 29(1), 25-39.
- Rhim, J. W., 2007. Potential Use of Biopolymer-based Nanocomposite Films in Food Packaging Applications. *Food Science and Biotechnology*. Vol. 16, No. 5, pp. 691 ~ 709.

- Rhim, J., Park, H., Ha, C., 2013. Bio-Nanocomposites For Food Packaging Applications. *Progress in polymer science*. 38(10-11):1629-1652.
- Sahel K., Bouhent M., Belkhadem F., Ferchichi M., Dappozze F., Guillard C., Figueras F., Photocatalytic degradation of anionic and cationic dyes over TiO₂ P25, and Ti-pillared clays and Ag-doped Ti-pillared clays, *Applied Clay Science*, 95, 205–210, 2014.
- Santhosh, G., & Bhatt, A. S. (2024). Biopolymer Sustainable Films for Food Industries: Properties and Application Based on Chitosan. In *Tailored Functional Materials for Clean and Sustainable Development* (pp. 121-138). Apple Academic Press.
- Sarangi, M. K., Padhi, S., Patel, L. D., Rath, G., Nanda, S. S., & Yi, D. K. (2023). Tailoring of Polymer and Metal Nanobiocomposites Corroborated with Smart Food Packaging Systems—A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 1-37.
- Shahbazi, M., Rajabzadeh, G., Ahmadi, S. J., 2017. Characterization of nanocomposite film based on chitosan intercalated in clay platelets by electron beam irradiation. *Carbohydrate Polymers*, 157, 226–235.
- Souza, V. G. L., Fernando, A. L., Pires, J. R. A., Rodrigues, P. F., Lopes, A. A. S., Fernandes, F.M.B., 2017. Physical properties of chitosan films incorporated with natural antioxidants. *Industrial Crops and Products*, 107, 565–572. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.056>.
- Subramaniam, R., Eswaran, A., Sivasubramanian, G., & Gurusamy, A. (2023). Synthesis and characterization techniques for clay-based polymer nanocomposites and their evaluation of antibacterial, anticancer, and anti-inflammatory activities. *Emergent Materials*, 6(1), 261-269.
- Tomul, F. (2011). Effect of ultrasound on the structural and textural properties of copper-impregnated cerium-modified zirconium-pillared bentonite. *Applied Surface Science*, 258(5), 1836-1848.
- Tomul, F., Basoglu, F. T., & Canbay, H. (2016). Determination of adsorptive and catalytic properties of copper, silver and iron contain titanium-pillared bentonite for the removal bisphenol A from aqueous solution. *Applied Surface Science*, 360, 579-593.

Bölüm 4

DENİZ SONDAJ GEMİSİ HELİKOPTER HELİDECK PLATFORMUNUN CAP 437 STANDARDINA GÖRE YÜZEY SÜRTÜNME KATSAYISI ANALİZİ VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Gültekin ÇOŞKUN¹,
Gencay SARIİŞİK²,

1.GİRİŞ

Günümüzde enerji ihtiyaçlarının karşılanması adına petrol ve doğal gaz arama çalışmaları, özellikle denizlerde gerçekleştirilen saha araştırmalarıyla hız kazanmıştır. Bu küresel çaba, yüksek teknolojiye sahip deniz sondaj gemilerinin tasarlanması, kurulması ve devreye alınması amacını taşımaktadır. Özellikle ülkemizde son dönemlerde artan bir ivmeyle gerçekleştirilen bu çalışmalar, enerji sektöründe stratejik bir öneme sahiptir (Kaygusuz 2002; Akpınar vd., 2008) .

Denizlerdeki petrol ve doğal gaz rezervlerini keşfetmek amacıyla gerçekleştirilen açık deniz sondajları, bilimsel araştırmalara ve enerji üretimine katkı sağlamak adına önemli bir role sahiptir. Bu kapsamda kullanılan son derece gelişmiş teknolojiye sahip deniz sondaj gemileri, özellikle dinamik konumlandırma sistemleriyle donatılarak derin su ve ultra derin su uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Güneş 2022).

Deniz sondaj gemilerinin önemli bir bileşeni olan Helideck platformları, gemi üzerine inşa edilerek açık denizlerdeki sondaj bölgelerine ulaşımı sağlamakta ve acil durumlarda hızlı müdahale imkanı sunmaktadır. Bu platformlar, helikopterlerin iniş yapabileceği özel alanları içermekte ve bu sayede kısa havayolu seyahatleri ile sondaj gemilerine erişim kolaylaşmaktadır.

Helikopterler, dikey kalkış ve iniş yeteneğine sahip döner kanatlı hava taşıtları olarak, denizlerdeki enerji kaynaklarını keşfetme operasyonları için önemli bir taşıma aracıdır. Helideck platformlarının denetiminde kullanılan CAP 437 "Açık Deniz Helikopter İniş Alanları İçin Standartlar", bu kritik alanların güvenli ve etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu standartlar, operasyonel aksaklıkları azaltarak güvenliği artırmak ve operasyonel verimliliği optimize etmek için önemli bir rol oynamaktadır (Authority 2013).

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas MYO, Şanlıurfa / Türkiye, e-mail: coskungc@gmail.com, Orcid No: 0000-0002-4182-2372

² Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Şanlıurfa / Türkiye, e-mail: gsariisik@gmail.com, Orcid No: 0000-0002-1112-3933

Bu bölümde, özellikle ülkemizdeki denizlerde gerçekleştirilen gaz (hidrokarbon) sondaj çalışmalarında kullanılan bir sondaj gemisinin Helideck platformunun yüzey sürtünme katsayısının belirlenmesi amacıyla yapılan detaylı çalışmalar ele alınmış ve elde edilen veriler kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu çalışma, enerji sektöründeki teknolojik gelişmelerle birlikte deniz sondaj operasyonlarının güvenliğine ve verimliliğine katkıda bulunma hedefini taşımaktadır.

2. HELİDECK TASARIM STANDARTLARI

Helikopterlerin kara ve açık denizlerdeki gemilere ulaşımını sağlamak amacıyla kullanılan helideck platformları, emniyetli çalışma ve operasyonların sürdürülebilirliği için özel tasarım ve standartlara tabidir. Helideck, genellikle gemilerde bulunan, helikopter iniş ve kalkışları için uygun bir alan sağlayan, özel olarak tasarlanmış bir platformdur. Helideck platformları, helikopterlerin emniyetli bir şekilde kullanılabilmesi için çeşitli özelliklere sahiptir. Bu platformlar, yangın söndürme cihazları, uygun zemin kaplamaları ve diğer güvenlik ekipmanlarını içerir. Ayrıca, denetimler ve standartlar aracılığıyla, helidecklerin güvenli ve etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamak için belirli kurallara uyma gerekliliği bulunmaktadır. Helideck platformlarının fiziksel özellikleri, renkleri ve çevresel işaretlemeler önemlidir. Örneğin, helideck rengi genellikle koyu yeşil olarak belirlenmiştir ve iniş alanının çevresi beyaz bir çizgi ile 30 cm genişliğinde işaretlenmiştir. Zemin kaplamasında ise kaymaz malzeme kullanılması güvenliği artırır (Şekil 1).



Şekil 1. Helideck Platformu

Denetimler, operasyonel aksaklıkları azaltmak, güvenliğini sağlamak ve operasyonel verimliliğini artırmak için kritik bir öneme sahiptir. Helideck denetimleri, gemi, deniz veya kara tabanlı yapıların bakım maliyetlerini azaltırken, insan güvenliğini ön planda tutarak operasyonel etkinliğini artırmanın temel bir unsuru olarak kabul edilir. Helideck tasarımlarının değerlendirilmesinde kullanılan standartlardan biri, İngiltere Sivil Havacılık Kurumu (CAA) tarafından uygulanan CAP 437'dir. Bu standart, denizde helikopter iniş alanlarının dünya çapında kullanımını değerlendirmek ve standartlaştırmak amacıyla geliştirilmiştir. Herhangi bir tekli ana pervane helikopteri için belirli çapta bir D-çemberi gerekliliğini içeren bu standartlar, helideck tasarımlarının uygunluğunu ve güvenliğini sağlamak adına önemli bir rol oynamaktadır (MSC.1/Circular.1431, 2012).

Tablo 1'de belirtilen D-çemberi değerleri, helidecklerin fiziksel sınırları içinde bir varsayımsal çemberi barındırabilecek şekilde tasarlanmalarını gerektirir. Bu önlemler, helikopter operatörlerine güvenli bir ortam sağlama ve sınırlamalar konusunda bilgi verme konusunda önemli bir güvence sağlar. Helideck tasarımlarının, belirlenen standartlara uygunluğu, enerji sektöründe faaliyet gösteren gemi ve platform operatörleri için kritik bir öneme sahiptir.

Tablo 1. D-değeri, 't' değeri ve diğer helikopter türü ölçütleri (CAP 437).

Type	Dvalue (m)	Perimeter 'D' marking	Rotor diameter (m)	Max weight (kg)	't' value	Landing net size
Bolkow Bo 105D	12.00	12	9.90	2400	2.4	Not recommended
EC 135 T2+	12.20	12	10.20	2910	2.9	Not recommended
Bolkow 117	13.00	13	11.00	3200	3.2	Not recommended
Agusta A109	13.05	13	11.00	2600	2.6	Small
Dauphin AS365 N2	13.68	14	11.93	4250	4.3	Small
Dauphin AS365 N3	13.73	14	11.94	4300	4.3	Small
EC 155B1	14.30	14	12.60	4850	4.9	Medium
Sikorsky S76	16.00	16	13.40	5307	5.3	Medium
Agusta/Westland AW 139	16.63	17	13.80	6800	6.8	Medium
Agusta/Westland AW 189	17.60	18	14.60	8600	8.6t	Medium

Airbus H175	18.06	18	14.80	7500	7.5	Medium
Super Puma AS332L	18.70	19	15.60	8599	8.6t	Medium
Bell 214ST	18.95	19	15.85	7938	7.9t	Medium
Super Puma AS332L2	19.50	20	16.20	9300	9.3t	Medium
EC 225 (H225)	19.50	20	16.20	11000	11.0t	Medium
Sikorsky S92A	20.88	21	17.17	12565	12.6t	Large
Sikorsky S61N	22.20	22	18.90	9298	9.3t	Large
AW101	22.80	23	18.90	14600	14.6t	Large

3. YÜZEY SÜRTÜNME KATSAYISI BELİRLEME

Helideck'lerin güvenliği ve etkinliği için kritik olan yüzey sürtünme katsayıları, her yönde ve her koşulda kaymaya karşı dayanıklı bir şekilde tasarlanmalıdır. Bu özellik, hem helikopterlerin hem de personelin güvenliği açısından son derece önemlidir. Bu nedenle, helideck yüzey sürtünmesi, güverte yapısının entegre bir parçası olarak, herhangi bir ek yüzey işlemi gerektirmeden tasarım veya kaplama şeklinde olmalıdır. Montaj ve tesisat işlemlerini gerçekleştiren işletmeci, helideck'i yağ, gres, buz, kar veya diğer kirleticilerden, özellikle kuş pisliklerinden uzak tutarak yüzey sürtünmesini bozabilecek potansiyel tehlikeleri önlemelidir. Helikopter operatörüne, helikopterin iniş yapmadan önce helideck üzerindeki atık maddelerin temizlendiği ve güvenli prosedürlerin uygulandığı konusunda güvence verilmelidir.

Pilotların helideck üzerine sorunsuz ve güvenli bir şekilde inebilmesi için en kritik parametrelerden biri, İngiltere Sivil Havacılık kuralları CAP 437 standardına göre belirlenen helideck zemin kaplamalarının yüzey sürtünme katsayılarıdır. Bu standarta göre, ortalama yüzey sürtünmesi asgari değerleri Tablo 2'de detaylandırılmıştır ve bu değerler, CAA tarafından kabul edilebilir bir test yöntemi kullanılarak doğrulanmalıdır.

Tablo 2. Sürtünme Gereksinimleri

Helideck Bölümü	Sabit Helideck	Hareketli Helideck
TD / PM çevresi içinde	0.6	0.65
TD / PM daire ve H boyalı işaretleme	0.6	0.65
TD / PM çevresi dışında	0.5	0.5

Sivil Havacılık Otoriteleri, belirli bir helideck üzerinde kayma beklentisinin eşiği olan minimum kavrama sayısı değeri olan 0,5GN'ye ulaşılması gerektiğini şart koşmaktadır. Bu değere ulaşılamazsa, yetersiz yüzey sürtünmesini azaltmak için bir Helideck iniş ağı kullanılabilir. Ancak, bir ağ kurulduğunda, ağın kapsamadığı alanların yüzey sürtünme değerini belirlemek için bir sürtünme araştırması yine de gereklidir. Modern helideck tasarımları genellikle güverte entegre yangınla mücadele sistemleri (DIFFS) ile birleştirilmiştir. Ancak, acil bir durumda DIFFS'nin operasyonel performansını olumsuz etkileyebileceği için, bu sistemle uyumsuz olduğu kabul edilen ağlar kullanılmamalıdır (CAP 437).

Helideck'lerin yüzey sürtünme katsayılarını belirlemek için CAP 437 standardına göre çalışan Helideck'leri ve Helikopter İniş Bölgelerini test etmek üzere özel olarak tasarlanmış dünyanın ilk amaca yönelik sürekli sürtünme ölçüm cihazı olan Helideck Micro GripTester kullanılmaktadır. Bu hafif ve sağlam cihaz, zorlu açık deniz ortamlarında kullanılmak üzere özel olarak tasarlanmış ve başlangıçta Kuzey Denizi Petrol ve Gaz sahalarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Şimdi ise dünya çapında endüstri standardı olarak benimsenmiş ve helikopterle açık deniz petrol tesislerine taşınabilirliğiyle öne çıkan kullanışlı bir itme sürtünme test cihazıdır (Şekil 2).



Şekil 2. Helideck Mikro Kavrama Test Cihazı (UZGE)

4. CAP 437 STANDARTINA GÖRE HELİDECK PERFORMANSI

CAP 437 standardına göre gerçekleştirilen Helideck testi, ülkemiz denizlerindeki doğal gaz arama sondaj çalışmalarında kullanılan bir sondaj gemisinde yürütülmüştür. Sondaj gemisinin Helideck platformunun sürtünme katsayıları, Helideck Micro GripTester test cihazı kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 3).



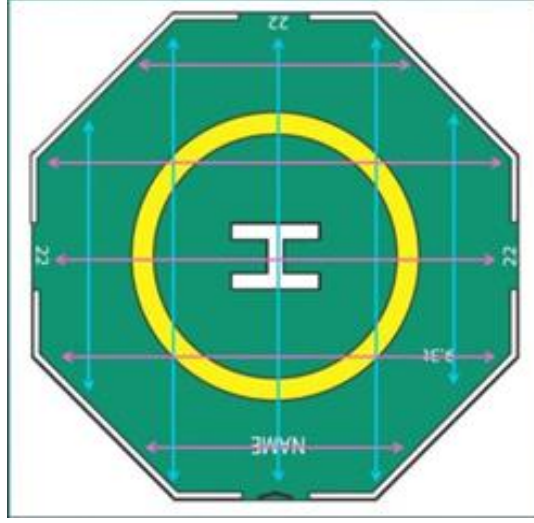
Şekil 3. Sondaj Gemisi

Ölçüme başlamadan önce, uygun ortam koşullarının sağlanması için yağmur olmamasına özen gösterilmiş ve test standartlarında belirtilen ortam koşullarına uygun bir gün seçilmiştir. Test öncesi, zemin yüzeyi detaylı bir inceleme ile değerlendirilmiş ve ölçüm esnasında yapılacaklar ile alınacak önlemler belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Helideck ön çalışması

Helideck platformunun enine ve boyuna karelasyon işlemi, ön inceleme sonrasında gerçekleştirilmiş ve tamamlanmıştır (Şekil 5). Helideck sürtünme ölçümü için güverte üzerinde 1 m aralıklarla karelasyon işlemi yapılmış, Yön A ve Yön B olarak adlandırılan yönlerde Chevron'a paralel ve dik çizgiler çizilmiştir. Karelasyon işleminden önce belirlenen "H" harfi, başlangıç noktası olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5. Helideck platformu karelasyon işlemi

Helideck Micro Grip Tester cihazı test personeli tarafından hazırlanmış ve kalibrasyon işlemi tamamlanarak teste hazır hale getirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Helideck Micro Grip Tester Helideck cihazının teste hazırlanması

Test personeli önce Yön-A Chevron'a paralel olarak ölçüm yapmış ve elde edilen veriler Şekil 7'de gösterilmiştir. Daha sonra test işlemi Yön – B Chevron'a dik olarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler Şekil 8'de sunulmuştur.

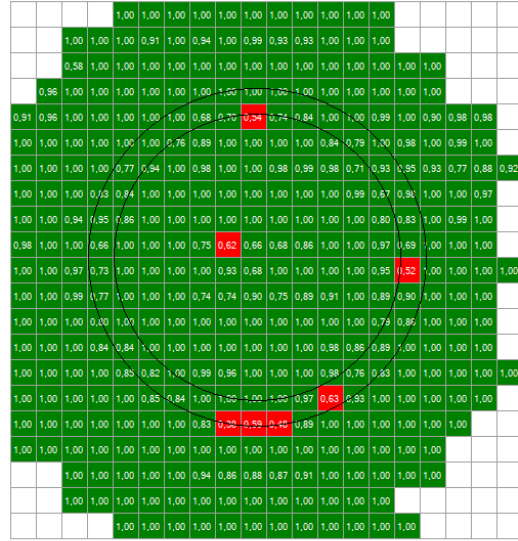
Date: 21-Eyl-2022
micro GripTester: 0239H
Survey Type: UK CAA CAP437 8th Edition
 Moving Platform
Surface: puruzlu
Lights Fitted: Yes
Size of H: 4.0m x 3.0m x 0.75m
Average GripNumber 1,00
 Outside TD/PM Circle 1,00
 Inside TD/PM Circle 1,00

Deck Section Threshold
 Outside TD/PM Circle 0,50
 Inside TD/PM Circle 0,65

■ reading above threshold
■ reading below threshold

Direction A
 Direction B
 1 m² averaged readings
 Deck width = 19.1 metres
 Deck length = 21.0 metres

Helideck:
 surveys



Şekil 7. Yön A – Chevron'a Paralel

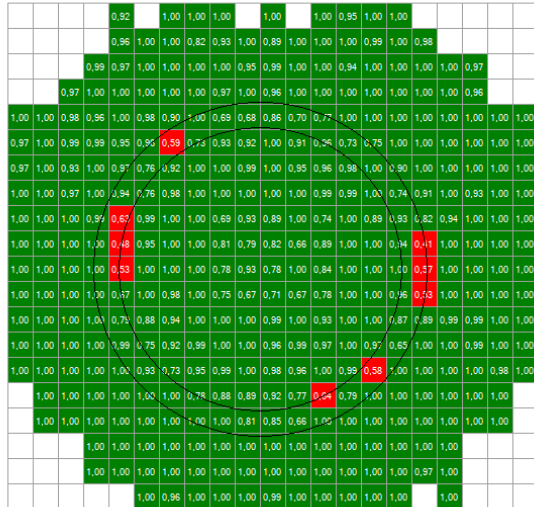
Date: 21-Eyl-2022
micro GripTester: 0239H
Survey Type: UK CAA CAP437 8th Edition
 Moving Platform
Surface: puruzlu
Lights Fitted: Yes
Size of H: 4.0m x 3.0m x 0.75m
Average GripNumber 1,00
 Outside TD/PM Circle 1,00
 Inside TD/PM Circle 0,99

Deck Section Threshold
 Outside TD/PM Circle 0,50
 Inside TD/PM Circle 0,65

■ reading above threshold
■ reading below threshold

Direction A
 Direction B
 1 m² averaged readings
 Deck width = 21.0 metres
 Deck length = 19.3 metres

Helideck:
 surveys



Şekil 8. Yön B – Chevron' Dik

katsayısıyla kabul edilebilir seviyede olduğu belirlenmiştir. Ancak, yapılan test işlemleri sonucunda Helideck platformunun yüzey sürtünme katsayısı, CAP 437 standardına göre uygun olmadığı durumlarda, zemin kaplamasının yerinden temizlenerek yeniden boyanması ve ardından tekrar bir ölçüm yapılması önerilmektedir.

Bu öneri, platformun güvenliği ve etkinliği için gerekli olan uygun sürtünme seviyesinin sürdürülmesini sağlamak amacıyla yapılmıştır. Yüzey sürtünme katsayısının düzenli aralıklarla kontrol edilmesi, helikopter inişlerinde güvenliği maksimize etmek ve operasyonel sürekliliği sağlamak açısından kritik bir öneme sahiptir. Dolayısıyla, Helideck platformunun test sonuçlarına göre gerekli bakım ve düzenlemelerin yapılması, uzun vadeli operasyonel başarı ve güvenliği sağlamak adına önemli bir adımdır.

KAYNAKÇA

- Akpınar, A., Kömürcü, M. İ., Kankal, M., Özölçer, İ. H., & Kaygusuz, K. (2008). Energy situation and renewables in Turkey and environmental effects of energy use. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(8), 2013-2039.
- Authority, C. A. (2013). Standards for offshore helicopter landing areas. CAP-437.
- Güneş, A. (2022). Deniz-Enerji Güvenliği İlişkisi Bağlamında Türkiye'nin Doğu Akdeniz'deki Enerji Politikalarının Analizi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12(1), 363-391.
- Kaygusuz, K. (2002). Environmental impacts of energy utilisation and renewable energy policies in Turkey. *Energy Policy*, 30(8), 689-698.
- MSC.1/Circular.1431 – Guidelines for the Approval of Helicopter Facility Foam Fire-Fighting Appliances – (31 May 2012)

Bölüm 5

BORU HATLARINDA PİG KULLANIMI

İnci TÜRK TOĞRUL¹

GİRİŞ

Boru hatları, işletmeciler adına önemli bir yatırımı temsil eder ve genellikle ülkeler ve hükümetler için stratejik olabilir. Genellikle sınırların uzak mesafeler boyunca taşınmasının en verimli yöntemi olarak kabul edilirler. Bu değerli yatırımları korumak için bakım yapılması gerekmektedir ve pigleme boru hattı sistemlerinin verimli ve güvenilir şekilde çalışmasını sağlamak için çeşitli endüstrilerde kullanılan hayati bir bakım uygulamasıdır.

Boru hattı piglemesinin temel faydaları ve sonuçları arasında gelişmiş akış verimliliği, gelişmiş boru hattı bütünlüğü, artan operasyonel güvenilirlik, ürün kalite güvencesi, maliyet optimizasyonu, mevzuata uygunluk ve çevre ve güvenlik faydaları yer alır. Pigler, boru hattı duvarlarından birikintileri, birikintileri ve kirleticileri gidererek akış koşullarını iyileştirir, tıkanmaları önler ve basınç kayıplarını en aza indirir. Düzenli pigleme işlemleri, boru hattı bütünlüğünün denetlenmesine de izin vererek proaktif bakım ve onarım eylemlerini kolaylaştırır.

Pigleme, ürün kalitesinin korunmasına, çapraz kontaminasyonun önlenmesine ve yasal gerekliliklerin karşılanmasına yardımcı olur. Enerji tüketimini azaltarak ve acil onarım ihtiyacını en aza indirerek maliyet optimizasyonuna katkıda bulunur. Boru hattı pigleme işlemi ayrıca sızıntı, dökülme ve kirlenme olayları riskini azaltarak çevrenin korunmasını da destekler.

Genel olarak pigleme, petrol ve gaz, petrokimya, su ve atık su, madencilik, kamu hizmetleri ve yiyecek ve içecek dâhil olmak üzere çeşitli sektörlerde boru hattı sistemlerinin performansını, ömrünü ve güvenliğini en üst düzeye çıkaran temel bir uygulamadır. Operatörler, bakım programlarına piglemeyi dâhil ederek, ürünlerin sorunsuz akışını sağlayabilir, duruş sürelerini en aza indirebilir ve endüstri düzenlemeleri ve standartlarına uygunluğu sağlayabilir.

1940'lı yıllarda, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki boru hatları, ham petrol boru hatlarında verimliliği artırmak için mumun çıkarılması amacıyla temizlik işlemine tabi tutulmuş ve akış koşullarını maksimize etmek amacıyla

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

kullanılmıştır. O dönemde kullanılan pigleme ekipmanı sınırlı uygulamalarda kullanılmış olup oldukça ilkel nitelikteydi. Günümüz dünyasında, boru hatları çeşitli nedenlerle pigleme uygulamasına tabi tutulmakta ve kullanılan pigleme ekipmanları, mühendisler tarafından belirli fonksiyonları gerçekleştirmek üzere tasarlanmaktadır (Abdumula, 2004:38)

Pigleme, mevcut ortam basıncı ve akışını manipüle ederek veya suni olarak oluşturulan ortam yoluyla veya mekanik olarak cihazı boru hattı içinden çekerek, boru hattının temizlenmesi, incelenmesi veya inhibitörün boru hattı boyunca dağıtılması amacıyla, doğru boyutlu bir küresel veya silindirik cihazın boru hattının içinden hareket ettirilmesi işlemidir. Pigleme, basınç ve akışı mevcut ortamın manipülasyonu veya suni olarak uygulanan ortamlar veya mekanik olarak cihazı boru hattının içinden çekerek, boru hattının içinden uygun boyutta bir küresel veya silindirik cihazın hareket ettirilmesi işlemi olan yaygın olarak kullanılan bir süreçtir (Merchant ve Zlatin,1945:740). Bir pig, bir boru hattına yerleştirilen ve ürün akışıyla serbestçe hareket ederek boru hattı içinde belirli bir görevi yerine getiren bir cihazdır. Genel olarak aşağıdaki üç görev tanımlı kullanılırlar (Gupta ve Sircar, 2016:22) .

- Temizlik, ürünleri hat içinde ayırma veya hat üzerinden suyu almak gibi bir işlevi yerine getiren yardımcı pigler. Bunlar, akışı kesintiye uğratmadan, boru hattı boyunca ilerlerken sıkışan ürünü, boru çeperinde birikmiş kalıntıları fırçalayarak boru duvarlarını temizler.

- Boru hattının durumu hakkında bilgi sağlamak ve herhangi bir sorunun derecesini ve konumunu belirlemek için kullanılan hat içi muayene pigleri. Bunlar korozyon, ezilme, kırıksıklık, kaynak hatalarını ve kırıkları tespit etmede faydalı olmaktadır.

- Boru hatlarını izole etmek için takılan tıpa benzeri özel görevi olan pigler.(Edwards ve Endean, 1990:355).

Her bir boru hattının, pigleme işleminin nasıl ve neden kullanıldığını etkileyen kendine özgü özellikleri olsa da, temel olarak bir boru hattı farklı ürünleri; partili olarak veya ayrıştırma amacıyla, yer değiştirme amacıyla ve iç muayene için piglenir.

Bu görevleri gerçekleştirmek için kullanılan pigler üç kategoriye ayrılabilir(Gupta ve Sircar, 2015:5; Mozes vd.,1982:67):

Yardımcı Pigler, temizleme, ayrıştırma veya su almak gibi işlevleri yerine getirmek için kullanılır.

Hat İçi Muayene Araçları, hat durumu hakkında bilgi sağlar ve herhangi bir sorunun derecesini ve konumunu belirler.

Jel Pigler, geleneksel piglerle birlikte kullanılarak boru hattının su alımı, temizleme ve kurutma işlemlerini optimize etmek için kullanılır.

PİGLERİN ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Pigler, contaların boru duvarıyla olumlu bir müdahale sağlaması için tasarlanmıştır. Bir hat içine yerleştirildikten sonra, pigler gereken yönde hareket ettirmek için basınç uygulanarak hat içinde ilerletilir. Pigin üzerinde bir basınç farkı oluşturularak, basınç düşüşünün olduğu yönde hareket gerçekleşir. İşletmedeki hatlarda, bu basınç hattaki ürün tarafından uygulanırken, devreye alınmamış hatlarda kullanılan hareket ettirme ortamı, gerçekleştirilen göreve uygun olarak seçilebilir; örneğin, su akışı oluşturmak için su, suyu almak için kuru hava veya azot gazı. Pig arkasındaki kuvvet, karşıt sürtünme kuvvetinden daha büyük hale geldiğinde, pig uygulanan kuvvetin (basıncın) yönünde hareket eder. Pigin harekete geçtiği basınca "ayrılma" veya "sürtünme" basıncı denir. Bu genellikle hareketin devam etmesi için gereken basınçtan daha büyük olup, pig fırlatma işlemi için basınç yükselmesiyle başlayıp bir platoya düşen bir basınç düşüşü ile karakterizedir. Conta elemanının tasarımına bağlı olarak, pigler tek yönde veya geriye doğru veya ileriye doğru bir hat içinden hareket veya fincan tasarımı poliüretan conta elemanları vardır. Sadece bir yönde hareket ettirilebilen piglere tek yönlü pigler denir ve bunların konik ve fincan tasarımı poliüretan contaları vardır. Bu tür pigler genellikle pigleme işlemine uygun olduğu bilinen kurulu hatlarda kullanılır. İki yönlü piglerdeki contalar düzdür ve her iki yönde de aynı sızdırmazlığı sağlar, bu nedenle daha önce pigleme yapılmamış hatlarda daha fazla uyarlanabilirlik sağlar. Piglere daha iyi sızdırmazlık özellikleri ve pig hareket ettirmek için gereken daha yüksek bir basınç farkı sağlamak amacıyla ek sızdırmazlık elemanları eklenebilir. Pigin hat içinde merkezde kalmasını sağlamak için destek diskleri veya büyük çaplı pigler için merkezleştirme tekerlekleri kullanılabilir. Çeşitli türlerde pigler vardır. En yaygın olanları; konik mandrel, tek cıvata, katı döküm, köpük, mafsallı ve küresel piglerdir. (Barnea ve Brauner, 1985:47; Glauert,1956:630; Mendes vd., 1999:169)

PİGING İŞLEVLERİ

Akışkan ayırma

Pigleri, sıvı ve gaz gibi farklı özelliklere sahip akışkanlar arasında katı bir bariyer oluştururlar. Bu nedenle, pigler, bir işlevi yerine getirmek için kimyasallar veya diğer akışkanları "toplamak" için kullanılabilir. İyi bir örnek, aşağıdaki pig trenidir. İlk iki su dilimi, daha önce deniz suyuyla doldurulan bir hatta tuzdan arındırma sağlar, glycol dilimleri ise ürünün girişiyle birlikte dehidrasyon ve hidrat oluşumunun engellenmesine yardımcı olur. Tüm tren, azot gazıyla hareket ettirilir.



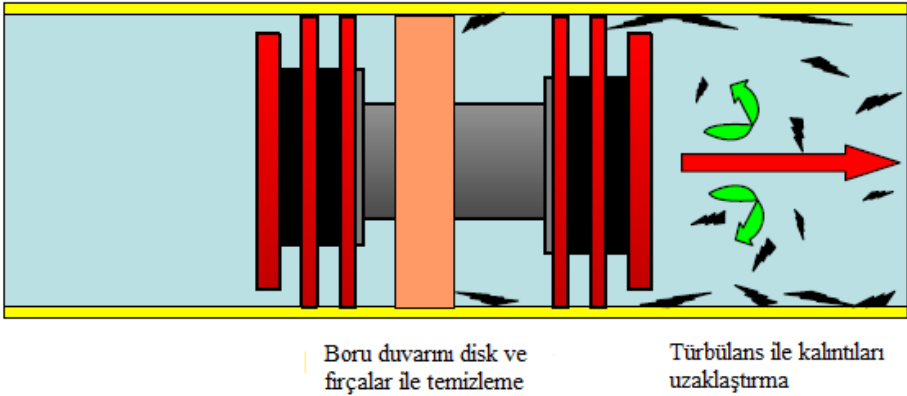
Şekil 1. Pig treni (Davidson, 2002:7)

Yer değiştirme

Pigin contalama elemanı ile boru duvarı arasında katı bir arayüzey oluşturulduğundan, hat içindeki herhangi bir akışkan (sıvı veya gaz), pig treninde olduğu gibi hat dışına gönderilebilir. Yüzey pürüzlülüğü, kaynak penetrasyonu ve contadan kaçma nedeniyle bazı yan yolların meydana gelecektir. (Ernst ve Merchant, 1941:4)

Temizleme

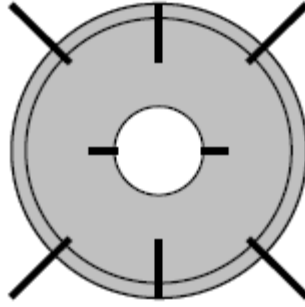
Yer değiştirme sürecine benzer şekilde, pig ile boru duvarı arasındaki ara yüzey, boru duvarına temizleme etkisi sağlar. Bu temizleme, pig'e fırçalar, kazıyıcılar veya daha da agresif araçların eklenmesiyle daha da artırılabilir. Demir içeren atıklarının bulunmasının beklendiği hatlarda, piglere takılan mıknatıslar, manyetik atıkların temizlenmesi için bir toplama işlemi ekleyebilir. Akışkan akışı içindeki türbülans, küçük katı atıkları süspansiyonda tutar ve etkili bir şekilde hattan uzaklaştırır. Pig boyunca bypass portlarının kullanılması, bu süpürme etkisine yardımcı olabilir. Mumlar ve çamurlar genellikle pig fırçalarına ve kazıyıcılara yapışır ve genellikle hat boyunca "sürülerek" ilerler. (Garcia vd., 1998:1005)



Şekil 2. Boru içi temizleme

Ölçme

Bir hat boyunca akış alanındaki herhangi bir büyük kısıtlamayı belirlemek amacıyla, bir iç hat göstergesi sağlamak üzere pige basit bir metal plaka bağlanır. Genel olarak boru hattının iç çapına yakın çapta hazırlanan gösterge plakası alüminyum gibi yumuşak bir metalden yapılmaktadır ve ön kenarı çıkıntılıdır (Şekil 3). Pigin sıkışma riskini en aza indirmek için gösterge plakasının kısa, radyal kesimlerle "taç yaprağı" haline getirilmesi yaygın bir uygulamadır. Gösterge plakasındaki bu radyal kesikler, bir engelle karşılaştığında plakanın daha kolay bükülmesine sağlamaktadır. (Lee ve Shaffer, 1951:405)



Şekil 3. Gösterge Plakası

PİGLEME NEDENLERİ

Bir borunun pigne temizlenmesi, borunun ömrünün çeşitli aşamalarında çeşitli nedenlerle gereklidir. Bir petrol üretim boru hattı için bu nedenler özetlenmiştir (Davidson, 2002:8; Loewen ve Shaw,1954:221).

Önceden işletmeye alma: Yeni boru hatları inşa edildiğinde, genellikle inşaat kalıntılarında temizlenmeleri ve hidrostatik test için hazırlanmaları gerekmektedir. Bu genellikle temizlik, ölçümlene ve sevkiyat pignerinden oluşan bir pig treni kullanılarak hat yzürülerek yapılır. Hat içinde taşınacak ortama bağlı olarak, su tahliye ve kurutma işlemleri için ilave pigleme gerekebilir.

İşletmeye alma: Ürün hat içine girdiğinde, bir sevkiyat pigne veya pigneri, hattın içinde bulunan ortamdaki ürünü ayırmak için kullanılabilir.

Operasyonel pigleme: Bir hattın ömrü boyunca, operasyonel pigleme akışın sürdürülmesi ve geri basıncın minimize edilmesi için ekonomik ve etkili bir yöntemdir. Pigner, balmumları ve diğer hidrokarbon birikimlerini mekanik olarak temizlemek veya kimyasalların pigner arasında gönderilerek kimyasal

olarak temizlik sağlanabilir. İç hat kontrolü genellikle rutin bakım planının bir parçası olarak gerçekleştirilir.

Devreden çıkarma: Boruların kullanım ömrünü tamamlaması veya kullanım alanının değişmesi durumunda, genellikle bir tür temizlik gerekir. Deniz altındaki bağlantının kesilmesi/yeniden bağlanmasını sağlamak için mekanik ve kimyasal yöntemler kullanılabilir yada kurtarma ve yeniden kullanım için bazı durumlarda boru hatlarının su tahliye edilebilir.

PIG TÜRLERİ

Harmanlama Pigi: Swablama (temizleme) pigi olarak da bilinen, ayrı türdeki sıvılar arasında basit bir bariyer görevi görecektir şekilde veya hattın süpürülmesi için tasarlanmış bir pigtir.

Ölçme Pigi: Genellikle alüminyumdan yapılan bir ölçüm plakasının harmanlama pigleri üzerine eklenmesi, borunun akış alanının bütünlüğünü doğrulama işlevini sağlar. Hat içerisindeki büyük engeller, ölçüm plakasına zarar verecek ve bir sorun olduğunu gösterecektir, ancak sorunun yerini belirtmeyecektir. (Alyaari, 2011:8; Beggs ve Brill, 1973:612)

Temizleme Pigi: Pigs, temizlik işlemini desteklemek için çeşitli araçlarla yapılandırılabilir. Sirküler fırçalar, yay destekli fırçalar, kazıyıcılar veya mumlar ve çamurlar için pulluk bıçakları gibi veya ölçüklerin temizlenmesi için karbür "iğneler" gibi daha agresif araçlar bu gruptaki pigler içinde sayılabilir (Sircar ve Gupta, 2016:26)

Manyetik Pig: Pig mandrelinin çevresine güçlü nadir toprak mıknatıslarının eklenmesi, pigin sadece demir içeren artıkları kaldırmasına değil, aynı zamanda pig sinyal vericilerini etkinleştirme gibi ikincil bir işlev sağlar. Köpük pigler ayrıca ölçüm plakaları, fırçalar, aşındırıcılar vb. eklemeye izin verir, ancak bunlar ya cıvatalar kullanılarak pigin içine monte edilir veya doğrudan poliüretan kaplamaya dökülerek yapılır. (Alyaari, 2011:7; Beggs ve Brill, 1973:610)

Akıllı Pig: Boru içi denetim araçlarına yönelik araştırma ve geliştirmeler 1960'ların sonlarında başladı. Teknolojideki ilerlemeler, karmaşık görevleri yerine getirebilen ve hat boyunca ilerlerken veri kaydı yapabilen piglerin ortaya çıkmasına yol açtı. Bu pigler, haritalama, geometri ölçümü, çatlak tespiti, metal kaybı ölçümü ve daha birçok görev gerçekleştirilebilir. Akıllı pigleme artık ayrı bir sektördür. (Sircar ve Gupta, 2016:25)

Jel Piger: Belirli görevlerde ve belirli koşullarda, mekanik piglerin çalıştırılması yerine jel piglerin kullanılması mümkün bir alternatif olabilir. Akışkanlar arasında katı bir bariyer yerine, jelleştirilmiş bir madde aynı görevi yerine getirebilir. Su (tatlı ve tuzlu), glikol, metanol, çözücüler, dizel ve ham

petrol gibi çeşitli ortamlar jelleştirilebilir. Jeller, istenen bir viskoziteye özel olarak tasarlanabilir veya belirli bir süre veya belirli bir sıcaklık veya pH seviyesine ulaşıldığında jelin parçalanmasını sağlayacak kimyasal bileşenlerle katı hale getirilebilir. Jellerin sınırlamaları vardır ve genellikle uzun mesafeli hatlarda, kuru borularda veya hareket sağlayan ortam gaz olduğunda "gaz kesimi" veya aşırı bypasstan kaynaklanan sorunlara neden olabilirler. (Alyari, 2011:8; Beggs ve Brill, 1973:611)

Doğru pig'in seçimi, hat tipi, uzunluğu, malzemesi, durumu, sevk ortamı ve gerçekleştirilecek işlev gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.

PIG TAŞIMA ORTAMLARI

Pigi taşımak için bir akışkan ortamına ihtiyaç vardır. Söz konusu ortam sıvı veya gaz bir akışkan olabildiği gibi çok fazlı bir akışkan da olabilir. Pig taşımak için tercih edilen ortam sıkıştırılmayan bir sıvıdır. Sıkıştırılmayan sıvılar, pig hızı üzerinde maksimum kontrol sağlar ve pig contaları için yağlama sağlayarak aşınmayı en aza indirir, contaların etkinliğini ve ömrünü artırır. Su, ham petrol, işlem ürünleri ve kimyasallar gibi sıvılar, taşıma ortamı olarak kullanılabilir. Conta malzemelerinin, sıvı ortamıyla ve mevcut basınç ve akış koşullarıyla uyumlu olduğundan emin olunmalıdır. Gazlar sıkıştırılabilir olduklarından, gazla taşıtılan bir pig'in arkasında depolanan enerji, benzer bir pigle taşıtılan sıvıdan çok daha fazladır. Bu depolanan enerjinin neden olduğu güvenlik sonuçlarına uygun şekilde dikkat edilmelidir. Bir gazın itki akış sıvısı olarak yanlış kullanılması, pig hareketini etkileyebilir. Pigin arkasında yeterli basıncı sürdürebilmek için gereken gaz miktarını sağlayamama durumu, pig'in dur-kalk hareketine neden olabilir. Bu etki, ekipmanın doğru şekilde boyutlandırılması ve pig üzerinde sürekli bir karşı basınç oluşturularak hız değişikliklerinin en aza indirgenmesiyle kısmen azaltılabilir. Gazla pig taşıma durumunda, contalarda aşınma artabilir. Bu, pig seçimi sırasında dikkate alınmalıdır. Pig taşıma ortamı çoklu fazlı olduğunda, aynı güvenlik önemleri gaz taşıma ortamıyla olduğu gibi dikkate alınmalıdır. Karışıklık etkisi ve alıcı tarafındaki ilişkili kuvvetler dikkate alınmalıdır. Geçici boru hatları sağlaştırılmalı ve kalıcı tesis ve ekipmanlar çoklu fazlı akış için uygun şekilde değerlendirilmelidir. (Davidson, 2002:9)

Pig sevk ortamı çok fazlı olduğunda, pigleme işleminde sevk ortamı gazmış gibi aynı güvenlik hususu dikkate alınmalıdır. Yavaşlamanın etkisini ve alıcı uçtaki ilgili kuvvetleri dikkate almak için ekstra özen gösterilmelidir. Herhangi bir geçici boru hattı emniyete alınmalı ve kalıcı tesisler ve ekipmanlar çok fazlı akışa göre derecelendirilmelidir.

PİGİN BAŞLATILMASI VE ALIM

Pigler hatlara doğrudan veya makara takma yoluyla yerleştirilebilir, ancak pigleri hatlara yerleştirip çıkarmak için en yaygın yöntem pig tuzaklarının kullanılmasıdır. Pig tuzaklarının seçimi ve piglerin başlatma ve alım yöntemi birkaç faktöre bağlıdır. Sualtı, üst kısım ve karadaki tuzaklar, tasarımda farklılık gösterir. İlgili başlatma/alma boru hatları ve valfler için ek koruma gereklidir ve kullanılan valflerin uygun türü ve işletme yöntemi de gereklidir. Pig türü ve boyutu, pig başlatıcısı veya pig alıcısı tasarımını etkiler. Ayrıca, eklenilebilir pigler veya bir hat içi muayene aracı başlatılacaksa, pig tuzak tasarımı buna göre şekillenecektir. Pig treninde başlatılması veya alınması gereken pig sayısı, tuzak ve ilgili boru hattının fiziksel boyutunu etkiler, ancak yer sınırlamalarının da bir etkisi olabilir. Sistem tasarım kodları/standartlarını karşılamak için gereken pig tuzak basınç derecesi, tuzağın fiziksel boyutunu ve tasarımını da etkileyebilir. Bir tuzağın geçici veya kalıcı olması tasarıma etki eder. İnşaat malzemesi ve kapanma yöntemi etkilenebilir. Geçici tuzaklarda basit flanşlı kapatmalar olabilirken, kalıcı tuzaklarda genellikle hızlı açılır kapı tipi kapatmalar kullanılır. (Chin ve Fakas, 2004:178; McKnight vd., 2022:3)

Pigleri başlatma ve alma yöntemi, pig tuzaklarının nasıl inşa edildiğini de etkiler. Örneğin, birden fazla pigden oluşan bir pig treni birkaç farklı şekilde başlatılabilir. Her pig tek tek yüklenip belirli aralıklarla başlatılabilir, itici ortam akışı durdurularak ve her pig yüklenmeden önce hat basıncı atmosfere dökülerek yapılır. Aynı tren, bir pigleme valfinin arkasına yüklenip akışı durdurmadan başlatılabilir, böylece hat ile pig tuzak arasında basınç dengelemesi yapılır.(Davidson, 2002:10)

Pig tuzağı ayrıca basınç/sıcaklık izleme, kimyasal enjeksiyon, pig sinyalizasyonu gibi ek bağlantı noktalarına da sahip olabilir.

PİG İSTASYONLARI

Piglerin boru hattına gönderildiği istasyonlarının tasarımı ve seçim kriterleri konuma ve/veya hizmet türüne bağlı olarak değişebilir. Bir pig istasyonu, akışın kesintiye uğramadan pig'in fırlatılması veya alınması için kullanılan bir cihaz olan "pig tuzağı"ndan oluşur. Boru hattı ürünü pig tuzağından geçerken veya etrafından geçerken akış kesintisiz devam eder. Pigleme işlemi için akışın yönlendirilmesine izin vermek için uygun yerlere vanalar takılmalıdır. Pig istasyonları, tuzağı ve işletme hattından tuzağı izole etmek için gereken tüm vanaların yanı sıra ilişkili boru hatlarını içerir. Pig istasyonu, genellikle sahada bir araya getirilen tuzağın, vanaların ve boru hatlarının bireysel bileşenlerinden veya tam bir birim olarak, genellikle skid montajlı olarak yapılabilir ve boru

hattına kolayca bağlanabilir.(Cordell ve Vanzant, 2003:102; Tolmasquim ve Nieckele, 2008:105)

Bir pig istasyonunda temel olarak aşağıdaki bölümler bulunur.(Pharris ve Kolpa, 2008:8)

- Başlatma Tuzağı; Bu Pig'in boru hattına yerleştirildiği tuzaktır.
- Alma Tuzağı; Bu Pig'in boru hattından çıkarıldığı tuzaktır.
- Pig Tuzak Kapatıcıları; Tuzakların açılıp kapanmasını sağlayan mekanizmalardır.
- Boru Hattı Düzeni ve Bağlantıları: Pig ve akışkanların geçişi için boru bağlantılarıdır.
- Otomatik Pig Başlatma ve Alma: Pig yerleştirme ve alma işlemlerini otomatik yapan sistemlerdir.
- Pig İşleme Alanı: Pig incelemesi, bakımı ve depolaması için gerekli alandır

Başlatma tuzakları

Başlatma tuzakları hizmet pigleri, hat içi muayene araçları ve küreler olarak üçe ayrılır.

Hizmet pigleri için başlatma tuzaklarının tasarımı ve ölçüleri, pig boyutu ve boru hattı özelliklerine bağlıdır. Tuzak genellikle bir pig başlatma varili, erişim kapısı, kapatıcı mekanizması ve pig başlatma için bağlantılardan oluşur (Cordell ve Vanzant, 2003:103). Akıllı pigler veya akıllı pigler gibi hattın içinde muayene araçları için başlatma tuzakları, muayene aracının belirli ölçüleri ve gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanır. Mühürleme mekanizmaları, izleme sistemleri ve veri alım arayüzleri gibi ek özellikler içerebilir.

Küreler, boru hattı bölümlerini temizleme veya ayırma amacıyla kullanılan büyük pigleme cihazlarıdır. Kürelerin başlatma tuzakları, küreleri güvenli ve verimli bir şekilde boru hattına yerleştirmek üzere tasarlanmıştır. Yükleme platformu, kısıtlama mekanizmaları ve bir fırlatma tüpü gibi özellikler içerebilir.

Alma tuzakları

Alma tuzakları da kullanım amacına göre hizmet piglerinin hat içi muayene araçlarının ve kürelerin sistemden alınması için farklı şekilde tasarlanır. Hizmet pigleri için alma tuzaklarının tasarımı ve ölçüleri başlatma tuzaklarıyla benzerdir. Tuzak, bir pig alma varili, erişim kapısı, kapatıcı mekanizması ve pig alımı için bağlantılardan oluşur. Hattın içindeki muayene araçları için alma tuzakları, muayene aracının boru hattını geçtikten sonra güvenli bir şekilde alınmasını ve

sabitlenmesini sağlamak üzere tasarlanmıştır. Mühürleme mekanizmaları, izleme sistemleri ve veri alım ara yüzleri gibi özellikler içerebilir. Küreler için alma tuzakları, küreleri boru hattından güvenli ve verimli bir şekilde almayı sağlamak üzere tasarlanmıştır. Bir toplama havuzu, kısıtlama mekanizmaları ve bir alım sistemi gibi özellikler içerebilir. (Cordell ve Vanzant, 2003:103; Pharris ve Kolpa, 2008:8)

Pig tuzak kapaticıları

Pig tuzak kapaticıları, başlatma ve alma tuzaklarının açılıp kapanmasında kullanılan mekanizmalardır. Aşağıda verilen türlerden en yaygın kullanılanları menteşeli, cıvatalı, hızlı açılıp kapanan ve hidrolik kapamadır. (Bahadori, 2016:42; Tiratsoo, 1992:82; Pharris ve Kolpa, 2008:8).

- **Menteşeli Kapama:** Kapının menteşelerle çalıştığı ve manuel olarak işletildiği bir kapama türüdür.
- **Cıvatalı Kapama:** Kapıyı yerinde sabitlemek için cıvataların kullanıldığı bir kapama şeklidir.
- **Hızlı Açılış Kapama:** Hızlı bir serbest bırakma mekanizması kullanarak tuzakların hızlı bir şekilde açılıp kapanmasına izin veren bir kapama yöntemidir.
- **Hidrolik Kapama:** Kapıyı açmak ve kapatmak için hidrolik basınç kullanan bir kapama türüdür.

Pig tuzak kapaticılarının aşağıdaki özellikleri vardır (Bahadori, 2016:43; Tiratsoo, 1992:85; Pharris ve Kolpa, 2008:9):

- Pigleme işlemleri sırasında kazara açılma veya kapanmayı önlemek için güvenlik özellikleriyle tasarlanır.
- Personelin tuzakları güvenli bir şekilde açıp kapatabilmesi için kolay ve verimli işletmeyi sağlayacak şekilde tasarlanır.
- Tuzakların bütünlüğünü korumak için hava koşulları veya korozyon gibi dış etkenlere karşı koruma sağlar.
- Pigleme işlemleri sırasında basınç bütünlüğünü korumak ve sızıntıyı önlemek için mühürleme mekanizmaları içerir.
- Kesintisiz işletme ve yapısal stabilite sağlayan sağlam menteşe sistemleri kullanır.
- Pig tuzak kapaticileri, kolay kurulum ve bakım için tasarlanmıştır. Genellikle tuzak varillerine güvenli bir şekilde monte edilebilmeleri için montaj flanşları veya desteklerle donatılmıştır.

Pig tuzak kapaticıları, güvenlik özellikleri ve endüstri standartlarına ve yönetmeliklerine uygunluk temel alınarak seçilir. Kapama bakımının ve denetiminin kolaylığına ve uzun vadeli performansına yönelik düşünceler göz

önünde bulundurulur. Kapamalar, farklı pigleme işlemlerine uyum sağlayacak şekilde seçilmeli ve çeşitli pig boyutları ve tipleriyle uyumlu olmalıdır. (Cordell ve Vanzant, 2003:104)

Boru hattı düzeni ve bağlantıları

Bu amaçla kullanılan parçalar ve işlevleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Zhou, 2019:670; Rosa, 2018:170) ;

- İvmelendirici ve Atlasma Bağlantıları: İvmelendirici bağlantılar, akışın pigleme istasyonuna yönlendirilmesine olanak sağlarken atlasma bağlantıları, normal işletmeler sırasında akışın pigleme istasyonunu atlmasına izin verir.
- Drenaj Noktaları: Drenaj noktaları, pigleme sistemindeki sıvıların ve kalıntıların boşaltılmasına olanak sağlamak için stratejik olarak yerleştirilir.
- Basınç Dengesi: Basınç dengeleme bağlantıları, kapama açılmadan önce pig tuzak içindeki basıncı boru hattı basıncıyla eşitlemek için kullanılır.
- Sinyal Verenler: Basınç göstergeleri veya akış göstergeleri gibi sinyal verenler, pigleme işlemini izlemek ve kontrol etmek için kurulabilir.
- Havalandırma veya Basınç Boşaltma Boruları: Havalandırma veya basınç boşaltma boruları, pig tuzak kapatıcılarını açmadan önce basıncı azaltmak veya hapsolmuş gazları çıkarmak için kullanılır.

Bunların dışında isteğe bağlı temizleme, enjeksiyon, vana atlasma ve enstrümantasyon bağlantı araçları da sistemde bulunabilir. Temizleme bağlantısı; temizleme veya boşaltma işlemlerinden önce veya sonra boru hattına temizleme veya boşaltma sıvıları girişini sağlamak için temizleme bağlantıları kullanılır. Enjeksiyon noktaları, pigleme sırasında kimyasal veya korozyon inhibitörlerinin boru hattına girişi için bir bağlantı sağlar. Vana atlasma bağlantıları, pigleme sistemi içindeki vanaların izolasyonu veya atlasılması için kullanılır. Enstrümantasyon bağlantıları ise veri toplama ve kontrol için sensörlerin veya izleme cihazlarının kurulmasını sağlar. (He, 2019:342)

Otomatik pig başlatma ve alma

Otomatik pig başlatma sistemleri, pig'in boru hattına otomatik olarak yerleştirilmesini sağlar. Bu sistemler, sensörler, kontrol sistemleri ve otomatik mekanizmalar içerebilir. Otomatik pig alma sistemleri, pig'in boru hattından otomatik olarak alınmasını sağlar. Bu sistemler, sensörler, kontrol sistemleri ve otomatik mekanizmalar içerebilir. Otomatik pig başlatma ve alma sistemleri, insan müdahalesi gereksinimini azaltır, işletmeyi otomatikleştirir ve işlem süreçlerini daha verimli hale getirir. Otomatik sistemler, mevcut pigleme sistemine uygun olarak tasarlanmalı ve uyumlu bir şekilde entegre edilmelidir.

(Cordell ve Vanzant, 2003:104; Naylor, 1998:4)

Pig işleme alanı

Pig işleme alanı, pigleme işleminden önce ve sonra piglerin incelendiği ve değerlendirildiği bir alandır. Piglerin temizlenmesi, onarılması, parçalarının değiştirilmesi ve test edilmesi bu alanda yapılır. Ayrıca kullanılmayan piglerin depolandığı bir alandır.

Deniz üstü pig istasyonları, deniz üstü platformlarına veya yapılarına kurulur. Deniz üstü ortamın özel gereksinimlerini ve sınırlamalarını karşılamak üzere tasarlanır ve yapılandırılır. Bu, alan sınırlamaları, platform düzeni, yapı bütünlüğü ve çevresel koşullar gibi faktörlerin dikkate alınmasını içerir. Deniz altı pig istasyonları, deniz tabanına yerleştirilir ve deniz altı boru hatlarına bağlanır. Bu istasyonlar yüksek basınçlı ve derin su koşullarına dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Deniz altı pig istasyonları, zorlu deniz altı ortamlarında pig başlatma, alma ve bakım için özel ekipman ve sistemleri içerir. Ayrıca, denizel büyümeye, korozyona ve deniz faaliyetlerinin etkilerine karşı koruma gibi faktörleri de göz önünde bulundururlar (Naylor, 1998:5)

PİG SİNYALİZASYONU

Pig sinyalizasyon cihazları, boru hatları içindeki pig'lerin varlığını, konumunu ve hareketini tespit etmek için kullanılır. Bu bilgi, boru hattı operatörlerinin boru hatlarının verimli işletme ve bakımını sağlamak için önemlidir. Müdahaleci olan ve olmayan olarak iki tür sinyalizasyon cihazı vardır. Müdahaleci pig sinyalizasyon cihazları, pig boru hattından geçerken fiziksel olarak pig ile etkileşime geçen cihazlardır. Genellikle mekanik veya elektronik sensörler kullanarak pig'in varlığını tespit eder ve bir sinyal iletirler. Müdahaleci olmayan pig sinyalizasyon cihazları ise pig ile doğrudan temas etmez. Pig'in hareketini tespit etmek ve izlemek için boru hattındaki basınç veya akış desenlerindeki değişiklikleri izlemek gibi harici görevleri vardır (Cordell ve Vanzant, 2003:103; Naylor,1998:5).

Pig sinyalizasyon cihazının seçimi, kullanılan pig türü, boru hattının özellikleri ve istenen hassasiyet ve güvenilirlik düzeyi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Boru hattı operatörleri, maliyet, kurulum kolaylığı, bakım gereksinimleri ve mevcut boru hattı altyapısıyla uyumluluk gibi faktörleri göz önünde bulundurarak pig sinyalizasyon cihazı seçerler. (Cordell ve Vanzant, 2003:105; Carvalho vd., 2006:663)

PİGİN KONUMU VE İZLEMESİ

Pig konumu ve izlemesi için çeşitli teknikler vardır ve kullanılacak yöntemin

seçimi, boru hattının özellikleri, kullanılan pig türü ve istenen hassasiyet ve güvenilirlik gibi faktörlere bağlıdır. Bu cihazlar boru hattı operatörlerine denetim veya bakım operasyonları sırasında pig'in ilerlemesi ve konumu hakkında değerli bilgiler sağlar. Bu amaçla kullanılan cihazlar aşağıda verilmiştir (Fletcher ve Chandrasekaran, 2008:120; Wang vd., 2010:2197; Saat ve Hameed, 2007:330).

- **Gürültücüler:** Gürültücüler, pig'lere takılan, düdük veya bip gibi duyulabilir sinyaller yayımlayan cihazlardır. Bu sinyaller, boru hattı boyunca yerleştirilen mikrofonlar veya diğer akustik sensörler kullanılarak pig'in hareketi takip edilebilir.

- **İzotoplar:** İzotoplar, pig'e enjekte edilebilen radyoaktif malzemelerdir. Boru hattının dışına yerleştirilen radyasyon dedektörleri kullanılarak, yayılan radyasyona dayanarak pig'in konumu ve hareketi takip edilebilir.

- **Vericiler:** Vericiler, pipe takılan elektronik cihazlardır ve radyo sinyalleri yayınlamaktadır. Bu sinyaller, boru hattı boyunca yerleştirilen alıcılar tarafından alınarak pig'in konumu belirlenebilir.

- **Pingerlar:** Pingerlar, pipe takılan küçük elektronik cihazlardır ve belirli aralıklarla akustik sinyaller yayımlarlar. Bu sinyaller, boru hattına yerleştirilen sensörler tarafından tespit edilerek, sinyal gücü ve varış zamanına dayanarak pig'in konumu takip edilebilir.

- **Transponderlar:** Transponderlar, hem sinyal alabilen hem de sinyal iletebilen cihazlardır. Genellikle pipe takılırlar ve harici alıcılarla iletişim kurarak doğru bir şekilde izleme ve yer belirleme imkânı sağlarlar.

- **Mıknatıslar:** Mıknatıslar, pipe takılabilecek ve boru hattı boyunca yerleştirilen manyetik sensörler kullanılarak manyetik alanları tespit edilebilen cihazlardır. Bu yöntem, pig'in hareketinin basit ve güvenilir bir şekilde takip edilmesini sağlar.

- **Akustik:** Akustik tabanlı izleme sistemleri, boru hattına yerleştirilen sensörler kullanarak pig'in hareketi sırasında oluşan ses dalgalarını tespit eder. Ses dalgalarının özelliklerini analiz ederek, pig'in konumu ve hızı belirlenebilir.

- **E.L.F. Sistemleri:** Aşırı düşük frekans (ELF) sistemleri, düşük frekanslı elektromanyetik sinyalleri kullanarak pig'leri izlemek için kullanılır. Bu sinyaller, boru hattının duvarlarını geçebilir ve pig'in konumunu doğru bir şekilde takip etmeyi sağlar.

- **Basınç Dalgaları:** Basınç darbeleri izlemesi, boru hattı içinde basınç dalgaları veya darbeleri oluşturmayı içerir. Bu darbeler, boru hattına yerleştirilen basınç sensörleri tarafından tespit edilerek, pig'in konumunu ve hareketini izlemeyi sağlar.

PİG İNCELEMESİNİN SONUÇLARI

İncelemenin sonuçları, akıllı pig araştırma sonuçlarının yorumlanmasıyla başlar. Boru hattının içini incelemek için özel bir araç olan pig'in kullanıldığı akıllı pig araştırması gerçekleştirildikten sonra toplanan veriler dikkatlice analiz edilir ve yorumlanır. Bu yorumlama, boru hattı içindeki herhangi bir anormallik, kusur veya potansiyel bütünlük sorununu belirlemeye yardımcı olur.

İnceleme süreçleri aynı zamanda boru hattı verilerinin elde edilmesini de sağlar. Bu, boru hattının tasarımı, inşası, çalışma koşulları, bakım geçmişi ve önceki inceleme sonuçları gibi bilgilerin toplanmasına olanak verir. Kapsamlı ve doğru veri elde etmek, boru hattının bütünlüğünün kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi ve potansiyel risklerin belirlenmesi için önemlidir. (Ho vd., 2020:628)

İncelemenin diğer önemli sonuçlarından biri, risk değerlendirmesi ve yapısal bütünlük için denetimdir. İnceleme bulguları, boru hattının işletimi ile ilişkili riskleri değerlendirmek için de kullanılır. Bu sayede, başarısızlık olasılığını ve böyle bir başarısızlığın potansiyel sonuçlarını ortaya koyulabilir. Potansiyel risklerin belirlenmesiyle, boru hattının yapısal bütünlüğünü sağlamak için uygun önlemler alınabilir.

İnceleme, boru hattı yönetiminde de önemli bir rol oynar. İnceleme sonuçları ve risk değerlendirmeleri, bakım, onarım ve değiştirme faaliyetlerine ilişkin bilinçli kararlar vermek için önemli bilgiler sağlar. İncelemelerden elde edilen veriler, kaynakları önceliklendirme, bakım programlarını planlama ve bütçeleri etkili bir şekilde tahsis etme konularında yardımcı olur. (Ho vd., 2020:628)

Boru hattı bütünlük programının amacı, boru hatlarının ömrü boyunca güvenli ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamaktır. İnceleme, boru hattının güvenliği veya performansını tehlikeye atabilecek tehditleri veya bütünlük sorunlarını tespit etmeyi amaçlayan bu tür programların temel bir bileşenidir. Bu riskleri proaktif bir şekilde yöneterek, boru hattının bütünlüğü korunabilir, kazaların veya kesintilerin olasılığı en aza indirilir. (Mazraeh vd.,2014:4).

İnceleme, boru hattı bütünlük yönetiminde risk değerlendirmesi ile yakından ilişkilidir. İncelemeler sırasında toplanan veriler, boru hattının durumu ve işletme faktörleriyle ilişkili risklerin nicelendirilmesine ve değerlendirilmesine yardımcı olur. Bu bilgi, tanımlanan riskleri hafifletmek için bakım, onarım ve izleme stratejileri hakkında bilinçli kararlar almak için önemlidir ve boru hattının genel bütünlüğünü sağlamaya yöneliktir. (Cordell ve Vanzant, 2003:104)

İncelemeler, boru hattı bütünlük projelerinin belirlenmesine yardımcı olur. İnceleme sırasında potansiyel bütünlük sorunları veya riskler tespit edildiğinde,

bu endişeleri ele almak için belirli projeler başlatılabilir. Bu projeler, tamirat, değiştirme, yükseltme veya boru hattının bütünlüğünü artırmak için diğer değişiklikler gibi faaliyetleri içerebilir.(Cordell ve Vanzant, 2003:105)

İncelemenin maliyetleri ve faydaları vardır. Maliyetler, incelemelerin yapılması, veri analizi ve gerekli takip eylemleriyle ilgili harcamaları içerir. Ancak, faydalar önemlidir ve bunlar arasında artan güvenlik, azalan iş sürekliliği, artan operasyonel verimlilik ve sızıntılar, patlamalar veya çevresel hasar gibi maliyetli olayların önlenmesi bulunur. İncelemeye yatırım yaparak ve potansiyel bütünlük sorunlarını proaktif bir şekilde ele alarak, uzun vadeli maliyetler en aza indirilebilir.(Cordell ve Vanzant, 2003:105; (Ramella vd., 2015:773)

Boru hattı bakımı ve bütünlüğünün bir parçası olarak, mevcut boru hatlarının iç temizliği ve kaplaması önemlidir. İnceleme, boru hattının içinde korozyon veya diğer kirleticilerin varlığını ortaya çıkarabilir. Bu durumlarda, iç temizleme ve kaplama işlemleri, korozyonu gidermek ve boru hattını daha fazla bozulmadan korumak için kullanılır.

SONUÇ

Pigging teknolojisi, petrol ve gaz, su ve atık su, kimyasal ve petrokimya ile gıda ve içecek gibi çeşitli endüstrilerde önemli bir rol oynamaktadır.

Petrol ve gaz boru hatlarında, pigging temizlik ve denetim amaçlarıyla yaygın olarak kullanılır, deniz altı boru hatlarının bütünlüğünü sağlar ve potansiyel korozyon veya anormallikleri tespit eder.

Su ve atık su boru hatları, pigging sayesinde su kalitesini korur ve tortu birikimini önler, temiz ve berrak su dağıtımını sağlar. Kimyasal ve petrokimya boru hatlarında pigging, ürün değişimleri sırasında kontaminasyonu önler ve ürün kalitesini sağlar, güvenli ve verimli işletmelere katkıda bulunur. Gıda ve içecek boru hatlarında, pigging hijyen ve temizlik açısından önemlidir, kalıntıları ve biyofilmi etkili bir şekilde uzaklaştırır ve ürün kalitesinin yüksek standartlarını korur.

Pigging uygulamalarıyla ilgili yapılan araştırmalar, bu teknolojinin çeşitli endüstrilerdeki faydalarını ve etkinliğini anlamamıza değerli bir bilgi sunmaktadır. Pigging, boru hatlarının bütünlüğünü korumak için tortu, çamur ve potansiyel kontaminantları uzaklaştırarak operasyonel verimliliği artırır, kesinti sürelerini azaltır ve güvenliği artırır. Pigging, ürün taşımacılığında çapraz kontaminasyonu önleyerek ve hijyen standartlarını koruyarak taşınan ürünlerin kalitesini sağlar. Bu özellikle gıda ve içecek ile kimyasal gibi sektörlerde ürün bütünlüğünün kritik öneme sahip olduğu durumlarda önemlidir.

Düzenli pigging operasyonları, potansiyel sorunları erken tespit ederek ve gidererek, maliyetli onarımları ve ekipman arızalarını önler. Ayrıca, pigging teknolojisi tarafından sağlanan etkili temizlik ve bakım, manuel temizlik veya kesintili kapanışlara olan ihtiyacı azaltır.

Uygun pigging uygulamaları, boru hattı sızıntılarının riskini azaltarak, kontaminantların salınımını minimize ederek ve boru hattı verimliliğini optimize ederek çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunur.

Daha ileri araştırma ve geliştirme çalışmaları, temizlik verimliliğini, denetim doğruluğunu ve veri toplama yeteneklerini artırmak için pigging araçları ve tekniklerinin geliştirilmesi üzerine olmalıdır. Bu, gelişmiş sensörler ve izleme sistemleriyle donatılmış akıllı piglerin geliştirilmesi ile mümkün olacaktır.

Pigging sistemlerinin IoT, veri analitiği ve makine öğrenme gibi dijital teknolojilerle entegrasyonu, gerçek zamanlı bilgi sağlayabilir, öngörüleyici bakım kabiliyetleri sunabilir ve pigging operasyonlarını optimize edebilir.

Gelecekte, pigging operasyonlarının çevresel etkileri araştırılmalı ve potansiyel ekolojik zararı en aza indirmek için çevre dostu pigging malzemeleri veya teknikleri gibi yenilikçi çözümler geliştirmelidir.

Endüstriye özgü örnek çalışmalar ve araştırmalar yapılarak farklı sektörlerdeki optimal pigging uygulamaları için özelleştirilmiş bilgiler ve yönergeler elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- Abdumula, M. F. (2004). Heavy Hydrocarbon Testing Methodology. In *The Micro CAD International Scientific Conference. Miskolc*.
- Alyaari, M., (2011). Paraffin wax deposition: Mitigation and removal techniques. SPE155412 pp: 1-10.
- Beggs, H. D., ve Brill, I P., (1973). A study of a two-phase flow in inclined pipes. I Pet. Technology, pp. 607-617.
- Bahadori, A. (2016). *Oil and gas pipelines and piping systems: Design, construction, management, and inspection*. Gulf Professional Publishing.
- Barnea, D., ve Brauner, N. (1985). Holdup of the liquid slug in two phase intermittent flow. *International Journal of Multiphase Flow*, 11(1), 43-49.
- Carvalho, A. A., Rebello, J. M. A., Sagrilo, L. V. S., Camerini, C. S.,ve Miranda, I. V. J. (2006). MFL signals and artificial neural networks applied to detection and classification of pipe weld defects. *Ndt ve E International*, 39(8), 661-667.
- Chin, J., ve Fakas, E. (2004). Evaluations of surface and subsea pig launching systems. In *ISOPE International Ocean and Polar Engineering Conference (ISOPE-I-04-177)*. ISOPE.
- Cordell, J., ve Vanzant, H. (2003). The Pipeline pigging handbook. Ch. 8, 'In-line inspection pigging', 3rd edn, 8.1–8.15; 2003, Houston, TX, USA, Clarion Technical Publishers.
- Davidson, R. (2002). An introduction to pipeline pigging. *Pigging Products and Services Association*, 12.
- Edwards, L., ve Endean, M. (Eds.). (1990). *Manufacturing with materials* (Vol. 355). Butterworth-Heinemann.
- Ernest, H., ve Merchant, M. E. (1941). Chip Formation, Friction and Finish. In *Cincinnati Milling Machine Company, United States). 1940 Proc. M. LT., Summer Conference on" Friction and Surface Finish", " Surface Friction of Clean Metals*.
- Fletcher, R., ve Chandrasekaran, M. (2008). SmartBall™: a new approach in pipeline leak detection. In *International Pipeline Conference* (Vol. 48586, pp. 117-133).
- Garcia, M. D. C., Carbognani, L., Urbina, A., ve Orea, M. (1998). Paraffin deposition in oil production. Oil composition and paraffin inhibitors activity. *Petroleum science and technology*, 16(9-10), 1001-1021.
- Glauert, M. B. (1956). The wall jet. *Journal of Fluid Mechanics*, 1(6), 625-643.

- Gupta, A., ve Sircar, A., (2015) Need of Flow Assurance for Crude Oil Pipelines: A Review. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*, Vol. 6, No. 2 pp: 1-7.
- Gupta, A., ve Sircar, A. (2016). Introduction to pigging ve a case study on pigging of an onshore crude oil trunkline. *Journal of Latest Technology in Engineering, Management ve Applied Science*, 5(2), 18-25.
- He, G., Li, Y., Lin, M., Liao, K., ve Liang, Y. (2019). Optimization of gathering and transmission pipe network layout in gas field and pipeline route in 3D terrain. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 10(2), 04019009.
- Ho, M., El-Borgi, S., Patil, D., ve Song, G. (2020). Inspection and monitoring systems subsea pipelines: A review paper. *Structural Health Monitoring*, 19(2), 606-645.
- Lee, E. H., ve Shaffer, B. W. (1951). The theory of plasticity applied to a problem of machining. *Journal of Applied Mechanics, Trans. ASME.*, 73, 405.
- Loewen, E. G., ve Shaw, M. C. (1954). On the analysis of cutting-tool temperatures. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, 76(2), 217-225.
- Mazraeh, A. A., Alnaimi, F. B. I., ve Mohamed Sahari, K. S. B. (2014). RFEC PIG designed for long distance inspection. In *International Petroleum Technology Conference* (pp. IPTC-18172). IPTC.
- McKnight, N., Poe, R., ve Harrison, P. (2022) Keeping Safety Grounded in the Hydrogen Takeoff: Revisiting Risk in Pig Launching and Receiving Operations. Pipeline Technology Conference (PTC)
- Mendes, P. S., Braga, A. M., Azevedo, L. F., ve Correa, K. S. (1999). Resistive force of wax deposits during pigging operations. *J. Energy Resour. Technol*121(3): 167-171
- Merchant, M., ve Zlatin, N. (1945). Nomographs for analysis of metal-cutting processes. *Mech. Eng*, 67(11), 737-742.
- Mozes, G.Y., Freund, M., Csikos, R., ve Keszthelyi, S. (1982). *Paraffin Products- Properties Technologies Applications*, Elsevier Scientific Publishing Company.
- Naylor, J. (1998). Advances in pigging technology. *Pipeline and Gas Journal*, 225(8).
- Ramella, C., Canavese, G., Corbellini, S., Pirola, M., Cocuzza, M., Scaltrito, L., ... ve Di Lullo, A. (2015). A novel smart caliper foam pig for low-cost pipeline inspection–Part B: Field test and data processing. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 133, 771-775.

- Pharris, T. C., ve Kolpa, R. L. (2008). *Overview of the design, construction, and operation of interstate liquid petroleum pipelines* (No. ANL/EVS/TM/08-1). Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States).
- Rosa, V. R., Camponogara, E., ve Ferreira Filho, V. J. M. (2018). Design optimization of oilfield subsea infrastructures with manifold placement and pipeline layout. *Computers ve Chemical Engineering*, 108, 163-178.
- Saat, R., ve Hameed, S. A. (2007). A Framework for Real Time Pipeline Pigging Tracking and Monitoring System. In *Proceeding of International Conference in Electrical Engineering and Informatics* Institut Teknologi Bandung, Indonesia, June 17-19, (pp. 329-332).
- Tiratsoo, J. N. (Ed.). (1992). *Pipeline pigging technology*. Gulf Professional Publishing.
- Tolmasquim, S. T., ve Nieckele, A. O. (2008). Design and control of pig operations through pipelines. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 62(3-4), 102-110.
- Wang, H. J., Zhang, S. M., Zhang, P., ve Shi, L. Y. (2010). The pig tracking system based on AVR microcontroller and GPS/GSM. *Advanced Materials Research*, 139, 2195-2198.
- Zhou, J., Peng, J., Liang, G., ve Deng, T. (2019). Layout optimization of tree-tree gas pipeline network. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 173, 666-680.

Bölüm 6

ALTERNATİF YAKITLARIN SIKIŞTIRMA ATEŞLEMELİ MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR ÜZERİNE ETKİLERİ

Halil İbrahim AKOLAŞ¹

1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlar, yanma sonucu ortaya çıkan ısıyı mekanik işe dönüştüren makinelerdir. Yüksek güç ve yüksek verimlilikleri nedeniyle binek, ticari araçlarda, ağır hizmet araçlarında, elektrik enerjisi üretiminde ve diğer endüstriyel alanlarda güç kaynağı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. Motorların yanma süreci, yakıtın kimyasal enerjisinin doğrudan ısıya dönüşümü sonucunda elde edilen bir enerji döngüsüdür. Güç kaynaklarının enerji ihtiyacı büyük ölçüde fosil yakıt enerjisinden kaynaklandığı yadsınamaz bir gerçektir. Hızla artan nüfus, fosil yakıtlara olan ihtiyacı giderek artırmıştır. Günümüzde, yeraltı maden arama tekniklerinin gelişmesi beraberinde büyük miktarlarda doğal gaz rezervlerinin ortaya çıkması neden olmuştur. Bunun yanında güneş, rüzgâr, hidrolik, jeotermal ve biyogaz gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının da etkin kullanımı üzerine ilgi giderek artmıştır [1-3]. Ancak içten yanmalı motorlarda yanma sürecinde ve enerji dönüşümünde fosil yakıtlara olan ihtiyaç devam edecektir [4]. Ham petrol giderek azalması, dünya enerji ihtiyacını karşılayacak başka alternatif yakıtların keşfedilmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır [1,2]. Böylece sürdürülebilir enerji kaynağı yaratmak, petrol ürünlerinin çevre ve insan sağlığına olan zararlı etkileri azaltmak bir zorunluluk haline gelmiştir.

Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda; bitkisel tohumlardan elde edilen yağın alkollerle transesterifikasyonu yöntemiyle elde edilen mono esterler, doymamış yağların doğrudan alkil esterlerinden biyodizel yakıtı yenilenebilir kaynaklardır. Biyodizel günümüzde çekici bir yakıt olarak giderek önem kazanmaktadır. Biyodizel yakıtı, dizel yakıtla karşılaştırıldığında hava-yakıt oranının tamamında daha az toksin üretir. Diğer Alternatif yakıtlar; atık yağlar, alkoller, eterler vb. yeni ve sürdürülebilir enerji kaynakları olarak gösterilebilir [5]. Bu durum buji ile ateşlemeli motorları için ise alternatif yakıtlar arasında sıkıştırılmış doğal gaz (CNG), hidrojen (H₂), sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve alkol yakıtları (metanol ve etanol) örnek verilebilir. Alternatif yakıtlar son durumları ve üretim kaynakları açısından geniş bir çeşitliliği kapsayan, klasik

¹ Balıkesir Üniversitesi, halil.akolas@balikesir.edu.tr

benzin ve dizel yakıtların dışındaki yakıtlar olarak sınıflandırılabilir [4]. Sonuç olarak; alternatif yakıtların kullanımı ile yenilenebilir kaynaklardan elde edilen yakıtların daha yaygın kullanımı sayesinde sürdürülebilir enerji döngüsü oluşturarak giderek tükenen fosil yakıtta olan talep azalmış olacaktır. Ayrıca alternatif yakıtların geleneksel yakıtlara kıyasla üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde motor verimliliğinin ve motor dışı emisyonların iyileştirilmesi ve klasik petrol kökenli fosil yakıtların orantısız kullanımı azaltılmış olacaktır [4].

Biyodizel, geleneksel içten yanmalı motorlarda ticari amaçla kullanılan tek yakıttır. Ayrıca biyodizel sadece yakıt olarak veya klasik dizel ile karışım halinde de kullanılabilir. Karışımda biyodizelin payı “B” faktörü ile gösterilir ve bu pay gerçek dizel yakıt içerisindeki biyodizelin karışım oranını ifade etmektedir. Yakıt karışımı motorun kendisi, yakıtın kalitesi ve karşılanması gereken ihtiyaçla sınırlanır. Biyoyakıt üretiminde önemli olan yakıt kalitesi, yakıtın viskozitesi, parlama noktası, kalorifik değeri ve özgül yoğunluğa göre belirlenir. Kalite, üretim süreci sırasında uygun ön arıtma yöntemleri, sıcaklık, basınç ve kullanılan katalizör ile kontrol edilebilmektedir. Egzoz emisyonlarının konsantrasyonlarında meydana gelen değişime karşılık motorun genel performansı ise artırılabilir. Biyodizelin saf dizel ile karıştırılması sera gazı emisyonlarında genel bir düşüşe sebep olsa da bu durum daha çok çalışma koşullarına bağlıdır. Genel çalışma şartlarında NO_x emisyonları azalırken, CO ve CO_2 emisyonlarında bir miktar artma gözlenmiştir. Bu nedenle, biyodizelin gelecekte içten yanmalı motorlarda ve biyo-jet yakıtı olarak havacılık sektörü için potansiyel bir yakıt olarak kullanılabilmesi umut verici bir yaklaşım olarak görülmektedir [4].

İçten yanmalı motorlarda metanolün kullanımı ise uzun süreli bir tartışma konusudur. Metanolün içten yanmalı motorlarda kullanılması, yüksek aşındırıcı özelliği nedeniyle motor üzerinde yeni tasarımlar gerektirmektedir. Sonuç olarak, metanol petrol kökenli sıvı yakıtlara kıyasla daha düşük enerjiye sahiptir. Bu durum daha büyük depolama tanklarına ihtiyaç duyulduğunu gösterir. Ayrıca, metanolün basit üretim teknikleri, artan motor performansı ve verimliliği ile bütünleştirildiğinde, metanolün denizcilik sektöründe fosil yakıtlarla kısmi karışımli kullanılması ihtimalini artırmıştır. Metanolün NO_x emisyonlarını %30'a kadar düşürmesi, denizcilik sektörü için önemli bir gelişmedir. İçten yanmalı motorlarda amonyak kullanımı ise dizel gibi başka bir yakıtın eklenmesini gerektiren yüksek yanma sıcaklıklarıyla ilgili ek sorunlar barındırmaktadır. Bu problemler buji ile ateşlemeli motorlar kullanıldığında da ortaya çıkmaktadır. Genel olarak, içten yanmalı motor için yakıt olarak amonyak kullanıldığında, yanma sürecinin başlamasını kolaylaştırmak için

diğer bazı klasik yakıtların ilave kullanılması gerekir. Amonyakın yanmasıyla elde edilen ortalama verim %35 ila %40 arasındadır. Taşıt motorlarında amonyak kullanmanın avantajı, yüksek oktan sayısının (~130) vuruntuyu azaltması ve yanma sürecini iyileştirmesinden kaynaklanmaktadır. Aslında amonyak uygulamasıyla ilgili ana sorun, tam olmayan yanmadan dolayı kaynaklanan yüksek NO_x oluşumudur [6].

2. FARKLI ALTERNATİF YAKITLARIN SIKIŞTIRMA ATEŞLEMELİ (CI) MOTORLARDAKİ YANMA KARAKTERİSTİKLERİ

2.1. Fren Gücü Çıkışı

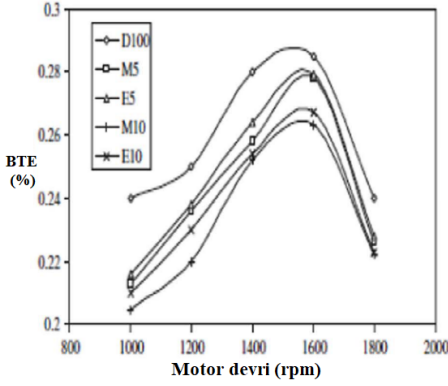
Literatürde pek çok çalışma alternatif yakıtların gelecekteki potansiyeli üzerine çalışmalar ortaya koymuştur. Bunlardan; soya yağı ile biyodizel yakıtı ile yapılan deneysel çalışmalarda saf biyodizel için benzer motor gücü çıkışını sürdürmek için daha fazla fren spesifik yakıt tüketiminin gerekli olduğu görülmüştür. Metil esterin biyoyakıt olarak kullanımı ise kaydırıcı özelliği nedeniyle standart dizele kıyasla daha fazla güç çıkışı sağlamıştır. Kayısı çekirdeği yağı ve saf dizelin düşük yüzdeli karışımlarının motor gücünde kayda değer bir artış sağlamıştır. Bunun yanında atık yağ metil esterleri, zeytinyağı, palm yağı, hindistancevizi yağı, ayçiçeği yağı, kanola yağı ve atık yağların vb. biyoyakıt olarak kullanımı fren gücünde %1-25 oranında düşüşe neden olduğu gözlenmiştir. Metanol ile pamuk tohumu yağının biyodizelle karışımı motor performansında özellikle sabit hızlarda motor yükünün artmasıyla motor gücünde bir artışa neden olduğu görülmüştür [5].

2.2. Fren Termal Verim

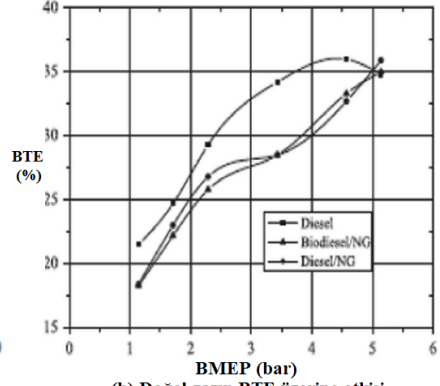
Biyoyakıtlarla yapılan deneysel çalışmalar, biyoyakıtların içten yanmalı motor uygulamaları doğrultusunda fren termal verim yönündeki değişimi; kolza tohumu metil esterini test etmiş ve maksimum fren termal verimliliğinin 0,356 ile 0,398 arasında değiştiğini ortaya koymuştur. Jatropha yağı kullanımının motor fren termal veriminde düşmeye, ısıtılmış Jatropha yağının termal veriminde ise artmaya neden olmuştur. Palm yağı metil esterleri ve kanola yağı metil esterleri karışımli biyodizel yakıtta ise fren termal verimde pozitif yönde hafif bir artma meydana gelmiştir. Kauçuk tohumu yağı, hindistancevizi yağı ve palmiye çekirdeği yağı kullanan biyoyakıtlarla yapılan çalışmalarda iki aşamalı bir ön işlem ile palmiye yağı biyodizelinin, hindistancevizi yağına göre daha iyi fren termal verim ortaya koymuştur. Pamuk tohumu yağının dizel için önemli bir karışım yakıt olarak uygunluğu ise pamuk tohumu yağının etil esterleri, saf pamuk tohumu yağından daha yüksek bir termal verim ortaya koymuştur. Bahsi geçen yağların, fosil kökenli yakıtlarla rekabet edebilmeleri için, yakıt karışım

özelliklerinde, üretim teknolojisinde ve son kullanım şartlarında iyileştirme yapılması gerekmektedir [5].

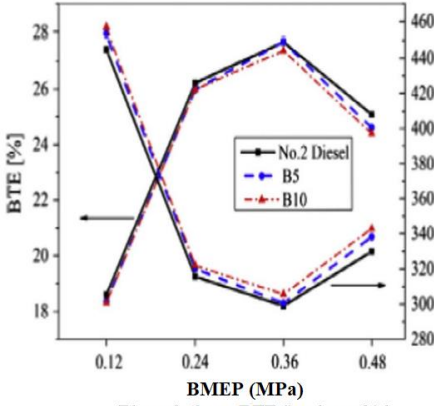
Dizel motorlarda kullanılan biyoyakıtlar genel olarak, motorun gücü ve fren ısıl veriminde dikkate değer bir fark olmadığı ancak bazı şartlarda bir miktar artış gözlenmiştir. Alternatif yakıt türlerinin fren termal verimi (BTE) üzerindeki etkileri Şekil 1'de gösterilmiştir. Alkoller için fren termal verim, yakıt karışımları içerisindeki alkol miktarının artmasıyla önemli ölçüde değişkenlik göstermiştir. Bu durum Oksijen konsantrasyonu nedeniyle alkollerin dizele göre daha düşük kaynama noktasının, ısı kayıplarının azalmasına ve yanma verimliliğinin artmasına neden olmaktadır. Ateşleme gecikmesinde meydana gelen uzama, açığa çıkan enerjinin artmasına, ısının silindirden soğutucuya aktarılması için daha az zamana ve sonuç olarak ısı kayıplarının azalmasına neden olmaktadır. Alkol yakıtların bileşimindeki karbon sayısı az olduğundan ön karışımli yanma oranı, dolayısıyla sabit hacimli yanma yüzdesi artmakta ve daha düşük ısı kayıpları ile daha zayıf yanma meydana gelmektedir. Doğal gaz için, dizel motor düşük ve orta yük şartlarında, standart yanma durumuna kıyasla çift yakıtlı karışımda BTE'de kayda değer oranda azalma meydana gelmektedir. Bunun nedeni, doğal gaz-dizel modunda yanma işlemi sırasında toplam test yakıtı akış hızının önemli ölçüde artması, alev yayılma hızının ve yanma sıcaklığının azalması olduğu söylenebilir. Ancak motorun yüksek yük şartlarında, yükselen sıcaklığından dolayı çift yakıt kullanılmasıyla BTE artmaktadır. Bununla birlikte, düşük ve orta motor yüklerinde biyodizel karışımları ile dizel yakıt arasındaki fren termal verimliliğindeki farklar, yüksek motor yüklerindeki göre daha azdır. Çünkü biyodizel içeriği motor yüküyle birlikte önemli ölçüde artar. Dimetil eter (DME) için, DME homojen şarjlı sıkıştırma ateşlemeli motorlarda (HCCI) yanmanın artması ve difüzyon yanmanın azalması beraberinde yakıt dönüşüm verimliliğini ve yanma verimliliğini arttırmaktadır [5,7].



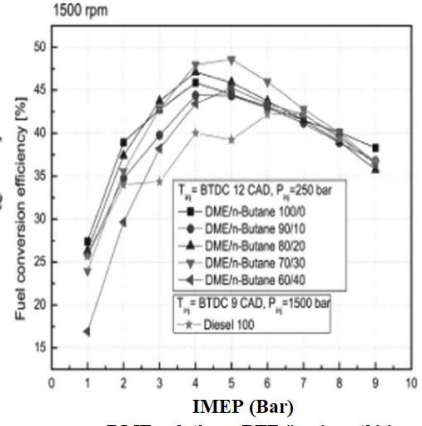
(a) Alkol yakıtların BTE üzerine etkisi



(b) Doğal gazın BTE üzerine etkisi



Biyoyakıtların BTE üzerine etkisi



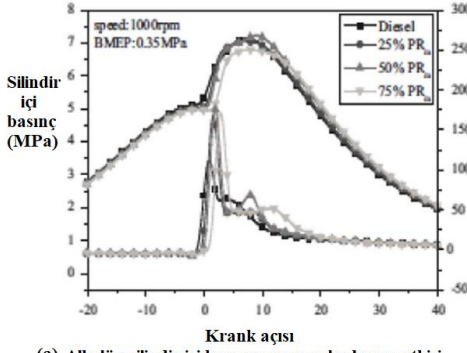
DME yakıtların BTE üzerine etkisi

Şekil 1. Farklı alternatif yakıt türlerinin BTE'ye etkileri [7].

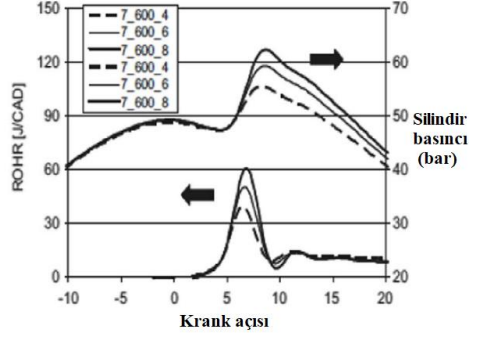
2.3. Yanma

Farklı alternatif yakıtların, ısı salınım oranı ve silindir içi basıncın yanma özellikleri üzerinde etkisi önemli etkisi vardır. Ateşleme gecikmesi; püskürtme başlangıcı ile ateşleme zamanı arasındaki krankın açılal değişimi olarak ifade edilmektedir. Alternatif yakıtların silindir içi basınç ve ısı salınım hızı üzerindeki etkileri Şekil 5'te gösterilmektedir. Alkoller için, dizel yakıt modu ile alkol-dizel yakıt modu arasında silindir içi basınç ve ısı salınım oranı açısından birçok fark vardır. Dizel modu, standart dizel yanmayla karşılaştırıldığında, test yakıtlarındaki alkol içeriğinin artmasıyla birlikte sıkıştırma basınçları önemli ölçüde azalmaktadır. Bunun nedeni alkollerin buharlaşma gizli ısısının dizelden daha yüksek olmasıdır. Böylece metanol ve etanol gibi alkoller emme girişine püskürtüldüğünde buharlaşır ve emme havasının ısısını emer, bu da silindir içi sıcaklığın ve sıkıştırma zamanında basıncın düşmesine neden olur. Dizel motor düşük devir ve yük koşullarında çalıştığında maksimum silindir içi basıncı, yüksek ön karışımli alkol oranlarından düşerek, düşük ve orta ön karışımli alkol

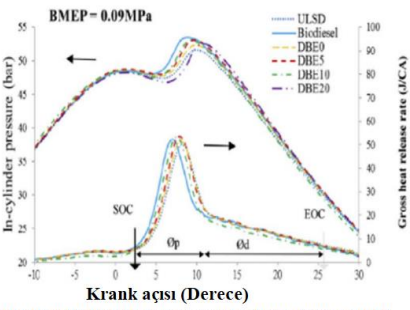
oranlarına doğru hafifçe değişir. Alkollerin yüksek buharlaşma gizli ısısı, motorunun düşük hız ve yükte çalıştığı durumlarda, yüksek ön karışım alkol oranlarında silindir içi sıcaklığı düşürdüğü ve yanma sürecini aşırı derecede yavaşlatmaktadır. Doğal gaz için, doğal gaz-dizel içeren ikili yakıt modu, standart dizel yakıt moduna kıyasla daha düşük silindir içi yanma basıncı oluşturmaktadır. Düşük motor yüklerinde, doğal gaz-dizel modu, daha yüksek ateşleme gecikmesi, daha yüksek özgül ısı kapasitesi ve gaz-hava karışım oranı düşüklüğü nedeniyle silindir içi yanma basıncını azaltır. Tutuşma gecikmesi sırasında biriken buhar nedeniyle yanmanın başlangıcında ısı, verimli bir şekilde atılmaz, ancak bu durum sonra düzelir. Ön karışımlı yakıt-hava karışımı, ateşleme gecikmesinden sonra hızla yanar. Ayrıca motor yükü, yanma odasında çok daha fazla gaz halindeki yakıtın birikmesine ve ateşleme gecikmesinin azalmasına neden olur. Biyodizel için biyodizel ilavesi, sıkıştırma stroku sonundaki basınç izlerindeki hızlı silindir basıncı artışı nedeniyle tüm motor yükleri için başlangıçta yanmayı çabuklaştırır. İlaveten biyodizel karışımlarının yanması dizel yakıtı göre daha erken başlamaktadır. Biyodizel karışimlı yakıtların yüksek viskozite, yoğunluk ve kütle modülü nedeniyle tutuşma değerleri biraz daha erken krank açılarında gerçekleşir. Dizel motorun düşük ve yüksek yük koşullarında çalışması durumunda, biyodizelin eklenmesiyle ön karışimlı yanma aşamasındaki ısı salınım oranı genellikle azaltılır. Bunun nedeni, biyodizel yakıt karışımlarının kısa tutuşma gecikmesi ve düşük ısı değeri nedeniyle enjekte edilen yakıt miktarının daha düşük olmasıdır. DME için, ön karışimlı sıkıştırma ateşlemeli motorların (PCCI) yanma ısısının salınım süreci göreceli olarak karmaşıktır. Erken direk enjeksiyon, silindirdeki yanmayı hızlandırır. DME emme manifolduna püskürtüldüğünde, DME'nin kendiliğinden tutuşması ve yüksek setan sayısı nedeniyle HCCI da yanma meydana gelir [7-9].



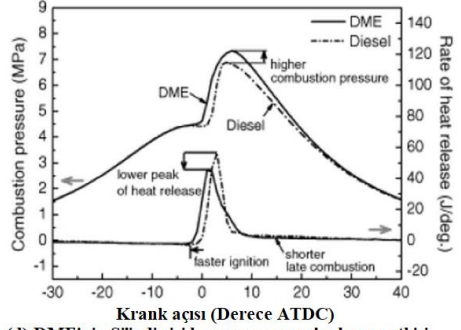
(a) Alkolün silindir içi basınca ve ısı salını hızına etkisi



(b) Doğal gazın silindir içi basınca ve ısı salını hızına etkisi



(c) Biyodizelin silindir içi basınca ve ısı salını hızına etkisi



(d) DME'nin silindir içi basınca ve ısı salını hızına etkisi

Şekil 2. Farklı alternatif yakıtların silindir içi basınca ve ısı salını hızına etkileri [7].

2.4. NO_x, HC ve CO Salınımı

Sıkıştırma ateşlemeli motorlarla karşılaştırıldığında dizel motorlar, yüksek yanma verimi ve güç performanslarından dolayı yardımcı güç kaynaklarında, ağır hizmet makinelerinde ve motorlu taşıtlarda yaygın olarak dizel motorlar tercih edilmektedir. Dizel motorların en büyük azot oksit (NO_x) ve partikül madde (PM) gibi emisyonların insan sağlığına ve çevreye kayda değer oranda zarar vermeleridir. Dizel motorlardan kaynaklanan bu zararlı emisyonları emisyonları azaltmak için; egzoz gaz resirkülasyonu (EGR), seçici katalitik indirgeme (SCR), zayıf NO_x tuzakları, dizel partikül filtresi (DPF) ve alternatif yakıtların uygulanması gibi teknikler kullanılmaktadır. Alkollerin kükürt ve is oluşümünün olmaması daha düşük NO_x salınımına ve ayrıca daha düşük ozon oluşturma gibi bazı avantajlar sunmaktadır. Ayrıca, hava-yakıt karışımının ateşlenmesinde, daha büyük tutuşma gecikmesi, düşük setan sayısı ve yüksek gizli buharlaşma ısısı gibi de bazı dezavantajlar vardır. NO_x emisyonları yanma bölgesindeki oksijen konsantrasyonuna ve yanma sıcaklığına bağlıdır. Yanma sıcaklığının düşmesine yol açan yüksek gizli buharlaşma ısısı alkol yakıtlarla önemli ölçüde azaltılabilir. Buna karşılık alkolün yüksek oksijen içeriği

nedeniyle NO_x emisyonların da artma meydana gelmektedir. HC emisyonları, silindir şarjındaki dizel-alkol yakıtındaki yüksek miktarlarda tekli hidrojen radikalleri nedeniyle, test yakıtındaki alkol içeriğiyle birlikte önemli ölçüde artmaktadır. CO emisyonları ise düşük yanma sıcaklığı ve emme dolgununun zayıf olduğu şartlarda meydana gelen eksik yanmanın ürünleridir. Alkol-dizel karışımları ile çalışan dizel motorlardan kaynaklanan CO emisyonları saf dizel yakıttan daha fazladır. Doğal gaz için ise doğal gaz-dizel karışımıyla çalışan motorlardan kaynaklanan HC emisyonları saf dizel yakıttan daha yüksektir. Bunun nedeni, hava-yakıt karışım oranının ve düşük sıcaklığın, ateşleme bölgelerinde türbülanslı alev dağılımını bastırmasıdır. HC emisyonlarını artıran bir diğer faktör de hava-gaz karışımının bir kısmının artık yanmayla süpürmeyi kolaylaştırmak için egzoz ve emme valfleri arasındaki örtüşmedir. Standart dizel yakıtla karşılaştırıldığında, CO emisyonları tüm motor yükü çalışma koşullarında doğal gaz içeriğiyle birlikte önemli ölçüde artmaktadır. Bunun nedeni doğalgazın ateşleme kaynaklarının yetersizliği ve hava-yakıt eşdeğerlik oranının düşük olması nedeniyle eksik yanmadan kaynaklanmaktadır. NO_x emisyonları; silindir içi yanma sıcaklığından, yanma süresinden ve oksijen konsantrasyonundan etkilenir. Kısmi motor yüklerinde, karışımdaki oksijen konsantrasyonunun az olması ve yanma oranının düşük olması nedeniyle, doğalgaz içeriğinin artmasıyla birlikte NO_x emisyonları önemli ölçüde azalmaktadır. Dizel motor yüksek yük koşullarında çalıştığında silindir içi yüksek sıcaklık, basınç ve yanma hızındaki artma NO_x konsantrasyonu önemli ölçüde artırmaktadır. Dimetil eter için, PCCI motorlarda NO_x emisyonları, dizel yakıt işlemine göre bir miktar daha düşük ve azalma eğilimindedir. DME oranı daha yüksek seviyelere ulaştığında bu durum ortadan kalkmaktadır. Yanma sürecinin başlangıcında NO_x azaltımına yol açan iki önemli faktör vardır. Birincisi, ön karışımda DME HCCI işlemiyle daha yüksek silindir içi basınç ve sıcaklık nedeniyle tutuşma gecikmesinin kısılmasıdır. İkincisi, gaz karışımındaki oksijen içeriğinin, dahili EGR gibi HCCI yanmasından kaynaklanan gazlar tarafından azaltılmasıdır. Sonrasında NO_x emisyonları stabil hale gelmektedir. Nedeni DME yüksek sıcaklıkta hızlı bir yanma reaksiyonuna neden olması ve bunun da şarj sıcaklığını yükseltmesidir. Böylece HC ve CO emisyonları DME miktarıyla birlikte artış göstermektedir. Bununla birlikte, HC ve CO emisyonları daha erken bir enjeksiyonla zamanlamasıyla azaltılabilir [7, 10-12].

Partikül madde salınımı

Alkol, doğal gaz ve biyodizel gibi alternatif yakıtların kullanımı giderek daha fazla ilgi görmektedir. Alkoller için PM emisyonları, test yakıtlarındaki alkol içeriğinin artmasıyla önemli ölçüde azalma göstermiştir. Alkol-dizel yakıtlardan kaynaklanan PM emisyonlarının azaltılmasına yol açan çeşitli nedenler vardır. Birincisi, alkollerin yanma sürecinde PM emisyonları neredeyse hiç oluşmaz. Böylece difüzyonlu yanmada dizel yakıtın yanması azalacağından PM emisyonlarının oluşumu kısıtlanmaktadır. İkincisi, yüksek sıcaklık ve alkolle oksidasyondan oluşan C_2H_2 gibi doymamış mikro moleküllerin daha az olmasıdır. İlaveten alkollerde, hava fazlalık katsayısının artması nedeniyle oluşan yüksek gizli buharlaşma ısı emme havasının sıcaklığını düşürmektedir. Son olarak homojen bir hava-alkol karışımının oluşması nedeniyle tutuşma gecikmesi süresi uzamaktadır. Nihayetinde, ön karışimli yanmada daha fazla dizel yakıtı yanar. Tüm bu faktörler göz önüne alındığında yanma sürecindeki PM emisyonların üşüş meydana gelmektedir. Doğal gaz için, konvansiyonel dizel yanmasında PM emisyonları, dizel motorun düşük ve orta yük şartlarda çalışırken düşük seviyelerde iken, yüksek yükte püskürtülen dizel yakıt miktarının artması nedeniyle önemli oranda artmaktadır. Ancak doğal gazlı-dizel karışimli yakıt yandığında, doğal gazdaki karbon/hidrojen oranının düşük ve ön karışimli olması nedeniyle PM emisyonları tüm motor yüklerinde düşük seviyededir. Biyodizel için, biyodizel yakıttan kaynaklanan PM emisyonları daha düşüktür. PM emisyonları dizel yakıttaki hidrokarbonların ve karbon parçacıklarının eksik yanması sonucu oluşur. Ayrıca biyodizelin yüksek oksijen içeriği PM emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunabilir. DME için PM emisyonları, DME miktarının artmasıyla önemli ölçüde azalmaktadır. Özellikle, DME yakıtı PM emisyonlarını üretmez ve dolayısıyla PM emisyonlarını azaltmada olumlu bir etkiye sahiptir [7, 12-14].

3. SONUÇLAR

Sonuç olarak; bu çalışmada sıkıştırma ateşlemeli motorlarda kullanılan alternatif yakıtlarla yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Alternatif yakıtlarla test edilen motor deney sonuçlarının performans, yanma özellikleri ve emisyon çıktıları araştırılmıştır. Biyodizel yakıtların saf dizel yakıtı ile birlikte isteğe bağlı olarak yağlarla kullanılabilir. Alkoller ve eterler sıkıştırma ateşlemeli motorların performansını, yanma ve emisyon özelliklerini geliştirmek için en uygun katkı maddeleri olduğu görülmüştür. Araştırmalar, biyodizel kullanımının HC, CO ve duman emisyonlarında azalmaya ve NO_x emisyonlarında artışa neden olduğunu göstermiştir. Genel olarak, motorun güç çıkışı ve fren ısı verimliliğinde kayda değer bir değişiklik görülmediği sonucuna varılmıştır.

4. KAYNAKLAR

- [1] Kaynaklı, M., Palta, O., Cengiz Ç. Solar Radiation and Temperature Effects on Agricultural Irrigation Systems, Bitlis Eren University Journal of Science and Technology, 6(1), 53-58. 2018.
- [2] Rüstemli S., Dinçer F., Çelik M., Cengiz M. S., Fotovoltaik Paneller: Güneş Takip Sistemleri ve İklimlendirme Sistemleri, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt:2, Sayı:2, s. 141–147, Bitlis, 2013.
- [3] Yurci, Y., Kaynaklı, M., Palta, O., Efe, SB., Cengiz, Ç. The Performance-Cost Effect of the SCADA System on Distribution Networks, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, 11(6), Ver.III, 32-38. 2016.
- [4] C. Bae and J. Kim, Alternative fuels for internal combustion engines, Proc. Combust. Inst., vol. 36, no. 3, pp. 3389–3413, 2017, doi: 10.1016/j.proci.2016.09.009.
- [5] A. S. Verma, S. Chhabra, A. Karnwal, A. Gupta, and R. Kumar, Materials Today : Proceedings A review on performance , combustion and emissions utilizing alternative fuels, Mater. Today Proc., vol. 64, pp. 1459–1464, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.04.777.
- [6] H. Stančin, H. Mikulčić, X. Wang, and N. Duić, A review on alternative fuels in future energy system, Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 128, no. May, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.109927.
- [7] P. Geng, E. Cao, Q. Tan, and L. Wei, Effects of alternative fuels on the combustion characteristics and emission products from diesel engines : A review, Renew. Sustain. Energy Rev., no. November, pp. 1–12, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.12.080.
- [8] Jin, O. Takashi, D. Yasuhiro, K. Ryouji, S. Takeshi, Combustion and exhaust gas emission characteristics of a diesel engine dual fueled with natural gas JSAE Rev, 21 (4) (2000), pp. 489-496
- [9] Harrington J, Munshi S, Nedelcu C, Ouellette P, Thompson J, Whitefield S. Direct injection of natural gas in a heavy-duty diesel engine. SAE technical paper. 2002-01-1630; 2002.
- [10] L.C. Meher, D.V. Sagar, S.N. Naik, Technical aspects of biodiesel production by transesterification e a review Renew Sustain Energy Rev, 10 (2006), pp. 248-268
- [11] M. Gürü, A. Koca, O. Can, C. Çınar, F. Sahin, Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine Renew Energy, 35 (2010), pp. 637-643
- [12] S.K. Hoekman, A. Broch, C. Robbins, E. Cenicerros, M. Natarajan, Review

of biodiesel composition, properties, and specifications *Renew Sustain Energy Rev*, 16 (2012), pp. 143-169

- [13] A.E. Atabani, A.S. Silitonga, I.A. Badruddin, T.M.I. Mahlia, H.H. Masjuki, S. Mekhilef A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its Characteristics *Renew Sustain Energy Rev*, 16 (2012), pp. 2070-2093
- [14] Z. Longbao, W. Hewu, J. Deming, H. Zuohua, Study of performance and combustion characteristics of a DME-fueled light-duty direct-injection diesel engine *SAE Tech Pap Ser* (1999), pp. 1999-01-3669

Bölüm 7

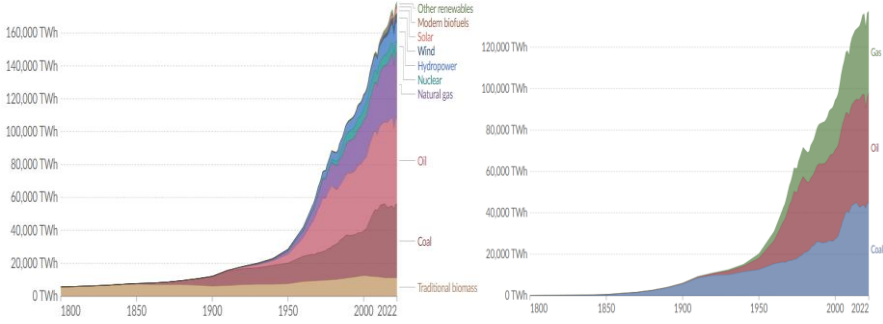
İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN ALTERNATİF YAKITLAR

Halil İbrahim AKOLAŞ¹

1. Giriş

Giderek artan dünya nüfusu birçok alanda olduğu gibi; sanayileşmeye, uluslararası turizme ve taşımacılığa olan talebi büyük oranda artırmıştır. Taleplerin artması enerji kaynaklarına olan gereksinimi ciddi oranda artırmıştır. Şekil 1’de 2023 yılı itibarı ile Enerji Enstitüsünün dünya enerjisine ilişkin istatistiksel inceleme grafiği verilerine göre enerji tüketiminde başta petrol olmak üzere, kömür ve doğal gaz zirveyi sahiplenirken nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynakları tüketimde son sırayı almaktadır. Günümüzde ise enerji kaynakları tüketiminde geçmişte olduğu gibi fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Yakın bir gelecekte fosil kökenli enerji kaynaklarının tükenen endişesi, katılaştıran emisyon yasaları, küresel ısınma ve iklim değişimi gibi negatif etkenler araştırmacıları alternatif enerji kaynakları arayışına itmiştir [1-4]. Özellikle motorlu taşıtlarda kullanılan yakıt enerjisi kaynağını, fosil kökenli yakıtlar oluşturmaktadır. Ancak fosil kökenli yakıtlar çevre kirliliğine neden olan UHC, CO, NO_x, PM, CO₂ vb. birçok farklı türde zararlı salınımlarını atmosfere bırakırlar. Ancak bunlardan CO₂'nin atmosfere doğrudan zararlı etkisi yoktur[1-2]. Fosil kökenli hidrokarbon yakıtın yakılması, atmosferde biriken karbondioksit (CO₂) miktarını artırmaktadır. CO₂ deki bu artış dünyanın sıcaklığını artırarak küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunlara yol açmaktadır [3].

¹ Balıkesir Üniversitesi, halil.akolas@balikesir.edu.tr



Şekil 1. Dünya birincil enerji tüketimi (<https://ourworldindata.org/global-energy-200-years>)

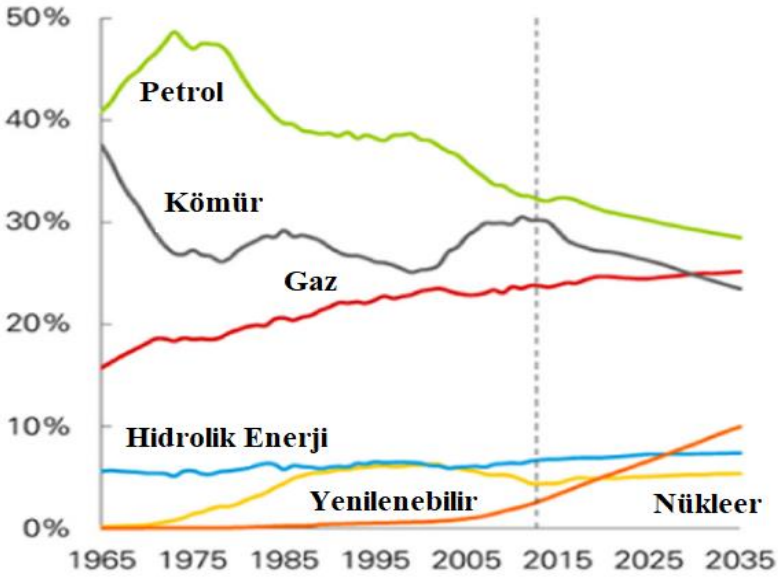
Araştırmacılar fosil kökenli yakıtların dezavantajlarının yanı sıra mevcut motor tasarımlarında fazla değişikliğe gidilmeden, içten yanmalı motorlarda benzin ve dizel yakıtlarla kullanılabilecek alternatif yakıtlar üzerine literatürde pek çok çalışma vardır. Alternatif yakıtlar genel olarak yenilenemeyen (fosil yakıtlar) ve yenilenebilir yakıtlardan oluşur. İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıtlar gaz ve sıvı olarak da sınıflandırılabilirler. Bu yakıtlar sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), doğal gaz (NG), metanol + etanol içeren alkoller, dimetil eter (DME) ve polioksimetilen dimetil eterler (PODEn), hidrojen, asetilen ve biyoyakıtlardır [1,4].

Araştırmalar %100 yenilenebilir enerji sistemine geçişin, farklı teknik ve ekonomik zorluklara sahip karmaşık bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır [5-7]. Belirlenen hedeflere ulaşabilmek adına, enerji verimliliğinin artırılması, birincil enerji tüketiminde tasarruf ve son olarak değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması dahil olmak üzere birçok yaklaşımın beraber gerçekleştirilmesi gerekmektedir [5-7]. Alternatif yakıtların çoğunluğunun, üretim veya tüketim süreçleri ve teknolojilerindeki sınırlamalar nedeniyle hâlâ ticari uygulama ölçeğine ulaşamamıştır. Temel olarak bu, yakıtların yaşam döngüsü boyunca maruz kalması gereken yüksek enerji düşüklüğü veya üretim sürecinin ekonomik uygulanabilirliği ile ilgili problemlerdir. Şu anda ticari olarak kullanılan enerji tek biyokütle olmasına rağmen tüketiminin daha da artması beklenmektedir. Hidrojen, amonyak, metanol, biyodizel, biyogaz vb. atıklardan elde edilen yakıtlar henüz ticari olgunluğa ulaşmamıştır ve mevcut tüketimleri ise oldukça düşük orandadır [8].

2. Fosil yakıtlar

Fosil yakıtların hızla tükenmesi ve ham petrolün birim fiyatlarının giderek artması, otomotiv endüstrisini ve araştırmacıları alternatif enerji kaynakları

arayışına yöneltmiştir. Bilindiği üzere petrol rezervlerinin azlığı gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarını daha cazip hale getirecektir. Hidrokarbon veya fosil yakıtlar, günümüz dünyasının toplam tedarik edilen enerjisinin %80'inden fazlasını oluşturmaktadır. Dünya petrol rezervlerinin yaklaşık %65,5'i Orta Doğu ülkelerinden tedarik edilmektedir. Şekil 2, 2015-2035 yılı için farklı yakıt türlerinin geçmiş ve gelecekteki paylarını göstermektedir. Petrol ve kömürün payları 2035 itibarıyla sırasıyla %29 ve %24'e düşerken gaz yakıtın payı %1 artmıştır. Biyoyakıtlar da dahil olmak üzere yenilenebilir enerjinin payı, 2015'te %3'ten 2035'te %10'a dramatik bir şekilde artarak, 2020'lerin başında nükleer enerjiyi ve 2030'ların başında da hidrolik enerjiyi geride bırakacağı düşünülmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerjideki yıllık büyümenin önümüzdeki yirmi yıl boyunca yıllık %7,1 oranında artması beklenmektedir [9].



Şekil 2. Farklı yakıt türlerinin geçmiş ve gelecekteki payları [9].

Fosil yakıtların giderek artan çevresel sorunlar, yakın gelecekte tükenen olması küresel anlamda gerçek bir kaygı yaratmaktadır. Özellikle sanayide ve otomotiv sektöründe artan bu enerji talebini karşılamamanın en uygun yolu alternatif yakıtların kullanılmasıdır.

2.1. Alternatif Yakıtlar

Tüm uluslarda olduğu gibi ekonomik gelişmenin en önemli dayanaklarından biri enerji ihtiyacına olan talebin iyi bir şekilde karşılanmasıdır. Enerji

kaynaklarının ise; sürdürülebilir, düşük maliyetli ve çevresel zararlarının az olması istenir. Bu durumda alternatif yakıtlar, petrol harici kaynaklardan elde edilmektedir. Genel olarak alternatif yakıtlar, benzin ve dizel dışında araçlarda kullanılan tüm yakıtları kapsamaktadır. Mevcut benzinli veya dizel içten yanmalı motorlarda çok az değişiklik yapılarak veya hiç değişiklik yapılmadan kullanılabilir çeşitli alternatif yakıtlar bulunmaktadır. Bu yakıtların avantajları arasında, petrol türevi yakıtlara göre daha temiz yanma, daha düşük emisyon üretme ve yenilenebilir biyokütle kaynaklarından elde edilmesidir. Böylece fosil yakıtlara olan bağımlılığın giderek azalmasına büyük oranda katkı sağlayacaktır. Ancak alternatif yakıtların mutlaka yenilenebilir bir enerji kaynağı ile ilişkili olması gerekmez. Her yakıtın maliyet, kullanılabilirlik, çevresel etki, araç/motor modifikasyonu, güvenlik ve mevzuatla ilgili kendine özgü avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Alternatif yakıtlara olan ilginin başlıca nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [3]:

- Alternatif yakıtlar yerli kaynaklardan üretilerek dışarıya ve petrole olan enerji bağımlılığını azaltmaktadır.
- Alternatif yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanılmasıyla taşıtın zararlı egzoz emisyon değerleri azaltılmış ve buna bağlı olarak yaşamsal atmosferik hava kalitesi artırılmış olur.
- Bazı alternatif yakıtlar, petrol türevi ürünlerine göre daha düşük birim ücretle çalışma potansiyeline sahiptir.

Ancak alternatif yakıtları açığa çıkan enerji ihtiyacını karşılamak için kullanma planlanıyorsa aşağıdaki kriterler dikkate alınmalıdır.

- Yakıtın hacimsel ve kütleli enerji yoğunluğu yüksek olmalıdır.
- Üretim sahasından teslimat noktalarına ulaşım kolaylığı.
- Yakıtın uzun depolama ömrü, minimum taşıma ve dağıtım sorunları.
- Çevresel uyumluluk: Alternatif yakıt kullanırken, düzenlenmiş emisyonlar ve düzenlenmemiş emisyonlar açısından motor performansının önemli ölçüde artması bekleniyor.
- Yatırım maliyeti: Operasyonun petrol yakıtıyla rekabet edebilmesini sağlamak için mevcut bir motora yapılan ek yatırım küçük olmalıdır.
- Mevcut motorların modifikasyonu: Motor modifikasyonu basit, ucuz ve kolayca geri döndürülebilir olmalıdır.

İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılan yakıtları motor türüne göre aşağıdaki gibi sınıflandıracak olursak [10]:

- Alternatif yakıt olarak benzinli motorda; Alkol benzin karışımı, Alkol, Metan, Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve Hidrojen.
- Dizel motorlarda ise; Alkol dizel yakıtı karışımı, Bitkisel yağ dizel yakıtı karışımı, Bitkisel yağlar, Sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ve Sıvılaştırılmış petrol gazı.

Bu bölümde, içten yanmalı motorlardan kaynaklanan enerji ihtiyacını karşılamada ve hem de kirletici emisyonların azaltılması amacıyla alternatif yakıtları; buji ile ateşlemesi motorlarda ve sıkıştırma ateşlemeli motorlarda yapısal bir değişiklik gerektirmeden kullanılabilen yakıtlar üzerinde durulacaktır.

- **Alkoller**

Alkoller, içten yanmalı motorlarda çoklu yakıt olarak benzinle karıştırılarak kullanılır. Alkol içeriğinde Etanol (C_2H_5OH) ve Metanol (CH_3OH) gibi kendine ait O_2 bulundurduğundan oksijenli yakıtlar olarak da adlandırılırlar. Metanol, etanol ve dimetil eter (DME) gibi alkol türevi yakıtlar, içten yanmalı motorlar için halihazırda başarıyla kullanılmıştır. Ancak Uygulama sınırlamaları nedeniyle, alkol yakıtları genellikle %20'yi aşmayan yakıt karışımlarına dahil edilmiştir. Alkol karışımı yakıtların emisyon azaltımı fosil yakıtlara göre kayda değer düzeydedir. Alkoller, daha yüksek oktan sayısına sahip oldukları için benzine alternatif veya katkı maddesi olarak kabul edilirler. Kurşunsuz yakıtlara olan eğilim, benzinli motorlarda aşırı egzoz valfi aşınmalarına neden olduğundan, sertleştirilmiş valf yuvalarının ve valflerin uydu kaplaması eklenmesiyle iyileştirilmiştir. Ayrıca oktan sayısının yüksek olması nedeniyle, özellikle metil tersiyer bütül eter (MTBE), metanol/etanol karışımlarının benzinle karıştırılması bu alanda alternatif yakıt kullanımının artmasına yol açmıştır.

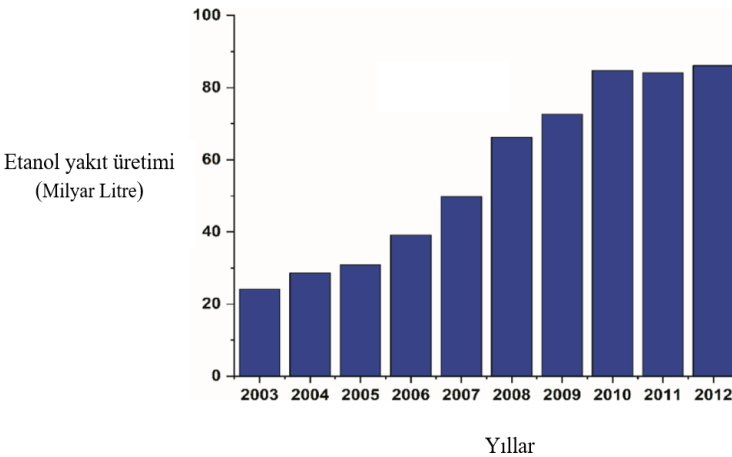
- **Metanol**

Alkoller 19. yüzyıldan beri içten yanmalı motorlara yönelik yakıt olarak kullanılıyor. Kimyasal formülü CH_3-OH 'dir. Metanol çok hafif hissedilebilen, renksiz, kokusuz zehirli bir alkol türüdür. Benzine ve motorine göre yüksek tutuşma aralığına sahiptir. Bu nedenle depodaki doymuş buhar, çevre sıcaklıklarında parlayıcı etkiye sahiptir. Stokiyometrik karışımda kütleli hava miktarı 6.44 kg'dır. Bu oran emisyonlarda olumlu etkiye karşılık alt ısı değerinin benzine yakıtına göre 2.2 kat daha düşük olması da bir dezavantajdır. Gizli buharlaşma ısısının çok yüksek olması nedeniyle manifold içerisinde buhar fazına dönüşmesi benzine göre 4 kat fazla ısı çekmesine neden

olmaktadır. Aksi volümetrik verimi artırmak için emme monifolduna harici ısı verilmelidir aksi halde HC emisyonlarında artmaya sebep olacaktır. Bununla beraber sıvı yakıtın silindir cidarlarındaki yağ filmine olumsuz etkisine ilave kartere sızan sıvı metanolün motor yağının fiziksel ve kimyasal özelliğinin bozulmasına neden olmaktadır [7].

- **Etanol**

Ticari olarak etanol olarak bilinen etil alkol, otomobil yakıtı olarak kullanılmasını destekleyen birtakım özelliklere sahiptir. Etanol şeker üretiminde bir yan üründür. Sera gazı emisyonlarını azaltma potansiyeli bulunan kaynaklardan üretildiği için yenilenebilir bir yakıt olarak değerlendirilebilir. Etanolün buji ateşlemeli motorlarda kullanımı 1950'li yıllardan itibaren ABD, Almanya ve Fransa gibi ülkelerde başlamıştır. Birinci Dünya Savaşı ve İkinci Dünya Savaşı sırasında etanol, askeri araçların yanı sıra ticari araçlarda da yedek yakıt olarak kullanılmıştır. Günümüzde başta Brezilya başta olmak bir çok ülkede benzinle karıştırılarak kullanılan önemli bir yakıttır [6]. Şekil 3'de görüldüğü üzere dünya etanol yakıt üretimi 2003-2012 yılları arasında önemli oranda artmıştır. Etanol renksiz, saydam hafif kokulu bir sıvıdır. Kimyasal formülü C_2H_5-OH olan etanol motor özellikleri açısından yaklaşık olarak metanolla benzer etkiye sahiptir. Buharlaşma gizli ısısı metanolden 1.3 kat daha azdır. Buharlaşma sırasında emme manifoldundan daha az ısı transferi, soğukta ilk harekete geçişte daha etkilidir. Enerji potansiyelinin metanole göre daha yüksek olması daha küçük hacimli yakıt deposunun kullanılmasına olanak sağlamıştır [10].



Şekil 3. Dünya etanol yakıt üretimi [11].

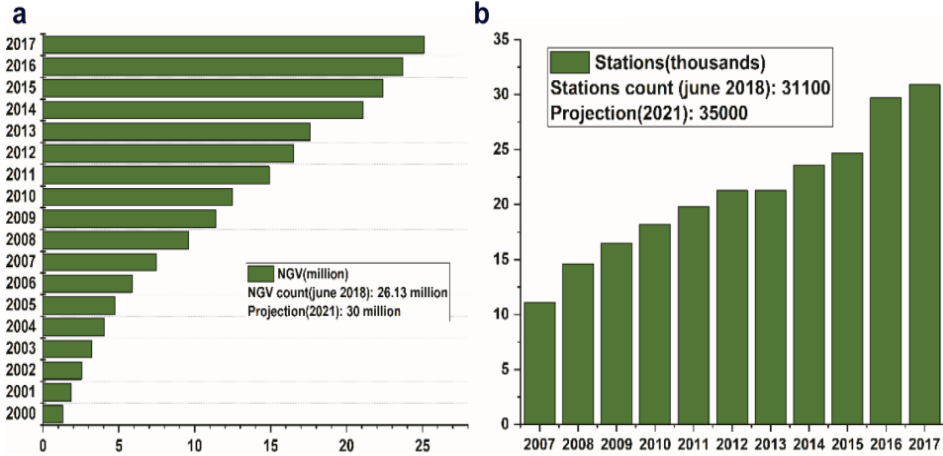
Alkolün içten yanmalı motor yakıtı olarak dönüştürülebileceği çeşitli yöntemler aşağıda sıralanmıştır [12] .

- Alkol / dizel yakıt çözümleri
- Alkol / dizel yakıt emülsiyonları
- Alkol fümigasyonu
- Çift enjeksiyon
- Alkollerin kıvılcımla ateşlenmesi
- Tutuşmayı iyileştiren katkı maddeleri

• Doğal gaz (CNG)

Yapısında büyük oranda metan (CH_4) ve metana göre nispeten daha az oranda olmak üzere, etan (C_2H_6), propan (C_3H_8), azot (N_2), karbondioksit (CO_2), hidrojen sülfür ile helyum (He) gazlarından oluşan renksiz ve kokusuz bir gazdır. Doğal gaz, fosil bir yakıt olmasına rağmen, petrole tercih edilen bir alternatif enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Doğal gaz fosil bir yakıt olmasına rağmen diğer fosil yakıtlarda bulunan zararlı bileşiklerin benzerlerini içermemesi nedeniyle petrol ve kömürden farklı bir yakıttır. Doğal gaz oldukça düşük seviyede kükürt dioksit oranına sahiptir. Kurşun içermez, düşük oranda nitrojen dioksit içeriğine, partikül içeriğine ve yine düşük oranda karbon monoksit içeriğine sahiptir. Ayrıca doğalgazın oktan sayısı yüksek olduğundan oktan seviyesini yükseltmek için kanserojen katkı maddeleri gerektirmez. Doğada doğal gaz rezervleri ham petrole nispeten fazladır. Mevcut rezervlerin gelecekte yüzlerce yıl boyunca gerekli arzın devam edeceğine ve gelecekte ham petrole alternatif bir yakıt olabileceği anlamına gelir. Doğal gaz rezervleri şu anda bol olsa da arzın yine gelecekte sonlanacak olması kaçınılmaz bir gerçektir. Bu nedenle diğer alternatif yakıt kaynaklarının geliştirilmesi oldukça önemlidir. Doğal gazın sıkıştırma oranı daha yüksek olduğu için termal verimliliği benzinli motorlara göre daha yüksektir. Doğal gaz benzer şekilde kömürden (45 MJ/kg ilişkili) birim kütle başına anlamlı derecede gelişmiş bir yanma entalpisine sahiptir. Yakıt olarak mükemmel özelliklere sahiptir. Benzin ve diğer içten yanmalı motorlarda kullanılabilecek en taze alternatif yakıttır. Ham petrole nispeten sürdürülebilir olmadan dolayı otomobiller doğal gazlı motorlarla çalıştırılabilmektedir. Dünya doğal gazlı taşıtlar (NGV) istatistiklerine göre Şekil 4'de dünya genelinde NGV'lerin ve dolum istasyonlarının sayısı her geçen gün arttığı görülmektedir. 2021 yılında NG'li araç sayısının öngörüsü 30 milyon olarak hesaplanmıştır. Yine NG yakıt istasyonununun 2021 yılı tahmini 35.000 adettir. Günümüze gelindiğinde doğal gaz ile çalışan motorlu araçlar tek depo ile 483 km'nin üzerinde menzile sahiptir. Doğal gazlarda da diğer fosil yakıtlar gibi temiz bir enerji kaynağı

değildir. Doğal gaz, diğer fosil yakıtlara göre doğada daha kolay bulunabildiği için motorlu taşıtlarda tercih edilmektedir. Tüm dünyada doğal gaz kullanan araç sayısı giderek artmaktadır [11].



Şekil 4. Dünya genelinde yıllara göre (a) Doğal gazla çalışan araba sayısı ve (b) Doğal gazla dolum yapan istasyon sayıları [11].

• Hidrojen

Hidrojen evrende her zaman birden fazla formda mevcuttur. Doğal gaz, su ve petrol gibi diğer maddelerde doğal olarak bulunur. En büyük avantajlardan biri 120 ila 142 MJ/kg arasında değişen yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasıdır. Üretim süreçlerinin gelişmesiyle birleşen yüksek enerji yoğunluğu, alternatif yakıtın yanı sıra gelecekte enerji ihtiyacını karşılamada ve depolamada hidrojeni teşvik etmektedir. Yakıt hücreleri hem taşınabilir hem de sabit kullanımda hidrojen kullanımı için en umut verici çözüm olarak görünmektedir. Ancak hacimsel enerji içeriğinin düşük olması nedeniyle verimli uygulamaların daha da artabilmesi için hidrojenin -253 C'de ya da 700 bar da sıvılaştırılması sırasında harcanan kayıp enerjinin azaltılması ön plana çıkmaktadır [8]. Hidrojen gazı havadan yaklaşık 14 kat daha hafif ve dünyadaki en temiz yakıt olarak bilinmektedir. Hidrojenin yüksek tutuşma limiti (%4-75) ve düşük ateşleme enerjisi nedeniyle içten yanmalı motorlarda saf hidrojen olarak kullanılabilmesi için özel tasarımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Yakıtlara %20 oranında hidrojen ilavesinin yanmayı, emisyonları ve performansı iyileştirdiği kanıtlanmıştır. Hidrojen evrende en bol bulunan kimyasal element olmasına rağmen, yeryüzünde doğal, elementel oluşumu nadirdir. Bununla birlikte hidrojen çeşitli hidrokarbonlarda, suda veya sentezlenmiş kimyasallarda bulunabilir [4]. Hidrojenin bazı modifiye ve güvenlik tedbirleriyle içten yanmalı

motorlarda kullanılabilmesi potansiyeli bulunmaktadır. Hidrojenin yakıt özellikleri benzin veya Dizel yakıtla aynı değildir. Bu nedenle araştırmacılar hidrojenin içten yanmalı motorlarda kullanılmasına odaklanıyor.

Kimyasal Denklemi	H ₂	Tutuşma Sınırı % hacim λ	4,1-74 0,15-4,35
C/H oranı	0	Laminer Alev Hızı	2,91 m/s
Mol ağırlığı	2,02	Adyabatik Alev Sıcaklığı	2110 °C
Özgül Kütle Sıvı Gaz	0,07 Kg/dm ³ 0,84.10 ⁻⁴ Kg/dm ³	Difüzyon Katsayısı	0,61 m ² /s
Alt Isıl Değeri	119,93 Mj/Kg	Kaynama Noktası	-252,35 °C
Üst Isıl Değeri	141,86 Mj/Kg	Donma Noktası	-259 °C
Stokiyometrik Oran Hava/Yakıt(Kütlesel) Hava/Yakıt(Hacimsel)	34,32 2,38	Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı	574-591 °C
Buharlaşma Isısı	0,447 Mj/Kg	Oktan Sayısı	130

Tablo 1. Hidrojen gazının fiziksel ve kimyasal özellikleri [10].

- **Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG/Propan)**

LPG, petrol ve doğal gaz yatakları arasında doğal olarak oluşur. Doğal gaz piyasaya sunulmadan önce bileşiminde LPG, su buharı ve diğer yabancı maddeleri içerir. LPG, doğal gazın saflaştırılmasından veya ham petrolün rafine edilmesinden üretilmektedir. Normal sıcaklık ve basınçta sıvı yerine buhar olan, ancak orta basınçta sıvıya dönüşen hidrokarbonlardan oluşur. Ana bileşeni propandır ve bazen bu isimle anılır. Propan (C₃H₈) ve bütan (C₄H₁₀) gazının bir karışımı olan sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), içten yanmalı motorlar için tercih edilen bir yakıttır. LPG'ye olan bu talep, yakıtın, kıvılcımla ateşlemeli motorlar için benzer güç çıkışı sağlayan benzin ısıtma değeriyle karşılaştırılabilecek yüksek oktan sayısı gibi birçok özelliğinden kaynaklanmaktadır. Diğer özellikler arasında, normal sıcaklık aralığında doymuş buharın nispeten düşük basıncı nedeniyle, LPG'nin sıvı halde taşınması ve depolanması olasılığı, daha iyi egzoz gazı emisyonları ve benzinle karşılaştırıldığında enerji birimi başına daha düşük maliyet yer almasından kaynaklanır. LPG'nin bileşenlerinde

yaklaşık %65–70 oranında propan bulunur ve diğer bileşenler de farklı oranlarda mevcuttur. Propanın kalorifik değeri benzine göre daha yüksektir. Ayrıca yoğunluğu düşük olması ve kaynama noktasını sıcaklığını azaltır. Otomatik ateşleme sıcaklığı da benzinden daha yüksektir. Propanın buhar formunda kullanılması, performansın yanı sıra motor ömrünü de artırır. Performans ölçümüne göre, propanla yapılan çalışmalar fren özgül yakıt tüketimini (BSFC) düşürmüştür. Ancak daha yüksek oktan sayısı için gelişmiş sıkıştırma oranlarıyla uygulanabilmektedir. Propan yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir ve nispeten düşük maliyetlidir. Bu nedenle alternatif yakıt olarak propan, benzin yerine oldukça iyidir [11]. Benzi motorlarda alternatif yakıt kullanımı için olumlu alternatif yakıt özelliklerine karşılık, LPG'nin düşük setan sayısı, özellikle yüksek çevrimsel değişimden dolayı, dizel motorlarda büyük oranlarda kullanılmasını zorlaştırmaktadır [13].

- **Biyoyakıtlar**

Biyoyakıtlar; biyokütleden yapılan yakıtlardır. Biyokütle ise biyoenerjinin kaynağıdır. Biyokütle bitkilerden ve hayvanlardan elde edilen organik bir malzemedir. Özellikle odun ve odun atıkları, tarım ve orman ürünleri, tarım ve gıda endüstrisi atıkları, belediye katı atıkları, kanalizasyon, endüstriyel ve hayvan artıkları gibi çeşitli organik maddelerden tedarik edilebilir. Alternatif yakıtlar yaygın olarak biyoyakıtlar olarak bilinen biyokütle bazlı yakıtların, fosil yakıtlara göre birçok avantajı vardır. Birincisi, yaygın biyokütle kaynaklardan elde edilen biyoyakıtlar kolaylıkla bulunabilmektedir. İkincisi, biyoyakıtların uygulanması karbonun hava ile yakıt arasında dolaşmasını sağlayarak, sera gazı emisyonlarını ve enerji darlığı gibi sorunları aynı anda çözülebilir. Üçüncüsü, biyodizel ve etanol gibi çoğu biyoyakıt, içten yanmalı motorlarda hiçbir değişim olmaksızın veya küçük değişikliklerle etkili yanma için uygun fizikokimyasal özelliklere sahiptir. Özellikle biyoyakıtların çoğu, yakıtın yanmasına yardımcı olabilecek belirli bir oranda moleküler oksijen içermektedir [14]. Biyodizel olarak bilinen ham formdaki bitkisel yağlar, içten yanmalı motorlar için yakıt olarak kullanılabilir. Ancak motor aşınma sorunları ve zayıf yanma performansının yanı sıra zararlı yüksek emisyon seviyeleri, ham yağlardaki trigliseritleri, yağ asidi esterlerine dönüştürmek için ekstra yakıt işlemeyi gerektirir [15].

3. SONUÇLAR

Sonuç olarak; fosil yakıtların sürekli kullanımı, atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun giderek artırmaya devam edeceği bir gerçektir. Bu nedenle iklim değişikliğini yavaşlatmak, sürdürülebilir enerji kaynakları geliştirmek ve

tüm canlı eko sistem için dünya genelinde, fosil yakıtlardan yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarına geçişin desteklemesi gerekmektedir. Bu çalışmada literatür destekli birçok alternatif yakıtlar hakkında genel bilgiler verilmeye çalışılmıştır. Ayrıca günümüzde birçok otomotiv şirketi farklı türde (LPG, CNG, elektrikli, biyoyakıt vb.) alternatif yakıtla çalışan araçlar üretip satmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Y. Chen et al., ‘Emissions of automobiles fueled with alternative fuels based on engine technology: A review’, *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 5, no. 4, pp. 318–334, 2018, doi: 10.1016/j.jtte.2018.05.001.
- [2] A. Cernat, C. Pana, N. Negurescu, G. Lazaroiu, C. Nutu, and D. Fuioreescu, ‘Hydrogen—an alternative fuel for automotive diesel engines used in transportation’, *Sustain.*, vol. 12, no. 22, pp. 1–21, 2020, doi: 10.3390/su12229321.
- [3] T. Theodoridis., J. Kraemer, No
主観的健康感を中心とした在宅高齢者における
健康関連指標に関する共分散構造分析 Title.
- [4] J. Martins and F. P. Brito, ‘Alternative fuels for internal combustion engines’, *Energies*, vol. 13, no. 15, 2020, doi: 10.3390/en13164086.
- [5] Rüstemli S., Dinçer F., Çelik M., Cengiz M. S., Fotovoltaik Paneller: Güneş Takip Sistemleri ve İklimlendirme Sistemleri, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt:2, Sayı:2, s. 141–147, Bitlis, 2013.
- [6] Kaynaklı, M., Palta, O., Cengiz Ç. Solar Radiation and Temperature Effects on Agricultural Irrigation Systems, *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 6(1), 53-58. 2018.
- [7] Kaynaklı, M., Palta, O., Yurci, Y., Cengiz, Ç. Cooperation of Conventional Electric Power Grids and Smart Power Grids, *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 11(6), Ver.IV, 23-27. 2016.
- [8] H. Stančin, H. Mikulčić, X. Wang, and N. Duić, ‘A review on alternative fuels in future energy system’, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 128, no. May, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.109927.
- [9] C. W. Mohd Noor, M. M. Noor, and R. Mamat, ‘Biodiesel as alternative fuel for marine diesel engine applications: A review’, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 94, no. May, pp. 127–142, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.05.031.
- [10] R. Kus, ‘Motorlu taşıtlarda alternatif yakıt kullanımı’, no. December, 2017.
- [11] N. I. Masuk, K. Mostakim, and S. D. Kanka, ‘Performance and emission characteristic analysis of a gasoline engine utilizing different types of alternative fuels: A comprehensive review’, *Energy and Fuels*, vol. 35, no. 6, pp. 4644–4669, 2021, doi: 10.1021/acs.energyfuels.0c04112.
- [12] B. Bailey and C. Colucci, ‘RESEARCH AND DEVELOPMENT ON THE UTILIZATION OF ALCOHOL’, vol. 10, no. 213, pp. 273–278, 1997.

- [13] B. Ashok, S. D. Ashok, and C. R. Kumar, 'ORIGINAL ARTICLE LPG diesel dual fuel engine – A critical review', *Alexandria Eng. J.*, vol. 54, no. 2, pp. 105–126, 2015, doi: 10.1016/j.aej.2015.03.002.
- [14] Y. Qian, S. Sun, D. Ju, X. Shan, and X. Lu, 'Review of the state-of-the-art of biogas combustion mechanisms and applications in internal combustion engines', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 69, no. November 2016, pp. 50–58, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.11.059.
- [15] J. M. Bergthorson and M. J. Thomson, 'A review of the combustion and emissions properties of advanced transportation biofuels and their impact on existing and future engines', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 42, pp. 1393–1417, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.10.034.

Bölüm 8

DERİN ÖĞRENME KULLANILARAK OTOMATİK ASMA YAPRAKLARININ SINIFLANDIRILMASI

Muhammet ÇAKMAK¹

ÖZET

Asmalardan üzüm ve asma yaprağı üretimi sağlanmaktadır. Asmanın meyvesi olan üzüm, sirke ve alkol yapımında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Asma yaprakları gıda olarak tüketilir ve hastalıkların tedavisinde kullanılan vitamin ve mineraller açısından zengindir. Asma yaprakları, çeşitli bireysel ve ticari alanlarda kullanılmak üzere yılda bir kez hasat edilir. Asma yaprağının çeşidi, tadı, fiyatı ve kalitesi farklılık göstermektedir. Toplanan asma yapraklarını ayırmak için bilinen yöntem, vasıflı bir işçinin asma yaprağını kişisel gözlem yoluyla tanımlamasıdır. Yavaş ve manuel tespit yöntemleri ve uzman becerisinin etkisi, asma yaprağı türlerinin tanımlanmasını zorlaştırmaktadır. Bilgisayar destekli teşhis sistemleri türlerin sınıflandırılması için mükemmel bir çalışma alanıdır. Görüntü sınıflandırmada kullanılan klasik makine öğrenmesi yöntemleri, manuel özellik çıkarımı gerektirir. Ancak derin öğrenme yöntemleri, görüntü özelliklerini bağımsız olarak çıkarır ve ön işleme gerek kalmadan çalışır. Bu çalışma, asma yapraklarının sınıflandırılması için EfficientNet B0 derin öğrenme modelini önermektedir. Önerilen derin öğrenme mimarisi, diğer iyi bilinen derin öğrenme mimarileriyle karşılaştırıldı. Eğitim modelleri için asma yaprağı türleri veri seti kullanıldı. Tüm derin öğrenme modelleri 3000 görüntü ile eğitildi. Önerilen EfficientNet B0 modeli, transfer öğrenme ve ince ayar yöntemleri kullanılarak eğitilir. Elde edilen sonuçlara göre EfficientNet B0 modeli en iyi doğruluğa sahiptir. Önerilen EfficientNet B0 modeli, klasik CNN ve son teknoloji ürünü MobileNet V2, VGG19, ResNet152 ve Inception V3 modelleriyle karşılaştırıldı. EfficientNet B0 derin öğrenme modeli %99,67 ile en yüksek doğruluğa ulaştı.

1- GİRİŞ

Asma yaprakları Türk ve Akdeniz yemek kültürlerinde kullanılan önemli bir gıda maddesidir. Asma yaprakları konserve olarak saklanabilir, salamura edilebilir ve daha sonra tüketilmek üzere dondurulabilir. (Çalkan Sağlam ve

¹ Dr. Öğr. Gör.; Sinop Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. mcakmak@sinop.edu.tr ORCID No: 0000-0002-3752-6642

Sağlam 2018). Ticari gıda endüstrisinde kullanılan asma yaprakları üzüm kadar pahalı olabilir. Asma yaprakları kalınlık, şekil, dilimlilik ve tüylülük gibi çok çeşitli özellikler sergiler. Yemek pişirmek için doğru yaprakları seçmek gerekir. Yaprak seçiminde yaprağın lekeli, tüylü, kalın veya fazla dilimlenmiş olmamasına dikkat edilmelidir. Daha lezzetli yemek pişirmek için yaprakların ince, tüysüz, lekesiz ve ince damarlı olması gerekir (Pavlešić ve ark. 2022). Asma yapraklarının doğru tanımlanması zaman kaybını önler. Ayrıca sürdürülebilir tarıma katkı sağlar. Yenilebilir asma türlerinin diğerlerinden ayrılması gerekmektedir. Uzman olmayanlar için tür tespiti zordur. Asma yapraklarını doğru şekilde sınıflandırabilen otomatik ve gelişmiş sistemlerin varlığı hız, zaman ve maliyet açısından olumlu katkı sağlayacaktır (Apostolidis ve ark. 2022).

Uzmanlar, yaprakların şeklini ve yapısını inceleyerek yenilebilir asma yaprağı türlerini ayırt edebilmektedir (Kupe, Ercisli ve ben Ayed 2020; Sicard ve ark. 2014). Genetik faktörlerin yanı sıra ısı, ışık, nem gibi çevresel faktörler de yenilebilir asma yapraklarının yapısını ve gelişimini etkiler. (Yu ve ark. 2020). Bazı türler arasındaki benzerlikler yaprakların ayırt edilmesini zorlaştırmaktadır. Optik yöntemler, yenilebilir asma yapraklarının sınıflandırılmasını uzmanlar için bile zorlaştırmaktadır. Asma yapraklarının sınıflandırılmasında hız, zaman ve maliyetten tasarruf sağlayan gelişmiş uzman sistemlere ihtiyaç vardır. Gelişen yapay zeka teknolojileri otomatik ve doğru tanıyı kolaylaştırıyor. Ayrıca daha hızlı ve daha doğru sonuçlar sağlar. (Clara Eli-Chukwu 2019).

Günümüzde yapay zekaya dayalı hastalık, verim ve tür tahmini gibi sorunların çözümünde otomatik teşhis sistemleri giderek daha fazla kullanılmaktadır (Clara Eli-Chukwu 2019; Li ve ark. 2020; Manavalan 2020; Patrício ve Rieder 2018). Bitki türlerinin sınıflandırılması son zamanlarda özellik çıkarmaya dayalı makine öğrenme teknikleri geliştirmiştir (Kaya ve Sarıtaş 2019; Koklu ve Özkan 2020; Şekeroğlu ve İnan 2016). Bu yöntemler yaprakların, hastalıkların ve bitki türlerinin morfolojik özelliklerini tanımlamak ve sınıflandırmak için kullanılır (Z. Liu ve ark. 2022). Makine öğrenmesi yöntemi, özellik çıkarma yöntemiyle yaprak görüntülerinin morfolojik özelliklerini elde eder (Chaki ve diğerleri 2019; Du, Wang ve Zhang 2007; Sathya Bama ve diğerleri. n.d.). Manuel özellik çıkarma, elde edilen performansı sınırlar. Yüksek doğruluk ve performans elde edebilmek için daha detaylı bilgi sağlayan otomatik özellik çıkarım sistemlerine sahip yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Derin öğrenme ağları, otomatik özellik çıkarma yöntemlerini kullanarak makine öğrenme yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar elde eder. (Atila ve ark.

2021a; J.W. Tan ve ark. 2020; Ur Rehman ve ark. 2021; Warman ve Fowler 2021; Xiong ve ark. 2021a). Derin öğrenme ağları, görüntüleri girdi olarak kullanır ve görüntülerden otomatik olarak özellikler çıkarır (Kanda, Xia ve Sanusi 2021). Elde edilen özelliklere göre otomatik sınıflandırma yapılır. Literatürde bitki yaprak türlerinin ve hastalıklarının sınıflandırılması ve teşhisinde derin öğrenme ağlarının kullanımı artmaktadır (Arshed ve ark. 2022; Chug ve ark. 2022; Sanida ve ark. 2022; R. Sharma ve ark. 2022; Tripathi ve ark. 2022; Xiong ve diğerleri 2021b). Yenilebilir asma yapraklarının otomatik olarak sınıflandırılması iş gücü ve ekonomik kayıpların önüne geçer. Bugüne kadar asma yaprağı hastalıklarını sınıflandırmak ve tanımlamak için manuel tespit teknikleri ve makine öğrenme yöntemleri kullanıldı. Ancak asma yaprağı sınıflandırmasında özellikle yeni derin öğrenme ağlarının kullanılması konusunda keşfedilmesi gereken boşluklar var. Özellikle daha hızlı sonuç veren, özellik çıkarımı gerektirmeyen, hızlı eğitilen, yüksek performans gösteren modellere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışma asma yapraklarının daha hızlı, daha doğru ve otomatik olarak sınıflandırılması için veri artırma, derin öğrenme ve transfer öğrenme yöntemlerini birleştiriyor. Önerilen EfficientNet B0 derin öğrenme modelinin performansı, klasik CNN ve son teknoloji ürünü MobileNet V2, VGG19, ResNet152 ve Inception V3 modelleriyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir. Materyal ve metot Bölüm 3'de anlatılmıştır. Bölüm 4'te deneysel çalışma sunulmaktadır. Tartışma ve sonuçlar bölüm 5'te verilmiştir. Bölüm 6'da ise çalışmanın sonucu verilmiştir.

Literatür Çalışması

Akıllı sistemler bitki türlerinin ve hastalıkların otomatik ve doğru şekilde sınıflandırılmasını sağlar. Bu durum yetiştiricilerin üretimi artırmasını kolaylaştırıyor. Ayrıca teknik destek altyapısı olmayan çiftçilere yönelik geliştirilecek mobil uygulamalar ucuz ve hızlı çözümler sağlayabilecektir. Yapay zeka tabanlı bilgisayarlı görme teknolojileri, bitki yapraklarının ve hastalıklarının sınıflandırılması ve teşhis edilmesinde daha hızlı ve daha doğru sonuçlar sağlamıştır (Ferentinos 2018a). Literatürde bitki hastalıklarının teşhisi ve bitki yapraklarının sınıflandırılması konusunda pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan genellikle yaprak hastalıklarının sınıflandırılmasında yararlanılmaktadır. Bitki yaprak görüntülerinin sınıflandırılmasına ilişkin literatür taraması Tablo 1'de gösterilmektedir.

Rumpf ve ark. şeker pancarındaki hastalıkları sınıflandırmak için bir makine destek vektörü kullandı. (Rumpf ve ark. 2010). Al-Hiary ve ark. K-Means yöntemini kullanarak beş farklı bitki yaprağı hastalığını kümeledi. Daha sonra

yapraklar renk, doku gibi özellikler çıkarılarak Yapay Sinir Ağları (YSA) ile sınıflandırılmıştır (Atila ve ark. 2021b). Mokhtar ve ark. domates yapraklarında hastalığa neden olan iki farklı virüsü SVM yöntemini kullanarak tespit etmiş ve teşhis etmiştir (Mokhtar ve ark. 2015). Pantazi ve ark. SVM yöntemini kullanarak üç farklı asma yaprağındaki hastalıkları tespit etmiştir (Pantazi ve ark. 2016). Barré ve diğerleri yaprak görüntülerini 3 farklı veri kümesinde sınıflandırmak için CNN tabanlı bir derin öğrenme modeli kullandı. Önerilen modelin doğruluk değeri %98,75'tir (Barré ve ark. 2017). Farklı bir çalışmada Johannes ve ark. üç ana buğday hastalığının erken teşhisi için Naive Bayes sınıflandırıcısı ve görüntü işleme tabanlı aday sıcak nokta tespitinin kullanılmasını önerdi. Önerilen stratejilerini akıllı telefonları kullanarak gerçek dünyadaki saha ortamında test ettiler (Johannes ve ark. 2017). Chen ve diğerleri. bitki hastalıklarını tanımlayan lojistik bir algoritmaya dayalı, kendi kendini uyarlayan bir model kullandı. (Chen, Yin ve Zhang 2020).

Tablo 1. Bitki yaprak görüntülerinin sınıflandırılmasına ilişkin literatür taraması

Çalışma	Yöntem	Resin Sayısı	Sınıf Sayısı	Doğruluk (%)
Ananasın yerinin tespit edilmesi (2023)	Mask-RCNN	240	4	90.05
Asma Yaprığı Hastalığı Tespiti (2022)	CNN-SVM	500	5	97.60
Çay tomurcuklarının sınıflandırılması (2022)	YOLOV3+DenseNet201	819	4	95.71
Elma, Patates, Çilek, Üzüm Sınıflandırılması (2022)	CNN	8875	4	97.00
Yaprakların Sınıflandırılması (2022)	CNN	700	79	97.30
Tıbbi Bitki Yapraklarının Sınıflandırılması (2022)	CNN	4503	12	98.69
Bitki Sınıflandırması (2021)	CNN+SVM, CNN+kNN	1125	15	97.40
Mısır Yaprığı Tespiti (2021)	CNN	1363	4	99.16
Bitki Yaprığı Sınıflandırması (2021)	ANN, SVM	285	15	93.33
Üzüm Yaprığı Hastalığı Tespiti (2020)	CNN	4023	2	97.22
Ağacın Sınıflandırılması Çeşitleri (2020)	Hybrid ANN	516	5	94.04
Üzüm Yaprığı Hastalıkları (2019)	Faster DR-IACNN	4449	4	81.10

Too ve diğerleri, ResNet50, VGG16, DenseNets 121 ResNet101, Resnet152 ve Inception V3'ü kullandı. Sonuçlara göre DenseNet ağı %99,75 ile en yüksek test doğruluğunu sağladı ve diğer modellere göre daha az parametreye ve daha

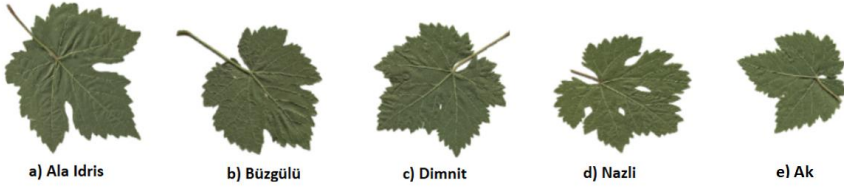
kısa hesaplama süresine sahipti (Too ve ark. 2019). Farklı bir çalışmada yazarlar, farklı özellikler, boyutları kullanarak PlantVillage veri kümesindeki CNN derin öğrenme yöntemini kullandılar. Elde edilen sonuçlar iyi bilinen transfer öğrenme teknikleriyle karşılaştırıldı. Test veri setinde önerilen modelin sınıflandırma doğruluğu %96,46 elde edildi (Geetharamani ve J. 2019). Başka bir çalışmada Ferentinos, AlexNetOWTBn, Overfeat, GoogLeNet ve VGG mimarilerini kullanarak 87.848 görüntüyü 58 farklı hastalık sınıfına ayırdı. Çalışmada VGG derin öğrenme modeli %99,53 ile maksimum doğruluğu elde etmiştir (Ferentinos 2018b). Arsenoviç ve ark. 79.265 görüntü içeren iki aşamalı PlantDiseaseNet modelini kullandı. Öncelikle yaprak bitki türleri belirlendi, daha sonra yapraklar sınıflandırıldı. (Arsenovic ve ark. 2019). Köklü ve ark. CNN ve SVM kullanarak üzüm yapraklarını %97 doğrulukla sınıflandırmıştır (Koklu ve ark. 2022b). Atilla ve ark. bitki yaprak türlerini sınıflandırmak için bir derin öğrenme yöntemi önerdi. EfficientNet modeli diğer modellere göre daha yüksek doğruluk elde etmek etmiştir (Atila ve ark. 2021c).

Literatürde de belirtildiği gibi bitki türlerini sınıflandırmaya yönelik makine öğrenmesi ve derin öğrenme uygulamaları hızla artmaktadır. Ancak asma yaprağı türlerini sınıflandırmak için yeni derin öğrenme mimarilerinin kullanılmasında boşluklar var. Özellikle daha hızlı eğitim veren, daha az parametreye sahip, yüksek performans gösteren modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, asma yaprağı türlerinin sınıflandırılması için CNN EfficientNet B0 ağ modelini önermektedir. Önerilen model doğruluk, hassasiyet, hassasiyet ve F1 skoru performansları açısından klasik CNN, ResNet152, VGG19, MobileNet V2 ve Inception V3 CNN mimarileriyle karşılaştırıldı.

2- MATERYAL VE METOD

Veri Kümesi

Bu çalışmada kullanılan asma yaprakları veri seti 500 görsel içermektedir. Veri setinde farklı boyutlarda ve renkli görseller kullanılmıştır. Sınıflandırma için toplam beş tip asma yaprağı kullanılmıştır. Veri setinde Ak, Ala İdris, Büzgülü, Dimnit ve Nazlı asma yapraklarının her birine ait 100'er adet resim bulunmaktadır. Şekil 1'de asma yaprağı türlerinden örnek resimler gösterilmektedir. Şekil 2'de orijinal veri seti üzerine çeşitli veri zenginleştirme işlemleri uygulandıktan sonra elde edilen örnek görüntüler yer almaktadır.



Şekil 1: Orijinal veri setindeki asma yaprağı türleri: a) Ala İdris b) Büzgülü, c) Dimnit d) Nazlı e) Ak



Şekil 2: Zenginleştirilmiş veri setindeki asma yaprağı türleri: a) Ala İdris b) Büzgülü, c) Dimnit d) Nazlı e) Ak

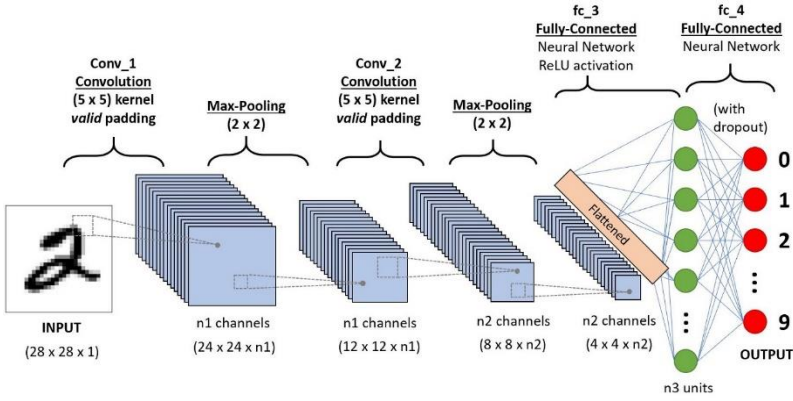
Klasik CNN ve Son Teknoloji CNN Modelleri

Bu çalışmada EfficientNet B0 derin öğrenme ağı önerilmiştir. Önerilen derin öğrenme modeli, klasik CNN ve iyi bilinen ResNet152, VGG19, MobileNet V2 ve Inception V3 mimarileriyle karşılaştırılmıştır. Devam eden bölümlerde çalışmada karşılaştırma için kullandığımız derin öğrenme modelleri kısaca tanıtılmıştır.

Klasik Evrimsel Sinir Ağları (CNN)

Evrimsel Sinir Ağları (ConvNets veya CNN'ler), görüntü ve video tanıma görevleri için tasarlanmış bir tür derin öğrenme sinir ağıdır. ConvNet'ler, önemli özellikleri çıkarmak ve tanımlamak için görsel verileri çoklu evrimler ve havuzlama katmanları aracılığıyla işler ve bu özellikleri tahminlerde bulunmak için kullanır (LeCun ve diğerleri, 1998). ConvNet'ler nesne algılama, nesne sınıflandırma ve görüntü bölümlenme görevlerinde yüksek performans gösterir. Evrimsel Sinir Ağlarının mimarisi genellikle birden fazla katmandan oluşur. Evrimsel katmanlar, giriş verilerine filtreler uygulayarak girişteki belirli özellikleri vurgulayan özellik haritaları oluşturur. Havuzlama katmanları özellik haritalarını alt örnekler. Verilerin uzaysal boyutunu azaltır ve ağı hesaplama açısından daha verimli hale getirir. Aktivasyon katmanları, ağı doğrusal olmamayı sağlamak için önceki katmanın çıkışına (ReLU gibi) bir aktivasyon fonksiyonu uygular. Yoğun katmanlar bir sonraki katmandaki nöronları

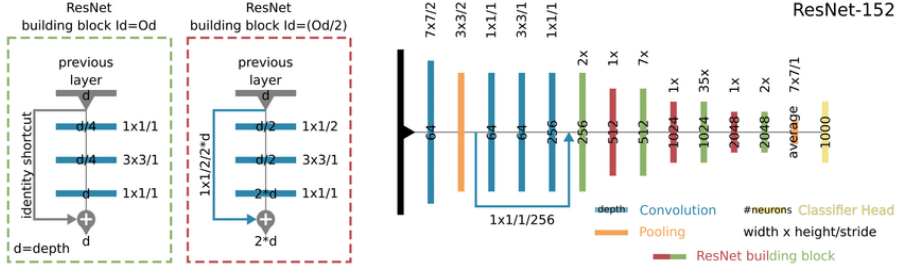
birbirine bağlar ve ağı son tahminde bulunmasını sağlar. Bırakma katmanları, aşırı uyumu önlemek için eğitim sırasında bazı nöronları rastgele kapatır. Şekil 3 CNN'nin katmanlı yapısını göstermektedir.



Şekil 3: Evrişimsel Sinir Ağı'nın katmanları (Krizhevsky, Sutskever, and Hinton 2017)

ResNet152

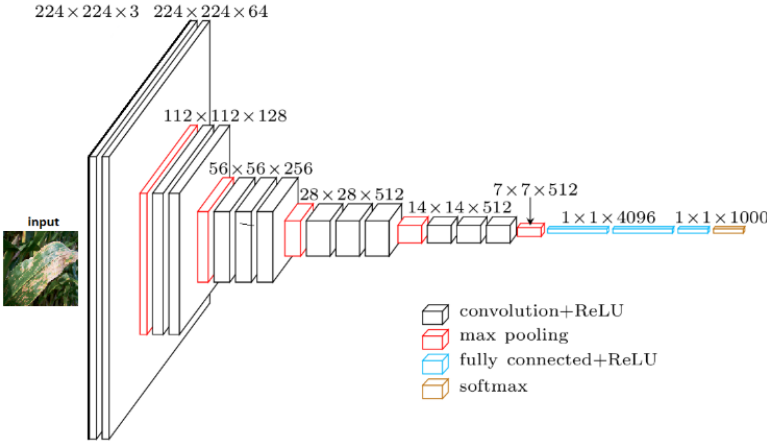
ResNet152, ImageNet veri kümesi üzerinde eğitilmiş bir CNN mimarisidir. ResNet152 mimarisi, artık bağlantılar kullanılarak oluşturulmuş bir ağıdır. Ağ 152 katman derinliğindedir ve her katman bir veya daha fazla evrişimli ve toplu normalizasyon katmanından oluşur. Ayrıca her katmandan sonra ReLU aktivasyon fonksiyonu uygulanır. Ağ, tek bir evrişim katmanı ile başlar ve bunu dört blok katmandan oluşan bir dizi takip eder. Her blok, bir veya daha fazla evrişim ve toplu normalizasyon katmanı içeren birden fazla artık birim içerir. Artık birimler, bir veya daha fazla katmanı atlayan artık bağlantılarla birbirine bağlanır. Ağı son katmanları, bir havuzlama katmanını, FC katmanını ve ağı son çıktısını üreten bir softmax fonksiyonunu içerir (He ve diğerleri, 2015a). Mimarinin temel özelliği, ağı giriş verilerinin karmaşık ve soyut temsillerini öğrenmesine olanak tanıyan artık bağlantılardır. Bu, derin sinir ağlarında yaygın bir sorun olan kaybolan gradyanlar probleminin azaltılmasına yardımcı olur. Şekil 4'te gösterildiği gibi soldaki iki ResNet yapı bloğu, ana devredeki evrişimli işlemleri, çıkarılan özellikleri ve yedekli bağlantıları gösterir.



Şekil 4: ResNet152 mimarisi (Hoeser and Kuenzer 2020)

VGG19

Visual Geometry Group (VGG), derin evrişimli ağlar kullanarak büyük ölçekli görüntüleri tanımak için geliştirilmiştir. VGG19, MaxPooling, evrişim ve tam bağlı katmanlar ve Softmax aktivasyon katmanından oluşan bir tür VGG mimarisidir. VGG-19 modeli, 2014 yılında Büyük Ölçekli Görsel Tanıma Yarışması'nda (ILSVRC) birinci olmuştur [61] VGG19, 138M parametreye sahiptir ve bir milyondan fazla görüntü üzerinde eğitilmiştir. VGG19, parametre sayısını azaltmak için 3x3 çekirdek kullanır. VGG19 19 katman içerir. VGG19'un giriş katmanı görüntü boyutu 224×224 pikseldir. Şekil 5, VGG19 mimarisini göstermektedir.

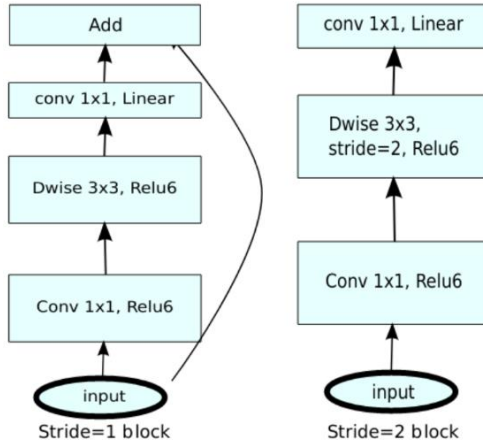


Şekil 5: VGG19'un şematik gösterimi

MobileNet V2

MobileNet V2 derin öğrenme ağı, geleneksel derin öğrenme mimarilerinden farklı bir yapıdır. MobileNet V2, tersine çevrilmiş bir artıklık yapısı kullanır. Bu yapının giriş ve çıkışta ince darboğaz katmanları vardır. MobileNet V2,

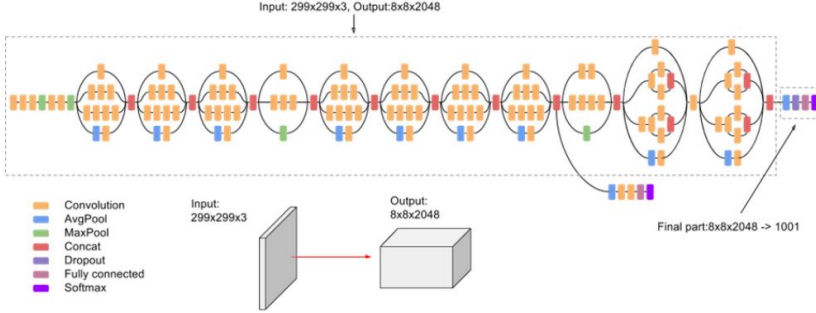
özellikleri filtrelemek için hafif ve derin kıvrımlar kullanır. Dar katmanlardaki doğrusal olmayan durumlar ortadan kaldırılarak performans artırılır. Bu mimaride 32 filtre ve 19 artık darboğaz katmanı bulunmaktadır (Sandler ve diğerleri 2018a). Model, ikisi 3x3 evrişim katmanı ve bir darboğaz katmanı içeren bir dizi ters çevrilmiş artık bloktan oluşur. Genişletme katmanı adı verilen her bloğun ilk katmanı, filtre sayısını artırırken, derinlemesine evrişim katmanı adı verilen ikinci katman, girişe derinlemesine evrişim uygular. Projeksiyon katmanı adı verilen son katman filtreyi azaltır. Mimari aynı zamanda ağın hesaplama karmaşıklığını azaltmak için kullanılan doğrusal bir darboğaz katmanını da içerir. Şekil 6 MobileNet V2 blok yapısını göstermektedir.



Şekil 6: MobileNet V2 blok şeması (Sandler et al. 2018a)

Inception V3

Inception mimarisi, 2014 yılında GoogleNet olarak bilinen, önceden eğitilmiş bir ağ modelidir (He ve ark. 2015b). Inception V3 (Szegedy ve ark. 2015a), Google tarafından geliştirilen 3. Nesil bir derin öğrenme mimarisidir. Inception V3 çarpanlara ayırma yöntemini kullanır. Bu yöntem, derin öğrenme ağının performansını artırmak için parametreleri ve bağlantı sayısını azaltır. Inception V3 derin öğrenme ağı, ortalama havuzlama, maksimum havuzlama, bırakmalar, konkatlar, evrişimler ve FC katmanları dahil olmak üzere yapıların bir kombinasyonundan oluşur. Model, 48 katman derinliğine ve 299x299 piksel görüntü giriş boyutuna sahiptir (Szegedy ve ark. tarihsiz). Modelin mimari gösterimi Şekil 7'de verilmiştir.

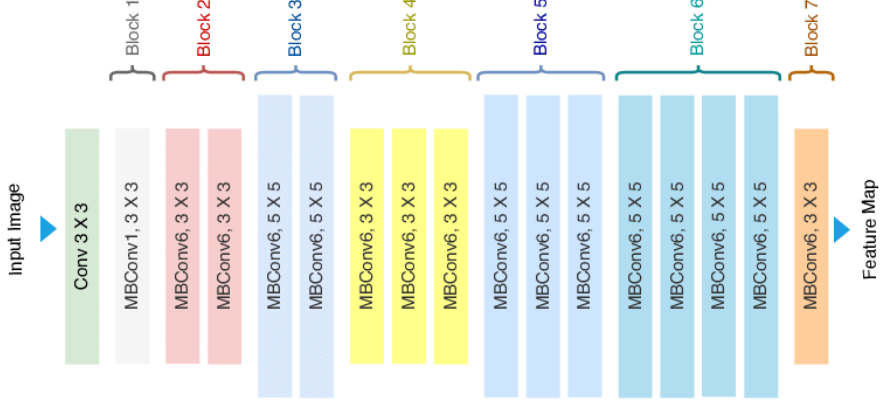


Şekil 7: Şematik Inception V3 mimarisi.

EfficientNet

EfficientNet, 66 milyon parametreye ve %84,4 doğruluğa sahip son teknoloji ürünü bir CNN derin öğrenme modelidir. EfficientNet'in 8 farklı mimari modeli bulunmaktadır. EfficientNet derin öğrenme mimarisinin en belirgin özelliği model sayısındaki artışa rağmen hesaplanan parametre sayısının orantılı olarak artmamasıdır. EfficientNet, klasik etkinleştirme işlevi ReLU yerine Swish'i kullanır (M. Tan ve Le 2019a). Derin öğrenme modelleri karmaşık bir yapıya sahip olsa da önemli olan hesaplama yükündeki başarıdır.

Derin öğrenme mimarilerinin amacı daha küçük bir model kullanarak daha verimli sonuçlar elde etmektir. EfficientNet modeli küçültür. Ayrıca çözünürlük derinliğini ve genişliğini eşit şekilde ölçeklendirir. EfficientNet mimarisi ölçeklendirme yaklaşımını, sabit kaynak kısıtlamasını ve ölçeklendirme boyutunu dengeler. Buradaki amaç çözünürlük, genişlik ve derinlik için uygun bir ölçeklendirme mekanizmasının belirlenmesidir (Szegedy ve ark. 2015b). EfficientNet ters çevrilmiş MBConv darboğazını kullanır. MBConv ile kanallar önce genişletilir, ardından sıkıştırılır. (Sandler ve diğerleri 2018b). MBConv çok daha az sayıda kanalı bağlayarak darboğazlar arasında doğrudan bağlantı kurabilir. EfficientNet modeli, geleneksel katmanlara kıyasla 2D evrişim için kullanılan k çekirdek boyutunu neredeyse k^2 kadar azaltan evrişimlere sahiptir. EfficientNet derin öğrenme modelinin blok yapısı Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8: Şematik EfficientNet B0 mimarisini.

3- DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyisel Kurulum

Derin öğrenme modelleri, Google bulut ortamında GPU destekli bir sistem kullanılarak eğitildi. Eğitim Tesla T4 GPU ve Intel Xeon CPU üzerinde gerçekleştirildi. Keras kütüphanesi ve Python 3 programlama dili kullanıldı.

Eğitim

Bu çalışmada Koklu ve diğerleri tarafından hazırlanan asma yaprakları görüntü veri seti kullanıldı (Koklu et al. 2022b). Orijinal veri setinde veri zenginleştirme yapıldıktan sonra veri seti eğitim, doğrulama ve test olarak bölündü. Orijinal veri kümesindeki verilere yatay döndürme, %20 genişlik kaydırma, %20 döndürme, %20 yükseklik kaydırma ve yakınlaştırma uygulayarak zenginleştirilmiş veri kümesini elde ettik. Zenginleştirilmiş veri kümesi 3000 görüntü içerir. Eğitim veri kümesi için 2400 görüntü, her doğrulama ve test veri kümesi için ise 300 görüntü ayrılmıştır. Genişletilmiş veri setinde eğitim veri setinin %80'i, doğrulama ve test veri setlerinin her biri için %10'luk kısım ayrılmıştır. Test veri kümesi, modellemenin daha önce görmediği verileri içerir.

Performans Metrikleri

Asma yaprağı sınıflandırmasında 5 sınıflı kategorik değerlendirme kullanıldı. Performans, Gerçek Negatif (TN), Gerçek Pozitif (TP), Yanlış Negatif (FN), Yanlış Pozitif (FP) ve karışıklık matrisine göre hesaplanır. Elde edilen bu değerler sırasıyla (2), (3), (4), (5), (6), (7) ve (8) denklemlerinde gösterilmektedir.

$$Sen(k) = \frac{\# TP(k)}{\# TP(k) + \# FN(k)} \quad (2)$$

$$F1Sco(k) = \frac{2 * \# Pre(k) * \# Sen(k)}{\# Pre(k) + \# Sen(k)} \quad (3)$$

$$Acc(k) = \frac{\# TP(k) + \# TN(k)}{\# TP(k) + \# FN(k) + \# TN(k) + \# FP(k)} \quad (4)$$

$$Pre(k) = \frac{\# TP(k)}{\# TP(k) + \# FP(k)} \quad (5)$$

$$AverageSen = \frac{1}{\#classes} \sum_{k=1}^{\#classes} Sen(k) \quad (6)$$

$$AverageAcc = \frac{1}{\#classes} \sum_{k=1}^{\#classes} Acc(k) \quad (7)$$

$$AveragePre = \frac{1}{\#classes} \sum_{k=1}^{\#classes} Pre(k) \quad (8)$$

4- SONUÇ VE TARTIŞMALAR

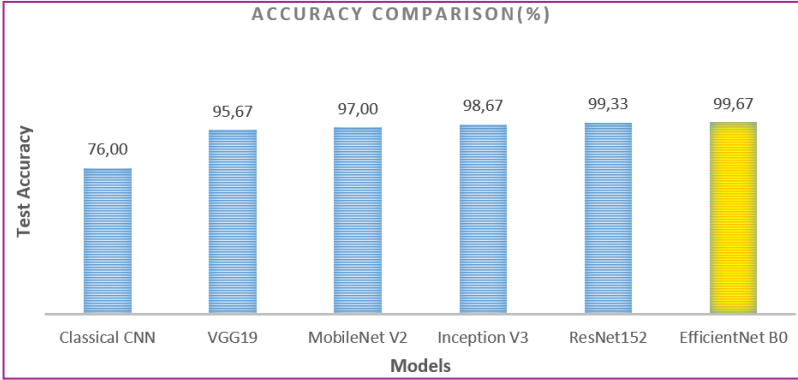
Bu çalışma, EfficientNet B0 mimarisini kullanarak asma yaprağı türlerini sınıflandırmıştır. Önerilen derin öğrenme modelinin başarısı, klasik CNN ve iyi bilinen VGG19, ResNet152, MobileNet V2, Inception V3 mimarileriyle doğruluk, kesinlik, hassasiyet ve F1 skoru performansı açısından karşılaştırılmıştır. En son teknoloji ürünü CNN modelleri, transfer öğrenme ve ince ayar ile eğitildi. Tüm deneysel çalışmalar zenginleştirilmiş veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm modeller için zenginleştirilmiş veri setinden elde edilen ortalama hassasiyet, doğruluk, F1-Skor ve kesinlik değerleri Şekil 9'de gösterilmektedir.

Derin Öğrenme Modelleri	Avg Acc (%)	Avg Sen (%)	F1-Score (%)	Avg Pre (%)
Classical CNN	76.00	76.00	75.03	77.79
VGG19	95.67	95.67	95.65	95.90
MobileNet V2	97.00	97.00	96.98	97.23
Inception V3	98.67	98.67	98.66	98.75
ResNet152	99.33	99.33	99.33	99.34
EfficientNet B0	99.67	99.67	99.67	99.67

Şekil 9: Derin öğrenme modellerinin başarımları

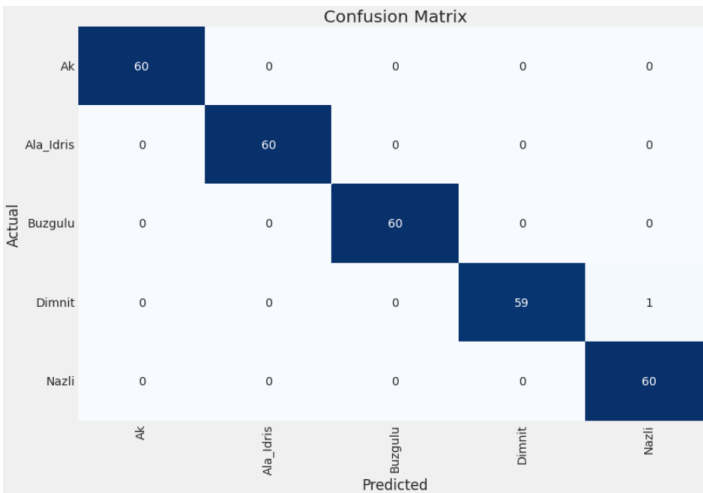
EfficientNet B0 modeli en iyi ortalama doğruluk, hassasiyet, kesinlik ve F1 Puanına sahiptir. Klasik CNN modeli tüm modeller arasında en düşük performansa sahiptir. Transfer öğrenme yöntemini kullanan EfficientNet B0, VGG19, MobileNet V2, Inception V3 ve ResNet152 birbirine yakın performans

değerlerine ulaştı. Transfer öğrenimi, son teknoloji ürünü CNN modellerinin başarı değerlerini artırdı. Tüm modellerin doğruluk değerleri Şekil 9'da gösterilmektedir. Yüksek katman derinliğine sahip ResNet152 modeli EfficientNet B0'a en yakın sonucu vermiştir. Klasik CNN modeli transfer öğrenmeyi kullanmadığı için en az katman yapısına sahiptir ve en düşük doğruluk değerini verir.



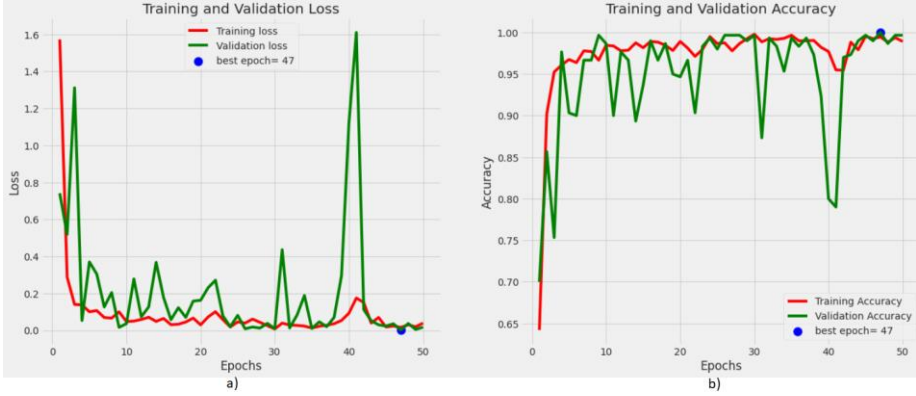
Şekil 10: Derin öğrenme modellerinin doğruluk karşılaştırması

Şekil 11, Efficient B0 modelinin karmaşıklık matrisini göstermektedir. TP, pozitif sınıfın tahminlerindeki doğru tahminlerin oranını verir. EfficientNet B0 modeli tüm sınıflar için yüksek TP'ye ulaştı. Dimnit sınıfında sadece 1 (bir) FN tahmin değeri elde edilmiştir. Bu durum modelin tahmin başarısının yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 11: Artırılmış veri kümesi için EfficientNetB0 Karmaşıklık Matrisi

Şekil 12'de EfficientNet B0 modelinin eğitim ve doğrulama kaybı ve doğruluk değerleri gösterilmektedir. Doğrulama kaybının başladığı yerde erken durdurma (early stopping) çalışmaya başlar. Sonuç olarak erken durdurma daha yüksek performans değerlerinin korunmasını sağlar. Şekil 12a ve 12b'de gösterildiği gibi EfficientNet B0 modeli, doğrulama kaybı ve doğruluk açısından en iyi değerleri 47. Epok'ta elde etti.



Şekil 12 a-b: EfficientNet B0 artırılmış veri setinde eğitim ve doğrulama kaybı ve doğruluğu

SONUÇ

Dengeli bir veri seti oluşturmak ve teşhis başarısını artırmak amacıyla çeşitli veri zenginleştirme teknikleri kullanılarak asma yaprağı sınıfına ait görüntülerin sayısı artırıldı. Önerilen yaklaşım doğrudan asma yapraklarına uygulanabildiğinden optik gözlemin zaman ve maliyet açısından dezavantajlarını ortadan kaldırmaktadır. Önerilen yaklaşım asma yapraklarının tespitini kolaylaştırdı ve daha yüksek başarı elde edildi. Önerilen modelimiz hem doğruluk hem de duyarlılık açısından diğer transfer öğrenme modellerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir. EfficientNet B0 modeli, artırılmış veri setinde %99,67 doğruluk ve hassasiyet elde etti. Geliştirilen derin öğrenme modellerinin mobil ortamlara uygulanması, daha kısa sürede daha etkili sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

REFERANSLAR

- Apostolidis, Kyriakos D., Theofanis Kalampokas, Theodore P. Pachidis, and Vassilis G. Kaburlasos. 2022. "Grapevine Plant Image Dataset for Pruning." *Data* 7(8).
- Arsenovic, Marko et al. 2019. "Solving Current Limitations of Deep Learning Based Approaches for Plant Disease Detection." *Symmetry* 11(7).
- Arshed, Muhammad Asad et al. 2022. "A Light Weight Deep Learning Model for Real World Plant Identification." In *2022 2nd International Conference on Distributed Computing and High Performance Computing, DCHPC 2022*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 40–45.
- Atila, Ümit, Murat Uçar, Kemal Akyol, and Emine Uçar. 2021a. "Plant Leaf Disease Classification Using EfficientNet Deep Learning Model." *Ecological Informatics* 61.
- 2021b. "Plant Leaf Disease Classification Using EfficientNet Deep Learning Model." *Ecological Informatics* 61.
- 2021c. "Plant Leaf Disease Classification Using EfficientNet Deep Learning Model." *Ecological Informatics* 61.
- Barré, Pierre, Ben C. Stöver, Kai F. Müller, and Volker Steinhage. 2017. "LeafNet: A Computer Vision System for Automatic Plant Species Identification." *Ecological Informatics* 40: 50–56.
- Çalkan Sağlam, Özlem, and Hayri Sağlam. 2018. "Türkiye Bağcılığında Tarihsel Bir Bakış; Asma Genetik Kaynaklarının Önemi." *Selcuk Journal of Agricultural and Food Sciences* 32(3): 601–6.
- Chaki, Jyotismita, Nilanjan Dey, Luminița Moraru, and Fuqian Shi. 2019. "Fragmented Plant Leaf Recognition: Bag-of-Features, Fuzzy-Color and Edge-Texture Histogram Descriptors with Multi-Layer Perceptron." *Optik* 181: 639–50.
- Chen, Junde, Huayi Yin, and Defu Zhang. 2020. "A Self-Adaptive Classification Method for Plant Disease Detection Using GMDH-Logistic Model." *Sustainable Computing: Informatics and Systems* 28.
- Chug, Anuradha, Anshul Bhatia, Amit Prakash Singh, and Dinesh Singh. 2022. "A Novel Framework for Image-Based Plant Disease Detection Using Hybrid Deep Learning Approach." *Soft Computing*.
- Clara Eli-Chukwu, Ngozi. 2019. 9 Technology & Applied Science Research *Applications of Artificial Intelligence in Agriculture: A Review*. www.etasr.com.

- Du, Ji Xiang, Xiao Feng Wang, and Guo Jun Zhang. 2007. "Leaf Shape Based Plant Species Recognition." *Applied Mathematics and Computation* 185(2): 883–93.
- Ferentinos, Konstantinos P. 2018a. "Deep Learning Models for Plant Disease Detection and Diagnosis." *Computers and Electronics in Agriculture* 145: 311–18.
- 2018b. "Deep Learning Models for Plant Disease Detection and Diagnosis." *Computers and Electronics in Agriculture* 145: 311–18.
- Geetharamani, G., and Arun Pandian J. 2019. "Identification of Plant Leaf Diseases Using a Nine-Layer Deep Convolutional Neural Network." *Computers and Electrical Engineering* 76: 323–38.
- He, Kaiming, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, and Jian Sun. 2015a. "Deep Residual Learning for Image Recognition." <http://arxiv.org/abs/1512.03385>.
- 2015b. "Deep Residual Learning for Image Recognition." <http://arxiv.org/abs/1512.03385>.
- Hoeser, Thorsten, and Claudia Kuenzer. 2020. "Object Detection and Image Segmentation with Deep Learning on Earth Observation Data: A Review-Part I: Evolution and Recent Trends." *Remote Sensing* 12(10).
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. *SAMI 2017: IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics: Proceedings: January 26-28, 2017, Her' lany, Slovakia*.
- Johannes, Alexander et al. 2017. "Automatic Plant Disease Diagnosis Using Mobile Capture Devices, Applied on a Wheat Use Case." *Computers and Electronics in Agriculture* 138: 200–209.
- Kanda, Paul Shekonya, Kewen Xia, and Olanrewaju Hazzan Sanusi. 2021. "A Deep Learning-Based Recognition Technique for Plant Leaf Classification." *IEEE Access* 9: 162590–613.
- Kaya, Esra, and İsmail Saritas. 2019. "Towards a Real-Time Sorting System: Identification of Vitreous Durum Wheat Kernels Using ANN Based on Their Morphological, Colour, Wavelet and Gaborlet Features." *Computers and Electronics in Agriculture* 166.
- Koklu, Murat et al. 2022. "A CNN-SVM Study Based on Selected Deep Features for Grapevine Leaves Classification." *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* 188.
- Koklu, Murat, and Ilker Ali Ozkan. 2020. "Multiclass Classification of Dry Beans Using Computer Vision and Machine Learning Techniques." *Computers and Electronics in Agriculture* 174.

- Krizhevsky, Alex, Ilya Sutskever, and Geoffrey E. Hinton. 2017. "ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks." *Communications of the ACM* 60(6): 84–90.
- Kupe, Muhammed, Sezai Ercisli, and Rayda ben Ayed. 2020. "Morphological and Biochemical Diversity Among Autochthonous Grape Cultivars." *Erwerbs-Obstbau* 62: 1–7.
- LeCun, Yann, Léon Bottou, Yoshua Bengio, and Patrick Haffner. 1998. "Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition." *Proceedings of the IEEE* 86(11): 2278–2323.
- Li, Zhenbo et al. 2020. "A Review of Computer Vision Technologies for Plant Phenotyping." *Computers and Electronics in Agriculture* 176.
- Liu, Zhixin et al. 2022. "Research Strategies for Single-Cell Transcriptome Analysis in Plant Leaves." *Plant Journal* 112(1): 27–37.
- Manavalan, R. 2020. "Automatic Identification of Diseases in Grains Crops through Computational Approaches: A Review." *Computers and Electronics in Agriculture* 178.
- Mokhtar, Usama, Mona A.S. Ali, Aboul Ella Hassanien, and Hesham Hefny. 2015. "Identifying Two of Tomatoes Leaf Viruses Using Support Vector Machine." In *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer Verlag, 771–82.
- Pantazi, Xanthoula Eirini, Dimitrios Moshou, Alexandra A. Tamouridou, and Stathis Kasderidis. 2016. "Leaf Disease Recognition in Vine Plants Based on Local Binary Patterns and One Class Support Vector Machines." In *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, Springer New York LLC, 319–27.
- Patrício, Diego Inácio, and Rafael Rieder. 2018. "Computer Vision and Artificial Intelligence in Precision Agriculture for Grain Crops: A Systematic Review." *Computers and Electronics in Agriculture* 153: 69–81.
- Pavlešić, Tomislav et al. 2022. "From the Autochthonous Grape Varieties of the Kastav Region (Croatia) to the Belica Wine." *Food Technology and Biotechnology* 60(1): 11–20.
- Rumpf, T. et al. 2010. "Early Detection and Classification of Plant Diseases with Support Vector Machines Based on Hyperspectral Reflectance." *Computers and Electronics in Agriculture* 74(1): 91–99.
- Sandler, Mark et al. 2018a. "MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks." <http://arxiv.org/abs/1801.04381>.
- 2018b. "MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks." <http://arxiv.org/abs/1801.04381>.

- Sanida, Theodora, Dimitris Tsiktisiris, Argyrios Sideris, and Minas Dasygenis. 2022. “A Heterogeneous Implementation for Plant Disease Identification Using Deep Learning.” *Multimedia Tools and Applications* 81(11): 15041–59.
- Sathya Bama, B, S Mohana Valli, S Raju, and V Abhai Kumar. *CONTENT BASED LEAF IMAGE RETRIEVAL (CBLIR) USING SHAPE, COLOR AND TEXTURE FEATURES*.
- Şekeroğlu, Boran, and Yücel Inan. 2016. “Leaves Recognition System Using a Neural Network.” In *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 578–82.
- Sharma, Rahul et al. 2022. “Plant Disease Diagnosis and Image Classification Using Deep Learning.” *Computers, Materials and Continua* 71(2): 2125–40.
- Sicard, Adrien et al. 2014. “Repeated Evolutionary Changes of Leaf Morphology Caused by Mutations to a Homeobox Gene.” *Current Biology* 24(16): 1880–86.
- Szegedy, Christian et al. 2015a. “Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision.” <http://arxiv.org/abs/1512.00567>.
- 2015b. “Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision.” <http://arxiv.org/abs/1512.00567>.
- Szegedy, Christian, Vincent Vanhoucke, Sergey Ioffe, and Jonathon Shlens. *Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision*.
- Tan, Jing Wei et al. 2020. “Deep Learning for Plant Species Classification Using Leaf Vein Morphometric.” *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics* 17(1): 82–90.
- Tan, Mingxing, and Quoc v. Le. 2019. “EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks.” <http://arxiv.org/abs/1905.11946>.
- Too, Edna Chebet, Li Yujian, Sam Njuki, and Liu Yingchun. 2019. “A Comparative Study of Fine-Tuning Deep Learning Models for Plant Disease Identification.” *Computers and Electronics in Agriculture* 161: 272–79.
- Tripathi, Anshul et al. *A Survey: Plant Disease Detection Using Deep Learning*.
- Ur Rehman, Muhammad Zia et al. 2021. “Classification of Citrus Plant Diseases Using Deep Transfer Learning.” *Computers, Materials and Continua* 70(1): 1401–17.
- Warman, Cedar, and John E. Fowler. 2021. “Deep Learning-Based High-Throughput Phenotyping Can Drive Future Discoveries in Plant Reproductive Biology.” *Plant Reproduction* 34(2): 81–89.

- Xiong, Jianbin et al. 2021a. “A Review of Plant Phenotypic Image Recognition Technology Based on Deep Learning.” *Electronics (Switzerland)* 10(1): 1–19.
- 2021b. “A Review of Plant Phenotypic Image Recognition Technology Based on Deep Learning.” *Electronics (Switzerland)* 10(1): 1–19.
- Yu, Xiaojing, Peijian Shi, Julian Schrader, and Karl J. Niklas. 2020. “Nondestructive Estimation of Leaf Area for 15 Species of Vines with Different Leaf Shapes.” *American Journal of Botany* 107(11): 1481–90.

Bölüm 9

SAKARYA HAVZASINDA YER ALAN SAKARYA, BİLECİK VE KÜTAHYA İSTASYONLARININ METEOROLOJİK VERİLERİN TRENDİ

Murat CUMA¹

Ahmet İyad CEYHUNLU²

Gökmen ÇERİBAŞI³

ÖZET

Özellikle son iki yüzyıl içinde insanların yaşadığı hızlı gelişimin iklim üzerinde etkileri sert şekilde ortaya çıkmaktadır. Ulaşım, enerji, ticari ve tarım gibi insan faaliyetlerinden kaynaklı iklim değişikliği ile uyum sağlayabilmek için iklim hidro-meteorolojik parametrelerin analizin çalışmaları dünyanın her yerinde yapılmaktadır. Çalışmaların büyük kısmı sıcaklık, yağış ve nem verilerine odakladığı için diğer parametrelerin üzerinde çalışmaların sayısını arttırmaya ihtiyaç duyulmuştur. Donlu gün sayısı ve Güneşlenme süresi, iklimde büyük öneme sahiptir. Özellikle yaşamamızın bağlı olduğu bitkiler ve diğer canlıların hayat döngüsünde ve sayılarındaki dengenin korunması açısından önemlidir. Bu nedenle, bu çalışmada, 1991-2022 yılları arası, Bilecik, Sakarya ve Kütahya illerini temsil edecek Aylık Toplam Güneşlenme Süresi ve Aylık Donlu Günler Sayısının 30 yıllık verileri analiz edilecektir. Bu çalışmada güneşlenme süresi ile donlu günler sayısı verilerinin trend durumunu incelemek amacıyla, trend analizin klasik yöntemlerden en sık kullanılan Mann-Kendall ve Sen's Slope yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, Mann-Kendall yöntemin sonuçlarına göre Sakarya ilinde Aylık donlu günler sayısında azalan bir trend olduğu, Bilecik ve Kütahya illeri verilerinde ise trend olmadığı sonucuna varılmıştır. Toplam güneşlenme süresi için Mann-Kendall yöntemine göre tüm illerde trend olmadığı sonucuna varılmıştır. Sen's Slope yöntemiyle, Aylık donlu günler sayısında analiz edilen hiçbir istasyonda trend gözlenmemiştir. Toplam güneşlenme süresi için Bilecik istasyonunun verilerinde

¹ İnş. Müh.; Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü. Y215007103@subu.edu.tr ORCID No: M. CUMA 0000-0001-7202-0957

² Dr. Öğr. Üyesi; Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü. ahmetceyhunlu@subu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-3192-6132

³ Doç. Dr.; Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü. gceribasi@subu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-3145-418X

azalan trend olduğu, Sakarya ve Kütahya istasyonlarında artan trend olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler –Sen’s Slope; Sapanca Gölü; İklim Değişikliği; Mann-Kendall; Trend analizi;

GİRİŞ

Sanayi devrimden beri nüfus ve üretim artışı dünyanın kaynaklarının kapasitesini geçtiği, üstelikle insanların hesapsız faaliyetlerden kaynaklanan emisyon ve atıklar git gide arttığı görülmektedir. Öte yandan insan faaliyetlerinin çevreye vermiş oldukları zararlar, bu faaliyetlerin tamamen kalkması durumunda bile, verdikleri zararın düzeltilmesi için uzun süre gerekmektedir [4,8]. Son yıllar içindeki yaşanan hava sıcaklık artışları; dengesiz yağmur yağışından kaynaklanan bazı yerlerde yaşanan seller, diğer yerlerde ise kuraklık olayları; orman yangınları, endemik bitkilerin neslinin tükenmesi, kutup buzullarının erime hızındaki artış ve diğer iklim değişikli etkileri tüm dünyanın dikkatini çekmektedir. [1]

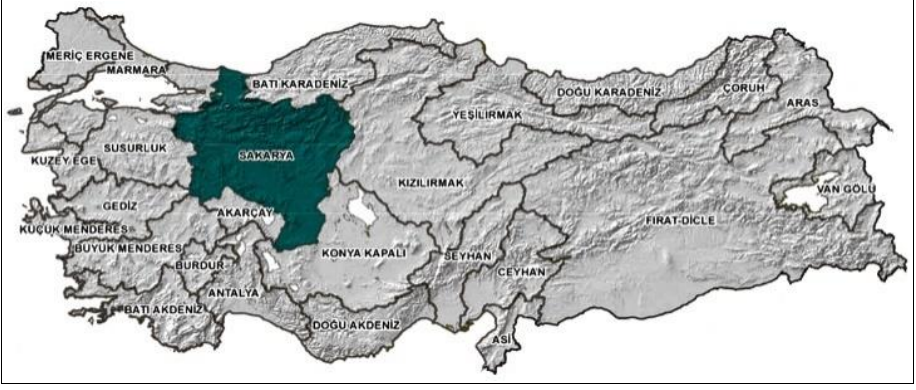
İklim değişikliğinin trend analiz çalışmalarının çoğunda yağış, sıcaklık ve nem gibi parametrelere odaklanılırken bu çalışmada, Aylık Toplam Güneşlenme Süresi ve Aylık Donlu Günler Sayısı verilerinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanı Sakarya meteorolojik havzasındaki yer alan Sakarya, Kütahya ve Bilecik istasyonların verilerin trend Durumu belirlemek amacıyla, 3 meteoroloji istasyonunun 30 yıllık verileri, en sık kullanılan Mann-Kendall ve Sen’s Slope yöntemleri kullanarak trend analizi yapılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında Sakarya havzasına iklim değişikliğinin etkisi altında Sakarya havzasındaki bulunan Kütahya, Sakarya ve Bilecik istasyonlarına ait 1991-2022 yılları arası Aylık Toplam Güneşlenme Süresi ve Aylık Donlu Günler Sayısı verilerinin trend durumu incelenecektir. Çalışmada kullanılacak olan verileri Türkiye genelinde meteorolojik ölçme işlemleri yapan MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) tarafından temin edilmiştir.

Çalışma Alanı

Çalışmadaki kullanılan verileri ise, Kütahya-17155, Sakarya-17069 ve Bilecik-17120 meteorolojik istasyonlarıdır. Verileri kullanılan tüm istasyonları ise Sakarya Havzası içerisinde bulunmaktadır. Sakarya Havzasının alanı 58,160 km²'dir ve Türkiye'deki bulunan sularının %7'sinin toplamaktadır. Sakarya havzasının konumu Şekil 1'de gösterilmiştir. [7]

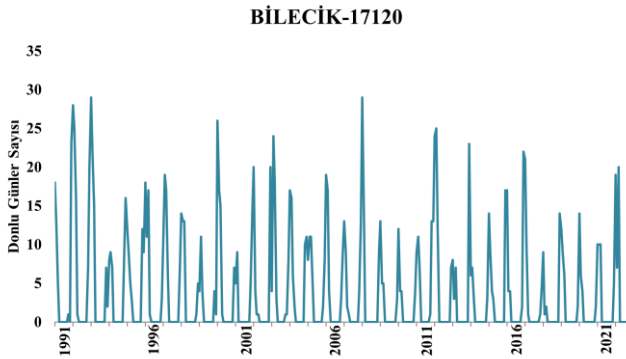
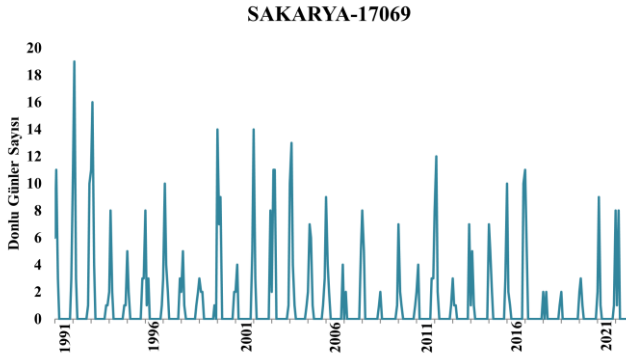
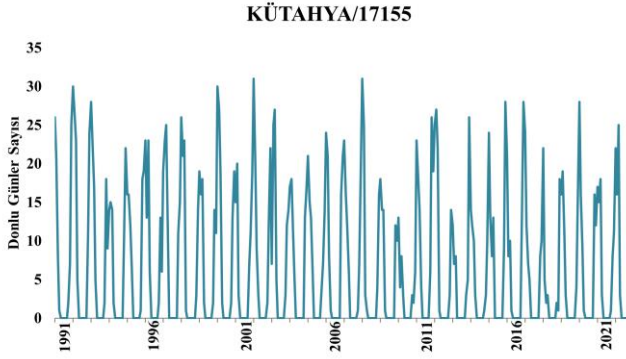


Şekil 1: Sakarya Havzasının Konumu

Temin edilen 1991-2022 yıllar arasındaki, Aylık Donlu Güler Sayısı ve Aylık Toplam Güneşlenme Süresi verilerin diyagramı Kütahya istasyonu, Sakarya istasyonu ve Bilecik istasyonu için Şekil 2’de gösterilmiştir.

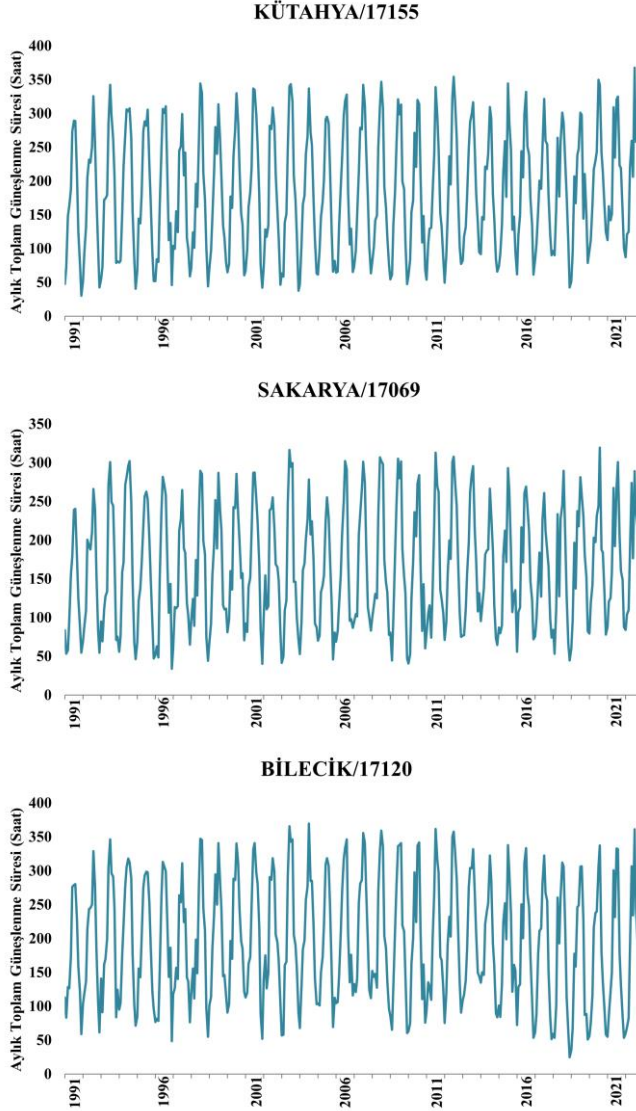
Tablo 1: Çalışmada Kullanılan MGİ Bilgileri

İstasyon	Kot (m)	Ölçüm Aralığı
Bilecik/17120	539	1991-2022
Sakarya/17069	30	1991-2022
Kütahya/17155	969	1991-2022



Şekil 2: İstasyonların 1991-2022 Aylık Donlu Güler Sayısı.

Temin edilen 1991-2022 yılları arasındaki, Saatlik Aylık Toplam Güneşlenme Süresi verilerinin diyagramı Kütahya istasyonu, Sakarya istasyonu ve Bilecik istasyonu için Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3: İstasyonluların 1991-2022 Aylık Toplam Güneşlenme Süresi.

Sen's Slope (SS)

1968 yılında Z. Şen tarafından ortaya atılan, parametrik olmayan [5] ve çok yaygın kullanılan bir trend analizi yöntemidir.

Tek doğrultuda ilerleyen N çift verileri (x,y) serisinin her çift verisi için; $i < j$ şartı ile i ve j zamanındaki, P_i ve P_j şeklinde verileridir.

$i= 1,2,\dots,N$ olmak üzere, eğim tahmini Q_i (1) denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$Q_i = \frac{P_j - P_i}{j - i} \quad (1)$$

Çift veri sayısındaki eğimi bulmak için (2) ve tek veri çift sayısı sayısındaki eğimi bulmak için (3) denklemleri kullanılmaktadır:

$$Q_{med} = \frac{1}{2} \left(Q_{\frac{n}{2}} + Q_{\frac{n+2}{2}} \right) \quad (2)$$

$$Q_{med} = \left(Q_{\frac{n+1}{2}} \right) \quad (3)$$

Mann-Kendall (MK)

Mann-Kendall testi 1945 yılında Frank Mann tarafından ortaya atılan ve Kendall tarafından geliştirilen klasik bir trend analiz yöntemidir [2] [3]. Bu yöntem zamana göre sıralanmış verileri analiz etmektedir. Mann-Kendall zamandan bağımsız ve parametrik olmayan bir şekilde çalışmaktadır. [6] Bu test sonuçları Azalan veya Artan trend var ve Trend yok şeklinde sonuç vermektedir. Bu yöntem, Normal dağılım tablosu yardımı ile yüzdesel güvenlik aralığına göre analiz sonucu kabul veya ret edileceğini karar verilmektedir [2] [3].

Bu yöntem ile veriler çift veri serisi şeklinde sıralanmaktadır.

$X_i < X_j$ veri çiftler sayısına (P) ve $X_i > X_j$ veri çiftler sayısı için (M) simgesi kullanılmıştır; test istatistiği (S) (4)'e göre hesaplanmaktadır.

$$S = P - M \quad (4)$$

Burada n Veri sayısı olmak üzere; Mann-kendall korelasyon katsayısı (τ), denklem (5) ile bulunmaktadır:

$$\tau = \frac{S}{n(n-1)/2} \quad (5)$$

$n \geq 10$ olunca; σ için denklem (6) kullanılmaktadır:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{n}{18} \right) (n-1)(2n+5)} \quad (6)$$

Olmak üzere;

$$S > 0 \rightarrow Z = \frac{S-1}{\sigma} \quad (7)$$

$$S = 0 \rightarrow Z = 0 \quad (8)$$

$$S < 0 \rightarrow Z = \frac{S+1}{\sigma} \quad (9)$$

Hesaplanan standart Z değerinin mutlak değeri $\alpha/2$ kritik Z değerinden büyük ise sıfır hipotezi (H0) reddedilmekte ve veri serisinde hesaplanan Z işaretine göre pozitif veya negatif bir trend bulunduğunu sonucuna varılmaktadır. Hesaplanan kritik Z değerinden küçük ise seri verisinde trend bulunmadığını sonucuna varılmaktadır. Bu çalışmada, %95 güven aralığı kabul edilmiş ve buna karşı gelen standart Z'nin mutlak değeri 1.96 olmaktadır.

BULGULAR

Aylık donlu günler sayısının verileri Mann-Kendall yöntemi kullanarak trend analizi yapılmıştır. Analizin sonucunda Sakarya istasyonunda Donlu günler sayısında azalan trend ve Bilecik ile Kütahya istasyonların Donlu günler sayılarında trend bulunmadığına sonucuna varılmıştır.

Aylık toplam güneşlenme süresi ise Mann—Kendall yöntemi ile hiçbir istasyonda trend bulunmadığına sonucuna varılmıştır. Mann-Kendall Trend analiz sonuçları Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 2: Mann-Kendall Analiz Sonuçları

İstasyon	Trend Durumu	
	Donlu günler sayısı	Güneşlenme süresi
Bilecik/17120	Yok	Yok
Sakarya/17069	Azalan trend	Yok
Kütahya/17155	Yok	Yok

Aylık donlu günler sayısının verileri Sen's Slope yöntemi kullanarak trend analizi yapılmıştır. Analizin sonucunda verileri analiz edilen hiçbir istasyonun verilerinde trend gözlenmemiş.

Aylık toplam güneşlenme süresi ise Sen's Slope yöntemi ile Bilecik istasyonun verilerinde azalan trend bulunduğu, Sakarya ve Kütahya istasyonların verilerinde artan trend bulunduğu sonucuna varılmıştır. Sen's Slope Trend analiz sonuçları Tablo 3.'de verilmiştir.

Tablo 3: Sen's Slope Analiz Sonuçları

İstasyon	Trend Durumu	
	Donlu günler sayısı	Güneşlenme süresi
Bilecik/17120	Yok	Azalan trend
Sakarya/17069	Yok	Artan trend
Kütahya/17155	Yok	Artan trend

TARTIŞMA

Sakarya meteorolojik havzasından rastgele seçilen üç farklı istasyonunda temin edilen 1991-2022 yılları arası Aylık donlu günler sayısının ve Aylık toplam güneşlenme süresinin verileri en sık kullanılan Mann-Kendall ve Sen's Slope trend analiz yöntemleri kullanarak seçilen istasyonların verilerindeki trend durumu araştırılmıştır. Sonuçların karşılaştırması kolaylaştırmak için Şekil 4 'de özetlenmiştir.

İstasyon	Donlu günler sayısı		Toplam güneşlenme süresi	
	MK	SS	MK	SS
Bilecik/17120				
Sakarya/17069				
Kütahya/17155				

Artan Tren		Azalan Trend		Trend Yok	
------------	--	--------------	--	-----------	--

Şekil 4: Sen's Slope ve Mann-Kendall analiz sonuçlarının özeti

Analiz yöntemleri birbirinde farklı olduğundan sonuçlarda küçük ölçekle fark bulunabilir. Fakat, aynı veri iki farklı yöntemi ile iki farklı işaretli trend beklenmez bir durumdur.

SONUÇ

Donlu Güler Sayısında, Mann-Kendall yöntemi ile Sakarya istasyonundaki gözlenen azalan trend, ciddi bir uyarı olduğu düşünülmektedir.

Güneşlenme süresinde trend olmasına ihtimal bulunmadığından, güneşlenme süresindeki trend sebebi bulutluluklardaki değişimdir. Güneşlenme süresinde Sen's Slope yöntemi ile ortaya çıkan trend yağış miktarı ile ilgili bir uyarı taşıdığı düşünülmüştür. Bu uyarı daha iyi şekilde anlamak için özellikle yağış olmak üzere, diğer meteoroloji parametrelerini kapsayan çalışmaların yapılması önerilmektedir.

REFERANSLAR

- Ahmed, T., Zounemat-Kermani, M., & Scholz, M. (2020). Climate Change, Water Quality and Water-Related Challenges: A Review with Focus on Pakistan. *International journal of environmental research and public health*, 17(22), 8518. DOI:10.3390/IJERPH17228518
- Mann, H. B. (1945). Non-Parametric Test Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259. http://www.economist.com/node/18330371?story%7B_%7Ddid=18330371
- Kendall, M.G. (1975) Rank Correlation Methods. Oxford University Press, Oxford.
- Zamani R, Mirabbasi R, Nazeri M, Gajbhiye Meshram S, Ahmadi F(2018) Spatio-temporal analysis of daily, seasonal and annual precipitation concentration in Jharkhand state, India. *Stoch Env Resn Risk A* 43(4):1085–1097. <https://doi.org/10.1007/s00477-017-1447-3>
- Sen, P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J. Am. Stat. Assoc.* 63, 1379–1389.
- Hamed KH (2008) Trend detection in hydrologic data: the Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *J Hydrol* 349:350–363
- Yaykiran, S. Structuring the HighResolution Hydrological Model of Sakarya Basin; MSc—Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology: İstanbul, Turkey, 2016; pp. 1–204.
- Karl, T.R., (1998). Regional trends and variations of temperature and precipitation. In: Watson, R.T., Zyinyowera, M.C., Moss, R.H. (Eds.),

Bölüm 10

SAPANCA HAVZASININ HİDRO-METROLOJİK VERİLERİN TREND ANALİZİ

Murat CUMA¹
Ahmet İyad CEYHUNLU²
Gökmen ÇERİBAŞI³

ÖZET

Son zamanlarda insanların ve diğer canlıların hayatını olumsuz şartlar altında bırakan, iklim değişikliğinin etkileri daha net ve sert bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Zorluğu gittikçe artan şartlar ile uyum sağlayabilmek için, iklim parametrelerinde değişkenlik gösteren her türlü duruma hazırlıklı olunması gerekmektedir. Bu nedenle iklim değişikliğinin meteorolojik olaylar üzerindeki etkilerinin araştırılması son derece önemlidir. Bu çalışmada, Türkiye, Sakarya ilinde yer alan Sapanca Gölü'nün 2013-2022 yılları arası su seviyeleri ve gölün bulunduğu ilçeye ait sıcaklık ve yağış verilerinin, parametrik olmayan Klasik yöntemlerden Mann-Kendall ve modern yöntemlerden Yenilikçi Poligon Trend Analizi yöntemleri ile analiz edilecektir. Çalışmada Analiz edilen Yağış ve Sıcaklık verileri Türkiye genelinde meteorolojik ölçme işlemleri yapan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait, Sapanca ilçesindeki istasyonundan ve göl su seviyesi verileri Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi tarafından temin edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda Mann-Kendall testine göre sıcaklık, yağış ve Sapanca Gölü'nün mevcut su seviyelerinde bir trend olmadığı ancak IPTA yöntemine göre sıcaklık, yağış ve su seviyesinin verilerinde mevsimsel değişkenlikler tespit edilmiştir. IPTA yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde ortalama Sıcaklık verileri Ocak, Mayıs, Ağustos, Haziran ve Eylül ayların verilerinde trend olmadığı, Şubat, Mart ve Nisan ayların verilerinde azalan trend olduğu, Aralık, Kasım ve Ekim ayların verilerinde artan trend olduğu sonucuna varılmıştır. Yağış verilerinde Ocak, Ağustos ve Kasım ayların verilerinde trend olmadığı, Nisan, Haziran ve Ekim aylarında azalan trend olduğu, Şubat, Mart, Mayıs, Temmuz ve Eylül ayların verilerinde artan trend

¹ İnş. Müh.; Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü. Y215007103@subu.edu.tr ORCID No: M. CUMA 0000-0001-7202-0957

² Dr. Öğr. Üyesi: Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü. ahmetceyhunlu@subu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-3192-6132

³ Doç. Dr.: Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü. gceribasi@subu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-3145-418X

olduğu sonucuna varılmıştır. Göl su seviyesi Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Kasım ve Aralık aylarında azalan trend olduğu, Mayıs, Haziran, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında artan trend olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler –Yenilikçi Poligon Trend Analizi (İpta); Sapanca Gölü; İklim Değişikliği; Mann-Kendall; Trend analizi;

GİRİŞ

Dünya sıcaklık derecelerinde meydana gelen artışlar atmosferdeki nem oranını arttırarak hidrolojik döngüyle beraber yağışların mevsimsel dağılımında, şiddetinde ve süresinde değişikliklere neden olmaktadır [1]. Bu değişiklikleri anlamak için meteorolojik verilerin ve su kaynaklarının üzerindeki etkilerinin araştırılması büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada Sapanca gölünün su seviyesi ve sapanca ilçesindeki bulunan sıcaklık ve yağış verilerinin analiz edilmesi hedeflenmiştir.

Sapanca Gölünün bir kısmı Sakarya ve Kocaeli illerin sınırlarının içerisinde yer almaktadır.

Sapanca gölü bu iki ilin su ihtiyaçlarının büyük kısmını karşıladığından büyük bir ekonomik öneme sahiptir. Sapanca Gölü 32,18 kotunda ve 46,8 km² yüzey alanına sahiptir. Sapanca gölünün en derin noktası 55 m derinliğinde ve ortalama derinliği 25,6 m'dir [2].

İklim değişikliğinin sonucunda arazi kullanımındaki değişiklikler meteorolojik döngüyü değiştirmekte ve su kaynaklarında hem bölgesel hem de zamansal farklılıklara sebep olmaktadır [3]. Bu Çalışmada, 2013-2022 yılların arasındaki Sapanca göl suyu seviye verileri, bölgenin sıcaklık ve yağış verileri kullanılacaktır. Çalışmada, bu verilerin trend analizi için parametrik olmayan Mann-Kendall testi ve mevsimsel trend durumu için Yenilikçi Poligon Trend Analiz (IPTA) yöntemleri kullanılacaktır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Sapanca Gölü

Sapanca Gölü, Doğu Marmara Bölgesi'nde, Sakarya il merkezinin 12 km batısında yer almaktadır. Komşu illerinden Kocaeli il merkezine ise 27 km uzaklıktadır. Sapanca Gölü tektonik kökenli tatlı su gölüdür. Doğu-batı uzanımlı bir göldür. Doğu kesimi Sakarya ili sınırları içerisinde yer alırken, batı kesimi ise Kocaeli ilinin sınırları içinde yer almaktadır [2]. Sapanca gölü konum haritası Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1: Sapanca Gölü (Doğu Marmara Kalkınma Ajansı,2021).

Şekil 1’de gözüktüğü gibi, gölün etrafında Sapanca, Serdivan, Arifiye ve Kartepe ilçelerine tabi yerleşim ve tarımsal bölgeleri bulunmaktadır.

Yenilikçi Poligon Trend Analizi Yöntemi Matematiksel Modeli

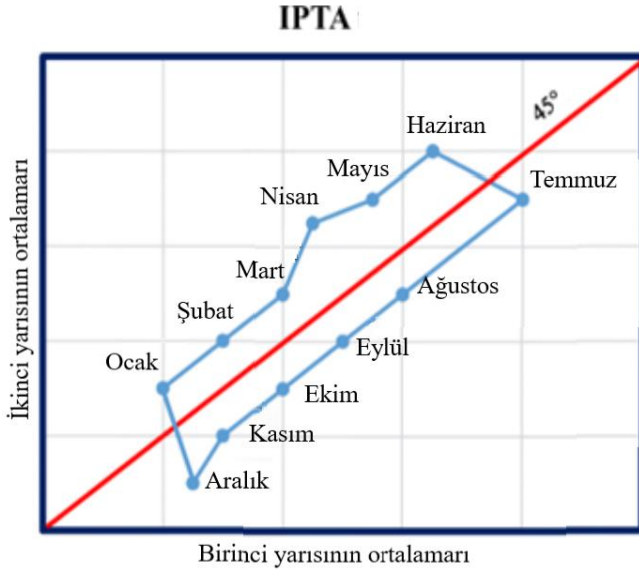
IPTA ilk olarak Sen ve diğerleri tarafından ortaya atılmıştır. Bu yöntemle veriler günlük, aylık ve yıllık olarak analiz edilebilmektedir. Bu çalışmada aylık olarak analiz edilen veriler kullanılmıştır. IPTA yöntemi matrisinde sütunlar ayları ve satırlar yılları temsil etmek üzere, veriler $X(Yıl ,Ay)$ matris elemanları olarak şeklinde dizilmektedir [5, 9]. IPTA matris dizilimi Şekil 2’deki gibidir.

$$\begin{bmatrix} x_{1,1}, & x_{1,2}, & \cdot & \cdot & \cdot & x_{1,12} \\ x_{2,1}, & x_{2,2}, & \cdot & \cdot & \cdot & x_{2,12} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{i,1}, & x_{i,2}, & \cdot & \cdot & \cdot & x_{i,12} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{n,1}, & x_{n,2}, & \cdot & \cdot & \cdot & x_{n,12} \end{bmatrix}$$

Şekil 2: IPTA matrisi.

Veriler matris haline getirildikten sonra, ortaya çıkan matris ortadan üst ve alt yarı olmak üzere ortadan bölünür. Ardından her yarım sütunun ortalaması hesaplanmaktadır. Hesaplanan üst kısmın ortalamaları X ekseninde ve alt kısmın ortalamaları Y ekseninde Kartezyen sistem üzerinde çizilerek, üst ve alt yarıların aylarına ait çakışma noktaları birleştirilmektedir. Ayrıca, Aksların (0,0) merkez noktasından başlayarak 45

derece eğimli trend yok çizgisi çizilmektedir [5]. IPTA yöntemine ait (Şekil 3).



Şekil 3: Aylık kayıtlar için Varsayımsal Yenilikçi Çokgen Trend Analizi şablonu.

Kartezyen sistemdeki aylık ortalamaların dağılımı göz önüne alındığında, 45o dereceli çizginin üstünde kalan verilerde artan trend olduğu, çizginin altında kalan verilerde azalan trend olduğu ve 45o çizgisinin üstünde kalan verilerde trend olmadığı sonucuna varılmaktadır [4, 9].

Mann-Kendall (MK)

Mann-Kendall testi 1945 yılında Frank Mann tarafından ortaya atılan ve Kendall tarafından geliştirilen klasik bir trend analiz yöntemidir [5, 6]. Bu yöntem zamana göre sıralanmış verileri analiz etmektedir. Mann-Kendall zamandan bağımsız ve parametrik olmayan bir şekilde çalışmaktadır. Bu test sonuçları Azalan veya Artan trend veya Trend yok şeklinde sonuç vermektedir. Bu yöntem, Normal dağılım tablosu yardımı ile yüzdesel güvenlik aralığına göre analiz sonucunun kabul veya ret edileceğine karar vermektedir [5, 6].

Bu yöntem ile veriler çift veri serisi şeklinde sıralanmaktadır.

$X_i < X_j$ veri çiftler sayısına (P) ve $X_i > X_j$ veri çiftler sayısı için (M) simgesi kullanılmıştır; test istatistiği (S) (2.1)'e göre hesaplanmaktadır.

$$S = P - M \quad (1)$$

Burada n Veri sayısı olmak üzere; Mann-kendall korelasyon katsayısı (τ), denklem (2) ile bulunmaktadır:

$$\tau = \frac{S}{n(n-1)/2} \quad (2)$$

$n \geq 10$ olunca; σ için denklem (3) kullanılmaktadır:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{n}{18}\right) (n-1)(2n+5)} \quad (3)$$

Olmak üzere;

$$S > 0 \rightarrow Z = \frac{S-1}{\sigma} \quad (4)$$

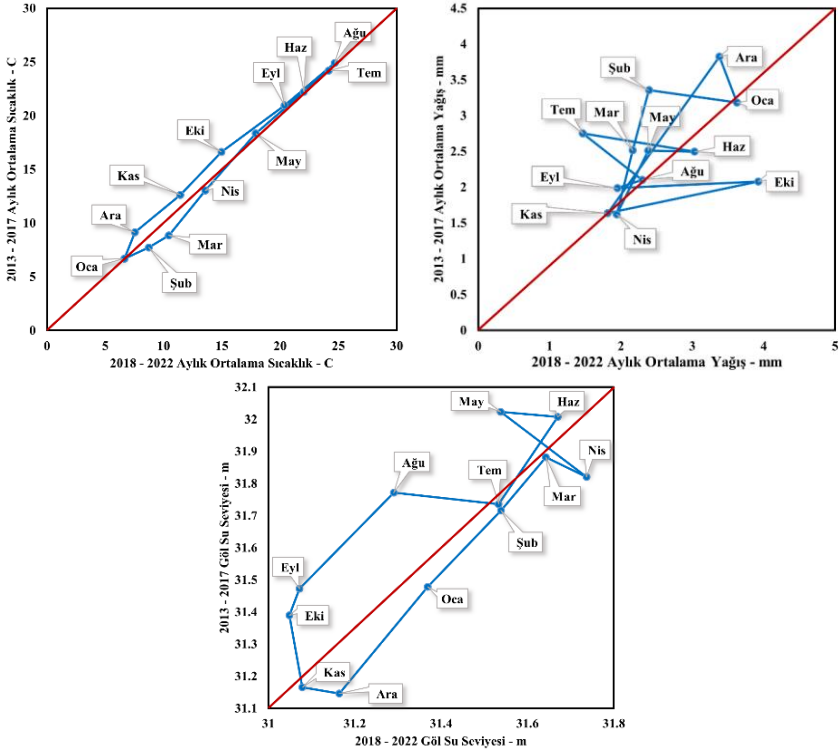
$$S = 0 \rightarrow Z = 0 \quad (5)$$

$$S < 0 \rightarrow Z = \frac{S+1}{\sigma} \quad (6)$$

Hesaplanan standart Z değerinin mutlak değeri $\alpha/2$ kritik Z değerinden büyük ise sıfır hipotezi (H_0) reddedilmekte ve veri serisinde hesaplanan Z işaretine göre pozitif veya negatif bir trend olduğunu sonucuna varılmaktadır. Hesaplanan kritik Z değerinden küçük ise seri verisinde trend olmadığını sonucuna varılmaktadır. Bu çalışmada, %95 güven aralığı kabul edilmiş ve buna karşılık gelen standart Z'nin mutlak değeri 1.96 olmaktadır.

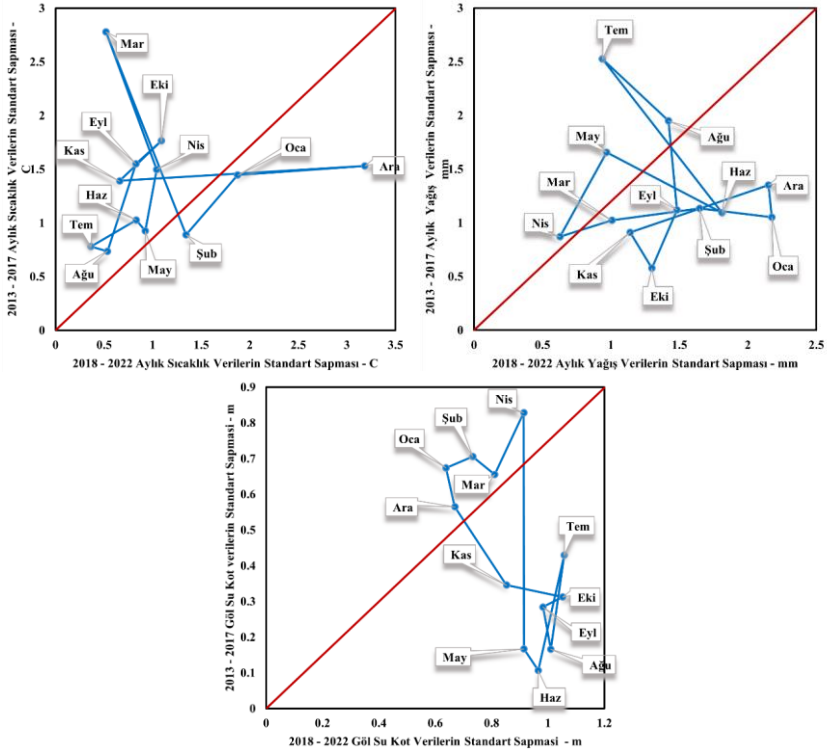
BULGULAR

Mann-Kendall yöntemin analiz sonucunda 2013-2022 yılların verilerinde Ortalama sıcaklık, Toplam yağış ve göl su seviyesinde trend gözlenmemiştir. IPTA yöntemi aritmetik ortalama analiz sonuçları Şekil 4'te, standart sapma analizi ise Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 4: İPTA yöntemi analiz sonuçları

Şekil 4. incelendiğinde, Sıcaklık verileri Ocak, Mayıs, Ağustos, Haziran ve Eylül ayların verilerinde trend olmadığı, Şubat, Mart ve Nisan ayların verilerinde azalan trend olduğu, Aralık, Kasım ve Ekim ayların verilerinde artan trend olduğunu sonucuna varılmıştır; Yağış verilerinde Ocak, Ağustos ve Kasım ayların verilerinde trend olmadığı, Nisan, Haziran ve Ekim aylarında azalan trend olduğu, Şubat, Mart, Mayıs, Temmuz ve Eylül ayların verilerinde artan trend olduğu sonucuna varılmıştır. Göl su seviyesi Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Kasım ve Aralık aylarında azalan trend olduğu, Mayıs, Haziran, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında artan trend olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5: İPTA yöntemi standart sapma sonuçları

Şekil 5. İncelendiğinde, aylık ortalama sıcaklık verilerin standart sapmasında Ocak, Şubat ve Aralık aylarında azalan trend olduğu ve diğer aylarının verilerinde artan trend olduğu sonucuna varılmış. Aylık ortalama yağış verilerin standart sapma analiz sonuçlarında Nisan, Mayıs, Temmuz ve Ağustos aylarında artan trend, diğer ayların verilerinde azalan trend olduğu sonucuna varılmış. Göl su seviyesinin verilerinde Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Aralık ayların verilerinde artan trend olduğu ve diğer ayların verilerinde azalan trend olduğu sonucuna varılmıştır.

TARTIŞMA

Su, doğadaki tüm canlıların yaşamı ve ekosistem sürdürülebilirliği açısından en önemli kaynaklardan biridir [3]. Yüzeysel akışlarında meydana gelen azalmalar sonucunda nehir ve göl çevrelerindeki ekosistemler ve diğer canlılar olumsuz etkilenmektedir. Böylece biyo-çeşitlilik azalmaktadır [7]. Ayrıca sıcaklık derecelerinde meydana gelen artışlar atmosferdeki nem oranını artırarak hidrolojik döngüyle beraber yağışların mevsimsel dağılımında, şiddetinde ve süresinde değişikliklere neden olmaktadır [1].

Sapanca gölü ile ilgili yapılan çeşitli çalışmalarında farklı vadelerde göl su seviyesinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca 2017 yılında yapılan araştırmada, Sapanca bölgesinde artan yerleşim alanlarından kaynaklı Göldeki su seviyesindeki ani artışların çevre arazilerde taşkınlara sebep olabileceği görülmüştür [8].

Bu çalışmada, sapanca gölünün su seviyesi, hava sıcaklığı ve yağış miktarındaki 10 yılın yıllık ve mevsimsel trend durumunu araştırarak, verilerdeki dengesizliği tespit edilmiştir. Tespit edilen dengesizlik ile olumsuz gelebilecek etkilere karşı yapılması gereken hazırlıkların ve önlemlerin önemine farklı bir açıdan değerlendirilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada Man-Kendall ve IPTA yöntemleri kullanılarak Sapanca ilçesinde Sıcaklık, Yağış ve Göl su seviyesi verileri değerlendirilmiştir. Çalışmada 2013–2022 yılları arası, 10 yıllık veriler kullanılmıştır. Yapılan çalışma ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Mann-Kendall sıcaklık verilerinde trend olmadığı görülürken, IPTA yöntemi ile yılın genelinde ve özellikle kış aylarında artan trend olduğu ortaya çıkmıştır. Kış aylarının sıcaklık ortalamasındaki gözlenen artış trendi donlu günler sayısında azalmaya yol açmaktadır.

Mann-Kendall yöntemi analiz sonuçlarında yağış verilerinde trend gözlenmemişken, IPTA yöntemi ile yağış verilerinde büyük ölçekte düzensizlik tespit edilmiştir.

Sapanca göl su seviyesi Mann-Kendall analiz sonuçlarına göre trend olmadığı sonucuna varılırken, IPTA yöntemi analizlerinde Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Aralık ve Kasım aylarında azalan trend olduğu sonucuna varılmıştır.

Su seviyesinde gözükten artış ve azalış trendleri, son yıllarda ilgili idareler tarafından alınan tedbirlerden ve yağış düzensizliklerden kaynaklandığı öngörülmektedir.

REFERANSLAR

- Stagl J., Mayr E., Koch H., Hattermann F.F., Huang S. (2014) Effects of Climate Change on the Hydrological Cycle in Central and Eastern Europe. In: Rannow S., Neubert M. (eds) Managing Protected Areas in Central and Eastern Europe Under Climate Change. Advances in Global Change Research, vol 58. Springer, Dordrecht. DOI:10.1007/978-94-007-7960-0_3
- Doğu Marmara Kalkınma Ajansı, “Sapanca Gölü ve Havzası Yol Haritası Ortak Gelecek”, Marka Yayınları Serisi, 2011.
- Yang, D., Yang, Y., & Xia, J. (2021). Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. *Geography and Sustainability*, 2(2), 115–122. DOI: 10.1016/j.geosus.2021.05.003
- Z. Şen; E. Şişman; I. Dabanlı. (2019) Innovative Polygon Trend Analysis (IPTA) and applications S. al (2019) Innovative Polygon Trend Analysis (IPTA). May 2019 *Journal of Hydrology* 575 DOI:10.1016/j.jhydrol.2019.05.028
- Mann, H. B., “Non-Parametric Tests against Trend”, 1945.
- Kendall, M. G., “Rank Correlation Methods, London, 1975.
- Palmer, M., Ruhi, A. (2019). Linkages between flow regime, biota, and ecosystem processes: Implications for river restoration . *Science*, 365 (6459) , p. eaaw2087; DOI:10.1126/science.aaw2087
- S. Göncü; E. Albek; M. Albek; (2017) Burdur, Eğirdir, Sapanca ve Tuz Gölleri Su Seviyelerinin Nonparametrik İstatistik Yöntemler ile Eğilim Analizi. *AKÜ FEMÜBİD* 17 (2017) 025401 (555-570) DOI:10.5578/fmbd.57389
- M. Achite, G. Ceribasi, A. Ceyhunlu, A. Wałęga, T. Caloiero (2021); The Innovative Polygon Trend Analysis (IPTA) as a Simple Qualitative Method to Detect Changes in Environment—Example Detecting Trends of the Total Monthly Precipitation in Semiarid Area. DOI:10.3390/su132212674

Bölüm 11

YENİLENEBİLİR ALTERNATİF DİZEL VE BENZİNLİ MOTOR YAKITI OLARAK BİYOETANOL

Murat KARABEKTAŞ¹
Mehmet ÇALIŞKAN²
Kemal ERMİŞ³

ÖZET

Petrol kaynaklarının azalması yanı sıra ortaya çıkan hava kirliliği ve küresel ısınma gibi etkilerden dolayı alternatif yakıt kaynaklarına yönelim artmıştır. Bu kaynaklardan biride zirai ürünlerden fermantasyon yöntemiyle üretilebilen ve yenilenebilir bir kaynak olarak nitelendirilen etanol (biyoetanol) yakıtıdır. Bu çalışmada alternatif yakıt olarak etanolün içten yanmalı motorlarda kullanımı kapsamlı olarak incelenmektedir. Etanolün benzinli ve dizel motorlarında kullanımı için ayrı başlıklar altında yapılan değerlendirmeler belirtilmiştir. Çalışmanın benzin motoru için olan kısmında değerlendirilen konular; Biyolojik kökenli motor yakıtı olarak biyoetanol, etanol yakıtının benzinli motor için özellikleri ve diğer yakıtlarla karşılaştırılması, benzinli motorun etanol ile çalışması için yapılması gereken işlemler, benzin motorunda etanol yakıt kullanımında egzoz emisyonları ve motor performans parametreleridir. Dizel motoru için olan kısmında ise konular; etanolün dizel motor yakıtı olarak kullanımı, dizel yakıtı etanol karışımı yakıtı ile çalışmada dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarıdır.

Anahtar kelimeler: etanol, benzin motoru, dizel motoru, egzoz emisyonları, motor performansı

BIOETHANOL AS A RENEWABLE ALTERNATIVE DIESEL AND GASOLINE ENGINE FUEL

¹ Prof. Dr.; Sakarya University of Applied Sciences, Dept. of Mechanical Engineering, Sakarya, Türkiye.
ORCID No: 0000-0002-1025-1431
muratk@subu.edu.tr

² Prof. Dr.; Sakarya University of Applied Sciences, Dept. of Mechanical Engineering, Sakarya, Türkiye,
ORCID No: 0000-0002-7835-9414

³ Prof. Dr.; Sakarya University of Applied Sciences, Dept. of Mechanical Engineering, Sakarya / Türkiye,
ORCID No: 0000-0003-3110-2731

ABSTRACT

In addition to the decrease in oil resources, the tendency towards alternative fuel sources has increased due to effects such as air pollution and global warming. One of these resources is ethanol (bioethanol) fuel, which can be produced from agricultural products by fermentation and is considered a renewable resource. In this study, the use of ethanol as an alternative fuel in internal combustion engines is comprehensively examined. Evaluations made under separate headings for the use of ethanol in gasoline and diesel engines are stated. The issues evaluated in the gasoline engine part of the study are; bioethanol as a biologically derived engine fuel, properties of ethanol fuel for gasoline engines and comparison with other fuels, procedures required for gasoline engines to operate with ethanol, exhaust emissions and engine performance parameters when using ethanol fuel in gasoline engines. In the section for diesel engines, the topics are; the use of ethanol as diesel engine fuel, diesel engine performance and exhaust emissions when operating with diesel fuel-ethanol mixture fuel.

Key words: ethanol, gasoline engine, diesel engine, exhaust emissions, engine performance

1. GİRİŞ

Günümüzde motorlu araçlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarının yasal düzenlemelerle sürekli daralan yasal limitleri ve yakıt fiyatlarındaki artış alternatif motor yakıtlarına olan ilgiyi arttırmıştır. Petrol rezervlerinin sınırlı olmasının yanında bu rezervlerin dünya üzerinde belli bölgelerde yoğunlaşmış durumda olduğu bilinmektedir. Petrol kaynaklarına sahip olmayan ülkeler için petrole bağımlı kalmadan kendi yerel kaynaklarından enerji ihtiyacını karşılayabilme düşüncesinde alternatif yakıtlara olan ilginin önemli sebepleri arasında gösterilebilir. Ayrıca egzoz emisyonlarının hava kirliliği, sera etkisi ve global ısınma gibi ciddi çevresel sorunları oluşturan ana unsurlarından biri olduğu bilinmektedir. Emisyonlardan kaynaklanan kirliliği azaltmanın bir yolu da mevcut petrol kökenli yakıtlar yerine alternatif yakıt kullanmaktır. Yapılan çalışmalar alternatif yakıtların mevcut yakıtlara oranla daha az kirletici emisyon ürettiklerini göstermektedir. Biyoyakıtların artan kullanımını, yalnızca fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmakla kalmaz, aynı zamanda sera gazlarını ve araç emisyonlarından kaynaklanan yerel hava kirliliğini de azaltır (Yeboah ve Shaik, 2021).

Son yıllarda dünya için önemli bir tehdit oluşturan sera gazları üretiminin bir kısmı içten yanmalı motorların çalışması sırasında yanma ürünü olarak ortaya

çıkılmaktadır. Özellikle sera etkisi oluşturan ve yanma prosesleri sonucu en fazla üretilip atmosfere salınan gaz olan CO₂ (karbondioksit) içten yanmalı motorlarda önemli miktarlarda üretilmektedir. Küresel ısınmaya en önemli etkiyi sağlayan CO₂ salınımını azaltmak amacıyla dizel yakıtı ve biyo kaynaklı yakıtlarla karışım oluşturulabilir (Karabektaş, 2013). Yine sera etkisi oluşturan N₂O (diazot monoksit) emisyonunda özellikle dizel motorlarında sınırlı miktarda da olsa üretilmektedir. Ayrıca, N₂O genellikle SCR (seçici katalitik indirgeme) sistemlerinde (NO_x emisyonlarını azaltmak için kullanılan) bir yan ürün olarak, NH₃ (amonyak) oksidasyonunun bir yan ürünü olarak ortaya çıkmaktadır (Fayyazbakhsh vd., 2022). Bunun yanısıra alternatif bir yakıtın ticari olarak kabul edilmesi ve yaygın olarak kullanımı için fiyatının uygun olması ve motorlarda fazla modifikasyona ihtiyaç duyulmadan kullanılabilmesi gerekmektedir. Diğer yakıtlardan farklı olarak alkol yakıtlar (etanol, metanol, izobütanol) mevcut buji ateşlemeli motorlarda belli oranlarda konvansiyonel yakıtla karışım oluşturularak çok az modifikasyonla kullanılabilir. Etanol ise özellikle bitkisel ürünlerden fermantasyon yoluyla üretilmesi nedeniyle yenilenebilir alternatif yakıt olarak ifade edilmekte ve biyoetanol olarak isimlendirilmektedir. Ayrıca biyoyakıtlar karbon nötr olduğundan CO₂/GHG emisyonlarını azaltabilir. Bunun nedeni, yanma sırasında üretilen CO₂'nin, mahsullerin ömrü boyunca emdiği karbonla dengelenmesidir (Krishnan vd., 2023). Bu yönüyle biyolojik kökenli bir yakıt olan etanol zirai ürün olan hammaddesinin üretilmesinden son kullanımına kadar olan süreçte toplam CO₂ emisyonu salınımı gözönüne alındığında önemli oranda azalma etkisi göstermektedir. Bilindiği gibi biyoyakıt üretimi için ekilen zirai ürünler fotosentez yoluyla atmosferden CO₂ çekmektedir. Biyoyakıtın yanma süreci sonucunda ise yine atmosfere tam yanma ürünü olarak CO₂ salınmaktadır. Dolayısıyla biyoyakıtlar bu yönüyle karbon nötr olarak tanımlanmakta ve sera etkisine olan katkısı fosil kökenli yakıtlara göre azalmaktadır. Bu yönüyle bakıldığında sürdürülebilir enerji temini için alternatif bir enerji kaynağı olarak biyoetanol hem çevresel açıdan hemde ekonomik yönden önemli katkı sağlama potansiyeline sahip olarak görülmektedir.

Bunların yanısıra etanol gibi biyoyakıt üretimi için zirai ürün yetiştirme ve bundan alkol üretimi yeni istihdam alanlarının oluşturulması yanında önemli katma değer ortaya çıkaracaktır. Bu yakıtın yerel kaynaklardan üretilmesi ile enerji talebinde dışa bağımlılık belirgin biçimde azalacaktır.

Etanol sahip olduğu yakıt özellikleri ve yapılan uygulamalar gözönüne alındığında özellikle buji ile ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilmek için uygun özelliklere sahip olarak görülmektedir. Etanol

yüksek oksijen içeriğine ve benzine göre daha hızlı yanma hızına sahip olduğundan yanma sürecini etkili olarak iyileştirmektedir (Zhao vd., 2022).

Biyolojik kökenli yakıt olan etanol konvansiyonel petrol kökenli benzin yerine doğrudan motor yakıtı olarak (E100) kullanılabilirdiği gibi benzin ile belli oranlarda karışım oluşturularak (E10 veya gasohol) kullanılabilme imkanı vermektedir. Ancak %100 etanol kullanılma durumunda benzinli araç motorlarında önemli modifikasyonların yapılması ihtiyacı doğmaktadır. Örneğin Brezilya'da biyoetanol, sadece konvansiyonel benzinli araçlarda benzin-etanol karışımları yanında aynı zamanda doğrudan yakıtlı araçlarda da kullanılabilir (Wang vd., 2022).

2. DÜNYADA BİYİYAKIT KULLANIMI İÇİN DÜZENLEMELER

Dünyanın farklı ülkelerinde konvansiyonel petrol kökenli fosil yakıtların kullanımını azaltmak için biyoyakıt kullanımının artırılması yönünde bir çok adım atılmaktadır. CO₂ gibi sera gazı emisyonlarını ve diğer kirletici egzoz emisyonlarını azaltmak, petrol tüketimini ve ithalatı için yapılan harcamaları azaltmak, yerel kaynaklardan enerji ihtiyacının karşılanması oranını arttırmak, istihdam ve katma değer oluşturmak gibi başlıca sebepler biyoyakıt kullanımı için alınan önlemlerin başlıca nedenleri arasında gösterilebilir. Literatürde bulunan biyoyakıt kullanımı artırılması ile ilgili çok sayıda bilgilerden bazıları şu şekilde belirtilebilir;

Global etanol üretimi günümüzde yaklaşık olarak 79,75 milyon ton civarındadır. Bu üretimin 44,1 milyon tonu ABD ve 21,89 milyon tonu ise Brezilya tarafından yapılmaktadır. USA mısır kullanarak fermente ettiği etanol yakıtı sayesinde ithal ham petrolü 510 milyon varil azaltmıştır. Buna karşın Çin'deki etanol üretimi ise yaklaşık 2,6 milyon tondur. Çin'deki yakıt olarak kullanılacak etanol endüstrisinin hala gelişmesi gereken çok fazla alan olduğu anlaşılmaktadır (Wu vd., 2020).

Çin'de içten yanmalı motorların yakıt tüketimi 2020 yılında 455 milyon tona ulaşmıştır (Zhang vd., 2022). Taşıt egzoz kirleticilerinin emisyonunu kontrol etmek amacıyla kontrol yasaları ve düzenlemeleri tüm dünyada giderek daha sıkı hale getirilmektedir. Çin'deki ağır hizmet dizel araçlarına yönelik ulusal VI emisyon düzenlemeleri, standart kararlı durum (steady-state) motor çevrimi CO (karbon monoksit) emisyonunun 1500 mg/kWh'yi, NO_x (azotoksit) emisyonu 400 mg/kWh'yi geçemeyeceği kısıtlamasını getirmiştir. En son Avrupa Birliği (AB) VII emisyon standardı ile NO_x emisyonunun 30 mg/km'yi, CO emisyonunun ise 300 mg/km'yi aşamayacağı düzenlemesi getirilmiştir.

Avrupa Birliği tarafından yayınlanan 11 Aralık 2018 tarihli bir direktif ile yenilenebilir yakıt kullanımı teşvik edilmiştir. Bu direktif ile hammaddeden

üretile biyoyakıtlar ve biyogazın ulaştırma sektöründeki nihai enerji tüketimi içindeki katkısı ; 2022'de en az %0,2, 2025'te en az %1 ve 2030'da en az %3,5 olacaktır. Türkiye'de yayımlanan yönetmelik, yerli tarım hammaddelerinden üretilen etanolün ithal fosil yakıtlara en az %3 (hacim) oranında eklenmesini zorunlu hale getirmiştir (Vargün ve Özsezen, 2023).

Avrupa Birliği iklim ve enerji çerçevesinde içten yanmalı motorlar için 2030 yılına kadar önemli hedefler belirlemiştir. 2030 yılında sera gazı emisyonlarının 1990 yılına göre en az %40 daha düşük olması hedeflenmiştir (Özsezen vd., 2023).

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ulaştırma sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyon salınımının 1990 ile 2020 yılları arasında %92'lik bir artış trendinde olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca 2020'den 2035 yılına kadar olan süreçte yaklaşık 8,5 milyar metrik ton CO₂ salınacağı öngörmektedir (Krishnan vd., 2023). Bu nedenle, uzun yıllardır içten yanmalı motorlar için kritik önem taşıyan fosil yakıt bazlı petrol rezervlerinin yerine sürdürülebilir alternatif yakıtlara ihtiyaç duyulmaktadır.

3. BENZİNLİ MOTOR YAKITI OLARAK ETANOL

3.1. Etanol yakıtının benzinli motor için özellikleri ve diğer yakıtlarla karşılaştırılması

Etanolün en belirgin özelliği yenilenebilir alternatif bir biyoyakıt olması ve zirai ürünlerden fermantasyon yöntemiyle üretilmesidir. Etanol üretimi için farklı biyokütle kaynakları kullanılmaktadır (Costagliola vd., 2013). Etanol üretiminde şeker kamışı, şeker pancarı, mısır, patates, tahıllar gibi içerisindeki şekeri dönüştürülebilen selülüz ve nişasta gibi maddelerin fermantasyonu işlemi uygulanmaktadır. Bu yönüyle bakıldığında etanolün petrol kökenli yakıtlardan farklı olarak dünyanın çeşitli bölgelerine dağılmış ürünlerden ve yerel kaynaklardan elde edilebilmesi imkanı önemli bir husustur.

Yakıt olarak özellikleri gözönüne alındığında, etanol (C₂H₅OH) için en belirgin husus sahip olduğu yüksek oktan sayısı nedeniyle benzin motorlarında sıkıştırma oranı artışına olanak sağlaması nedeniyle kullanımının son derece uygun olmasıdır (Liu vd., 2023). Ancak, sahip olduğu düşük setan sayısı nedeniyle dizel motorlarında saf olarak kullanımı imkanı olmayıp ancak düşük oranlarda dizel yakıtı ile karışım oluşturarak kullanımı çalışmaları yapılmaktadır. Dizel motorlarında kullanılacak yakıtın kendi kendine tutuşabilme özelliği yüksek olmalı ve yanmasında tutuşma gecikmesi süresi uzun olmamalıdır. Motor yakıtı olarak alkollerin belirgin özellikleri benzin ile karşılaştırmalı olarak Tablo 1 gözönüne alarak aşağıdaki gibi açıklanabilir:

Tablo 1: Benzin, etanol ve gasohol yakıtlarının özellikleri (Masum vd., 2013),
(Sriram ve Reda, 1993)

Özellik	Birim	Benzin	Etanol	Gasohol (%90 benzin-%10
Kimyasal formül	–	C ₅ –C ₁₂	C ₂ H ₅ OH	
Mol ağırlığı	kg kmol ⁻¹	114.15	46.07	
C	kütle %	87.4	52.2	
O	kütle %	0	34.7	
H	kütle %	12.6	13.0	
H/C	oran	1.795	3	
O/C	oran	0	0.5	
Özgül ağırlık	–	0.7–0.78	0.794	0.73-0.76
Yoğunluk (15 °C)	kg m ⁻³	750–765	785–	
Stokiyometrik hava/yakıt	w/w	14.2–15.1	8.97	14
Kinematik vizkozite	mm ² /s	0.5–0.6	1.2–1.5	
Reid buhar basıncı (37.8 °C)	kPa	53–60	17	
Araştırma oktan sayısı	–	91–100	108.61–	
Motor oktan sayısı	–	82–92	92	benzin ile yakın
Setan sayısı	–	8	5–20	
Oluşum entalpisi				
(a)Sıvı	kJmol ⁻¹	–259.28	–224.1	
(b)Gaz	kJmol ⁻¹	–277	–234.6	
Üst ısıl değer	MJ/kg ⁻¹	47.3	29.7	
Alt ısıl değer	MJ kg ⁻¹	44.0	26.9	41.9
Stokiyometrik karışımda LHV	MJ kg ⁻¹	2.77	2.70	
Buharlaştırma ısısı	kJ kg ⁻¹	380–400	900–920	
Özgül ısı				
(a)Sıvı	kJ/kgK	2.4	1.7	
(b)Buhar	kJ/kgK	2.5	1.93	
Donma noktası	°C	–40	–114	
Kaynama noktası	°C	27–225	78	25–210
Parlama noktası	°C	–45 to –13	12–20	
Kendi kendine tutuşma	°C	257	425	465
Buhar alevlenme limitleri	vol%	0.6–8	3.5–15	
Laminar alev hızı (100 kPa,	cm/s	~33	~39	
Distilasyon				
(a)Kaynama başlangıç noktası	%	45	78	
(b)10	%	54	78	
(c)50	%	96	78	
(d)90	%	168	79	
(e) Kaynama bitiş noktası	%	207	79	
Su çözünürlüğü	%	0	100	
Aromatik hacmi	%	27.6	0	
Buhar toksisitesi	–	Orta derece tahris edici	Büyük dozlarda	Tahris edici

Duman karakteri	–	Siyah	Çok az
İletkenlik	–	Yok	Evet
Renk	–	Renksizden	Renksiz
		açık amber	
Buhar basıncı	100F.kpa	cam rengine	17 55-110

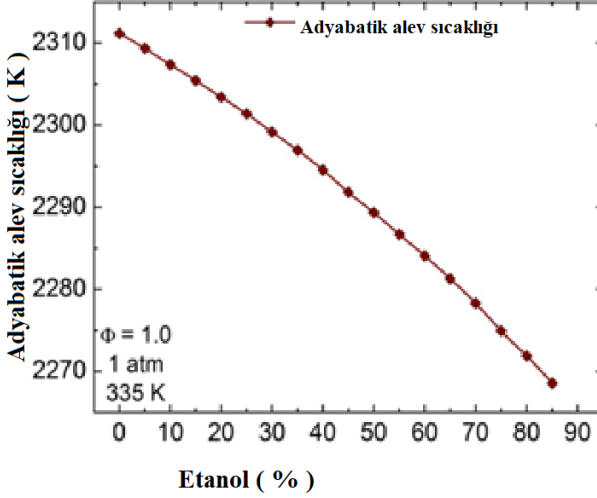
1-) Etanol gibi alkol yakıtlar ve benzinin yanmasındaki farklılıkların esası kimyasal özelliklerinden ileri gelmektedir. Benzin çok sayıda farklı hidrokarbonun bileşiminden oluşan fosil kökenli bir yakıt türüdür. Bu bileşenlerin her birinin farklı kaynama noktası vardır. Etanol ise saf bileşimdir ve tek kaynama noktasına sahiptir. Etanolün oksijen içeriği ise motorlarda yanma karakteristiğinin benzinden farklı olmasının önemli bir nedenidir.

2-) Yüksek oktan sayısı özelliğinden dolayı etanol benzin motorları için uygun bir yakıt olarak görülmektedir. Dolayısıyla farklı oranlarda benzinle karışım halinde veya %100 olarak benzin yerine bu motorlarda kullanımı mümkündür. Ayrıca, alkol yakıtlar sahip oldukları yüksek oktan sayısı sebebiyle benzin motorunda kompresyon oranı artışı yapılmasına olanak sağlarlar (Liu vd., 2023). Buna karşın, dizel yakıtına göre etanolün daha düşük setan sayısı dizel motorlarında kullanımını güçleştirir. Bilindiği gibi setan sayısı yakıtın kendi kendine tutuşma özelliğini gösteren bir değerdir ve dizel motorlarında kullanılabilmesi için setan sayısının yaklaşık 50 civarında olması gerekir.

3-) Etanol petrol kökenli yakıtlardan farklı olarak oksijen içeren yakıt olduğundan yanması için stokiometrik olarak benzin ve motorine göre daha az oksijene ihtiyaç duyar. Oksijen içeriği nedeniyle etanolün ısı değeri benzin ve motorine göre daha düşüktür. Bundan dolayı düşük ısı değeri sebebiyle motorlarda yandıklarında benzin ve motorine oranla kısmen daha az enerji üretir. Motorlarda etanol yakıt kullanımlarında düşük ısı değerleri gözönüne alınarak kütleli olarak daha fazla yakıtın gönderilmesinin sağlanması gerekir (Thakur vd., 2017).

4-) Etanol yüksek buharlaşma ısısı özelliği nedeniyle buharlaşırken etraftan çok fazla ısı çeker. Bundan dolayı buharlaşma esnasında soğutucu etkisi fazladır. Bu özelliği nedeniyle etanol yakıt kullanımı silindir içerisinde kısmen soğutucu etki yaptığından, emme zamanında içeriye kütleli olarak daha fazla karışımın alınabilmesi imkanı oluşmaktadır. Bu etki volümetrik verimde artış eğilimi olarak kendini gösterir (Kumbhar ve Khot, 2023). Yüksek volümetrik verimden dolayı emme zamanında silindirlere daha fazla karışım alınabilmesi motorda ısı verim artışı sağlayarak olumlu etki yapar.

5-) Adyabatik alev sıcaklığı benzin karışımındaki etanol yüzdesiyle ters orantılıdır. Şekil 1’de görüldüğü gibi karışımındaki etanol oranı arttığında adyabatik alev sıcaklığı azalmaktadır.



Şekil 1: Adyabatik alev sıcaklığının etanol oranıyla değişimi (stokiyometrik, 335 K, 1 atm 'de). (Almarzooq vd., 2023)

6-) Düşük sıcaklıklarda etanol düşük buhar basıncı özelliği gösterir. Özellikle saf etanol yakıt kullanımında motorda soğukta çalışma sorunu ortaya çıkar (Masum vd., 2013). Bundan dolayı düşük ortam sıcaklıklarında motorun ilk harekete geçmesinde bazı zorluklar görülebilir. 10 °C'nin altındaki sıcaklıklarda yardımcı ilk hareket tertibatlarına veya benzin gibi ilave maddelere ihtiyaç vardır. Bu durum yüksek oranda etanol karışımı kullanımı durumları için ortaya çıkan bir durumdur. Motorlu taşıtlarda kullanılan benzin tüketimi toplamda oldukça yüksek miktarlardadır. Dolayısıyla bu yakıt ihtiyacının tamamının alkol yakıt kullanımı ile gerçekleşmesi günümüzdeki alkol üretimi imkanı gözönüne alındığında pekte mümkün değildir. Bunun için genel olarak yapılan uygulamalara bakıldığında; etanol yakıt kullanımının benzin içerisine %10-20 gibi düşük oranda karışım yapılması şeklinde olmaktadır. Bu durumda soğuk havada çalışma problemi ortaya çıkmamaktadır.

7-) Alkoller solvent etkisi gösterdiklerinden dolayı benzine göre üretilmiş yakıt sistemlerindeki bazı malzemeleri bozabilirler (Sriram ve Reda, 1993). Benzin kullanımı ile yakıt sistemlerinde oluşan oksidasyon birikintileri benzinle çalışmada bir etkiye maruz kalmazlar. Buna karşın alkol yakıt ile çalışmada çözünen bu birikintiler yakıt sistemi elemanlarında tıkanmaya neden olabilir.

Düşük oranlarda alkol içeren (karışım içeriğinde %10 gibi) yakıt kullanımı bu sorunların oluşumunun önlenmesi açısından daha uygun bir çözümdür.

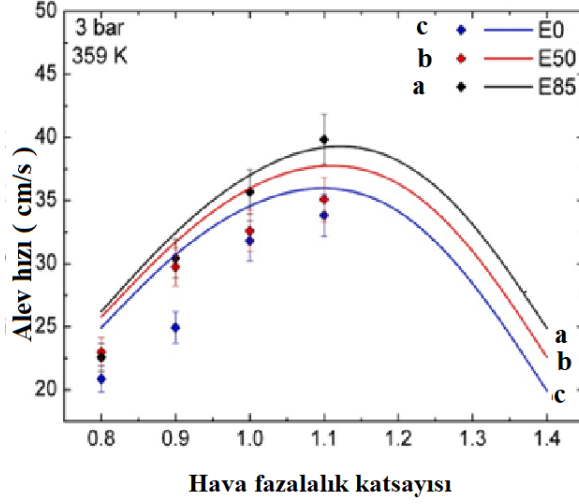
8-) Alkoller su içinde çözünme özelliğine sahip olmasına karşın, benzin ve motorin yakıtları ise suda çözünmezler. Su ile temas eden alkol-benzin karışımında ilk önce su alkol tarafından emilir. Karışım ile temas eden suyun miktarı arttığında ise karışım bileşenlerine ayrılır ve faz ayrışması sorunu ortaya çıkar. Bu durumu engellemek ve özellikle konvansiyonel yakıtlarla karışım yapabilmek için etanolün saflık derecesinin yüksek olması ve su içermemesi gereklidir.

9-) Tablo 1’de belirtildiği gibi benzin içerisine %10 oranında etanol katılarak oluşturulan gasohol yakıtı özellikleri ile benzine çok yakın değerler göstermektedir. Düşük oranlarda etanol katkılı yakıt kullanımı saf etanol kullanımına göre birçok avantajlı durum oluşturmaktadır.

10-) Günümüzdeki uygulamalara bakıldığında etanolün benzinli motor yakıtı olarak kullanımında genelde iki yöntem ön plana çıkmaktadır. Bunlar; benzin içine %10 etanol katkılı yakıt (E10) ve benzin içine %85 oranında etanol katkılı yakıt (E85) kullanımındadır.

11-) Etanol yakıtı benzine oranla daha yüksek alev hızı karakteristiği gösterir (Thangavelu vd., 2016). Bundan dolayı özellikle yüksek oranlarda etanol kullanımında motorun ateşleme avansında değişiklik yapılması gereksinimi vardır. Bilindiği gibi yanma sonu basınç ve sıcaklığına motor üst ölü noktadan (ÜÖN) sonra yaklaşık 10-15 KMA (krank mili açısı) dolayında ulaşılması yüksek ısı verim açısından önemlidir.

12-) Laminar alev hızı açısından etanol benzine oranla daha yüksek değer göstermektedir. Bu bakımdan etanol karışımı yakıt kullanımında yanma süresi daha kısaldığından ateşleme avansı konusunda optimizasyon sağlanması gereklidir. Etanolün fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında yüksek alev hızı, yüksek buharlaşma sıcaklığı ve yüksek oktan sayısı gibi özellikleri, silindirde daha yüksek sıkıştırma oranına ve daha kısa yanma süresine olanak tanır (Vargün ve Özsezen, 2023). Şekil 2’ de görüldüğü gibi benzin- etanol karışımında etanol içeriği arttıkça laminar alev hızının da arttığı görülmektedir. Burada E0, E50 ve E85 karışım yakıttaki etanol oranlarını ifade etmektedir.



Şekil 2: E0, E50 ve E85 için laminer alev hızlarının karşılaştırılması. (3 bar ve 359 K'de). (Almarzooq vd., 2023)

3.2. Benzinli motorun etanol ile çalışması için yapılması gereken işlemler

Etanolün saf olarak veya çok yüksek oranda karışım yakıt kullanımı için motor üzerinde önemli modifikasyonlar ve ek sistemler yapılması gerekmektedir. Bunun yanında benzin ile yapılacak %10-20 oranındaki etanol içerikli karışım yakıt kullanımında çok önemli modifikasyon yapılması ihtiyacı yoktur. Karışım yakıt kullanımı oktan sayısını arttırmak ve yakıtta oksijen kazandırmak içindir. Bilindiği gibi daha önce benzine oktan sayısını arttırmak için kurşun türevi maddeler katılmaktaydı. Ancak bu maddelerin insan ve çevre sağlığı üzerindeki zararlı etkilerinden dolayı alkol veya eter türü oktan arttırıcı bileşikler günümüzde kullanılmaktadır. Saf etanolün veya yüksek oranlı etanol karışımının benzin motorunda kullanımı için şu hususların gözönüne alınması gereklidir.

1-) Etanolün düşük stokiyometrik hava/yakıt oranıyla doğrultulu olarak yapılacak karışım yakıtında stokiyometrik hava/yakıt oranı azalma eğilimi gösterecektir. Bu durum karışım yakıtın fakirleşme etkisi olarak ifade edilebilir. Etanolün yüksek oksijen içeriğine ve benzine göre daha hızlı yanma hızına sahip olduğunu, bunun da yanma sürecini ve özellikle fakir karışımında yanma kabiliyetini etkili bir şekilde geliştirebildiğini göstermektedir (Zhao vd., 2022).

2-) Etanolün düşük ısıl değeri ve düşük stokiyometrik hava/yakıt oranı dikkate alınmalı ve motora kütleli olarak daha fazla yakıtın gitmesi sağlanmalıdır. Ayrıca kütleli olarak benzine oranla düşük ısıl değere sahip

etanol ile benzer motor gücü çıkışı elde etmek için motora gönderilecek kütlesele yakıt miktarının artırılması gereği vardır.

3-) Etanolün yüksek oktan sayısı özelliği gözönüne alınarak motorun sıkıştırma oranı artırılabilir. Sıkıştırma oranındaki bu artış motorda efektif güç artışı ve buna bağılı olarak özgül yakıt tüketimi (öyt) azalması yönünde olumlu etki oluşturacaktır. Etanolün yüksek sıkıştırma oranında çalışabilmesi ve yüksek gizli buharlaşma ısısı ise motorda vuruntu için direnç oluşturur (Wang vd., 2022).

4-) Etanolün yüksek olan buharlaşma ısısı ve buna bağılı düşük buhar basıncı özelliğini iyileştirmek için bir miktar düşük kaynama noktasına sahip yakıtla karışım oluşturulması veya ek yakıt uygulaması yapılabilir. Etanolün soğukta çalışma zorluklarının üstesinden gelmek için etanol yakıtlı araçlar yardımcı bir benzin enjeksiyon sistemi ile donatılmıştır (Sales ve Sodre, 2012).

5-) Saf etanol kullanımı özellikle yakıt sistemi kapsamında bulunan kauçuk ve plastik esaslı malzemelerde deformasyon oluşturabileceğinden bu malzemeler değiştirilmelidir. Bu bakımdan yakıt sisteminde etanolden etkilenmeyen malzeme kullanımı önemlidir.

Alkol yakıt olarak etanol kullanımı için motora aşağıdaki farklı sistemlerle sevk edilebilir (Göktaş vd., 2021).

- 1-) Motor yakıtlarına belirli oranlarda karıştırılması
- 2-) Emme manifolduna püskürterek veya buharlaştırarak kullanım
- 3-) Alkol ve motor yakıtları bir karıştırıcıda karıştırılarak motora belirli oranda gönderilmesi

3.3. Etanolün soğukta çalışma karakteristiği

Benzin yakıtı özelliği ile karşılaştırıldığında etanolün daha düşük buhar basıncı değerine sahip olduğu görülmektedir. Buhar basıncı değeri yakıtların soğuk havada çalışma karakteristiğini gösteren bir özelliktir. Genel olarak bakıldığında yakıtların buhar basıncı değerlerinin sıcaklık düşmesine bağılı olarak azaldığı görülmektedir. Benzin yakıtlı motorlar -40 °C 'ye kadar düşük ortam sıcaklıklarında çalışabilirken etanol yakıtlı motorlar soğuk çalışma sistemine ihtiyaç duymadan yalnızca 13 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda çalışabilir. Etanol buharlaşma sıcaklığı 78 °C iken benzinin hafif hidrokarbon bileşikleri 40 °C'de buharlaşmaya başlar. (Sales ve Sodre, 2012). Etanolün benzine oranla sahip olduğu yüksek buharlaşma ısısı ve düşük buhar basıncı özelliği motorun soğukta ilk hareket ve çalışmasında bazı zorluklar oluşturmaktadır. Düşük oranlı etanol katkılı yakıt kullanımında ortaya çıkmayan ancak özellikle motorlarda saf etanol kullanımı ile ortaya çıkan bu olumsuz durumun önlenmesi için bazı önlemlerin alınması gereklidir. Bu önlemler;

- 1-) Etanol yakıtına ek olarak benzin enjeksiyonu
- 2-) Elektrikli yakıt ısıtma
- 3-) Düşük buharlaşma ısısına ve kaynama noktasına sahip yakıt katkısı uygulaması

3.4. Benzin motorunda etanol yakıt kullanımında egzoz emisyonları ve motor performans parametreleri

Benzinden farklı olarak etanolün sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikler egzoz emisyonu ve motor performansı üzerinde farklılıklar oluşturmaktadır. Özellikle etanolün sahip olduğu oksijen içeriği hava-yakıt karışımı oluşumu ve yanma işlemlerinde olumlu yönde iyileşmeler yapmaktadır. Yakıtların içeriğinde bulunan hidrojen yüksek difüzyon katsayısından dolayı hava ile kolayca karışmakta ve yanmaktadır. Etanol kullanımı karışıma daha fazla oksijen içeriği sağladığından yakıt içeriğindeki karbon molekülleri benzin kullanımına göre daha iyi okside olacaktır. Bu durumun en belirgin göstergesi aynı gücü elde etmek için kütleli yakıt tüketimi artışı ile çalışmada CO emisyonlarında benzinle çalışmaya göre azalma olmasıdır. Bir çok çalışmada etanolün benzinle yapılan yakıt kullanımında CO emisyonunda azalma görülmektedir (Thangavelu vd., 2016). Bilindiği gibi CO emisyonu eksik yanma ürünü olan bir egzoz emisyonudur. Motorlarda yakıt/hava karışımının iyi olmadığı, ateşleme zamanının uygun olmadığı, motora yeterli hava alınmadığı ve sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığının düşük olduğu gibi durumlarda yanma iyi olmadığına artış göstermektedir. Etanol karışımları yakıtın içeriğini daha fazla arttırarak motordaki yanmayı iyileştirir ve sonuçta daha düşük CO emisyonu ortaya çıkar (Dhande vd., 2021). Etanol ve benzin ile yapılan karışımlarda genel olarak CO emisyonu azalması yansıra HC (hidrokarbon) emisyonunda azalma ve aldehit emisyonu artışında görülmektedir. Oksijenli yakıtların kullanımı yüksek karbonil bileşik emisyonları sağlamaktadır (E85 karışımı için benzine kıyasla yaklaşık 3,5 kat artış) ve bu esas olarak asetaldehitten kaynaklanmaktadır (Costagliola vd., 2013). Etanol yakıtların motorlarda kullanımında ortaya çıkan egzoz emisyonlarının belirleyici yönlerinden biriside etanolün saf veya benzinle karışım halinde kullanılması durumudur.

Etanol yakıt kullanımında NO_x emisyonları için ise farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bazı çalışmalarda NO_x emisyon artışı belirtilirken bazılarında ise NO_x emisyonlarında azalma olduğu açıklanmaktadır (Masum vd., 2013).

E50 ve E80 yakıtlarının karışım olarak kullanıldığı çalışmada etanol karışımlarında küçük oranda tork ve güç düşüşleri kaydedildiği, özgül yakıt tüketiminin arttığı belirtilmektedir. E50 ve E80 yakıtı ile HC emisyonu

konsantrasyonu azalırken biyoetanolün soğutma etkisi, daha fakir karışım ve daha düşük yanma sıcaklığı nedeniyle NO_x emisyonları azalmıştır (Renzi vd., 2016).

NO_x emisyonlarının motorlarda oluşumu için 1600 °C üzeri sıcaklıklar ve stokiometrik orandan daha yüksek hava fazlalık katsayısı etken olmaktadır. Bu yönüyle içten yanmalı motorlar NO_x emisyon oluşumu için uygun şartlara sahip olup önemli NO_x emisyon kaynakları olarak görülmektedir. NO_x emisyonu önlem alınması gereken bir kirleticidir. Etanol yakıt kullanımı ile NO_x emisyonlarındaki farklılıkların nedenleri olarak; test yöntemlerindeki farklılık, motor çalışma koşulları ve hava fazlalık katsayısı, etanolün saf veya karışım yakıt olarak kullanımı belirtilebilir.

Etanol yakıtı ile çalışmada NO_x emisyonundaki azalmanın gerekçesi olarak benzinle çalışmaya nazaran ortaya çıkan düşük yanma sıcaklığı belirtilebilir. Etanolün yüksek değerdeki buharlaşma ısısı göreceli olarak yanma sıcaklığını düşürebilmektedir. Bunun yanısıra motor çalışma koşullarında emisyonlar üzerinde etkili olmaktadır. Eğer benzinle çalışmaya göre etanol ile çalışmada motorun sıkıştırma oranı arttırılırsa sıkıştırma sonu ve buna bağlı olarak yanma sıcaklığı artacaktır. Bunun sonucu olarak etanol ile çalışmada NO_x emisyonu artışı ve HC emisyonlarında azalma meydana gelmektedir. Alkol yakıtlarla NO_x emisyonu artışına neden olarak; kimyasal yapıdaki oksijen içeriği nedeniyle alev hızı artışı, ön yanma süresinin kısa sürede gerçekleşmesiyle yanma iyileşmesi sonucu oluşan silindir sıcaklığı artışı belirtilmektedir (Göktaş vd., 2021).

Yakıt özelliğinden dolayı benzin motorlarında etanol kullanımı sonucunda is emisyonu ve kükürtdioksit gibi kirlenici emisyonların üretimi olmamaktadır.

Etanolün benzine göre sahip olduğu oldukça düşük ısıl değere dikkate alındığında motordan benzer güç değeri alabilmek için kütleli olarak daha fazla yakıt gönderilmesi gereği vardır. Ayrıca etanolün yüksek buharlaşma ısısı dolayısıyla emme zamanında silindire alınan yakıt/hava karışım dolgusu artmakta ve buna bağlı olarak volümetrik verim artışı sağlanmaktadır (Renzi vd., 2016). Buna bağlı olarak etanolün oksijen içeriği nedeniyle daha iyi karışım oluşumu ve yanma karakteristikleri, verim ve yakıt tüketimi hususunda olumlu yönde avantaj oluşturmaktadır. Sahip olduğu özellikleri nedeniyle etanolün motorlarda kullanımı ile termik verim değerlerinde artış olmaktadır. Bunun yanısıra düşük alt ısıl değerinden dolayı ise özgül yakıt tüketiminde artış eğilimi ortaya çıkmaktadır (Thakur vd., 2017). Düşük alt ısıl değerinden dolayı motora gönderilen kütleli yakıt tüketiminde artış olmasına rağmen özellikle özgül enerji tüketimi etanol yakıt ile azalmaktadır. Ayrıca etanolün benzine göre

düşük karbon içeriğinden dolayı, etanol katkısının CO₂ emisyonlarında azaltıcı etkisi vardır (Fayyazbakhsh vd., 2022).

4. DİZEL MOTOR YAKITI OLARAK ETANOL

4.1. Etanolün dizel motor yakıtı olarak kullanımı

Yakıt özellikleri olarak etanol benzin motorları için uygun bir yakıt olarak görülürken, dizel motorlarında saf yakıt veya yüksek oranda karışım olarak uygulanması konusunda önemli engeller vardır. Tablo 2’ de dizel yakıtı ve etanolün karşılaştırmalı olarak yakıt özellikleri ifade edilmektedir.

Tablo 2: Dizel yakıtı ve alkol yakıtların özellikleri (Chen vd., 2020)

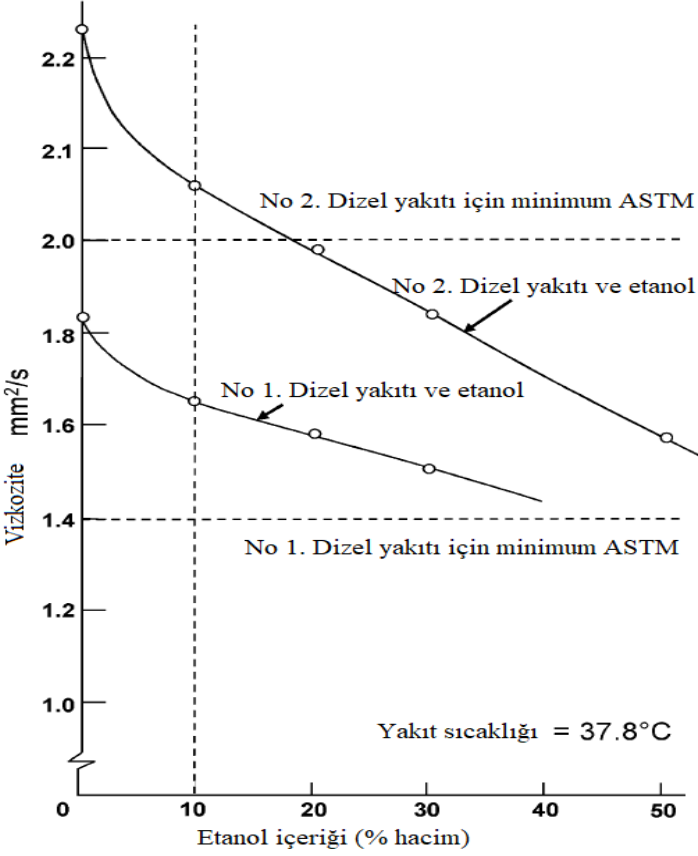
Özellik	Dizel yakıtı	Metanol	Etanol	n-bütanol
Kimyasal formül	C12-C25	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₄ H ₁₀ O
Yoğunluk (g/ml at 15°C)	0,83	0,79	0,803	0,810
Vizkozite (mm ² /s at 40 °C)	3,35	0,59	1,08	2,22
Setan sayısı (hesaplanan setan indeksi)	50,2	3	9	25
Kaynama noktası (°C)	188-343	64,8	78,4	117,7
Parlama noktası (°C)	78	11	13	35
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	235	470	420	345
Buharlaştırma ısısı (kJ/kg)	260	1110	900	707
Alt ısı değer (MJ/kg)	42,8	20,3	27	33,1
LBV (m/s)	-	52,3	39	-
Oktan sayısı	-	110	103	96
Karbon içeriği (wt%)	87,4	37,5	52,2	64,9
Hidrojen içeriği (wt%)	12,6	12,5	13	13,5
Oksijen içeriği (wt%)	0	50	34,8	21,6
Stokiyometrik H/Y oranı	14,5	6,5	9	11,2

1-) Mevcut dizel yakıtı yerine alternatif dizel motor yakıtı olarak kullanılacak bir yakıtın yüksek setan sayısı ve düşük kendi kendine tutuşma sıcaklığına sahip olması gerekir. Etanol yakıtının dizel motorlarında kullanımında sahip olduğu bazı özellikler önemli kısıtlamalar getirmektedir

(Krishnan vd., 2023). Etanol yakıtı konvansiyonel dizel yakıtına oranla son derece düşük setan sayısı değerine sahiptir. Ayrıca dizel motor yakıtı için önemli bir parametre olan kendi kendine tutuşma sıcaklığı daha yüksektir. Dolayısıyla etanolün saf olarak dizel motoru yakıtı olarak kullanılması olanağı yoktur. Ancak dizel yakıtı ile maksimum %20 etanol içeriği olacak şekilde karışım yapılması ile dizel yakıt özellikleri bozulmadan kullanımı mümkündür ve bunula ilgili çalışmalar yapılmaktadır.

2-) Dizel motor yakıtından istenen özelliklerden biriside yağlama karakteristiklerinin çok iyi olmasıdır. Dizel motorundaki yüksek basınç pompası ve yakıt püskürtme için kullanılan enjektörler çok düşük tolerans değerleri içinde çalışmaktadır. Hareket eden yüksek basınç pompa ve enjektör elemanları sistemde kullanılan yakıt ile yağlanmakta ve soğutulmaktadır. Etanol düşük viskozitesi ve yoğunluğu nedeniyle iyi bir yağlama karakteristiğine sahip değildir. Tüm karışım yakıtlarda etanol oranının artmasıyla karışımın viskozitesi dizele göre daha az olmaktadır (Kumar vd., 2022). Bundan dolayı dizel motorlarında kullanımda, etanolün düşük oranlı olarak dizel yakıtı ile karışım oluşturması yöntemi tercih edilmektedir. Ayrıca yüksek oranda etanol karışımı pompa ve enjektör elemanları arasından sızan geri dönüş yakıt miktarının artmasına neden olarak motora gönderilen yakıt miktarı ve motor gücünde kısmen azalmaya neden olabilir.

Şekil 3’de görüldüğü gibi dizel yakıtının viskozitesi ve yağlayıcılık özelliği etanol ile karışım yapıldığında azalır. No 2. Dizel yakıtına ($2,46 \text{ mm}^2/\text{s}$ viskoziteli) %18.5 oranında etanol ($1,1 \text{ mm}^2/\text{s}$ viskoziteli) karıştırıldığında, karışım yakıtın viskozitesi ASTM viskozite değeri için minimum olan $2 \text{ mm}^2/\text{s}$ viskozite değerinde olmaktadır (Hansen vd., 2005). Bu şekil, $37.8 \text{ }^\circ\text{C}$ yakıt sıcaklığındaki viskozite değişimini ifade etmektedir.



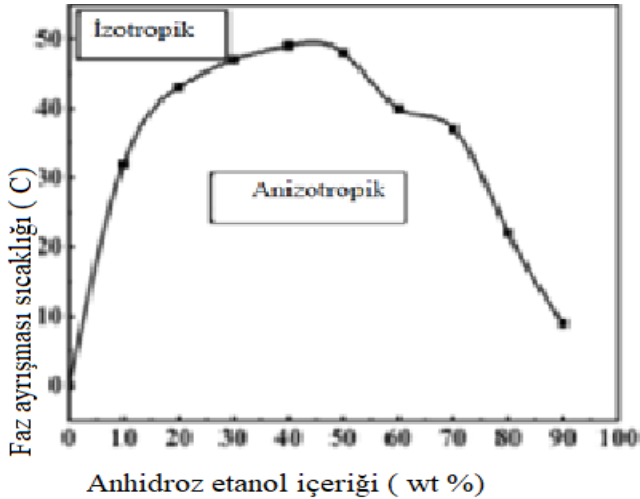
Şekil 3. Etanol içeriğinin yakıt viskozitesine etkisi. (Hansen vd., 2005)

Dolayısıyla dizel yakıtına daha yüksek oranda etanol karışımı yapılması sonucunda viskozite ASTM değeri altına düşecektir. Ancak bu karışım No. 1 dizel yakıtı ASTM değeri üzerinde olmaktadır. 3-) Dizel yakıtına oranla etanol oldukça yüksek buharlaşma gizli ısısına sahiptir. Yüksek buharlaşma ısısı nedeniyle, dizel yakıtına yapılan etanol katkısı karışımın buharlaşma için çektiği ısı miktarını artırır. Bu, motora giden dolgu üzerinde soğutucu etki yaptığından kısmen volümetrik verimi artırır.

4-) Etanol dizel yakıtına kıyasla karbon içeriği düşük ve farklı olarak oksijen içeren bir yakıttır. Ayrıca yanması için gerekli stokiyometrik hava/yakıt oranı düşüktür. Buna göre dizel yakıtı ile karışım oluşturularak yakılması durumunda karışımın oksijen içeriğini artırarak hava/yakıt oranını daha fakir yapacaktır. Bu etkiler yanma verimini artırıp egzoz emisyonları ve motor performansı üzerinde iyileştirici etki yapmaktadır.

5-) Etanol yüzdesi %15'e kadar olan karışımlar ASTM D975 standartlarına göre uygun fizikokimyasal özellikler göstermektedir. %15 den fazla etanol karışımlarında faz ayrışması ortaya çıkmıştır (Kumar vd., 2022).

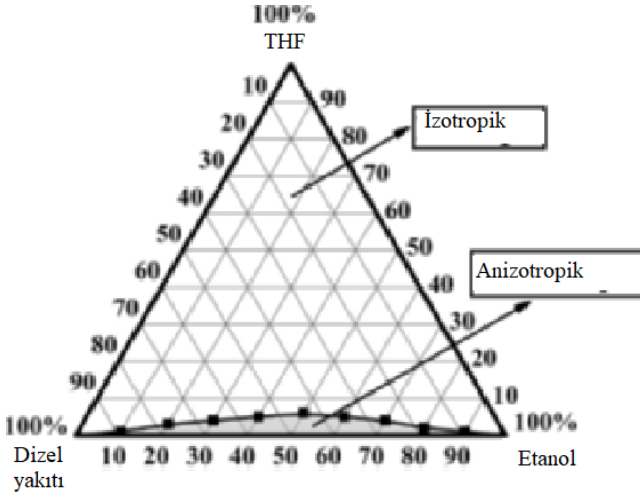
6-) Etanolün düşük karbon içeriği ve yüksek polaritesi nedeniyle dizel yakıtı ve etanol karışımı kararsızdır ve faz ayrışması eğilimi vardır. Etanol ve dizel yakıtının titrasyon deneyi ile yapılan çözünürlüğü Şekil 4' de görülmektedir. Eğrinin üst kısmı karışımın çözünür olduğunu buna karşın alt kısmı ise karışımın anizotropik olduğunu ifade etmektedir. Dizel yakıtı- etanol karışımlarının 25 °C sıcaklıkta etanol oranının çok yüksek veya düşük olduğu durumlarda çözünür olduğu anlaşılmaktadır. Dizel yakıtı ve etanol karışımlarında çözünürlüğü sağlamak için yardımcı çözücü maddeler katılması gerekli olmaktadır.



Şekil 4. Dizel yakıtı- etanol karışımlarının faz ayrışması. (Wu vd., 2020)

7-) Şekil 5'de dizel yakıtı ve etanol karışımlarına tetrahidrofur (THF) katkısı ile oluşturulan üç bileşenli yakıtın 20 °C sıcaklıktaki faz davranışları belirtilmektedir. Burada izotropik durum eğrinin üstünde anizotropik durum ise gri renkli olarak eğrinin altında görülmektedir. Dizel yakıtı ve etanol THF katkısı ile tamamen karışabilir durumda olmaktadır. Küçük oranlarda THF ilavesi bile dizel yakıtı ve etanol arasındaki karışabilirliği arttırmaktadır. Örneğin %30 etanol içeren dizel yakıtı-etanol karışımı hacim olarak %4 THF ilavesiyle homojen bir çözelti halinde çözünmektedir. %7 oranında THF katkısı ise çözeltinin herhangi bir oranını çözebilmektedir. Ayrıca n-bütanol ve

polioksümetilen dimetil eter (PODE) gibi başka katkı maddeleride dizel yakıtı- etanol karışımlarının çözünürlüğünü arttırabilmektedir.



Şekil 5. Dizel yakıtı, etanol ve THC katkılı yakıtın 20 °C sıcaklıkta faz karakteristiği. (Wu vd., 2020)

4.2. Dizel yakıtı etanol karışımı yakıtı ile çalışmada dizel motor performansı ve egzoz emisyonları

1-) Dizele metanol, etanol (%10) veya n-bütanol ilavesi, daha uzun bir tutuşma gecikmesine, HRRmax ve CGPmax'ta bir artışa ve daha kısa bir yanma süresine neden olmuştur. Dizele metanol, etanol (%10) veya n-bütanol ilavesi, daha uzun bir tutuşma gecikmesine, maksimum ısı yayılım oranı (HRRmax) ve maksimum silindir gaz basıncında (CGPmax) bir artışa ve daha kısa bir yanma süresine neden olmuştur (Chen vd., 2020).

2-) Dizel yakıtı/etanol/n-bütanol karışimli yakıtların kullanılmasının motor efektif gücünü azalttığı ve dizel motorun efektif özgül yakıt tüketimini arttırdığı belirtilmektedir. Bunun yanısıra bu yakıtların motorun termal verimini ise arttırdığı görülmüştür. Bu farklılığın etanol ve n-bütanolün dizel yakıtına göre daha yüksek oksijen içeriği, daha düşük setan sayısı ve düşük alt ısıl değerinden kaynaklanan birleşik etkinin sonucu olduğu belirtilmektedir (Zhang vd., 2022).

3-) Etanol-dizel yakıt karışımları üzerinde yürütülen emisyon testleri ile belirlenen en belirgin sonuç PM (is) emisyonlarındaki önemli ölçüde azaltmanın sağlanmasıdır. Karbon monoksit (CO), toplam hidrokarbon (THC) ve nitrojen oksitler (NO_x) üzerindeki etki daha az açıktır. Buna ek olarak, karşılaştırmalı emisyon verileri yakıtın neden olduğundan daha büyük

farklılıklara etken olabilecek bir dizi faktörden etkilenmektedir. Bu faktörler arasında motor yakıt ölçüm teknolojisi, egzoz kontrol teknolojisi, aracın yaşı, bakım geçmişi, test prosedürü ve test koşulları ifade edilebilir. Bununla birlikte, bu testler, bu karışımların geleneksel dizel yakıtın yerine kullanılmasının göreceli faydalarını ölçmek için bir araç sağlar (Hansen vd., 2005).

4-) Etanol gibi düşük setan sayılı yakıtların dizel motorunda yakıt olarak kullanımında yapılan yöntemlerden biride çift yakıt uygulamasıdır. Bu yöntemde etanol emme portuna verilirken dizel yakıtı silindir içine yüksek basınç pompasıyla püskürtülmektedir. Dizel yakıtı ve etanolün çift yakıt yöntemiyle % 40 gibi etanol içeriğiyle uygulandığı bir çalışmada NO_x emisyonlarında etanol ile çift yakıtlı çalışmada azalma meydana gelmiş ve nedeni olarak yüksek buharlaşma gizli ısıyı ifade edilmiştir. PM (is) emisyonunda ise önceden karışımın homojen yanması nedeniyle etanol ilaveli yakıt ile dizel yakıtı ile çalışmaya oranla azalma olmuştur. Etanol yakıtı ile çok fakir olan ön karışımli yanmadan dolayı HC emisyonunda belirgin artış olmuştur. CO emisyonu etanol yakıtlı çalışmada düşük yüklerde küçük bir oranda artarken yüksek yüklerde ise azalmıştır. Etanol ile çift yakıtlı çalışma modunda özgül enerji tüketimi yüksek motor yüklerinde azalma eğilimi göstermiştir (Varghese vd., 2023). Yapılan çalışmada çift yakıtlı çalışmada özellikle yüksek motor yüklerinde daha iyi yanmadan dolayı performans ve emisyon değerlerinde iyileşmelerin olduğu anlaşılmaktadır.

SONUÇLAR

1-) Yenilenebilir bir yakıt olması nedeniyle benzinli ve dizel motor yakıtı veya yakıt katkısı olarak etanole günümüzde önemli ilgi vardır ve kullanım imkanı bulmaktadır. Zira ürünlerden üretilen biyoetanol sera etkisi oluşturan CO₂ emisyonlarının azaltılması yönünde karbon nötr olarak değerlendirildiği için önemli bir etki sağlamaktadır.

2-) Yüksek oktan sayısı dolayısıyla benzin motorlarında kullanım için etanol benzinle düşük oranlı (%10-20) veya yüksek oranlı (%85) karışım oluşturularak uygulanabilir. Ancak yüksek oranlı etanol katkısı kullanımlarında motor veya yakıt ile ilgili düzenleme veya modifikasyon yapılması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca benzine kıyasla; oksijen içermesi, yanma hızının yüksek olması, buharlaşma ısısının yüksek olması diğer avantajlı yönleri olarak görülmektedir. Yakıt-hava karışımı oluşumu ve yanmayı iyileştirdiğinden dolayı etanol kullanımı ile belirgin olarak benzin motorlarında CO emisyonu azalması ve ısı verim yönünde artış olmaktadır.

3-) Düşük setan sayısı nedeniyle etanolün dizel motorunda dizel yakıtı yerine saf olarak veya yüksek oranlarda karışım yapılarak kullanılma imkanı yoktur. Ancak dizel yakıtıyla düşük oranlarda (%10-20) karışım oluşturularak kullanımı yönünde uygulamalar yoğun biçimde sürdürülmektedir. Dizel motorunda düşük oranlı karışım olarak etanol kullanımı tercihi için diğer bir nedende yağlayıcı özelliğinin iyi olmamasıdır. Dizel motorlarında etanol kullanımında yanmayı iyileştirdiğini gösteren en belirgin husus PM (is) emisyonlarında ortaya çıkan azalma ve ısı verimindeki artış olarak değerlendirilebilir.

4-) Motorlarda kullanımında konvansiyonel yakıtlarla karışım oluşumunda etanol için ortaya çıkan sorunlardan biri faz ayrışması diğeride soğuk havada çalışma ortamında oluşan zorluktur. Düşük oranlı etanol katkısında nispeten oluşmayan bu sorunların çözümü için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Faz ayrışması sorunu için karışıma eklenen ve çözünürlüğü arttıran katkı maddeleri, soğukta çalışma problemi içinde buhar basıncı yüksek katkı maddeleri uygulamaları ön plana çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- Almarzooq, Y.M., Schoegl, I. , & Petersen, E.L. (2023) . Laminar flame speed measurements of a gasoline surrogate and its mixtures with ethanol at elevated pressure and temperature. *Fuel* 343, 128-003
- Chen, Q. , Wang, C. , Shao, K. , Liu, Y. , Chen, X. , & Qian, Y. (2020).Analyzing the combustion and emissions of a DI diesel engine powered by primary alcohol (methanol, ethanol, n-butanol)/diesel blend with aluminum nano-additives. *Fuel* 328, 125222
- Costagliola, M.A. , Simio, D. , Lannaccone, S. & Prsti, M.V. (2013) . Combustion efficiency and engine out emissions of a S.I. engine fueled with alcohol/gasoline blends. *Applied Energy* 111, 1162–1171
- Dhande, D.Y. , Sinaga, N. , & Dahe, K.B. (2021) . Study on combustion, performance and exhaust emissions of bioethanol-gasoline blended spark ignition engine. *Heliyon* 7, e06308
- Fayyazbakhsh, A. , Bell, M.L. , Zhu, X. , Mei, X. , Kouny, M. , Hajinajaf, N. , & Zhang, Y. (2022) Engine emissions with air pollutants and greenhouse gases and their control Technologies. *Journal of Cleaner Production* 376, 134-260
- Goktas, M. , Balki, M.K. , Sayin, C. , & Canatci, M. (2021) .An evaluation of the use of alcohol fuels in SI engines in terms of performance, emission and combustion characteristics: A review. *Fuel* 286, 119-425
- Hansen, A.C. , Zhang, Q. , & Lyne, P.W.L. (2005) . Ethanol–diesel fuel blends—a review. *Bioresource Technology* 96, 277-285
- Karabektas M., Ergen G., Hosoz M. (2013) Effects of the blends containing low ratios of alternative fuels on the performance and emission characteristics of a diesel engine. *Fuel* 112, 537-541
- Krishnan, M.G. , Rajkumar, S. , Thangaraja, J. , & Devarajan, Y. (2023) . Exploring the synergistic potential of higher alcohols and biodiesel in blended and dual fuel combustion modes in diesel engines: A comprehensive review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 35, 101-180
- Kumar, M. , Koul, R. , & Singh, R.C. (2022) Comparative analysis of ternary blends of renewable Diesel, diesel and ethanol with diesel. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 50, 101-828
- Kumbhar, S.V. , & Khot, S.A. (2023) . Experimental investigations of ethanol-gasoline blends on the performance, combustion, and emission characteristics of spark ignition engine spark ignition (S.I) engine with partial addition of n-pentane. *Materials Today: Proceedings* 77, 647-653
- Liu, S. , Lin, Z. , Zhang, H. , Fan, Q. , Lei, N. & Wang, Z. (2023) .Experimental study on combustion and emission characteristics of ethanol-gasoline

- blends in a high compression ratio SI engine. *Energy* 274, 127-398
- Masum, B.M. , Masjuki, H.H. , Kalam, M. , Fattah, I.M.R. , Palash, S.M. , & Abedin, M.J. (2013) . Effect of ethanol–gasoline blend on NO_x emission in SI engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24, 209-222
- Ozsezen, A.N. , Vargun, M. , Kaya, B. , & Türkcan, A. (2023) . Determination of optimal combustion conditions in a diesel engine operating on ethanol/diesel mixtures. *Journal of the Energy Institute* 107, 101-195
- Renzi, M. , Bietresato, M. , & Mazzetto, F. (2016) .An experimental evaluation of the performance of a SI internal combustion engine for agricultural purposes fuelled with different bioethanol blends. *Energy* 115, 1069-1080
- Sales, L.C.M. , & Sodre, J.R. (2012) . Cold start characteristics of an ethanol-fuelled engine with heated intake air and fuel. *Applied Thermal Engineering* 40, 198-201
- Sriram, S.S popuri, & Reda, M. Bata. (1993) A performance study of iso-butanol,-metanol,-and ethanol-gasoline blends using a single cylinder engine. SAE paper 932-953
- Thakur, A.K. , Kaviti, A.K. , Mehra, R. , & Mer, K.K.S. (2017) .Progress in performance analysis of ethanol-gasoline blends on SI engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 69, 324-340
- Thangavelu, S.K. , . Ahmed, A.S. , & Ani, F.N. (2016) Review on bioethanol as alternative fuel for spark ignition engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 56, 820-835
- Varghese, K. J. , Nair, P.A. , Antony, M. , Krishna, G. , & Siju, J.K. (2023). Experimental investigation of ethanol diesel dual fuel DI diesel engine. *Materials Today: Proceedings*.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.292>
- Vargün, M. , & Ozsezen, A.N. (2023) . Evaluation of the effect of the fuel injection phase on the combustion and exhaust characteristics in a diesel engine operating with alcohol-diesel mixtures. *Energy* 270, 126-975
- Wang, X. , Gao, J. , Chen, Z. ,Chen, H. , Zhao, Y. , Huang, Y. & Chen, Z. (2022) .Evaluation of hydrous ethanol as a fuel for internal combustion engines: A review. *Renewable Energy* 194, 504-525
- Wu, Y. , Zhang, X. , Zhang, Z. , Wang, X. , Geng, Z. , Jin, C. , Liu, H. , & Yao, M. (2020) . Effects of diesel-ethanol-THF blend fuel on the performance and exhaust emissions on a heavy-duty diesel engine *Fuel* 271, 117633
- Yeboah, O., & Shaik, S. (2021). The influence of climate change on the demand for ethanol. *Renewable energy* 1559-1565
- Zhang, Z. , LÍ, J. , Tian, J. , Dong, R. , Zou, Z. , Gao, S. , & Tan, D. (2022) . Performance, combustion and emission characteristics investigations on a

diesel engine fueled with diesel/ ethanol /n-butanol blends. *Energy* 249, 123-733

Zhao, Z. , Yu, X. , Huang, Y. , Shi, W. , Guo, Z. , Li, Z. , Du, Y. , Jin, Z. , Li, D. , Wang, T. , & Li, Z. (2022) Experimental study on combustion and emission of an SI engine with ethanol /gasoline combined injection and EGR. *Journal of Cleaner Production* 331, 129-903

Bölüm 12

HARİTA MÜHENDİSLİĞİNDE DİK KOORDİNAT SİSTEMİ VE TEMEL ÖDEVLER

Dr.Öğr.Üyesi Nihat ERSOY¹

GİRİŞ

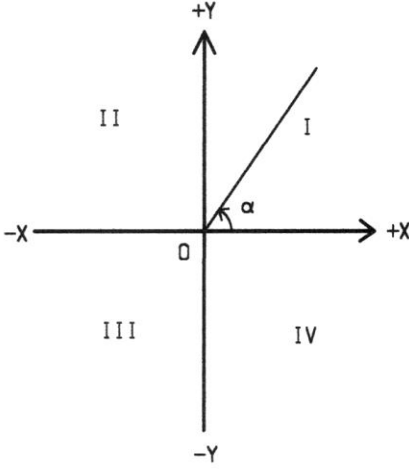
Dünyamızın üçüncü katmanı olan canlıların yaşadığı yeryüzü üzerindeki arazi, arsa, ada, parsel gibi küçük alanların hesapları, düzlem trigonometri kuralları ile daha büyük alanların hesabı ise küresel trigonometri kuralları yapılır. Çünkü haritası yapılacak büyük alanların oluşturduğu dünyamızı düzlem olarak tanımlayamayız.

Küresel trigonometride; Dünya üzerinde ölçülen yatay açıları oluşturan doğrultular, yatar doğrultular değildir. Bunlar küresel açılardır. Aynı şekilde Dünya üzerinde ölçülen uzunluklarda, doğru parçaları olmayıp esasında yay parçalarıdır. Bunlara küresel uzaklık denmektedir.

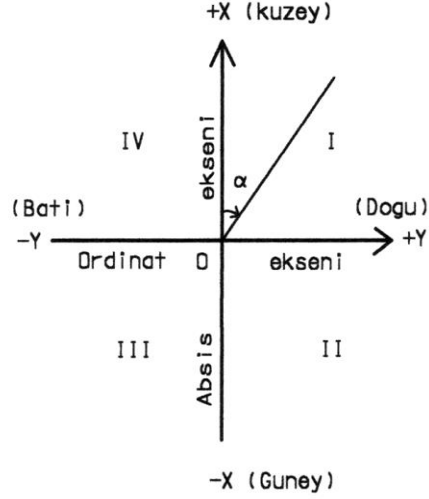
Matematikte ve harita mühendisliğinde farklı koordinat sistemleri kullanılır. Matematikte kabul edilen dik koordinat sisteminde; sağa ve sola giden X, yukarı ve aşağı giden Y eksenleri olarak tanımlanmıştır. Açıların pozitif artma yönü ile eksenler tarafından dört bölüme ayrılan yatay düzlemde bölümlerin numaralanması saat ibresinin tersi yönünde yapılır (şekil.1).

Harita mühendisliğinde kullanılan dik koordinat sisteminde; sağa ve sola giden yatay eksen Y ile gösterilir ve ordinat eksenini adı alır. Yukarı ve aşağı giden düşey eksen X ile gösterilir ve apsis eksenini adı alır. Ordinat eksenini doğu - batı, apsis eksenini ise kuzey - güney yönünü gösterir (şekil.2).

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.
ersoy@yildiz.edu.tr Orcid.ID : 0000-0002-7068-8811



Şekil.1: Matematikte kullanılan dik koordinat sistemi



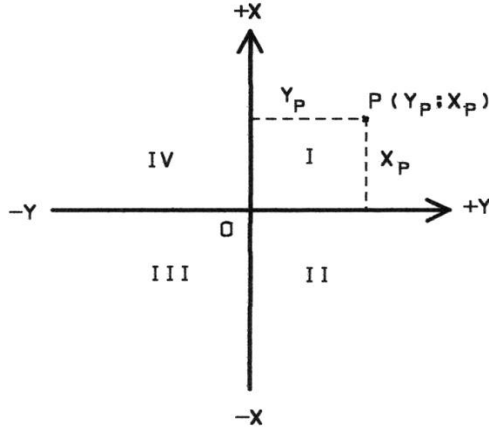
Şekil.2: Haritacılıkta kullanılan dik koordinat sistemi

Haritacılıkta, Dik koordinat sisteminin oluşturduğu düzlem üzerindeki herhangi bir kenarın veya doğrultunun, kuzeye yönelik + X eksenini saat ibresi yönünde yapmış olduğu açıya, o kenarın veya doğrultunun **Açıklık açısı** veya **Semt açısı** denir. Bir doğrultu ise en az iki noktayla belirlenebildiğine göre tanımlanan Açıklık açısı için, düzlemde mutlaka iki noktanın belirli olması ve bunların oluşturduğu doğrultunun semtinin söz konusu olması gerekir. Şekil 9.2 de görüldüğü gibi Açıklık veya Semt açısından bahsedildiği zaman bu açı genelde α olarak gösterilir.

Harita mühendisliğinde karşılaşılan problemlerin çözümü; Bu ünite tanımlanan Dik Koordinat Sisteminden yararlanarak anlatılan Temel Ödevler yardımı ile yapılır.

1. Dik Koordinat Sistemi

Arazi üzerinde bulunan noktaların birbirlerine göre durumlarını tespit etmek için yatay bir düzlem içinde birbirine dik olan iki doğru kullanılır. Bu doğruların teşkil ettiği sisteme **dik koordinat sistemi** denir. Doğrulara ise **eksen** denir. Eksenlerin kesişme noktasına **orjin** (başlangıç) **noktası** (O) adı verilir. Bu noktadan itibaren kuzey yönü (+X), güney yönü (-X), doğu yönü (+Y) ve batı yönü (-Y) dir.



Şekil.3: Dik koordinat sistemi

Koordinat sisteminin eksenleri, düzlemi dört bölüme ayırırlar. Bu bölümler şekilde görüldüğü gibi +X ekseninden başlayarak saat ibresi yönünde I, II, III, IV numaralı bölümleri oluşturur.

Dik koordinat sisteminde herhangi bir P noktasının konumu (yeri) , bu noktadan eksenlere olan uzaklıklar ile belirlenir. Noktanın Y eksenine uzaklığı X_P değeri ile X eksenine olan uzaklığı Y_P değeri ile belirlenir. Bu değerler P noktasının bu koordinat sistemindeki koordinat değerleridir (Şekil.3).

Şekil.4 ve 5’ de görüldüğü gibi AB doğrusunun A noktasındaki semt açısı, B noktasındaki semt açısından 200° farklıdır. Bunu formülle ifade edersek şekilde göre;

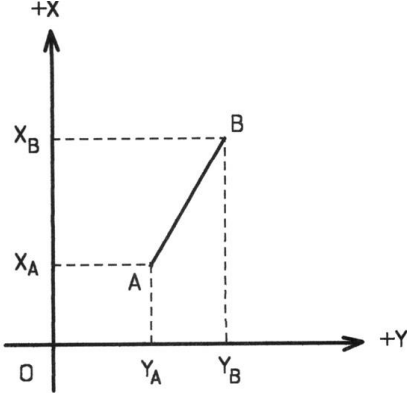
$$(AB) + 200^\circ = (BA) \quad \text{veya}$$

$$(BA) - 200^\circ = (AB) \quad \text{diyebiliriz.}$$

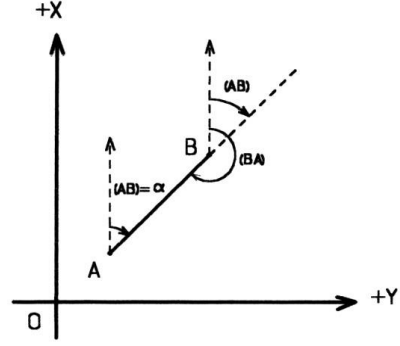
AB doğrusunun B noktasındaki semt açısı ise A noktasındaki semt açısına göre 200° az veya 200° fazla olabileceği için AB doğrusunun iki ucundaki semt açıları genel olarak;

$$(AB) = (BA) \pm 200^\circ \quad \text{eşitliği ile gösterilir.}$$

Semt açısı 0° ile 400° arasında değişir.



Şekil 4: AB doğrusunun dik koordinat Sistemindeki yeri



Şekil 5: AB doğrusunun İki ucu Arasındaki semt açısı

2. TEMEL ÖDEVLER

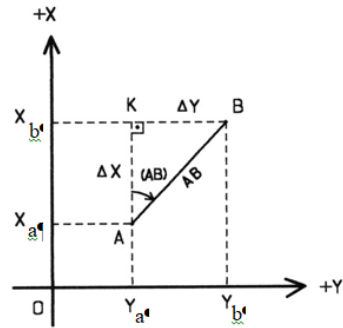
Haritacılıkta çok sık karşılaşılan birkaç problem vardır. Bunlara **temel ödevler** denir. Bu temel ödevlerden, birçok bilinmeyen bulunmasında yararlanır. Bunlar noktaların koordinatları, iki noktanın birbirine olan uzaklıkları, iki doğrunun kesişme noktalarındaki açılarının bulunması veya bir noktadaki semt açısının bulunması gibi bilinmeyenler olabilir. Bütün bu bilinmeyenler temel ödevler sayesinde çözülür. Temel ödevleri dört ana başlık altında inceleriz.

2.1 I. Temel Ödev

Koordinat taşıma olarak adlandırılan bu problemde, bir A noktasının koordinatları $(Y_a; X_a)$, bu noktadan ikinci bir B noktasına olan (AB) semt açısı ve AB uzunluğu verilmiş iken ikinci noktanın yani B noktasının koordinatları $(Y_b; X_b)$ hesaplanır.

Verilenler: $Y_a, X_a, (AB)$, ve AB

İstenenler : Y_b, X_b



Şekil 6: I. Temel ödev

$$Y_b = Y_a + \Delta Y \quad ; \quad X_b = X_a + \Delta X \quad (2.1)$$

$$\Delta Y = Y_b - Y_a \quad ; \quad \Delta X = X_b - X_a \quad \text{yazılır.} \quad (2.2)$$

Şekil 6'da görüldüğü gibi A ve B noktalarından Y ve X eksenlerine paraleller çizdiğimizde oluşan AKB dik üçgeninde, A noktasındaki açı (AB) semt açısına eşit olduğuna göre bilinen trigonometrik fonksiyonlardan;

$$\sin(\text{AB}) = \frac{\Delta Y}{\text{AB}} \Rightarrow \Delta Y = \text{AB} \cdot \sin(\text{AB}) \quad (2.3)$$

$$\cos(\text{AB}) = \frac{\Delta X}{\text{AB}} \Rightarrow \Delta X = \text{AB} \cdot \cos(\text{AB}) \quad (2.4)$$

Elde edilirler. Bu eşitlikler (2.1) eşitliklerinde yerine konursa,

$$Y_b = Y_a + \text{AB} \cdot \sin(\text{AB}) \quad (2.5)$$

$$X_b = X_a + \text{AB} \cdot \cos(\text{AB}) \quad \text{formülleri elde edilir.} \quad (2.6)$$

Örnek: A noktasının koordinatları $Y_a = 16250,67$ m, $X_a = 24242,81$ m ve $\text{AB} = 125,75$ m ile $(\text{AB}) = 174^{\text{g}},5260$ olarak verildiğine göre B noktasının koordinatlarını hesaplayınız?

Çözüm: (2.5) ve (2.6) formülleri kullanılarak B noktasının koordinatları;

$$Y_b = 16250,67 + 125,75 \sin(174^{\text{g}},5260) = 16299,66 \text{ m}$$

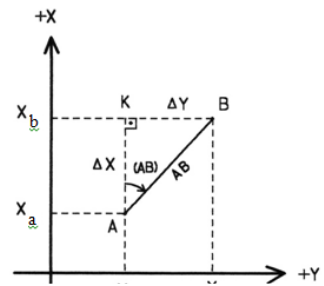
$$X_b = 24242,81 + 125,75 \cos(174^{\text{g}},5260) = 24126,99 \text{ m}$$

2.2 II. Temel Ödev

Bu problemde Koordinatları bilinen A ve B noktalarını birleştiren AB doğrusunun (AB) semt açısı ile AB kenar uzunluğu hesaplanır.

Verilenler : A (Y_a, X_a), B (Y_b, X_b)

İstenenler : (AB), AB



Şekil 7: I. Temel ödev

Şekil 7’de görüldüğü gibi Y ve X eksenlerine birer dik çizecek olursak, oluşacak AKB dik üçgeninde, KB dik kenarının AK dik kenarına oranı (AB) semt açısının tanjantını verir. Buna göre;

$$\text{tg}(AB) = \frac{Y_b - Y_a}{X_b - X_a} = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (2.7)$$

formülü ile (AB) semt açısının tg değeri bulunur.

Hesap makineleri; (AB) semt açısının kaçınıcı bölgede olduğunu vermediğinden (AB) semt açısının hangi bölgede olduğunu belirlemek için ; (2.7) formülündeki ΔY ve ΔX farklarının işaretine bakılır. ΔY ve ΔX farklarının işareti dikkate alınarak (AB) semt açısı hesaplanırsa I. bölgede hesaplanan açı aynen kalır. II. ve III. bölgede 200^g , IV. bölgede ise 400^g eklenir.

Tablo 1: Açıklık açısı veya Semt açısı bölgesinin belirlenmesi

Bölge			(AB) =
I	+	+	
II	+	-	200 +
III	-	-	200 +
IV	-	+	400 +

Bölgelerin belirlenmesi çizimle de mümkündür. Bunun için A noktasına göre ve değerleri ve işaretleri göz önüne alınarak çizilir. Ulaşılan B noktası ile A noktası birleştirilerek (AB) semt açısı bölgesi belirlenir.

Bulunan semt açısı ve veya koordinat farkları yardımı ile AB uzunluğu;

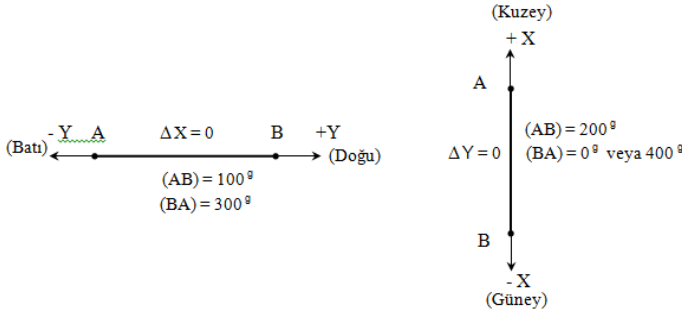
$$(2.8)$$

Haritacılıkta, hesaplar kontrollü olarak yapıldığı için bu formül ile bulunur. veya Şekil 8’deki AKB dik üçgenindeki Pisagor bağıntısına göre;

$$\text{formülü ile hesaplanır.} \quad (2.9)$$

Özel durum: Tam doğu–batı yönünde olan bir doğrunun semt açısı hesabında = 0 ve tam kuzey–güney yönünde olan bir doğrunun semt açısı

hesabında da = 0 olur. Böyle bir durumda semt açısının hesaplanmasında hesap makinesine gerek yoktur. Bunun nedeni; doğu–batı doğrultusu için yapılacak hesaplamada olacağından, hesap makinesi ile bir değer elde edilemeyecektir.



Şekil 9: $\Delta X = 0$ veya $\Delta Y = 0$ olduğu durumlarda (AB) Semt açılarının Geometrik gösterimi

Örnek:

NN	Y (m)	X (m)
A	16301.44	24256.75
B	16183.98	24102.48

Noktaların koordinatları verildiğine göre (AB) semt açısını ve AB uzaklığını bulunuz.

Çözüm: (2.7) formülü ile (AB) semt açısı,

$$\text{tg}(AB) = \frac{183,98 - 301,44}{102,48 - 256,75} = \frac{-117,46}{-154,27} = +0,76139236$$

$$\Rightarrow (AB) = \text{arc tg} (0,76139236) = 41^{\circ},4282 \text{ bulunur.}$$

Elde edilen (AB) semt açısı, $\frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{-}{-}$ olduğundan III. bölgededir.

Bu durumda açığa 200° eklenerek , (AB) = $241^{\circ},4282$ bulunur.

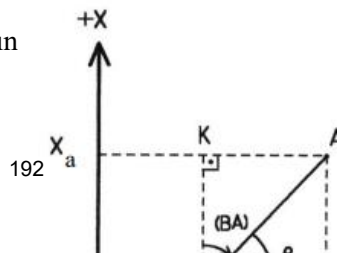
(2.8) formülü ile AB uzunluğu,

$$AB = \frac{-117,46}{\sin(241^{\circ},4282)} = \frac{-154,27}{\cos(241^{\circ},4282)} = 193,90 \text{ m veya (2.9) formülü ile}$$

$$AB = \sqrt{(-117,46)^2 + (-154,27)^2} = 193,90 \text{ m}$$

2.3 III. Temel Ödev

Koordinatları verilmiş üç noktanın oluşturduğu açının hesaplanması



problemidir. A , B ve C gibi üç noktanın koordinatları verildiğine göre bunları birleştiren doğrular arasındaki β açısı hesaplanır.

Verilenler :

A (Y_a, X_a)

B (Y_b, X_b)

C (Y_c, X_c)

Şekil 10: III. Temel ödev

İstenenler : $\beta = \hat{A}BC$ açısı

Şekildeki A, B, C noktalarının koordinatlarından (BA) ve (BC) semt açıları, II. Temel ödevde göre;

$$\text{tg}(\text{BA}) = \frac{Y_a - Y_b}{X_a - X_b} \quad ; \quad \text{tg}(\text{BC}) = \frac{Y_c - Y_b}{X_c - X_b} \quad (2.10)$$

formülleri ile hesaplanır.

Şekil 10'da görüldüğü gibi saat ibresi yönünde sonuncu doğrultunun semt açısından (BC), bir önceki doğrultunun semt açısını (BA) çıkarmak sureti ile β açısı ;

$$\beta = (\text{BC}) - (\text{BA}) \quad \text{eşitliği ile hesaplanır.} \quad (2.11)$$

eğer, $(\text{BA}) > (\text{BC})$ ise $(\text{BC}) + 400^g$ alınır.

Örnek:

NN	Y (m)	X (m)
A	216.40	420.54
B	514.57	014.69
C	782.86	586.48

Noktaların koordinatları verildiğine göre $\hat{A}BC$ açısının değerini hesaplayınız.

Çözüm: (2.10) formülü ile (BC) ve (BA) semt açıları,

$$\text{tg}(BC) = \frac{782,86 - 514,57}{586,48 - 14,69} = \frac{+268,29}{+571,79} = +0,469211 \Rightarrow (BC) = \arctg(0,469211) = 27^{\circ},9294$$

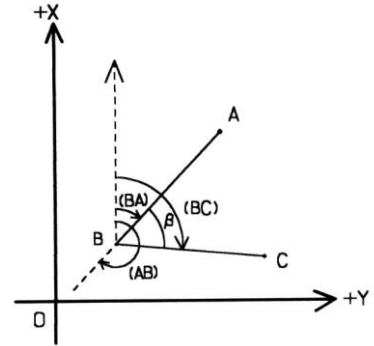
$$\text{tg}(BA) = \frac{216,40 - 514,57}{420,54 - 14,69} = \frac{-298,17}{+405,85} = -0,73468 \Rightarrow (BA) = \arctg(-0,73468) = -40^{\circ},3378$$

IV. bölgede olduğundan 400° eklenir. $\Rightarrow (BA) = 359^{\circ},6622$

(2.11) eşitliği ile $\beta = 427,9294 - 359,6622 = 68^{\circ},2672$

2.4 IV. Temel Ödev

A noktasından B noktasına giden (AB) semt açısı ile AB ve BC doğrultuları arasındaki β açısı belli iken B noktasından C noktasına giden (BC) semt açısı hesaplanır.



Şekil 11: IV. Temel ödev

Verilenler : (AB) , $\beta = \widehat{ABC}$

İstenenler : (BC)

Şekil 11'de görüldüğü gibi

$$(BC) = (BA) + \beta$$

eşitliği yazılır. Bu eşitliği genelleştirirsek;

$$(BC) = (AB) + \beta \mp 200^{\circ} \quad (2.13)$$

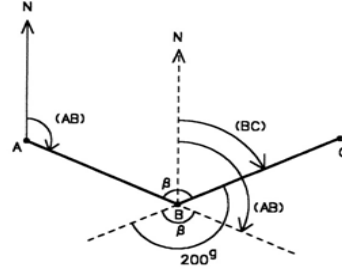
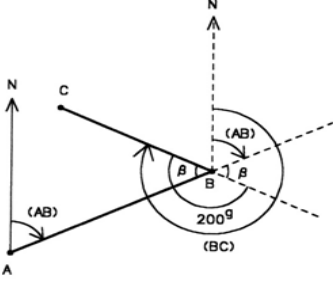
eşitliği ile (BC) semt açısı hesaplanır.

(2.13) eşitliğindeki 200° in \mp işareti, ilk iki terimin $[(AB) + \beta]$ toplam değerine bağlıdır. Bu durum iki kuralla açıklanabilir:

1. $(AB) + \beta$ toplamı 200° dan küçük ise bu değere 200° eklenir.

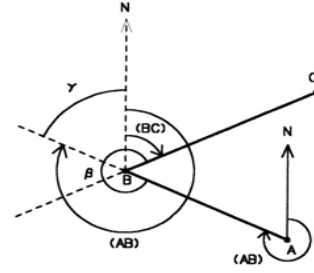
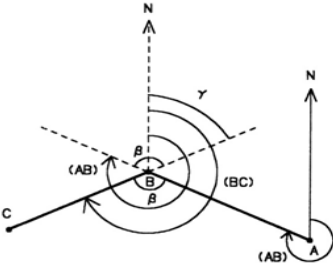
$(AB) + \beta$ toplamı 200° dan büyük ise bu değerden 200° çıkarılır.

2. $(AB) + \beta$ toplamından 200° çıkarıldığı halde, geriye kalan değer yine 400° dan büyük ise 400° daha çıkarılarak (BC) semt açısı hesaplanır. Yani $(AB) + \beta$ toplamı 600° dan büyük ise toplamdan 600° çıkarılır.



a. $(AB) + \beta < 200^\circ$ ise
 $(BC) = (AB) + \beta + 200^\circ$

b. $(AB) + \beta > 200^\circ$ ise
 $(BC) = (AB) + \beta - 200^\circ$



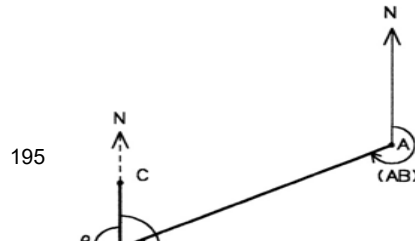
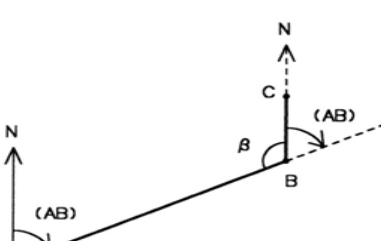
c. $(AB) + \beta > 400^\circ$ ise
 $\gamma = (AB) + \beta - 400^\circ$
 $(BC) = \gamma + 200^\circ$
 $(BC) = (AB) + \beta - 200^\circ$

d. $(AB) + \beta > 600^\circ$ ise
 $\beta = 200^\circ + \gamma + (BC)$
 $\gamma = 400^\circ - (AB)$
 $(BC) = (AB) + \beta - 600^\circ$

Şekil 12: (BC) Semt açısının Geometrik gösterimi

Özel durumlar: BC doğrusunun Kuzey ve Güney yönüne göre iki durum vardır.

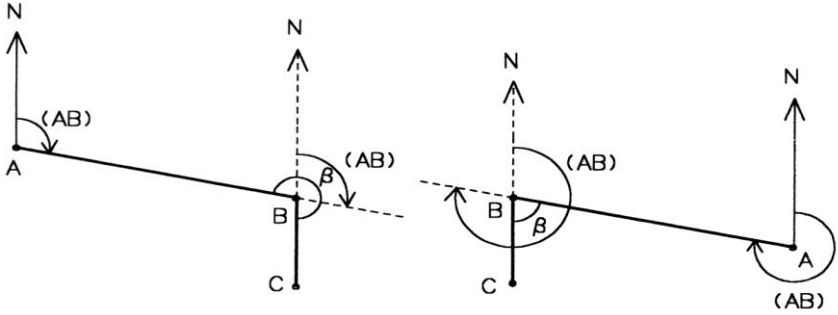
1. BC doğrusu kuzey yönünde ise



a. $(AB) + \beta = 200^\circ$ ise
 $(BC) = 0^\circ$ veya $(BC) = 400^\circ$ olur.
 Bu durumda 200° eklemekle
 400° veya 200° çıkarmakla (0°) ,
 Sonuç : $(BC) = 0^\circ = 400^\circ$ değişmez.

b. $(AB) + \beta = 600^\circ$ ise
 $(BC) = 800^\circ$ veya $(BC) = 400^\circ$ olur.
 Bu durumda 200° eklemekle (800°)
 veya 200° çıkarmakla (400°) ,
 Sonuç : $(BC) = 400^\circ = 800^\circ$ değişmez.

2. BC doğrusu güney yönünde ise

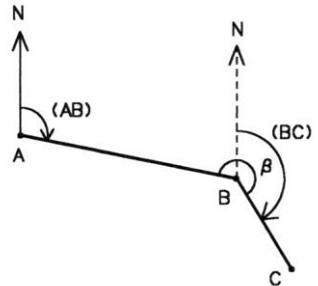


a. $(AB) + \beta = 400^\circ$ ise
 Sonuç : $(BC) = (AB) + \beta - 200^\circ = 200^\circ$

Şekil 13: BC Doğrusunun durumuna göre (BC) Semt açısının Geometrik gösterimi

Örnek: (AB) semt açısı $129^\circ.1680$ ve $\beta =$
 (BC) semt açısını hesaplayarak grafik üzerinde g

Çözüm:



(2.13) genel eşitliği ile

$$(BC) = 129.1680 + 257.1417 \mp 200$$

$$(BC) = 386.3097 - 200 = 186^{\circ}.3097$$

3. Konu ile İlgili Sayısal Uygulamalar

1. A (5000.00 ; 5000.00), B (5219.51 ; 6077.87) Y ve X şeklinde veriliyor. (AB) semt açısını ve AB uzaklığını bulunuz.

Çözüm : (2.7) ve (2.8) formülleri ile

$$\text{tg}(AB) = \frac{5219.51 - 5000.00}{6077.87 - 5000.00} = \frac{219.51}{1077.87} = 0.2036516$$

$$(AB) = \text{arc tg} (0.2036516) = 12^{\circ}.7900$$

$$AB = \frac{219.51}{\sin 12.7900} = \frac{1077.87}{\cos 12.7900} = 1100.00 \text{ m}$$

2. $Y_d = 5000.00$, $X_d = 5000.00$ ve $Y_e = 5416.00$, $X_e = 4138.13$ verildiğine göre (DE) semt açısını ve DE uzaklığını bulunuz.

Çözüm : (2.7) ve (2.8) formülleri ile

$$\text{tg}(DE) = \frac{5416.00 - 5000.00}{4138.13 - 5000.00} = \frac{+416.00}{-861.87} = -0.48267$$

$$(DE) = \text{arc tg} (-0.48267) = -28^{\circ}.6280$$

Açı II. bölgede olduğundan 200° eklenir. $\Rightarrow (DE) = 171^{\circ}.3720$ bulunur.

$$DE = \frac{416.00}{\sin 171^{\circ}.3720} = \frac{-861.87}{\cos 171^{\circ}.3720} = 957.01 \text{ m}$$

3. **Verilenler :** A ($y_a = 3500$; $x_a = 2250$) , (AB) = $38^{\circ}.4028$, AB = S = 5464.43 m

İstenenler: B (y_b ; x_b)

Çözüm : (2.5) ve (2.6) formülleri ile

$$y_b = y_a + AB \cdot \sin (AB) = 3500 + 5464,43 \cdot \sin 38.4028$$

$$y_b = y_a + AB \cdot \sin (AB) = 3500 + 3100 = 6600.00 \text{ m}$$

$$x_b = x_a + AB \cdot \cos (AB) = 2250 + 5464,43 \cdot \cos 38.4028$$

$$x_b = x_a + AB \cdot \cos (AB) = 2250 + 4500 = 6750.00 \text{ m}$$

4. a. Verilenler : $(AB) = 171^{\circ}.4075$; $\beta = 244^{\circ}.3618$

İstenenler: (BC)

Çözüm : $(BC) = (AB) + \beta \pm 200 = 171.4075 + 244.3618 \pm 200$

$$(BC) = 415^{\circ}.7693 - 200^{\circ} = 215^{\circ}.7693 \text{ olur.}$$

b. Verilenler : $(AB) = 71^{\circ}.4821$; $\beta = 103^{\circ}.7419$

İstenenler: (BC)

Çözüm : $(BC) = 71.4821 + 103.7419 \pm 200 = 175.2240 + 200^{\circ}$

$$(BC) = 375^{\circ}.2240 \text{ olur.}$$

c. Verilenler : $(AB) = 336^{\circ}.9175$; $\beta = 346^{\circ}.4139$

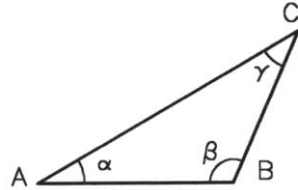
İstenenler : (BC)

Çözüm : $(BC) = 336.9175 - 200^{\circ} = 136^{\circ}.9175$

$$(BC) = 83^{\circ}.3314 \text{ olur.}$$

5. Köşe noktalarının koordinatları verilen A , B , C üçgeninin α , β ve γ açılarını hesaplayınız. $\alpha + \beta + \gamma = 200^{\circ}$ kontrolünü yapınız.

<u>NN</u>	<u>Y (m)</u>	<u>X (m)</u>
A	1000.00	1000.00
B	1350.00	997.45
C	1442.18	1319.01



Çözüm : 2. Temel ödevden (AB), (AC) ve (BC) semtleri hesaplanır.

$$\text{tg}(AB) = \frac{Y_b - Y_a}{X_b - X_a} = \frac{+350.00}{-2.55} = -137.2549 \quad \text{olur.}$$

$$\Rightarrow (AB) = \text{arc tg}(-137.2549) = -99.5362 + 200 = 100^{\circ}.4638 \quad (\text{II. bölge})$$

$$\text{tg}(AC) = \frac{Y_c - Y_a}{X_c - X_a} = \frac{1442.18 - 1000.00}{1319.01 - 1000.00} = \frac{442.18}{319.01} = 1.38610$$

$$\Rightarrow (AC) = \text{arc tg}(1.38610) = 60^{\circ}.2128 \quad \text{olur.}$$

$$\text{tg}(BC) = \frac{Y_c - Y_b}{X_c - X_b} = \frac{1442.18 - 1350.00}{1319.01 - 997.45} = \frac{92.18}{321.56} = 0.286665$$

$$\Rightarrow (BC) = \text{arc tg}(0.286665) = 17^{\circ}.7730 \quad \text{olur.}$$

Semt açıları farklarından α , β ve γ açıları hesaplanır.

$$\alpha = (AB) - (AC) \Rightarrow \alpha = 100^{\circ}.4630 - 60^{\circ}.2128 = 40^{\circ}.2510$$

$$\beta = (BC) - (BA) \Rightarrow \beta = (17^{\circ}.7730 + 400) - 300^{\circ}.4630 = 117^{\circ}.3092$$

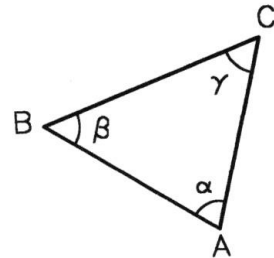
$$\gamma = (CA) - (CB) \Rightarrow \gamma = 260^{\circ}.2128 - 217^{\circ}.7730 = 42^{\circ}.4398$$

Kontrol : $\alpha + \beta + \gamma = 200^{\circ}$

6. Verilen şekil ve ölçüler yardımı ile

<u>NN</u>	<u>Y (m)</u>	<u>X (m)</u>
A	5000.00	5000.00
B	4851.78	5134.28

$$\beta = 71^{\circ}.8590 \quad ; \quad AC = 255.47 \text{ m}$$



a. A ve C köşesindeki iç açıları (α ve γ)

b. C noktasının koordinatlarını kontrollü olarak hesaplayınız.

Çözüm :

a. AB kenarını kontrollü olarak hesaplayabilmek için 2. Temel ödevden yararlanır.

$$\text{tg}(AB) = \frac{Y_b - Y_a}{X_b - X_a} = \frac{-148.22}{134.28} = -1.103813$$

$$\Rightarrow (AB) = \text{arc tg}(-1.103813) = -53^\circ.1389 + 400 = 346^\circ.8611 \quad (\text{IV. bölge})$$

$$AB = \frac{Y_b - Y_a}{\sin(AB)} = \frac{X_b - X_a}{\cos(AB)} = \frac{-148.22}{\sin 346^\circ.8611} = \frac{134.28}{\cos 346^\circ.8611} \Rightarrow AB = 200.00 \text{ m}$$

Sinüs teoreminden γ hesaplanır.

$$\frac{AB}{\sin \gamma} = \frac{AC}{\sin \beta} \Rightarrow \sin \gamma = \frac{AB \sin \beta}{AC} = \frac{200 \cdot \sin 71^\circ.8590}{255.47} = 0.707623$$

$$\Rightarrow \gamma = \text{arc sin}(0.707623) = 50^\circ.0465 \quad \text{olur.}$$

$$\alpha = 200 - (\beta + \gamma) = 200 - (71.8590 + 50.0465) \Rightarrow \alpha = 78^\circ.0945 \quad \text{olur.}$$

b. C noktasının koordinatlarının kontrollü olarak hesabı için BC uzunluğu ile (BC) ve (AC) semtlerinin bilinmesi gerekir. Sinüs teoreminden BC uzunluğu hesaplanır.

$$\frac{BC}{\sin \alpha} = \frac{AC}{\sin \beta} \Rightarrow BC = AC \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 255.47 \frac{\sin 78.0945}{\sin 71.8590} \Rightarrow BC = 266.07 \text{ m}$$

(BC) ve (AC) semt açıları ise

$$(BC) = (BA) - \beta \quad ; \quad (AC) = (AB) + \alpha \quad \text{bağıntıları ile hesaplanır.}$$

$$(BC) = 146.8611 - 71.8590 = 71^\circ.8590 \quad \text{olur.}$$

$$(AC) = (346.8611 + 78.0945) - 400 = 24^\circ.9556 \quad \text{olur.}$$

1. Temel ödevden yararlanarak C noktasının koordinatları kontrollü olarak hesaplanır.

$$Y_c = Y_a + AC \cdot \sin(AC) \Rightarrow Y_c = 5097.60 \text{ m}$$

$$X_c = X_a + AC \cdot \cos(AC) \Rightarrow X_c = 5236.09 \text{ m}$$

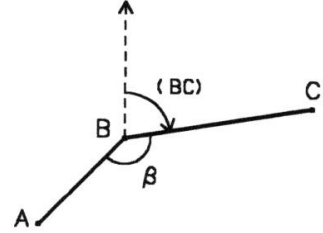
$$Y_c = Y_b + BC \cdot \sin(BC) \Rightarrow Y_c = 5097.60 \text{ m}$$

$$X_c = X_b + BC \cdot \cos(BC) \Rightarrow X_c = 5236.09 \text{ m}$$

7. Aşağıdaki verilere göre (AB) semt açısını, AB uzunluğunu, (BC) semt açısını ve C noktasının koordinatlarını hesaplayınız.

<u>NN</u>	<u>Y (m)</u>	<u>X (m)</u>
A	1000.00	1000.00
B	1099.99	1066.66

$$\beta = 186^{\circ}.2900 \quad ; \quad BC = 126.26 \text{ m}$$



Çözüm :

2. Temel ödevden (AB) semt açısı ve AB uzunluğu hesaplanır.

$$\text{tg}(AB) = \frac{Y_b - Y_a}{X_b - X_a} = \frac{1099.99 - 1000.00}{1066.66 - 1000.00} = \frac{99.99}{66.66} \Rightarrow (AB) = 62^{\circ}.5666$$

$$AB = \frac{Y_b - Y_a}{\sin(AB)} = \frac{X_b - X_a}{\cos(AB)} = \frac{99.99}{\sin 62.5666} = \frac{66.66}{\cos 62.5666} \Rightarrow AB = 120.17 \text{ m}$$

(BC) semt açısı 3. Temel ödevden hesaplanır.

$$(BC) = (AB) + (400 - \beta) \pm 200 = 62.5666 + (400 - 186.2900) - 200 = 76^{\circ}.2766$$

1. Temel ödevden C noktasının koordinatları bulunur.

$$Y_c = Y_b + BC \cdot \sin(BC) \Rightarrow Y_c = 1217.58 \text{ m}$$

$$X_c = X_b + BC \cdot \cos(BC) \Rightarrow X_c = 1112.63 \text{ m}$$

8. $Y_a = 1200.00 \text{ m}$, $X_a = 1500.00 \text{ m}$; $X_b = 1320.00 \text{ m}$ ve $\sin(AB) = 0.60000$ olarak verildiğine göre Y_b değerini hesaplayınız.

Çözüm :

$$\sin(AB) = 0.60000 \Rightarrow (AB) = \arcsin(0.60000) = 40^\circ.9666 \text{ olur.}$$

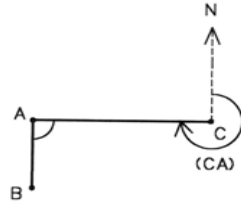
$$\text{tg}(AB) = \text{tg } 40^\circ.9666 = 0.75 = \frac{Y_b - 1200}{1320 - 1500} \Rightarrow Y_b = 1065.00 \text{ m olur.}$$

9. Aşağıdaki verilerden yararlanarak C noktasının koordinatlarını ve (BC) açıklık açısını hesaplayınız.

N	Y (m)	X (m)
A	2100.0	3480.0
B	0	0
	2100.0	3400.0
	0	0

$$(CA) = 300^\circ.0000$$

$$AC = 60.00 \text{ m}$$



Çözüm :

$$(AC) = (CA) - 200 = 100.0000$$

$$Y_c = Y_a + AC \sin(AC) = 2100 + 60 \sin 100^\circ.0000 = 2160.00 \text{ m olur.}$$

$$X_c = X_a + AC \cos(AC) = 3480 + 60 \cos 100^\circ.0000 = 3480.00 \text{ m olur.}$$

$$(BC) = \arctg \frac{Y_c - Y_b}{X_c - X_b} = \arctg \frac{2160 - 2100}{3480 - 3400} = \arctg \frac{60}{80} = 0.75$$

$$(BC) = \arctg 0.75 = 40^\circ.9666 \text{ olur.}$$

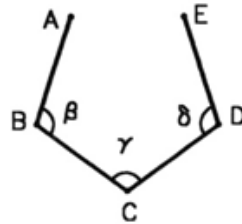
10.

N	Y (m)	X (m)
A	23	33
B	831.79	991.56
	23	32
	134.70	864.48

Aşağıdaki verilerden yararlanarak C noktasındaki γ açısını hesaplayınız.

$$\beta = 105^\circ.3670 \quad ; \quad \delta = 120^\circ.5555$$

$$(ED) = 192^\circ.7608$$



Çözüm:

$$\operatorname{tg}(\text{AB}) = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{23134.70 - 23831.79}{32864.48 - 33991.56} = \frac{-167.09}{-1127.08} = 0.618492$$

$$\Rightarrow (\text{AB}) = \operatorname{arctg}(0.618492) = 35^{\circ}.2627 + 200 = 235^{\circ}.2627 \quad (\text{III. bölge})$$

$$(\text{BA}) = (\text{AB}) \pm 200 = 235^{\circ}.2627 - 200 = 35^{\circ}.2627$$

$$(\text{BC}) = (\text{BA}) + \beta = 35^{\circ}.2627 + 105^{\circ}.3670 = 140^{\circ}.6297$$

$$(\text{DE}) = (\text{ED}) \pm 200 = 192^{\circ}.7608 + 200 = 392^{\circ}.7608$$

$$(\text{DC}) = (\text{DE}) - \delta = 392^{\circ}.7608 - 120^{\circ}.5555 = 272^{\circ}.2053$$

$$\gamma = (\text{DC}) - (\text{BC}) = 272^{\circ}.2053 - 140^{\circ}.6297 = 131^{\circ}.5756$$

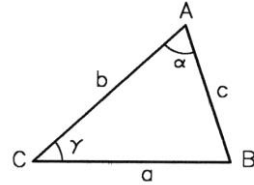
11. Verilen ölçülerden yararlanarak B ve C noktalarının koordinatlarını hesaplayınız.

$$\begin{array}{lll} Y_a = 1500.00 \text{ m} & ; & X_a = 1500.00 \text{ m} & ; & AC = 100.00 \text{ m} \\ (\text{AB}) = 189^{\circ}.4863 & ; & BC = 75.00 \text{ m} & ; & \gamma = 63^{\circ}.7101 \end{array}$$

Çözüm:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$$

$$c = \sqrt{75^2 + 100^2 - 2 \cdot 75 \cdot 100 \cdot \cos 63^{\circ}.7101} = 86.78 \text{ m}$$



$$\sin \alpha = \frac{a}{c} \sin \gamma = \frac{75}{86.78} \sin 63^{\circ}.7101 = 0.727598$$

$$\Rightarrow \alpha = \operatorname{arcsin}(0.727598) = 51^{\circ}.8727$$

$$(\text{AC}) = (\text{AB}) + \alpha = 189^{\circ}.4863 + 51^{\circ}.8727 = 241^{\circ}.3590$$

$$Y_b = Y_a + AB \cdot \sin(\text{AB}) = 1500 + 86.78 \cdot \sin 189^{\circ}.4863 = 1514.27 \text{ m}$$

$$X_b = X_a + AB \cdot \cos(\text{AB}) = 1500 + 86.78 \cdot \cos 189^{\circ}.4863 = 1414.40 \text{ m}$$

$$Y_c = Y_a + AC \cdot \sin(\text{AC}) = 1500 + 100 \cdot \sin 241^{\circ}.3590 = 1439.51 \text{ m}$$

$$X_c = X_a + AC \cdot \cos(AC) = 1500 + 100 \cdot \cos 241^{\circ}.3590 = 1420.37 \text{ m olur.}$$

12.

N	Y (m)	X (m)
A	1812.5	1675.5
B	0	4
C	2645.4	1892.4
	8	6
	2154.6	1512.4
	6	8

Köşe noktalarına ait koordinatları verilen ABC üçgeninin açılarını hesaplayarak toplamının $200^{\circ}.0000$ olduğunu gösteriniz.

Çözüm :

$$\text{tg}(AB) = \frac{Y_b - Y_a}{X_b - X_a} = \frac{2645.48 - 1812.50}{1892.46 - 1675.54} = \frac{832.98}{216.92} \Rightarrow (AB) = 83^{\circ}.7817$$

$$\text{tg}(AC) = \frac{Y_c - Y_a}{X_c - X_a} = \frac{2154.66 - 1812.50}{1512.48 - 1675.54} = \frac{+342.16}{-163.06} \Rightarrow (AC) = 128^{\circ}.3118 \text{ (II. bölge)}$$

$$\text{tg}(CB) = \frac{Y_b - Y_c}{X_b - X_c} = \frac{2645.48 - 2154.66}{1892.46 - 1512.48} = \frac{490.82}{379.98} \Rightarrow (CB) = 58^{\circ}.0599$$

$$\alpha = (AC) - (AB) = 128^{\circ}.3118 - 83^{\circ}.7817 = 44^{\circ}.5301$$

$$(BA) = (AB) \pm 200 = 83^{\circ}.7817 + 200 = 283^{\circ}.7817$$

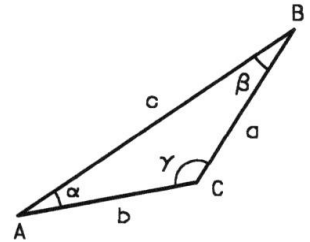
$$(BC) = (CB) \pm 200 = 58^{\circ}.0599 + 200 = 258^{\circ}.0599$$

$$\beta = (BA) - (BC) = 283^{\circ}.7817 - 258^{\circ}.0599 = 25^{\circ}.7218$$

$$(CA) = (AC) \pm 200 = 128^{\circ}.3118 + 200 = 328^{\circ}.3118$$

$$\gamma = [(CB) + 400 - (CA)] = (58^{\circ}.0599 + 400^{\circ}) - 328^{\circ}.3118 = 129^{\circ}.7481$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 44^{\circ}.5301 + 25^{\circ}.7218 + 129^{\circ}.7481 = 200^{\circ}.0000$$



13. 12. Sorudaki üçgenin kenarlarını koordinatlarla hesaplayınız. Açılarını cosinüs teoreminden bularak varsa farklılıkları inceleyiniz.

Çözüm:

$$a = CB = \sqrt{(X_b - X_c)^2 + (Y_b - Y_c)^2} = \sqrt{(379.98)^2 + (490.82)^2} = 620.72 \text{ m}$$

$$b = AC = \sqrt{(X_c - X_a)^2 + (Y_c - Y_a)^2} = \sqrt{(-163.06)^2 + (342.16)^2} = 379.03 \text{ m}$$

$$c = AB = \sqrt{(X_b - X_a)^2 + (Y_b - Y_a)^2} = \sqrt{(216.92)^2 + (832.98)^2} = 860.76 \text{ m}$$

$$\cos \alpha = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} = \frac{(379.03)^2 + (860.76)^2 - (620.72)^2}{2(379.03)(860.76)} \Rightarrow \alpha = 44^{\circ}.5312$$

$$\cos \beta = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} = \frac{(620.72)^2 + (860.76)^2 - (379.03)^2}{2(620.72)(860.76)} \Rightarrow \beta = 25^{\circ}.7224$$

$$\cos \gamma = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} = \frac{(620.72)^2 + (379.03)^2 - (860.76)^2}{2(620.72)(379.03)} \Rightarrow \gamma = 129^{\circ}.7465$$

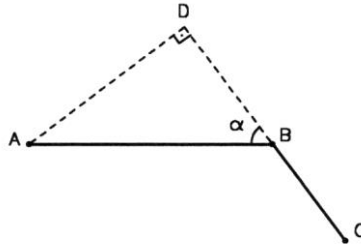
Açılar arasında 15° ye varan farklar yuvarlatma hatalarından kaynaklanmaktadır. Kenarların değerlerinin mm inceliğinde hesaplanması ile

$$\begin{aligned} a &= 620.717 \text{ m} & \alpha &= 44^{\circ}.5302 \\ b &= 379.028 \text{ m} & \beta &= 25^{\circ}.7219 \\ c &= 860.761 \text{ m} & \gamma &= 129^{\circ}.7479 \end{aligned}$$

farklar en fazla 2^{cc} olmaktadır.

14. Aşağıdaki verilere göre şekildeki AD dik boyunu ve BD dik ayağını hesaplayınız.

N	Y (m)	X (m)
A	3000.	3000.
B	00	00
C	3050.	3050.
	00	00
	3150.	3020.
	00	00



Çözüm:

$$\text{tg (BA)} = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{3000 - 3050}{3000 - 3050} = \frac{-50}{-50}$$

$$\Rightarrow (\text{BA}) = 50^\circ.0000 + 200 = 250^\circ.0000 \quad \text{olur.} \quad (\text{III. bölge})$$

$$\text{tg(BC)} = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{3150 - 3050}{3020 - 3050} = \frac{+100}{-30}$$

$$\Rightarrow (\text{BC}) = -81^\circ.4453 + 200 = 118^\circ.5547 \quad \text{olur.} \quad (\text{II. bölge})$$

$$\alpha = 200^\circ - [(\text{BA}) - (\text{BC})] = 200^\circ - (250^\circ.0000 - 118^\circ.5547) = 68^\circ.5547$$

$$\text{AB} = \sqrt{(X_b - X_a)^2 + (Y_b - Y_a)^2} = \sqrt{(-50)^2 + (-50)^2} = 70.71 \text{ m}$$

$$\frac{\text{AD}}{\sin \alpha} = \frac{\text{AB}}{\sin D} \Rightarrow \text{AD} = \text{AB} \frac{\sin \alpha}{\sin D} = 70.71 \frac{\sin 68^\circ.5547}{\sin 100^\circ.0000} = 62.26 \text{ m}$$

$$\text{BD} = \sqrt{(\text{AB})^2 - (\text{AD})^2} = \sqrt{(70.71)^2 - (62.26)^2} = 33.52 \text{ m}$$

KONU İLE İLGİLİ DEĞERLENDİRME SORULARI

1. Aşağıda A noktasının koordinatları, A ve B noktaları arasındaki α semt açısı ve S kenar uzunlukları verildiğine göre B noktasının koordinatlarını hesaplayınız.

	Y_A (m)	X_A (m)	α	S (m)	Y_B (m)	X_B (m)
a.	5000.00	4400.00	$75^\circ.0000$	350.00m	(5323.36	4533.94)
b.	713.64	496.72	$32^\circ.9645$	135.25m	(780.59	614.24)
c.	1000.00	1000.00	$135^\circ.4627$	97.86 m	(1083.07	948.26)
d.	120.48	230.51	$57^\circ.6248$	121.58m	(216.11	305.59)
e.	250.00	250.00	$161^\circ.8675$	154.15m	(336.91	122.69)
f.	300.00	300.00	$240^\circ.1275$	159.22m	(206.16	171.38)
g.	400.00	500.00	$328^\circ.5361$	167.15m	(249.36	572.44)

2. Aşağıda (AB) semt açıları ile β açıları verildiğine göre (BC) semt açılarını hesaplayarak şekil üzerinde gösteriniz.

	(AB) = α	β	(BC)
a.	$171^\circ.4075$	$244^\circ.3618$	($215^\circ.7693$)
b.	$66^\circ.4574$	$116^\circ.8747$	($383^\circ.3321$)
c.	$247^\circ.1588$	$367^\circ.6045$	($14^\circ.7633$)

d.	155 ^o .0000	45 ^o .0000	(0 ^o ; Kenar ile kuzey aynı doğrultuda)
e.	230 ^o .0000	170 ^o .0000	(200 ^o ; Kenar tam güney doğrultusunda)
f.	317° 12' 48"	280° 28' 46"	(57° 41' 34")
g.	281° 29' 35"	258° 30' 25"	(0° ; Kenar kuzey ile çakışık)

3. Koordinatları verilen A ve B noktaları arasındaki semt açısını ve kenar uzunluğunu hesaplayınız.

	Nokta	Y (m)	X (m)	Semt	Kenar (m)
a.	A	5230.00	4350.00	((AB) = 365 ^o .5958	AB = 58.31)
	B	5200.00	4400.00		
b.	A	528.15	407.65	((AB) = 73 ^o .6194	AB = 291.71)
	B	795.17	525.10		
c.	A	632.58	844.13	((AB) = 168 ^o .3806	AB = 262.45)
	B	757.64	613.39		
d.	A	500.00	500.00	((AB) = 263 ^o .7860	AB = 289.61)
	B	256.00	344.00		
e.	A	1681.39	3851.47	((AB) = 227 ^o .1168	AB = 1026.78)
	B	1257.11	2916.45		

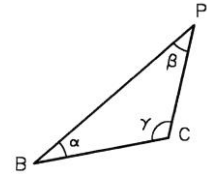
4. Köşe noktalarının koordinatları verilen herhangi bir ABC üçgeninin α , β , γ açılarını hesaplayarak $\alpha + \beta + \gamma = 200^{\circ}.0000$ kontrollerini yapınız.

	Nokta	Y (m)	X(m)	α	β	γ
a.	A	424.63	617.38	(114 ^o .2666	30 ^o .6874	55 ^o .0460)
	B	633.41	475.62			
	C	312.15	512.55			
b.	A	0.00	- 21.15	(45 ^o .5614	104 ^o .6279	49 ^o .8107)
	B	51.43	21.43			
	C	94.43	- 23.43			
c.	A	3000.00	3000.00	(44 ^o .5301	25 ^o .7218	44 ^o .5301)
	B	3050.00	3050.00			
	C	3150.00	3020.00			

5. $Y_b = 5000.00$; $X_b = 3000.00$, $\alpha = 45^{\circ}.1860$

$Y_c = 5500.00$; $X_c = 3000.00$, $\beta = 35^{\circ}.4500$

Verilen ölçüler ve şekil yardımı ile



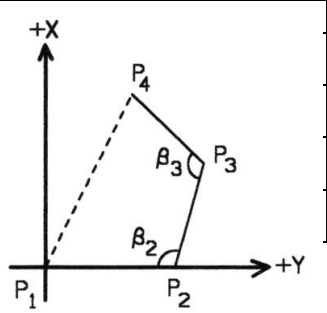
- BP ve CP uzunluklarını
- (BP) ve (CP) semt açılarını
- (P) noktasının koordinatlarını hesaplayınız.

$$(BP = 902.62 \text{ m} \quad ; \quad (BP) = 54^{\circ}.8140 \quad ; \quad Y_P = 5684.64)$$

$$(CP = 616.51 \text{ m} \quad ; \quad (CP) = 19^{\circ}.3640 \quad ; \quad X_P = 3588.21)$$

6. Şekle göre koordinatları ile kenar uzunlukları veriliyor.

Nokta	Y(m)	X(m)	t
P ₁	0.00	0.00	
P ₂	150.00	0.00	
P ₃	220.71	70.71	
P ₄	166.23	177.63	



$$\beta_2 = 150^{\circ}, \quad \beta_3 = 120^{\circ} \text{ ölçüldüğüne göre}$$

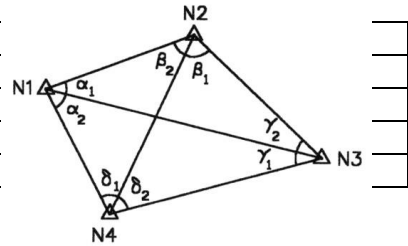
P₁ P₄ Kenar uzunluğunu hesaplayınız. (C: 243.28 m)

7. Bir dörtgen nirengi ağında, nirengi noktalarının koordinatları bilindiğine göre Nirengi noktalarının oluşturduğu üçgenlerin iç açılarını hesaplayınız.

$$(C: \alpha = 26^{\circ}.8284 \quad ; \quad \beta = 142^{\circ}.1017 \quad ; \quad \gamma = 45^{\circ}.2073 \quad ; \quad \delta = 185^{\circ}.8618$$

)

Nokta	Y(m)
N1	200
N2	500
N3	600
N4	350



KAYNAKÇA

- Atatürk, M.K. (1998) Atatürk 'ün Yazdığı Geometri Kılavuzu, Yenigün Haber Ajansı Basın ve Yayıncılık A.Ş , Ankara Ocak 1998.
- Ahmet, Y. (1991) Casio Fx-3600 P hesaplayıcısının daha etkin programlama olanakları, HKMO dergisi, S: 68, Ankara 1991.
- Celal, S. (1998) Ölçme Bilgisi Cilt I-II, Birsen yayınevi, İstanbul 1998.
- Cevat, İ. Ali, E. Ferruh, Y. (1996) Topografya, Atlas Kitabevi, Konya Şubat 1996.
- Cevat, İ. Tamer, B. (1996) Açıklamalı Ölçme Bilgisi 1-2 Problemleri ve Çözümleri, SÜ Matbaası, Konya 1996.
- Ekrem, İ. (1976) Tatbiki Topoğrafya, Kemal Matbaası, Adana 1976.
- Erdoğan, Ö. Türkay, T. (1989) Ölçme Bilgisi, KTÜ Matbaası, Trabzon 1989.
- Frank, A. JR. (1954) Theory and Problems Plane and Spherical Trigonometry, Newyork 1954.
- Feyyaz, G. (1946) Geometri Dersleri, Üçler Basımevi, İstanbul 1946.
- Henri, F. (1905) Elements de Trigonometrie, Librairie Hachette Et.c, Paris 1905.
- Hasan, Ö. (1982) Matematik sorularının konularına göre analizi, İstanbul.
- İbrahim, K. (1998) Ölçme Bilgisi I, Gökhan Matbaası, İstanbul 1998.
- Kemal, E. (1978) Topografya I, Özyürek Basımevi, İstanbul 1978.
- Muzefffer, Ş. (1993) Pratik Hesap, KTÜ Matbaası, Trabzon 1993.
- Mustafa, G. Ö. (1984) Mühendisler ve Mimarlar İçin Topografya, İTÜ, İstanbul.
- Muzefffer, Ş. Veysel, A. (1990) Jeodezik Hesap, KTÜ Matbaası, Trabzon 1990.
- Mustafa, A. (1976) Ölçme Yöntemi Cilt I-II, İTÜ Matbaası, İstanbul 1976.
- Nuri, M. E. (1990) Ölçme Bilgisi I, SÜ Matbaası, Konya 1990.
- Nihat, E. (1986) Trigonometri Ders Notları, YTÜ, İstanbul 1986.
- Oguz, A. (1970) Topografya Cilt – I, Arı Kitabevi, İstanbul 1970.
- Ömer, A. (1997) Ölçme Bilgisi I – II, YTÜ Matbaası, İstanbul 1997.
- Th Caronnet, (1955) Exercices de Trigonometrie, Librairie vuibert, Paris 1955.
- Turgut, U. Erdoğan, Ö. (1976) Mimarlık Ölçme Bilgisi, İstanbul 1976.

Bölüm 13

BİNEK TAŞITLARDA PASİF GÜVENLİK SİSTEMLERİ

Ömer ÇERLEK¹
Adem TÜYLÜ²
Kubilay HAN³

ÖZET

Taşıtlarda pasif güvenlik sistemleri, günümüzde sadece sürücüleri değil, aynı zamanda araç içindeki tüm yolcuları koruma amacını taşıyan önemli bir güvenlik alanını temsil eder. Bu sistemler, kaza anında yaralanma riskini en aza indirmeyi hedefler ve bu kapsamda hava yastıkları, emniyet kemerleri, güçlü gövde yapısı, enerji emilim özellikleri gibi temel unsurları içerir. Ayrıca, kaza sonrası müdahale sistemleri ve gelişen teknolojiyle entegre edilen yenilikçi özellikler, pasif güvenlik standartlarını sürekli olarak geliştirerek sürücü ve yolcuların güvenliğini artırmaya yönelik etkin bir rol oynar. Bu sistemler, trafik güvenliği perspektifinden bakıldığında, kazaların önlenmesi kadar, meydana geldiğinde de etkileri en aza indirme amacı güder, böylece taşıtlarda güvenliği bir bütün olarak ele almaktadır.

GİRİŞ

Motorlu taşıtların sürekli gelişimi ve motorlu taşıtların kullanım seviyesindeki artış, karayollarındaki trafik güvenliğini, yani kaza oranlarını ve buna bağlı karayolu trafik kazası yaralanmalarını doğrudan etkilemektedir. (Evtukov, Golov, ve Sazonova 2018) Bu bağlamda taşıtlardaki pasif ve aktif güvenlik sistemleri önem kazanmaktadır.

Taşıtlarda pasif güvenlik, alınan güvenlik önlemlerine rağmen sürücünün aracın hareketinin doğasını değiştiremediği ve bir trafik kazasını önleyemediği anda (bir kazanın oluşma aşamasında) kendini gösteren önlemleri ifade eder (Balaev vd. 2021).

¹ Arş. Gör.; Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü. omercerlek@subu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-2490-5915

² Arş. Gör.; Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü. ademtuylu@subu.edu.tr ORCID No: 0000-0001-9828-1573

³ Arş. Gör.; Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü. kubilayhan@subu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-1472-2832

Pasif güvenlik sistemleri; herhangi bir aktif elektronik veya otomasyon sistemi desteği olmadan, tamamen mekanik temelli, kazaları önlemeye veya kaza neticesinde oluşabilecek; hasar, yaralanma ve ölümleri azaltmayı amaçlayan ekipmanlar ve önlemler dizisidir. Bu sistemler; çarpışma durumunda koruma sağlar, ancak son yıllarda gelişen ve araçlarda yaygın kullanılmaya başlanan aktif güvenlik sistemleri de bulunmaktadır. Aktif sistemler ise kaza veya çarpışma oluşmasını engelleme, ön alma çabasını ortaya koymaktadır. Günümüzde şeritten ayrılma uyarısı ve arkadan çarpmayı önleme vb. gibi aktif sistemler kullanılmaya başlanmıştır.(Rezaei ve Sabzevari 2009). Böylece bu sistemler, pasif güvenlik sistemleri ile entegre olarak çalışabilmekte ve pasif sistemlerin devreye girmesine gerek bırakmadan tehlikeleri önleyebilmektedir.

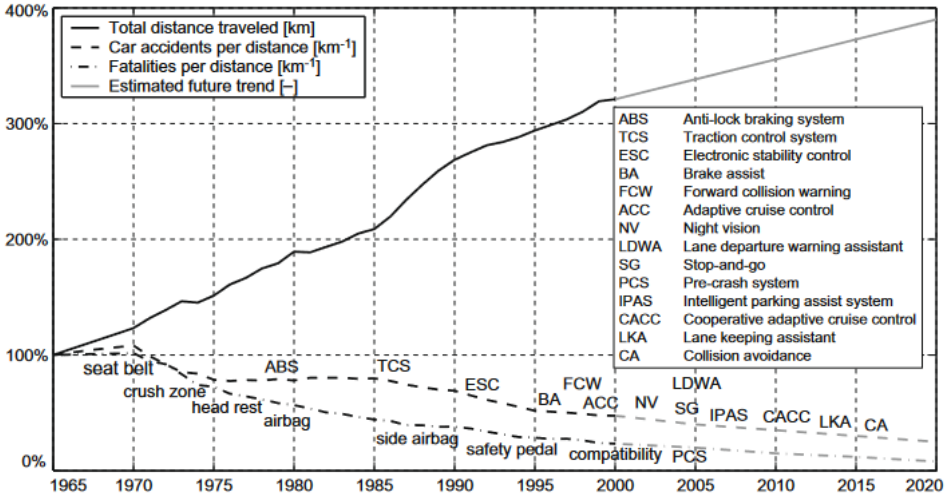
Bir trafik kazası sırasında sürücüye ve yolculara etki eden yüklerin karmaşık yapısı, güvenlik sistemlerinin geliştirilmesine, özellikle de araçlarda tanıtılan veya iyileştirilen aktif-pasif güvenlik sistemlerinin modellenmesine ve test edilmesine katkıda bulunmaktadır.(Frej vd. 2022). Araçlardaki pasif güvenlik sistemleri, bir araba kazasından sonra hasarı en aza indirmeyi ve hem sürücüyü hem de yolcuları hatta son dönemlerdeki geliştirmeler neticesinde yayayı da korumayı amaçlamaktadır. İkincil bir savunma hattı olarak hareket ederek yolcular üzerindeki darbe kuvvetlerini hafifletmeye ve ciddi yaralanma riskini azaltmaya hizmet ederler.

Binek Araçlardaki Pasif Güvenlik Sistemleri

Taşıtlardaki pasif güvenlik sistemleri, bir kaza durumunda hasarı en aza indirmeyi ve yolcuları ve sürücülerini korumayı amaçlamaktadır. Bu sistemler, araç içindeki bireylerin maksimum düzeyde korunmasını sağlamak için otomatik olarak devreye giren teknik çözümler sunar. Kaza veya çarpışma sırasında araç içindekilere kapsamlı koruma sağlamak için aktif güvenlik sistemleriyle birlikte çalışarak ikincil bir savunma hattı görevi görür (Universiti Tun Hussein Onn Malaysia vd. 2022). Pasif güvenlik sistemlerinin en etkin olanları hava yastıkları ve emniyet kemerleri olarak sayılabilir. Bu sistemler, bir çarpışma sırasında yolcuları korumak ve ciddi yaralanma riskini azaltmak üzere tasarlanmıştır. Pasif güvenlik sistemleri, aktif güvenlik sistemlerinin aksine, kazaları önlemeye değil, bir çarpışmanın sonuçlarını hafifletmeye odaklanır. Son yıllarda, araç tasarımı ve teknolojisindeki ilerlemeler pasif güvenlik sistemlerinin etkinliğini büyük ölçüde artırmıştır (Gandhi ve Trivedi 2006). Bu gelişmeler sayısız hayat kurtarmış ve araba kazalarındaki yaralanmaların şiddetini önemli ölçüde azaltmıştır.

Pasif güvenlik sistemleri, çarpışma enerjisini absorbe etmek ve dağıtmak için aracın yapısal tasarımıyla birlikte çalışarak yolcular üzerindeki darbe kuvvetlerini en aza indirir. Ayrıca pasif güvenlik sistemleri, bir çarpışmanın

şiddetini tespit etmek ve hava yastıklarının uygun şekilde açılmasını tetiklemek için sensörlere ve algoritmalara ihtiyaç duyar. Bununla birlikte, birçok otomobil üreticisi artık bu sistemlerin etkinliklerini artırmak için pasif güvenlik sistemlerine gelişmiş teknolojiler entegre etmektedir. Bu teknolojiler, yaklaşan bir çarpışmayı öngörebilen ve emniyet kemerlerini sıkarak ve oturma pozisyonlarını ayarlayarak aracı hazırlayan çarpışma öncesi sistemleri içerir. Çarpışmaların neden olduğu potansiyel zararı azaltan ve ciddi yaralanma riskini en aza indiren bir güvenlik ağı görevi görürler. Neticede araçlardaki pasif güvenlik sistemleri, trafik kazaları sırasında sürücülerin, yolcuların ve hatta yayaların korunmasında çok önemli bir rol oynayan unsurlardır (Ehsan Jafari Nasab, Saber Naseralavi, ve Pourmoallem 2015).



Şekil 1. Güvenlik Sistemlerinin Yıllara Göre Ortaya Çıkışı (Gietelink vd. 2009)

Şekil 1'de, sunulan grafik; pasif güvenlik sistemlerinin ve aktif güvenlik sistemlerinin beklenen güvenlik potansiyelleriyle birlikte piyasaya ne zaman sunulduğuna dair zaman çizelgesini göstermektedir (Gietelink vd. 2009). Burada özellikle pasif güvenlik sistemlerinin geçmişinin oldukça eski zamanlara kadar uzandığı görülmektedir. Bu zaman çizelgesi, pasif güvenlik sistemlerinin zaman içinde araçlara kademeli olarak entegre edildiğini göstermekte ve yıllar geçtikçe gidilen mesafeye göre ölümlü kazaların ve kilometre başına taşıt kazalarının azaldığını, dolayısıyla yolcu güvenliğinin sağlanmasındaki etkilerinin önemini ortaya koymaktadır.

Bu sistemler, darbe kuvvetlerini emerek ve dağıtarak hasarı en aza indirmek ve ciddi yaralanma riskini azaltmak için ortaya çıkmıştır. Pasif güvenlik sistemleri ayrıca güçlendirilmiş araç yapıları, çarpma bölgeleri ve enerji emici

malzemeler kullanılması gibi özellikleri de içerir. Bu özellikler çarpışma enerjisini emip dağıtarak yolcuların uzağına yönlendirmek üzere tasarlanmıştır. Ayrıca pasif güvenlik sistemleri, araç güvenliğine kapsamlı bir yaklaşım sağlamak için aktif güvenlik sistemleriyle birlikte de çalışabilir. Örneğin, bir çarpışma durumunda, aktif bir güvenlik sistemindeki sensörler ve algoritmalar çarpışmanın şiddetini tespit edebilir ve bu bilgileri ileterek aktif fren vb. sistemleri devreye sokabilir. Bu sayede pasif güvenlik sistemlerine daha az iş düşerek tehlikeler azaltılabilir.

Pasif Güvenlik Sistemleri Elemanları

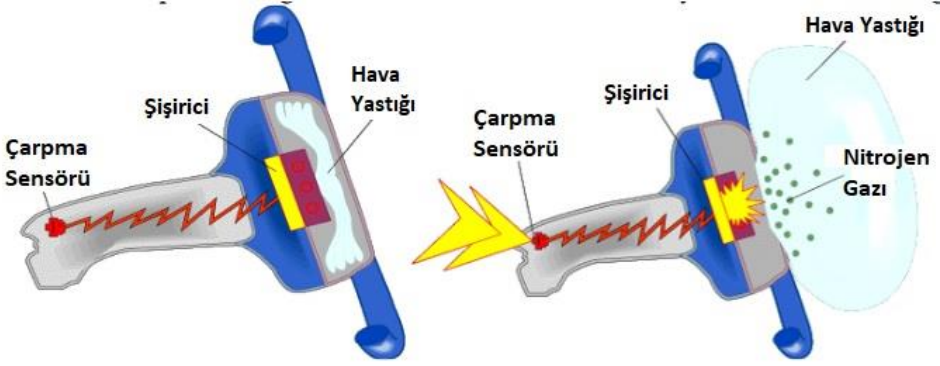
Araçlardaki pasif güvenlik sistemleri, bir çarpışma veya kaza durumunda yolcuları korumak üzere tek başına veya birbirleriyle etkileşim halinde çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Başlıca pasif güvenlik sistemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Hava Yastıkları
- Emniyet Kemerleri
- Emniyet Kemer Öngergi Mekanizması
- Çarpışma Bölgeleri
- Güvenlik Kafes Yapısı
- Baş Destekleri

Yukarıda sıralanan güvenlik ekipmanları tekil olarak veya birbirleriyle iletişim halinde kazaların etkisini en aza indirmek için görev görürler.

Hava Yastıklarının Araç Güvenliğindeki Rolü

Hava yastıkları araçlardaki pasif güvenlik sistemlerinin temel bileşenlerinden biridir ve kaza veya çarpışma sırasında yolcuların korunmasında kritik bir rol oynar. Bir çarpışma meydana geldiğinde, hava yastıkları hızla şişerek yolcu ile araç içi arasında bir yastıklama bariyeri oluşturur. Bu sayede, yolcular üzerindeki darbe kuvvetlerini azaltmaya; özellikle baş, göğüs ve vücudun üst bölgelerinde oluşabilecek ciddi yaralanma riskini en aza indirmeye yardımcı olur.



Şekil 2. Hava Yastığı Mekanizması (Vashist ve Kumar 2017)

Hava yastıkları, yolculara daha fazla koruma sağlamak için emniyet kemerleri ile birlikte çalışır. Emniyet kemeri; ön gergisi mekanizması sayesinde yolcuyu yerinde tutarak hava yastığının şişmesi ve yolcunun kafasını koruması için açılmasına vakit ve yer sağlamış olur.

Kaza anında aracın ön bölgesinde bulunan çarpışma algılayıcıları çarpmanın şiddetini anlık olarak ölçerek elektronik kontrol ünitesine iletir. Burada iletilen kuvvet değeri hava yastığının açılmasını gerektirecek standart değeri aşıyorsa sistem devreye girer. Direksiyonda veya diğer aksamındaki hava yastıkları, Şekil 2’de gösterilen iç mekanizmaya sahiptir. Burada; yastığın şişmesini sağlamak üzere patlamaya hazır halde nitrojen parçacıkları bulunur. Elektronik kontrol ünitesinden gelen komut neticesinde nitrojen parçacıklarının bulunduğu ortamdaki tetikleyici kıvılcım oluşturur. Bu anda nitrojen parçacıkları hızlıca yanma reaksiyonu gösterir ve nitrojen gazı açığa çıkar. Açığa çıkan bu gaz hızla yastığı şişirerek yolcuya doğru hareket eder ve özellikle baş bölgesinin korunması için darbe sönmüleme vazifesi görür. Çarpma ile birlikte nitrojen parçacıklarının ateşlenmesi ve hava yastığının şişmesi toplamda 30-40 milisaniye gibi kısa bir sürede gerçekleşir. Ayrıca yastık şiştikten saniyeler sonra üzerinde bulunan deliklerden gazı dışarı salarak iner ve görevini tamamlamış olur.



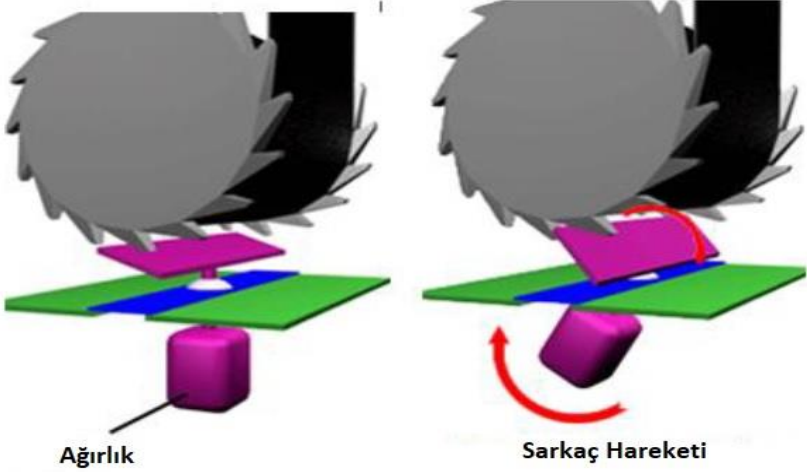
Şekil 3. Hava Yastıklarının Devreye Girmesi (Vargas Víctor Miguel 2022)

Hava yastıklarının kaza anında açılması ve yolcuların darbeden korunması Şekil 3'te gösterilmektedir. Hava yastıkları ve emniyet kemerlerinin kombinasyonu, çarpışma kuvvetlerinden vücudu koruyarak ve yolcuğu güvenli bir şekilde yerinde tutarak ciddi yaralanma riskini önemli ölçüde azaltır (Ikegami vd. 2020).

Emniyet Kemerleri ve Öngergi Mekanizması

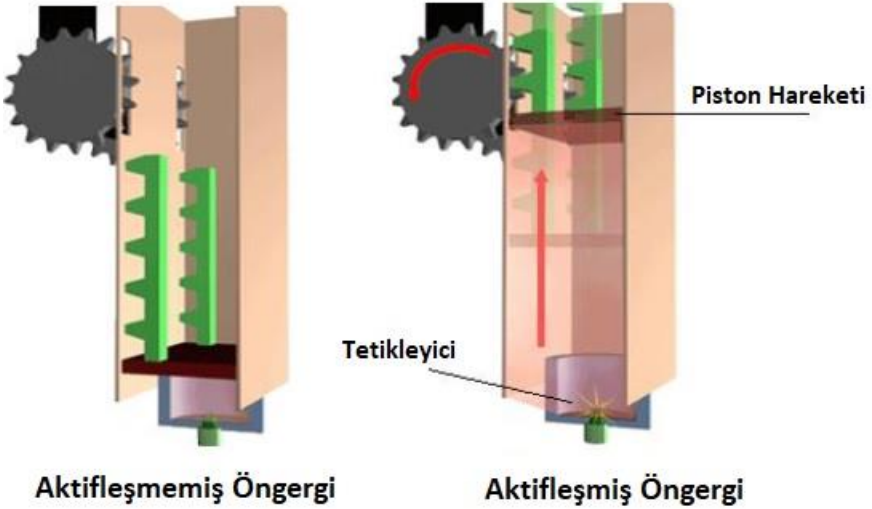
Hava yastıklarına ek olarak, emniyet kemerleri araçlardaki pasif güvenlik sistemlerinin bir diğer önemli bileşenidir(Hawas ve Alam 2015; Zakaria vd. 2023). Emniyet kemeri öngergisi, taşıtlarda bulunan pasif bir güvenlik destek ekipmanı olarak tanımlanabilir. Bu sistem, aracın hızlanması, yavaşlaması veya durması gibi durumlarda emniyet kemeri gerilimini ayarlayarak sürücü ve yolcuların güvenliğini artırmayı amaçlar.

Pasif güvenlik sistemlerinin bir diğer önemli unsuru olan emniyet kemerleri, yolcuları sabitlemek ve bir çarpışma sırasında öne doğru savrulmalarını önlemek için tasarlanmıştır(Feng vd. 2017).Araç içindeki sensörler, çarpışma veya ani durma gibi durumları algılar, kontrol ünitesi bu bilgileri işler ve emniyet kemeri üzerindeki germe sistemi devreye girer. Patlayıcı kartuş veya tahrik mekanizması kullanılarak hızlı bir şekilde çalışan bu mekanizma, sürücü ve yolcuların vücutlarını çarpışma sırasında daha sıkı bir şekilde koltuklarına kilitleyerek güvenliği artırır. Yolcuları sabitlemek ve bir çarpışma sırasında öne doğru savrulmalarını önleme işlevini görürler. Bu işlev, yolcuların araç içindeki sert yüzeylere çarpma veya araçtan fırlama riskini en aza indirmeye yardımcı olur.



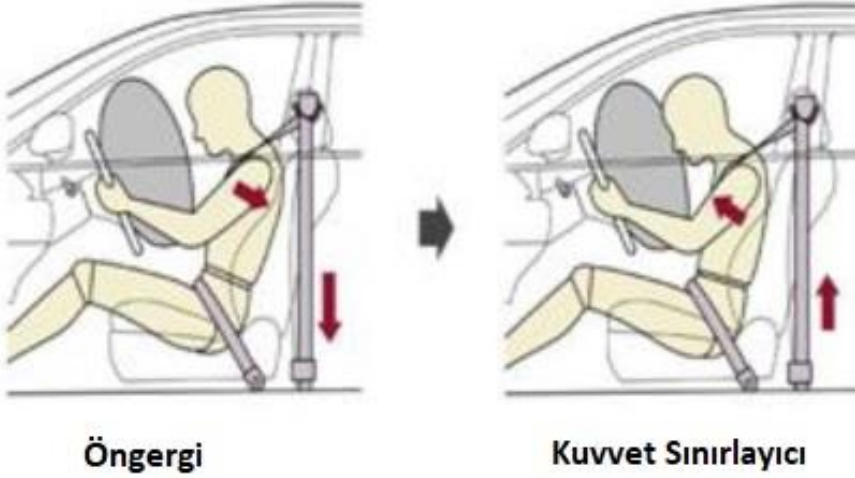
Şekil 4. Öngergi Tespit Mandalı (Vashist ve Kumar 2017)

Emniyet kemeri öngergi mekanizmasının şematik bir gösterimi Şekil 4' te görülmektedir. Aracın ani fren yapması veya bir nesneye çarpması gibi birden hız değişimi olduğu durumda, mekanizmadaki ağırlık(kuvvet) etkisiyle makara sıkıştırılır ve kemer gevşeyemez hale gelir. Bu şekilde yolcu koltuğa sıkı şekilde tutunmuş olur. İvme ortadan kalktıktan sonra yeniden ağırlık(kuvvet) salınıp, makara çözülerek yeniden serbest kalır ve kemer gevşer. Bu mekanizma sayesinde ani fren yapılması veya çarpışma anlarında yolcunun yerinde kalması ve çarpmalardan uzak tutulması amaçlanmaktadır.



Şekil 5. Emniyet Kemeri Öngergi Mekanizması (Vashist ve Kumar 2017)

Ön gergi mekanizmasının aktive olmadığı ve aktifleştiği durumlardaki iç aksamı Şekil 5'te gösterilmiştir. Burada ivme derecesi belirli bir miktarı aştığında, kontrol ünitesi tarafından tetikleyici devreye sokulur. Bu sayede düz dişliler yukarı hareket edip kemer makarasını sıkıştırır. Böylece kemer sıkı şekilde darbe esnasında yolcuu yerinde tutar. İvme ortadan kalktıktan sonra mekanizma yeniden eski haline döner ve kemer serbest hale gelir.



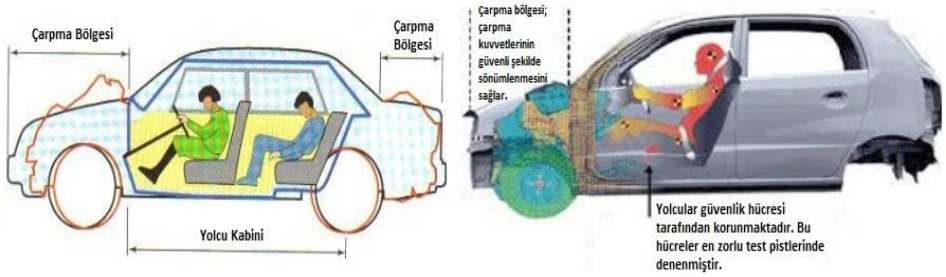
Şekil 6. Öngerginin Devreye Girmesi ile Yolcuu Yerinde Tutma Sistemi
(Vashist ve Kumar 2017)

Öngergi mekanizmasının devreye girmesi sayesinde yolcu koltuğa yaslanmış halde kaldığından, hava yastığının patlayıp şişmesi için süre ve yer sağlanmış olur. Şekil 6'da emniyet kemerinin yolcuu darbe esnasında yerinde tuttuğu ve hava yastığının da zamanında ve doğru konumda şişerek baş bölgesini korumasını sağladığı görülebilmektedir.

Emniyet kemerlerinin hayat kurtardığı ve kazalarda yaralanmaların şiddetini azalttığı bilinmektedir. Araştırmalar, emniyet kemerlerinin ölümcül yaralanma riskini ön koltukta oturanlar için %45'e kadar ve arka koltukta oturanlar için %60'a kadar azaltabildiğini göstermiştir. Emniyet kemerleri ve hava yastıklarının kombinasyonu, kaza veya çarpışma sırasında yolcular için en yüksek düzeyde koruma sağlar. Hava yastıkları ve emniyet kemerleri gibi araçlardaki pasif güvenlik sistemleri, yaralanma riskini en aza indirmede ve yolcuların hayatlarını korumada hayati önem arz etmektedir.

Çarpma Bölgelerinin Darbeyi Emmedeki Önemi

Çarpma bölgeleri araçlardaki pasif güvenlik sistemlerinin temel bir özelliğidir ve çarpışmalar sırasında darbe kuvvetlerinin emilmesinde hayati bir rol oynar. Şekil 7’de binek bir aracın çarpma bölgeleri gösterilmektedir. Tipik olarak aracın ön ve arka tarafında bulunan bu bölgeler, çarpışma anında kontrollü bir şekilde deforme olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu deformasyon süreci, çarpışma enerjisinin dağıtılmasına ve araç yolcularından uzak tutulmasına yardımcı olarak yolcuların maruz kaldığı kuvveti azaltır.



Şekil 7. Binek Taşıtlarda Çarpışma Bölgeleri (Vashist ve Kumar 2017)

Taşıtlardaki çarpışma bölgeleri, çarpışma enerjisini emerek ve dağıtarak; yolcu kabini yapısının yapısal bütünlüğünü korumaya yardımcı olur, darbe sonucu tehlike oluşacak enerji girişinin yolculara ulaşması riskini azaltır ve araç yolcularının güvenliğini artırır. Çarpışma bölgelerine ek olarak, araçlardaki pasif güvenlik sistemlerinin bir diğer önemli bileşeni de güçlendirilmiş yapıların kullanılmasıdır. Güçlendirilmiş yapılar, araca ek güç ve sertlik sağlamak için tasarlanmıştır ve bir çarpışma sırasında yolcu bölmesinin sağlam kalmasını sağlar.



Şekil 8. Çarpışma Anında Araçta Oluşan Deformasyon(Vargas Victor Miguel 2022)

Genellikle hayatta kalma hücreleri olarak adlandırılan bu güçlendirilmiş yapılar, çarpma kuvvetlerine dayanacak ve bunları dağıtacak şekilde tasarlanarak araç yolcularının güvenliğini daha da artırır. Şekil 8'de bir taşıtın çarpma bölgesinde; darbe anında oluşan deformasyon gösterilmektedir. Bu bölgeler tipik olarak çelik veya alüminyum gibi yüksek mukavemetli malzemelerden yapılı ve yolcuları korumadaki etkinliklerini en üst düzeye çıkarmak için stratejik olarak yerleştirilir. Ayrıca, teknolojiye ilerlemeler araçlara ilave pasif güvenlik sistemlerinin entegre edilmesine olanak sağlamıştır. Bu sistemler, enerjiyi emerek ve yolcuların uzağına yönlendirerek çarpma kuvvetini daha da azaltan darbe emme sistemlerini içerir. Netice olarak, çarpışma bölgeleri ve güçlendirilmiş yapılar, kaza veya çarpışma sırasında yolcuların korunmasında ciddi önem arz etmektedir (Vellenga vd. 2022).

Sürücü ve yolcular üzerindeki etkiyi en aza indirerek yaralanma ve ölüm riskini azaltmayı amaçlayan bu sistemler, araç güvenliğine kapsamlı bir yaklaşım sağlamak için elektronik denge kontrolü ve çarpışma uyarı sistemleri gibi aktif güvenlik sistemleriyle birlikte çalışabilmektedir.

Güvenlik Kafesi Yapısı

Güvenlik kafesi yapısı, araçlardaki pasif güvenlik sistemlerinin bir diğer önemli yönüdür. Özellikle yarış veya arazi araçlarında kullanılan bu kafes yapısı binek araçlarda da yaygınlaşmakta ve güvenlik unsuru olarak uygulanabilmektedir. Buradaki detay; aslında bu kafes yapısının aracın iskeleti olması ile birlikte; aracın kullanım şartları ve kaza potansiyeline göre farklı noktalarda farklı malzemeler kullanılmasını içerir. Bu malzemeler; yuvarlanma, çarpışma, yalpalama vb. gibi durumlarda mekanik özellikleri sayesinde, darbenin en iyi şekilde sönmülmesi veya yolcuya minimum zarar verecek şekilde uygun yönde deformasyon oluşmasını sağlamaya yönelik seçilerek, güvenlik kafes yapısı buna göre oluşturulur.



Şekil 9. Güvenlik Kafesi Yapısı (Volvo Cars, 2013)

Şekil 9’da örnek bir aracın güvenlik kafesi yapısı görülmektedir. Burada her bir farklı renk, farklı bir mekanik özelliğe ve göreve sahip farklı malzemeleri temsil etmektedir. Bu yapı, çarpışma kuvvetlerini dağıtmak, absorbe etmek, yolcu bölmesinin deformasyonunu en aza indirmek ve yolcuların yaralanma riskini azaltmak için özel olarak tasarlanmaktadır.

Baş Destekleri ve Yaralanmayı Azaltmadaki Rollerini

Baş destekleri araçlardaki pasif güvenlik sistemlerinin hayati bileşenlerinden biridir. Ani bir darbe sırasında baş ve boynu destekleyerek arkadan çarpmalarda boyun travması riskini en aza indirmek için tasarlanmışlardır. Şekil 10’da aktif baş desteği gösterilmektedir. Ani bir çarpma veya fren durumunda başın önce ileri sonra da ani şekilde geri savrulması tehlike oluşturabilmektedir. Özellikle baş-boyun yaralanmalı hayati anlamda tehlike arz edebilmektedir. Bu ani ivme ve savrulma etkisiyle, özellikle başın geri doğru savrulması anında arkasında bir destek olmaması durumunda; ciddi anlamda baş-boyun veya omurga yaralanması veya hayati risk oluşma ihtimali ortaya çıkabilmektedir. Bunu yok etmek veya en aza indirmek üzere taşıtlarda pasif ve kaza anında aktifleşip hareket eden baş destekleri kullanılmaktadır. Bu destekler; çarpışma neticesinde kemer ve hava yastığı etkisi ile tutulup geri savrulan baş bölgesinin mümkün olduğunca yumuşak şekilde durdurulmasını sağlarlar. Kaza şiddetine göre baş desteklerinin ayakları veya bazen bağlığın içine gömülü olan kademe yuvasından çıkarak yukarı ve öne doğru yaklaşacak bir pozisyon alarak başın arka bölgesini yakından desteklemeyi sağlar. Özellikle arkadan çarpmalar sonucu oluşan kazalarda ortaya çıkabilecek boyun-omurga hasarlarının engellenmesi hedeflenir. Önceleri sadece

tamamen pasif olarak binek taşıtlarda kullanılan bu güvenlik sistemleri, yeni teknolojik gelişmelerle birlikte darbe sonrası harekete geçecek ve güvenliği artıracak donanımlara kavuşmuştur.



Şekil 10. Baş Destekleri (Vashist ve Kumar 2017)

Otomobillerde Pasif Güvenlik Sistemlerinin Geleceği

Otomobillerdeki pasif güvenlik sistemlerinin geleceği umut vericidir. Teknoloji ve araştırma alanındaki ilerlemeler pasif güvenlik sistemlerinin etkinliğini ve işlevselliğini geliştirmeye devam etmektedir.

Gelecekteki gelişim alanlarından biri de sensör teknolojisinin pasif güvenlik sistemlerine entegre edilmesidir. Böylece, daha gelişmiş tespit ve müdahale mekanizmalarına olanak tanıyarak araçların genel güvenlik performansının artırılacağı düşünülmektedir. Buna ek olarak, gelişmiş malzemelerin ve yenilikçi tasarım tekniklerinin kullanılması araçların çarpışmaya dayanıklılığını daha da artıracak ve bir kaza durumunda yolcuların ve de yayaların daha iyi korunmasını sağlayabilecektir.

SONUÇ

Gerçek hayattan vaka çalışmaları, araçlardaki pasif güvenlik sistemlerinin önemini ve etkinliğini vurgulamaktadır. Örneğin, Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi tarafından yürütülen bir çalışmada emniyet kemerlerinin ölüm ve yaralanmaları azaltmadaki etkisi incelenmiştir. Çalışma, emniyet kemerlerinin ciddi yaralanmaları ve ölümleri önlemede oldukça etkili olduğunu ve doğru kullanımın ölümcül yaralanma riskini yaklaşık %45 oranında azalttığını ortaya koymuştur

Pasif güvenlik sisteminin amacı, bir kaza sırasında hem sürücüyü hem de yolcuları korumaktır; aktif güvenlik sistemi ise aracın kazalardan kaçınabilmesini veya kazaların şiddetini azaltabilmesini sağlar. Araçlar hem aktif hem de pasif güvenlik sistemlerini bir araya getirerek güvenliğe çok katmanlı bir yaklaşım

sağlanabilir ve bu sayede çeşitli senaryolarda yolcuların korunması en üst düzeye çıkarılabilir. Sonuç olarak, pasif güvenlik sistemleri kazalar veya çarpışmalar sırasında araç yolcularının korunmasında hayati bir rol oynar. Araç güvenliğine kapsamlı bir yaklaşım sağlamak için çarpışma önleme teknolojileri gibi aktif güvenlik sistemleriyle birlikte çalışırlar. Hızla gelişen otonom araçlar alanı bağlamında bakıldığında, pasif güvenlik sistemleri binek taşıtlarda çok önemli bir yere sahip olmaya devam edecektir. Teknoloji ilerledikçe, araçlara daha da gelişmiş pasif güvenlik sistemlerinin entegre edildiğinin görülmesi beklenmektedir. Güvenlik sistemlerinin yaralanma ve ölüm gibi olayları önlemedeki etkisi düşünüldüğünde, üreticilerin ve araştırmacıların araç içindekilere ve yayalara en üst düzeyde koruma sağlamak için pasif güvenlik sistemlerini sürekli olarak yenilemeleri ve geliştirmeleri zaruret arz etmektedir.

Taşıtlarda pasif güvenlik sistemlerinin kullanımı, sadece sürücülerin ve yolcuların fiziksel sağlığını değil, aynı zamanda trafik güvenliği standartlarını da yükseltir. Bu sistemlerin etkili bir şekilde uygulanması, trafik kazalarının sonuçlarını daha az tehlikeli hale getirerek, genel olarak karayolu güvenliğini artırır. Bu bağlamda; her gün binlerce insanın hayatını etkileyen kazaların önlenmesi veya etkisinin en düşük seviyelere çekilebilmesi için ilerleyen süreçte taşıtlardaki güvenlik sistemlerini üzerine çalışmaların, tasarımların ve uygulamaların artırılması ve geliştirilmesi ciddi önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Ariyaratna, Haputhanthrige Dammika Wasanthi, ve Sanjaya Ravindra Hulathduwa. 2017. "The Role of the Medico-Legal Expert in the Interpretation of Airbag and Seatbelt Injuries: Two Case Reports". *Medico-Legal Journal of Sri Lanka* 5(2):17. doi: 10.4038/mlj.v5i2.7359.
- Balaev, E. Y., T. V. Konovalova, A. E. Litvinov, M. P. Mironova, ve I. S. Senin. 2021. "Statistical means of the assessment of the passive safety of road vehicles". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1159(1):012098. doi: 10.1088/1757-899X/1159/1/012098.
- Ehsan Jafari Nasab, S., S. Saber Naseralavi, ve Nasser Pourmoallem. 2015. "Investigating the Influence of Vehicular Ad-Hoc Networks on Driver Behaviours and Traffic Accidents". *Travel Behaviour and Society* 2(3):156-65. doi: 10.1016/j.tbs.2015.01.001.
- Evtukov, Stanislav, Egor Golov, ve Tatiana Sazonova. 2018. "Prospects of scientific research in the field of active and passive safety of vehicles" editör A. D. Abramov ve V. Murgul. *MATEC Web of Conferences* 239:04018. doi: 10.1051/mateconf/201823904018.
- Feng, Qingfeng, Hao Li, Jinhuan Zhang, Weiguo Liu, Haiyang Zhang, Ruyang Pan, Honglei Dong, ve Lingyun Xiao. 2017. "Research on the Protection Strategy of Pretensioner Seat-Belt with the Active Braking Technology". içinde *Proceedings of the 2017 2nd International Conference on Machinery, Electronics and Control Simulation (MECS 2017)*. Taiyuan, China: Atlantis Press.
- Frej, D., M. Jaśkiewicz, P. Kubiak, A. Zuska, ve D. Więckowski. 2022. "Frontal Collision Simulation in Laboratory Conditions". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1247(1):012026. doi: 10.1088/1757-899X/1247/1/012026.
- Gandhi, T., ve M. M. Trivedi. 2006. "Pedestrian Collision Avoidance Systems: A Survey of Computer Vision Based Recent Studies". Ss. 976-81 içinde *2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*. Toronto, ON, Canada: IEEE.
- Gietelink, O. J., J. Ploeg, B. De Schutter, ve M. Verhaegen. 2009. "Development of a Driver Information and Warning System with Vehicle Hardware-in-the-Loop Simulations". *Mechatronics* 19(7):1091-1104. doi: 10.1016/j.mechatronics.2009.04.012.
- Hawas, Yaser E., ve Md. Didarul Alam. 2015. "Evaluation of Seatbelt and Airbag Effectiveness in Reducing Severe and Fatal Injuries in the UAE". *Journal of Traffic and Logistics Engineering* 3(2). doi: 10.12720/jtle.3.2.87-93.

- Ikegami, Saya, Youichi Yanagawa, Koki Komai, Tuyoshi Ishikawa, Yasumasa Oode, ve Kazuhiko Omori. 2020. "Occupant Restraint Systems Do Not Completely Prevent Injury at the Cranio-Cervical Junction in a High-Energy Accident". *American Journal of Medical Case Reports* 8(12):481-82. doi: 10.12691/ajmcr-8-12-13.
- Rezaei, Mahdi, ve Reza Sabzevari. 2009. "Multisensor Data Fusion Strategies for Advanced Driver Assistance Systems". içinde *Sensor and Data Fusion*, editör N. Milisavljevic. I-Tech Education and Publishing.
- Nurul Dayana Balqis Nor Walid, Syabillah Sulaiman, Muhammad Asri Azizul, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Norrizal Mustaffa. 2022. "Hardware Development and Analysis of Vehicle's Driver Awareness during Braking Event". *Journal of Advanced Industrial Technology and Application* 3(1). doi: 10.30880/jaita.2022.03.01.002.
- Vargas Víctor Miguel, Toalombo. 2022. "Active and Passive Security in Vehicles Seguridad Activa y Pasiva de Vehículos". *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.* 747-68. doi: 10.18502/epoch.v2i2.11426.
- Vashist, Devendra, ve Naveen Kumar. t.y. "I J E S M R Nternational Ournal OF Nginneering Ciences & Anagement Esearch".
- Vellenga, Koen, H. Joe Steinhauer, Alexander Karlsson, Goran Falkman, Asli Rhodin, ve Ashok Chaitanya Koppisetty. 2022. "Driver Intention Recognition: State-of-the-Art Review". *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems* 3:602-16. doi: 10.1109/OJITS.2022.3197296.
- Zakaria, Noor Jannah, Mohd Ibrahim Shapiai, Rasli Abd Ghani, Mohd Najib Mohd Yassin, Mohd Zamri Ibrahim, ve Nurbaiti Wahid. 2023. "Lane Detection in Autonomous Vehicles: A Systematic Review". *IEEE Access* 11:3729-65. doi: 10.1109/ACCESS.2023.3234442.
- Volvo Cars. (2013). All-New XC90 Safety Cage with Text. Volvo Media-Photos. <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/photos/136810/all-new-xc90-safety-cage-with-text>

Bölüm 14

KONTROLLÜ ANTİBİYOTİK SALIMI: BİYOBOZUNUR GIDA AMBALAJI ÖRNEĞİ

Özlem AYDIN¹

ÖZET

Kontrollü salım sistemleri 1980'den itibaren özellikle eczacılık alanında kullanılmaya başlanmıştır. Gıda, kimya, ziraat, vb. alanlarda da yakın zaman içinde hızla yaygınlaşmaya başlamıştır. Kullanılan ilacın yan etkilerini ortadan kaldırmak, hedeflenen doku dışında başka bölgelere gitmesini önlemek, ilacın stabilitesini korumak için tercih edilir. Eczacılık alanından sonra en hızlı gelişen alan gıda olup, gıda bileşenleri, probiyotikler vb. koruma amacıyla mikroenkapsülasyona tabi tutulmaktadır. Mikroenkapsülasyon gıda alanında da her geçen gün çokça ilerleme kaydetmiştir. Enkapsülasyon sayesinde gıdaları korumak daha etkili olabilmektedir. Gıdaya koruyucu katmak yerine gıda ambalajını gıdayı daha etkili koruyacak hale getirmek enkapsülasyon teknolojisi ile sağlanabilmektedir. Bunun için de kontrollü salım yapan ambalaj sayesinde gıdaları ambalajıyla daha etkili koruma sağlamak hedeflenmektedir.

Bu çalışmada polimerik filmin yapılması sırasında antibiyotik yüklü mikroküre ile karıştırılarak kontrollü salım yapabilecek gıda ambalajı elde edilmiştir. Bu amaçla model ilaç olarak antibiyotik tercih edilmiştir. Kontrollü salım yapan ambalaj ile gıdalarda gıda koruyucuları grubundan katkı maddelerinin kullanılmasının önüne geçmesini hedeflemektedir. Burada antibiyotik salım profili sayesinde gıda koruyucusunun kullanımı hakkında fikir edinilmesi mümkün kılınmıştır.

Bunun için ilk önce antibiyotik mikroenkapsülasyonu gerçekleştirilmiştir. Antibiyotiğin stabilitesini koruyup, uzun süreli salımlarda kullanabilmek için, yine uzun süreli salımlar için uygun olan, geç bozunan bir polimer olan polikaprolakton (PCL) kullanılmıştır. Mikroküreler filme gömülmüş ve bu şekilde gıda ambalajı oluşturulmuştur. Aynı şekilde kontrol grubu olarak antibiyotik polimerle enkapsüle edilmeksizin aynı özellikteki filme gömülmüştür. Antibiyotiğin salım miktarı ölçüldükten sonra salım profili elde

¹ Dr. Öğr. Üyesi.; Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü. ozlem.aydin@ahievran.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5645-3792

edilmiştir. İki şekilde hazırlanmış (mikroküre ve serbest form) salım sistemi karşılaştırılmıştır.

Gıda koruyucuların direkt gıdaya katılması yerine ambalaj materyalinde enkapsüle edilmiş olması hem gıdaları bozulmalara karşı koruyacak hem de insan vücuduna besin aracılığıyla alınan koruyucu dozunun düşmesini sağlayacaktır. Bu çalışma gelecekte yapılacak çalışmalara model olacağı için önemlidir. Buradan elde edilen sonuçlar ışığında yeni ve farklı kontrollü salım yapan gıda ambalajları yapılabilecektir. Katkısı az gıda ile daha sağlıklı yarınlar yaratılması mümkün olacaktır.

ANAHTAR KELİMELER: Gıda, ambalaj, enkapsülasyon, kontrollü salım, antibiyotik

ABSTRACT

Controlled release systems have been studying since 1980s especially in pharmacology field. It becomes important in food, chemistry, agriculture etc. nowadays. Controlled drug delivery aims to supply drugs (or other bioactive agents) within biocompatible carriers to the living system either by controlling the site and/or controlling the rate of drug released. Control on the application site can be achieved by drug targeting (passive or active) to the injured region of the body. Food applications such as encapsulation of food ingredients and probiotics in encapsulation technology develop as fast as pharmacology. By means of encapsulation it is possible to improve the food properties. It can be also possible to protect the foods by means of encapsulation technology instead of using food preservatives.

In this work, antibiotic loaded microspheres and polymeric film is mixed to make a controlled release food package. Model drug is selected as an antibiotic for this purpose. Controlled release food package aims to prevent the food preservatives in food production. Antibiotic release profile gives us an idea about using food preservatives in this purpose.

First of all, antibiotic microencapsulation will be performed. For long delivery purposes, to keep the stability of antibiotic, polycaprolactone (PCL) which degrades slowly will be used. Microspheres will be coated with microspheres to prepare food package. The most suitable film will be produce for food package. Firstly the polymers suitable for foods will be tried. Then, antibiotic loaded microspheres will be casted into films. Antibiotic will be casted into same film for control. The released antibiotic will be measured and then release profile will be obtained. The two forms of release system (microsphere and antibiotic alone) will be compared.

As a result, the antibiotic amount will be determined. According to literature, the released drug from PCL is expected as diffusion controlled. Antibiotic released from polymeric film in two forms (microsphere and antibiotic alone) is expected as 1st degree.

Food preservatives are added into food to protect from contamination and spoilage. Encapsulation of preservatives into package material rather than adding to the food will decrease the dosage of preservatives getting through the body from foods. This work is important because it will be a model of future work. The results obtained from this work will give us encouragement to make new controlled release featured food packages.

KEYWORDS : Food, package, encapsulation, controlled release, antibiotic

GİRİŞ

Gıda ambalajları sayesinde gıdalar dış etkilerden ve bozulmaktan korunmaktadır. Ancak gıdaları daha etkili ve daha uzun süre koruyabilmek için gıda ambalajlarının da niteliklerinin arttırılması hedeflenmelidir. Çalışmanın hedefi, stabil özelliği olan, istenilen dozda salım yapabilen antibiyotik yüklü mikroküre eldesi ve de bu mikrokürelerle uygun bir salım sistemi oluşturulabilmesidir. Mikroküreler filmle kaplanmak suretiyle, kullanım amacı kontrollü salım yapabilen gıda koruyucu kaplamadır. Mikrokürelerde stabilizasyonun sağlanması için seçilen polimerin de uzun süreli salıma uygun olması gerekmektedir. Bu yüzden geç bozunan ve de hidrofobik özellikte olan polimerler tercih edilmelidir.

Çalışmanın ilk aşamasında öncelikli amacımız antibiyotik mikroenkapsülasyonunu gerçekleştirmek olmuştur. Mikroküreye enkapsüle edilen antibiyotik zaman içinde salınacaktır. Mikroküreler filme hapsolmuş olduğu için, salınan antibiyotik miktarını film katmanı etkilemektedir. Aynı şekilde antibiyotik polimerle enkapsüle edilmeksizin aynı özellikteki filme gömülmüştür. Antibiyotiğin salım miktarı ölçülecek ve dolayısıyla salım profili elde edilmiştir. İki şekilde hazırlanmış (mikroküre ve serbest form) salım sistemi karşılaştırılmıştır.

GENEL BİLGİLER

Kontrollü salım sistemleri özellikle eczacılık alanında 1980'den itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Gıda, kimya, ziraat, vb. alanlarda da yakın zaman içinde hızla yaygınlaşmaya başlamıştır. Kullanılan ilacın yan etkilerini ortadan kaldırmak, hedeflenen doku dışında başka bölgelere gitmesini önlemek, ilacın stabilitesini korumak için tercih edilirler. Kullanılacak ilacın tedavi esnasında var

olan etkinliğini korumak ve doz ayarlamasını sadece bir kere yapmak kontrollü salım sayesinde mümkün olmaktadır. İlacın kandaki seviyesi tedavi boyunca aynı seviyede tutulmuş olunacağından, geleneksel tedavi sırasında oluşan kandaki ilaç seviyesinin sık değişmesine bağlı olarak ortaya çıkan değişimlerin ve olumsuzlukların önlenmesi sağlanacaktır. Antibiyotikler ise çok yaygın kullanım alanları sebebiyle bu teknikte en çok faydalanılan gruptur. Bu sayede antibiyotiğin yan etkileri ortadan kaldırılmış olup sadece tedavi için gerekli bölgeye verilmesini sağlar ve de ilgili bölgeye taşınması esnasında sağlıklı bölgede aktivitesini göstermeden ve de buna ilaveten stabil formda taşınması mümkün olabilmektedir.

Enkapsülasyon teknolojisi son yıllarda hızlı gelişme kaydetmekte olup, gıda, kimya, ziraat, yem, tıp, eczacılık, veterinerlik ve biyoteknoloji alanlarında uygulanmaktadır (Gökmen ve ark, 2012). Özellikle eczacılık alanında kontrollü salım sistemleri 1980'den günümüze hızla gelişme göstermektedir (Burger ve ark, 1985; Dhanaraju ve ark, 2006; Jiang ve ark, 2011). Eczacılık alanından sonra en hızlı gelişen alan gıda olup, gıda bileşenleri, probiyotikler vb. koruma amacıyla mikroenkapsülasyona tabi tutulmaktadır. Gıda ambalajlamasında kontrollü salım tekniği henüz çok yenidir. Bu konuda yapılan çalışmalar literatüre yeni katılmaya başlamıştır. Antimikrobiyel özellikli gıda ambalajları bulunmaktadır (Gemili, S ve ark, 2010, Quintavallas, S ve ark, 2002). Ancak, mikroküre kaplanarak kontrollü salım yaptıran ambalaj malzemesi bulunmamaktadır. Bu çalışma ile hedeflenen mikroküre formunda koruyucuları gıdaya vererek daha yavaş ve gerçek anlamda kontrol sağlayabilmektedir.

Burada hedeflenen, enkapsüle edilen malzemenin stabilitesini korumak, bileşenlerin yavaş salımını sağlamak suretiyle özelliklerini geliştirmektir. Kısaca tanım olarak mikroenkapsülasyon, küçük kapsüllere pek çok faydalı özellikler vermek için oldukça küçük partikül veya damlacıkların kaplama materyalleriyle kaplanması işlemidir. Yararlı birçok özelliğinden dolayı gıdalarda mikroenkapsüle probiyotiklerin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Probiyotiklerin gelişimi ve canlılığının korunması bakımından uygun olmadığı düşünülen birçok gıda maddesi, probiyotiklere koruyucu görev yapan mikroenkapsülasyon yönteminin kullanımıyla uygun hale gelmiştir (Ünal ve Erginkaya, 2010).

Antibiyotikler yaşamımızda önemli bir yer teşkil etmektedirler. Antibiyotikler sadece insanlarda değil, koyunlarda, keçilerde ve hatta buzağılarda da enfeksiyon tedavisinde kullanılmaktadırlar. Antimikrobiyel özellikleri dışında sahip oldukları başka etkiler ve özellikler için de kullanılmaktadır. Bazı antibiyotikler bakteri enfeksiyonuna karşı kullanıldığı gibi diğer taraftan enfeksiyon dışı hastalıklara karşı da kullanılabilir. Bunlar, deri hastalıkları, eklem

hastalıkları ve dişeti hastalıkları olup, antibiyotiklerin başka özellikleri sayesinde bu hastalıklar tedavi edilebilmektedir. (Perkins ve Heard, 1999; Banning ve Heard, 2001). Tetrasiklin grubu antibiyotikler bu tür özellikleri olan antibiyotiklerdir. Bu özelliklerin başında matriks metalloproteinaz inhibitörlüğü gelmektedir (Choi ve ark, 2004). Ayrıca stabiliteyi de oldukça yüksektir. (Bokor-Bratic ve Brkanic, 2000) Antibiyotikler bazı gıda zehirlenmesi vakalarında da kullanılmaktadır. Gıdalar enfeksiyon kaynağı olabilecek mikroorganizmaları içerdiğinde, bu mikroorganizmalar çoğu kez barsak florasında gelişimlerini sürdürdüklerinden, tedavi amaçlı kullanılabilir antibiyotiklerin de barsak florasına direkt iletilmeleri gerekmektedir. Dolayısıyla barsak florasına gitmeden önce vücudun başka bölgelerine gitmesi önlenmelidir. Bu da enkapsülasyonla dış etkilerden korunmuş yapılarla mümkün olabilmektedir. Sadece barsak florası değil, aynı zamanda, vücudun başka bölgeleri için lokal tedavi gerektiğinde, örneğin deri yoluyla (transdermal) veya eklem içi enjeksiyon (intaartikular) yoluyla ilacın yan etkileri önlenir, ilacın stabilitesi korunur ve de ilacın kandaki düzeyi istenen seviyede hiç değişmeksizin tedavi boyunca aynı tutulmuş olunur. Buna da kontrollü salım denilmektedir.

Her salım sisteminin profilini belirleyen yegâne özellikler kullanılan polimerden kaynaklanan özellikler ve ilaç/biyoaktif ajanlardan kaynaklanan özellikler olacak şekilde ikiye ayrılmaktadır. Kullanılan polimerden kaynaklanan özellikler molekül ağırlığı, kristallik, hidrofob/hidrofil olma, biyobozunma kinetiği iken, ilaç/biyoaktif ajanlardan kaynaklanan özellikler ise; çözünürlük, molekül ağırlığı, fiziksel durumu ve stabilitesidir. Bunlara ek olarak, ilaç yükleme verimi, polimer-ilac etkileşimleri, boyut dağılımı, gözeneklilik ve sistemin iç yapısı da salım davranışını etkilerler (Jeong ve ark, 2003; Freiberg and Zhu, 2004; Wang ve ark, 2009).

Salım sistemlerinde kullanılabilir çok çeşitli miktarda polimerler mevcuttur. PCL, PLGA, PLA, PHBV, kitosan, doğal ve modifiye polisakkaritler, proteinler vb. bu amaçla yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar (Nair ve Laurencin, 2006; Gunatillake ve Adhikari, 2003; Dhandayuthapani ve ark, 2011; Ünal ve Erginkaya, 2010). Kaplanacak malzemeye göre polimer seçimi yapılır. Boyut için ise karıştırma hızı değiştirilerek damlacık boyutu ayarlaması yapılır. Karıştırma hızı arttıkça emülsiyondaki damlacıklar kırılmak suretiyle küçülür ve oluşan parçacıkların boyutu küçülür (Aishwarya ve ark, 2008; Wang ve ark, 2008). Bazı sistemler için boyut küçültme özellikle önem arz etmektedir. Eklem içi enjeksiyonlarda parçacık boyutu özel olarak ayarlanmaktadır. Ayrıca salım miktarının artması da parçacık boyutu ile ilgilidir. Alan-hacim ilişkisi de bu noktayı özellikle vurgulamaktadır. Boyut küçüldükçe salınan ilaç miktarı da artar (Jeong ve ark, 2003). Seçilen polimerin molekül ağırlığı da enkapsülasyon

parçacıklarının boyutunu belirleyen diğer bir faktördür. Molekül ağırlığı arttıkça parçacık boyutu da artar (Jeong ve ark, 2003). O yüzden de oluşmasını istediğimiz parçacıklar için molekül ağırlığı faktörünü de göz önünde tutmalıyız.

MATERYAL

PVA (polivinilalkol; MA=27 kDa), PCL (polikaprolakton; MA=14 kDa), antibiyotik (doksisisiklin), kloroform, fosfat tampon çözeltisi (pH=7.4) deneylerde kullanılan malzemelerdendir.

YÖNTEM

Bu çalışmada ilk olarak antibiyotik mikroenkapsülasyonu yapılmıştır. Bunun için kullanılan polimer, biyouyumlu, biyobozunur, uzun süreli salımlar için uygun olan ve çözücüsü organik faz olan PCL (polikaprolakton; MA=14 kDa)'dir. Kullanılan antibiyotik suda çözünür özellikte olacak, hazırlanan mikroküreler salım davranışının (profilinin) belirlenmesinde kullanılmıştır. Elde edilen filme antibiyotik yüklü mikroküre gömülmüştür. Kontrol grubu olarak aynı filme antibiyotik gömümüştür. Her iki şekilde de antibiyotik salımı ölçülüp, sonuçlara göre de salım profili değerlendirilmiştir.

Boş Mikroküre Hazırlanması

Emülsifiye edici ajan olarak PVA (polivinilalkol; MA=27 kDa) çözeltisi distile su kullanılarak 85°C'ye kadar manyetik karıştırıcıda karıştırılmak suretiyle ısıtılarak % 4'lük olacak şekilde hazırlandıktan sonra oda ısısına soğutulmuştur. Mikroenkapsülasyon için alınan 20 ml civarında PVA çözeltisi homojenizatör ile kısa süreli köpürene kadar karıştırılıp, içerisine damlatma yöntemi ile polimer çözeltisi (7 % PCL, kloroform içerisinde) eklenerek tekli emülsiyon oluşturulmuştur. Damlatma işlemi bittikten sonra emülsiyon damlacıklarını kırıp küçültmek için homojenizatörde 15-30 dakika karıştırılıp, manyetik karıştırıcıda organik faz tamamen uçuncaya kadar karıştırma işlemine çeker ocak altında devam edilerek sulu ortamda polimer kürelerinin oluşması sağlanmıştır. Küreler, bütün ortamın 3000 rpm de 3 dakika santrifuj edilmesi ile çöktürülerek PVA çözeltisinden ayrıştırılmıştır. Daha sonra bol miktarda su ile yıkanarak (x10ml) tekrar santrifuj edilecek ve yıkama suyu atıldıktan sonra 33 °C 'de 18 saat kurutulmaya bırakılmıştır.

Antibiyotik Yüklü Mikroküre Hazırlanması

Boş PCL mikroküre hazırlanmasındaki işlem basamakları aynen takip edilmiştir. Antibiyotik yüklü mikroküre hazırlayabilmek için kullanılacak antibiyotik % 7'lik polimer çözeltisine (1:2, antibiyotik:polimer oranı olacak

şekilde) karıştırılmış ve antibiyotiğin polimer çözeltisinde homojen dağılması için karışım vortekslenmiştir. Antibiyotik içeren polimer çözeltisi su fazına (% 4 PVA çözeltisi) damlatıldıktan sonra homojenizatörde boş mikroküre hazırlanırken belirlenmiş süre kadar karışması sağlanmış ve organik faz (kloroform) tamamen uçuncaya kadar çeker ocak altında manyetik karıştırıcıda bırakılmıştır. Organik faz uçtuktan sonra santrifüj ile çöktürülerek PVA'dan uzaklaştırılmıştır. Bol miktar su ile yıkanıp tekrar santrifüjlenmiş ve 33°C'de 18 saat kurutulmuştur. Kurutulmuş mikroküreler desikatöre konup kullanım anına kadar buzdolabında saklanmaktadır.

Antibiyotik Yüklü Mikrokürelerin Karakterizasyonu

Mikroküreler hazırlandıktan sonra uygun şekil, boyut (çap vb.) ve morfolojide olup olmadıklarını anlamak için öncelikle taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile fotoğrafları çekilmiştir. Daha sonra, hazırlanan bu mikrokürelerin çaplarının dağılımını belirlemek için parçacık boyutu analizi yapılmıştır.

Enkapsüle Edilen Antibiyotik Miktarı Tayini (Ekstraksiyon) ve Enkapsülasyon Veriminin Hesaplanması

Mikrokürelerin enkapsüle ettiği antibiyotik miktarının bulunması için öncelikle ekstraksiyon adı verilen ve mikrokürelerin içine hapsolmuş ilacı çıkarmaya yarayan işleme tabi tutulması gerekmektedir. Bu işlem için PCL çözücüsü olan kloroform kullanılmıştır. Belli bir miktar ilaç yüklü mikroküre (10 mg) ve kloroform (1 ml) ağız kapalı şekilde manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra ilacın çözücülerinden birisi önceden eklenen kloroformun üzerine (1:1) oranında ilave edilmiştir. Bu karışımın ağız sıkı bir şekilde kapatıldıktan sonra, tekrar manyetik karıştırıcıda 24 saatten az olmayacak kadar karıştırılmıştır. Karışımdan alınan sıvının absorbansı spektrofotometrede uygun dalga boyunda ölçülmüştür. Daha sonra ölçülen miktarlar ile aşağıdaki formüller kullanılarak ilaç yükleme yüzdesi ve enkapsülasyon verimi hesaplanmaktadır.

$$\text{İlaç Yükleme (\%)} = \left[\frac{\text{Mikroküredeki İlacın Ağırlığı}}{\text{Mikrokürelerin Ağırlığı}} \right] * 100 \quad (1)$$

$$\text{Enkapsülasyon Verimi (\%)} = \left[\frac{\text{Gerçekte Yüklenen İlaç Miktarı (\%)}}{\text{Teorikte Yüklenen İlaç Miktarı (\%)}} \right] * 100 \quad (2)$$

Gıda Ambalajı Olacak Filmin Hazırlanması

Gıda ambalajı olarak hazırlanacak film için uygun polimer seçimi yapılmıştır. Bunun için çeşitli denemeler yapılmıştır. Polimer olarak PVA (polivinilalkol; MA=27 kDa) ile film yapılmıştır. PVA, antibiyotik yüklü mikrokürelerden salım

profilini belirlemede kendine has özelliklerinden ötürü kolaylık sağlayacağından tercih edilmiştir. PVA'nın suda çözünüyor olması ve hızlı degrade olması da bu seçimde etkilidir. PVA'dan yapılacak filmlerin konsantrasyonları % 5, 10, 20, 30 olarak hazırlanmıştır. Daha sonra önceden hazırlanmış mikroküreler bu konsantrasyonlu filmlere gömülüp salım yaptırılmıştır. Çeşitli denemeler sonunda antibiyotik miktarı belirlenmiştir ve belirlenen miktardaki antibiyotik serbest halde hazırlanan filmlere gömülmüştür. Buna göre salım deneylerine geçilecektir.

Filmden Salınan Antibiyotik Miktarının Ölçülmesi

Filmler, alt kısmında tıpa ile kapatılmış ancak belirlenmiş zamanlarda enjektör yardımıyla örnek almaya yarayan özel cam kapların üzerine geçirilmiştir. Fosfat tampon çözeltisi ile (pH=7.4) filmlerin teması sağlanmıştır.

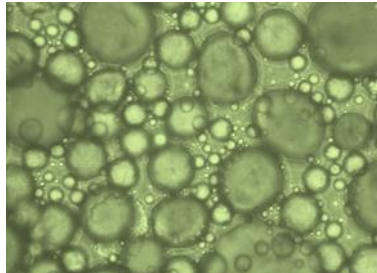
Antibiyotik denature olmaması için karanlık ortam oluşturulmuş ve 37°C'ye ayarlanmış olan çalkalamalı su banyosunda inkübe edilmiş olan salım düzeneğinden belli zamanlarda örnek alınıp absorbansı ölçülmüştür. Daha sonra ölçülen absorbans önceden hazırlanmış kalibrasyon denkleminde yerine konularak salınmış antibiyotik miktarları bulunmuştur. Değerler zamana karşı çizilen grafikte gösterilmektedir. Her iki forma ait (mikroküre ve serbest form) filmlerin salım profili belirlenip karşılaştırılmıştır.

BULGULAR

Deneylerde öncelikle mikrokürelerin hazırlanması için gerekli şartlar oluşturulmuştur. Hazırlanan mikrokürelerin ilk etapta optimizasyon çalışmaları yapıp, daha sonra diğer aşamalara geçilecektir.

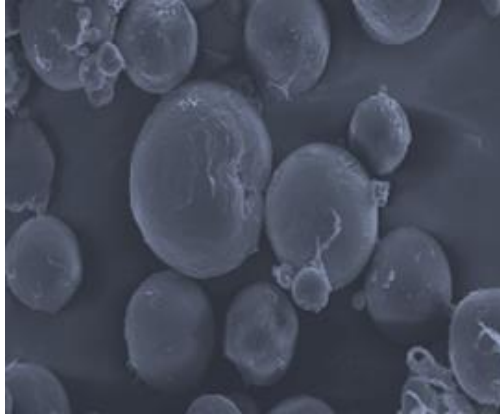
Boş ve Antibiyotik Yüklü Mikrokürelerin Hazırlanması ve Optimizasyonu

Antibiyotik ile enkapsüle etmeden önce mikroküreler boş olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan boş küreler faz kontrast mikroskopisi ile değerlendirildikten sonra antibiyotik yüklü olarak hazırlanmışlardır. Şekil 1'de boş mikrokürelerin faz kontrast mikroskopisi görülmektedir.



Şekil 1. Boş mikrokürelerin faz kontrast mikroskopisi

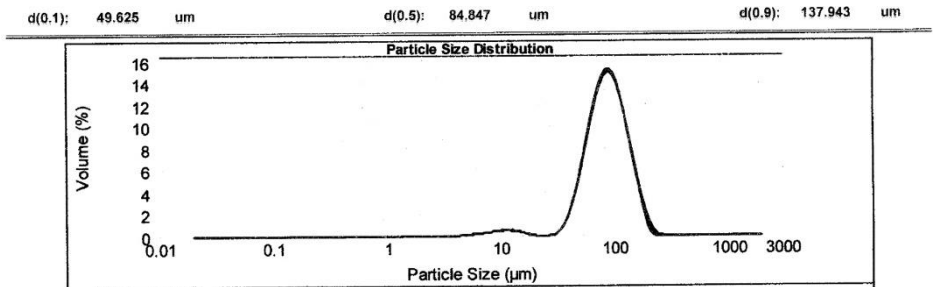
Boş kürelerin faz kontrast mikroskopisi ile değerlendirilmeleri sonucunda antibiyotikle yüklenmelerinde sakınca olmadığı görülmüştür. Yüklen antibiyotik doksisisiklin olup suda çözünürlüğü oldukça iyidir (50 mg/ml). Buna göre doksisisiklinle yükledikten sonra mikrokürelerin taramalı elektron mikroskopisi (SEM) çekilmiş ve morfolojisi değerlendirilmiştir (Şekil 2). Buna göre mikrokürelerin yüzey yapılarının pürüzsüz ve dağılımlarının homojen olduğu görülmüştür.



Şekil 2. Mikrokürelerin taramalı elektron mikroskopisi (SEM)

Taramalı elektron mikroskopisi ile boyut, şekil ve morfoloji değerlendirmeleri yapılmıştır. Buna göre mikrokürelerin gelecek çalışmalarda kullanılmasının uygun olduğuna karar verilmiştir.

Parçacık boyut dağılımı belirlenmiş olup, Şekil 3'te bu dağılım görülmektedir. Dağılıma göre mikrokürelerin çapı ortalama 85 μm olup, % 90'ının çapı 138 μm 'nin altındadır. Buna ilaveten %10'unun çapı ise 50 μm civarında bulunmaktadır.



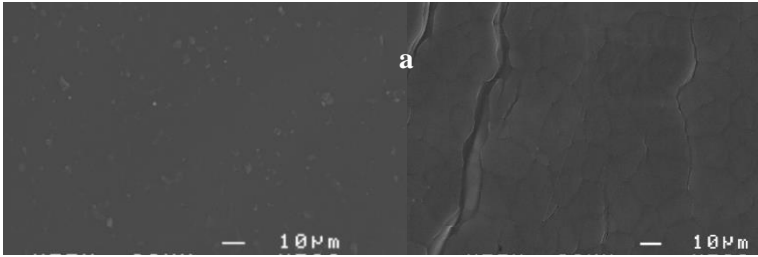
Şekil 3. Mikrokürelerin parçacık boyut dağılımı grafiği

Mikrokürelere Enkapsüle Edilen Antibiyotik Miktarı Tayini (Ekstraksiyon) ve Enkapsülasyon Veriminin Hesaplanması

Mikrokürelere hapsedilmiş ilaç miktarı, ileride salım miktarını belirlemek ve dolayısıyla filminden salınması istenen uygun miktarı doğru tespit edebilmek için gereklidir. Denklem (1) ve (2) kullanılarak sırasıyla mikrokürelere antibiyotik (doksisisiklin) yükleme oranı ve enkapsülasyon verimi tespit edilmektedir. Buna göre mikrokürelerin doksisisiklin yükleme oranı % 8,3 ve enkapsülasyon verimi % 25 olarak hesaplanmıştır.

Film Hazırlanması ve Optimizasyonu

Mikroküre ve antibiyotik (serbest) yüklenecek olan filmler PVA ile hazırlanmıştır. Filmler % 5, 10, 20 ve 30 (w/v)'luk konsantrasyona göre hazırlanmıştır. En iyi filmin %10'luk PVA ile hazırlandığı Şekil 4a'da SEM fotoğrafı ile görülmektedir. Şekil 4b'de ise %30'luk PVA ile hazırlanan filmin yarıklar içerdiği ve yeterli homojenitede olmadığı SEM fotoğrafı ile görülmektedir. Çalışmalarda %10'luk PVA filmlerin kullanılmasına karar verilmiştir.

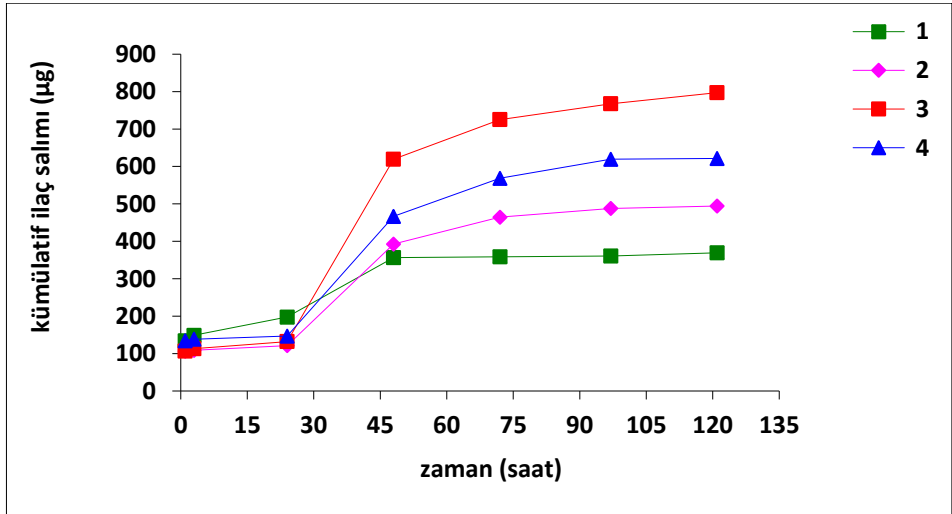


Şekil 4. a) % 10'luk b) % 30'luk PCL ile hazırlanmış filmler

Salım Sistemi Hazırlanması ve Optimizasyonu

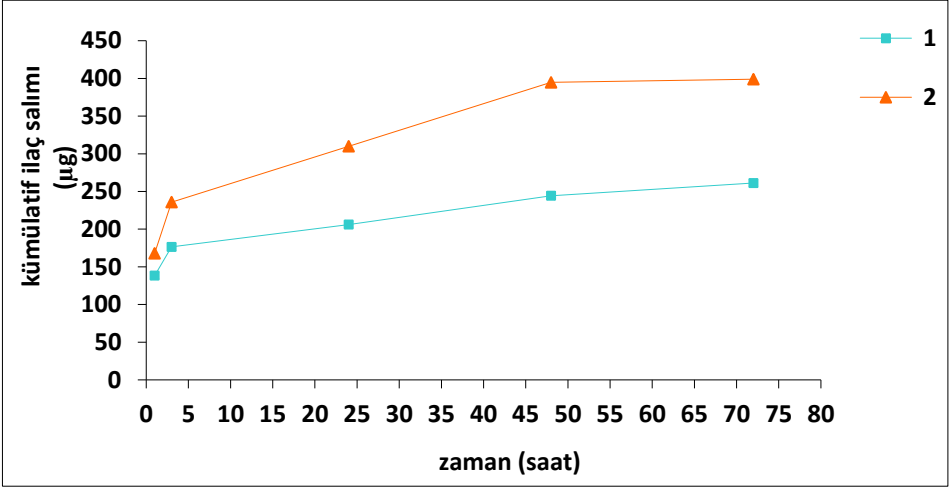
Filmlerin optimizasyonu tamamlandıktan sonra farklı miktarlardaki mikroküreler denenerek filmlere hapsedilir. Bunun için 13 mg, 17 mg, 22 mg ve 24 mg'lık olacak şekilde mikroküreler tartılıp hazırlandıktan sonra % 10'luk filme homojen bir şekilde karışacak şekilde hapsedilmesi sağlanır. Aynı şekilde serbest antibiyotik de tartılıp 1,5 mg ve 3,5 mg'lık olarak hazırlanır ve filme homojen bir şekilde hapsedilir. Karanlık ortamda inkübe edilir. Belli zaman aralıklarında antibiyotik salım miktarları ölçülür. Şekil 5'te filme hapsedilmiş mikrokürelerin salım grafiği görülmektedir. Bu grafiğe göre mikrokürelere antibiyotik salımı ilk etapta yani ilk 30 saat kadar yavaş olduğu görülmektedir. Daha sonrasında 30-50 saatler arasında salım hızı artmıştır. Yaklaşık 60. Saatten

sonra ise artış miktarı azalmış ve ancak 100 saat sonunda sabit miktarda salımın gerçekleştiği görülmektedir. Salınan antibiyotik miktarıyla mikroküre ağırlığı doğru orantılıdır. Ancak 3 ve 4 nolu profillerde durum tersi olmuştur. Burada görülen farklılıkların sebebi 3 ve 4 nolu örneklerin miktarlarının birbirine oldukça yakın oluşundan olduğu ve de bu farklılığın antibiyotik yüklü mikrokürelerin boyutlarının etkisiyle ortaya çıktığını düşündürmektedir. Bu durum ise alan/hacim oranının etkileri yüzünden iki farklı tartımda aynı özellikli yani eşit boyut dağılımlı mikrokürelerin denk gelmemesi ile ilgili olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. Zamana bağlı olarak filme hapsedilmiş farklı miktarlardaki mikrokürelerden (1=13 mg, 2=17 mg 3=22mg, 4=25mg) elde edilen toplam ilaç salımı (µg)

Burada bu etkilerin ve bu salım profilinin durumunu karşılaştırmak için aynı işlem filmlere serbest antibiyotik yüklenerek tekrarlanmıştır. Buna göre 1=1,5mg, 2=3,5mg olacak şekilde antibiyotik salımı için ölçüm yapılmıştır. Buna göre salım profili Şekil 6'da görülmektedir. İlaç miktarı salım profili 1.dereceden olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Zamana bağlı olarak filme hapsedilmiş farklı miktarlardaki serbest ilaçtan (1=1,5mg, 2=3,5mg) elde edilen toplam ilaç salımı (µg)

SONUÇ

Kontrollü salım sistemleri son yıllarda hak ettiği ilgiyi fazlasıyla görmektedir. Eczacılık alanında kazandığı popülariteyi gıda alanında da görmesi yakın zamanda daha farklı kombinasyonların ortaya çıkmasında büyük önem arz etmektedir. Antibiyotiklerin yaygın kullanımı sayesinde salım sistemi çalışmaları daha hızla gelişme kaydetmektedir. Bu sebeple model ilaç olarak antibiyotığın seçilmesi, geleneksel tedavilerde stabilite yönünden önemlidir. Gıda sektöründe ise raf ömrü uzamasını olumlu yönde etkileyecektir. Böylelikle gıdaların dayanma süresinin artması ile taşıma sırasında meydana gelebilecek olumsuzluklara dayanabilmesini sağlayacaktır. Çok çeşitli polimerlerin enkapsülasyonda kullanılabilmesi de alanın hızla gelişmesinde en önemli etken olduğu düşünülmektedir.

Gıdaların hazırlanması sırasında raf ömrünü arttırmak ve korumak amaçlı gıda katkı maddesi olarak kullanılan koruyucuların üretim aşamasında direkt gıdaya katılması yerine kontrollü salım yapan ambalaja konulması gibi yeni bir çalışma alanına önayak olması bakımından önem arz etmektedir.

Boş kürelerin faz kontrast mikroskopisi ile değerlendirilmeleri sonucunda antibiyotikle yüklenmelerinde sakınca olmadığı görülmüştür. Yüklen antibiyotik doksisisiklin olup suda çözünürlüğü oldukça iyidir (50 mg/ml). Buna göre doksisisiklinle yüklendikten sonra mikrokürelerin taramalı elektron mikroskopisi (SEM) çekilmiş ve morfolojisi değerlendirilmiştir (Şekil 2). Buna göre mikrokürelerin yüzey yapılarının pürüzsüz ve dağılımlarının homojen olduğu görülmüştür.

Taramalı elektron mikroskopisi ile boyut, şekil ve morfoloji değerlendirmeleri yapılmıştır. Buna göre mikrokürelerin gelecek çalışmalarda kullanılmasının uygun olduğuna karar verilmiştir.

Parçacık boyut dağılımı belirlenmiş olup, Şekil 3'te bu dağılım görülmektedir. Dağılıma göre mikrokürelerin çapı ortalama 85 µm olup, % 90'ının çapı 138 µm'nin altındadır. Buna ilaveten %10'unun çapı ise 50 µm civarında bulunmaktadır.

Bu çalışma ile gıda ambalajlama için yeni bir başlangıç yapılmaya çalışılmıştır. Buna göre seçilen model antibiyotik olmuştur. Ancak ileriki aşamalarda gıdaya katılmak istenen aroma gibi özellikler de aynı koruyucular gibi düşünülebilir. Ayrıca istenilen duruma göre belirlenebilecek salım profili sayesinde istenilen özelliklerin istenilen zaman periyodunda gıda ile buluşması sağlanabilecektir.

REFERANSLAR

- Aishwarya, S., Mahalakshmi, S., and Sehgal, P.K. (2008). Collagen-coated polycaprolactone microparticles as a controlled drug delivery system, *Journal of Microencapsulation*. 25(5): 298–306.
- Banning, T.P. and Heard, C.M. (2002). Binding of doxycycline to keratin, melanin and human epidermal tissue, *International Journal of Pharmaceutics* 235:219–227.
- Bokor-Bratic M., and Brkanic T. (2000). Clinical use of tetracycline in the treatment of periodontal diseases. *Med Pregl*. 53:266-271.
- Burger, J.J. Tomlinson, E., Mulder, E.M.A., McVie, J.G. (1985). Albumin microspheres for intra-arterial tumour targeting. I. Pharmaceutical aspects, *International Journal of Pharmaceutics*. 23:(3) 333-344.
- Choi, D. H., Moon, I. S., Choi, B. K., Paik, W., Kim, Y. S., Choi, S. H., Kim, C.K. (2004). Effects of sub-antimicrobial dose doxycycline therapy on cervicular fluid MMP-2, and gingival tissue MMP-9, TIMP-1 and IL-6 levels in chronic periodontitis. *Journal of Periodontal Research*, 39:20–26.
- Dhandayuthapani, B., ToruMaekawa, Y. Y and Kumar, D. S. Polymeric Scaffolds in Tissue Engineering Application: A Review, *International Journal of Polymer Science*, Volume 2011, Article ID 290602, 19 pages.
- Dhanaraju, M.D. Gopinath, D. Ahmed, M.R. Jayakumar, R. and Vamsadhara, C. (2006). Characterization of polymeric poly(ϵ -caprolactone) injectable implant delivery system for the controlled delivery of contraceptive steroids, Wiley Periodicals, Inc. *J Biomed Mater Res* 76A 63-72.
- Freiberg, S. and Zhu, X.X. (2004). Polymer microspheres for controlled drug release, *International Journal of Pharmaceutics* 282 1-18.
- Gemili, S., Yemenicioglu, A., Altinkaya, A.S. (2010). Development of antioxidant food packaging materials with controlled release properties. *Journal of Food engineering*. 69(3) 325-332.
- Gökmen, S., Palamutoğlu, R. ve Sarıçoban, C. (2012). Gıda endüstrisinde enkapsülasyon uygulamaları, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 7, No: 1*, 36-50.
- Gunatillake, P.A. and Adhikari, R. (2003). Biodegradable synthetic polymers for tissue engineering. *European Cells and Materials* Vol. 5. 1-16.
- Jeong, J.C., Jaeyoung, L. and Cho, K. (2003). Effects of crystalline microstructure on drug release behavior of poly (ϵ -caprolactone) microspheres, *Journal of Controlled Release* 92 249-258.
- Jiang, T. Petersen, R.R. Call, G. Ofek, G. Gao, J. and Yao, J.Q. (2011). Development of chondroitin sulfate encapsulated PLGA microsphere

- delivery systems with controllable multiple burst releases for treating osteoarthritis, *J. Biomed Mater Res. Part B: Appl Biomater.* 97B 355-363.
- Kim, B.K., Hwang, S.J., Park, J.B. and Park, H.J.. (2005). Characteristics of felodipine-located poly(ϵ -caprolactone) microspheres. *Journal of Microencapsulation*, 22(2):193-203.
- Nair, L.S., Laurencin, C.T., (2006). Polymers as biomaterials for tissue engineering and controlled drug delivery. *Adv Biochem Eng Biotechnol.* 102:47-90.
- Perkins N.C. and Heard, C.M. (1999). In vitro dermal and transdermal delivery of doxycycline from ethanol/migliol 840 vehicles, *International Journal of Pharmaceutics*, 190: 155-164.
- Quintavallas, S and Vicini, L. , (2002). Antimicrobial food packaging in meat industry, *Meat Science* 62, 373-380.
- Ünal E. ve Erginkaya, Z. (2010). Probiyotik mikroorganizmaların mikroenkapsülasyonu, *Gıda* 35 (4):297-304.
- Wang, S., Guo, A. and Cheng, L.. (2008). Disodium norcantharidate loaded poly(ϵ -caprolactone) microspheres I. Preparation and evaluation, *International Journal of Pharmaceutics* 350:130–137.
- Wang, X. Wang, Y. Wei, K. Zhao, N. Zhang, A. and Chen, J. (2009). Drug distribution within poly(ϵ -caprolactone) microspheres and in vitro release, *Journal of Materials Processing Technology* 209 348-354.

Bölüm 15

AYDINLATMADA ENERJİ TÜKETİMİNİN AZALTILMASI

Selmin ENER RÜŞEN¹

1. GİRİŞ

Günlük hayatta pek çok alanda ışığa ihtiyaç duyulmaktadır ve doğal ışığın yetersiz kaldığı veya düzgün biçimde kullanılması mümkün olmayan durumlarda yapay ışığın kullanılması gerekmektedir. Ayrıca doğal ışığın değişken olması da bu gereksinimi arttırmaktadır. Tarihte ilk ateşin bulunmasıyla aydınlatma başlamış, elektriğin icadıyla büyük bir ilerleme kaydetmiştir. Aydınlatma ihtiyacının en fazla olduğu iç mekânlar önceki dönemlerde sadece barınmak ve dış ortamdan korunmak için kullanılırken, günümüzde insan hayatını geliştirme ve kolaylaştırma amacıyla çok fonksiyonlu yapılara dönüşmüştür. Bu yapıların gelişip değişmesi temel aydınlatma ihtiyaçlarını da beraberinde getirmiştir.

Günümüzde gelişen teknoloji hayatın vazgeçilemez parçası olan ışık ve aydınlatma ihtiyacının sadece iç mekânlarda değil her alanda artmasına neden olmuştur. Zaman içerisinde aydınlatmanın bir ortamda ışık bulunması anlamına gelmediği anlaşılmış ve günümüzde aydınlatma tanımları geçmişe göre oldukça değişmiştir. Aydınlatma, Uluslararası Aydınlatma Komisyonunca (CIE) kabul görülen haliyle “objelerin ve çevrenin gereği gibi görülebilmesini sağlamak amacıyla ışık uygulamaktır” şeklinde tanımlanmıştır. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere aydınlatma öylesine bir ışık kaynağını herhangi bir yere yerleştirmek değildir. Aydınlatma söz konusu mekânın veya mekân içerisinde yer alan objelerin eksiksiz ve tam bir şekilde görünür olmasını, doğru algılanmasını ve hatta güvenliği sağlamaktır. Uygulanan alanın veya objelerin doğru algılanması, ruh ve göz sağlığı, verimlilik, güvenlik vb. gereksinimlerin sağlanması yani aydınlatmanın doğru yapılması için ışık kaynaklarının türü, özellikleri, tasarımı ve konumu alanın mimari yapısına uygun olmalıdır. Aydınlatmadan kaynaklanabilecek olumsuz etkileri en aza indirmek için amaca uygun ve doğru teknik hesaplamalar yapılarak tasarımlar yapılmalıdır. Bir aydınlatma projesi oluşturulurken her açıdan incelenmeli, sadece bir mekânın aydınlatılması şeklinde düşünülmemeli, ortamın genel mimari yapısı,

¹ Doç. Dr; Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü. selminerusen@kmu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-3389-5739

doğal ve yapay ışık alma düzeyi, hangi aydınlatma türünün ve hangi güçte ışığın kullanılacağı, insanların ruh ve göz sağlığı, güvenlik, vb. pek çok gereksinimleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Aydınlatmanın doğruluğunun artması için belirlenmiş aydınlatma yönetmelikleri dikkate alınarak planlama yapılmalıdır. Yönetmelikle belirlenen aydınlatma standartlarının uygulanması durumunda hem yeteri aydınlatma sağlanacak hem de verimlilik artırılmış, yeteri konfor şartları ve optimum ekonomik fayda sağlanmış olacaktır (Şener Yılmaz ve Köknel Yener, 2010). Gelişmiş ülkelerde aydınlatma standartları ve yönetmelikleri yaygın olarak uygulanmakta ve getirdiği avantajlardan faydalanılmaktadır. Aydınlatma konusunda ülkemizde de olumlu gelişmeler yaşanmakta ve bu konuya gelişmiş ülkeler kadar önem verilmesi gerekliliği daha iyi anlaşılmaktadır. Gelişmiş ülkelerin uyguladıkları aydınlatmada amaç yeteri görsel konfora ulaşılması ve aydınlatmanın ortam koşullarına uygun yapılmasıdır. Bu amaca uyum sağlayacak şekilde aydınlatma projelerinin uygulanması döneminde yönetmelik, standartlar, tablo ve sembollerin iyi bir şekilde takip edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, aydınlatma işlemlerinde çeşitli mühendislik analizleri ve ileri hesaplama tekniklerine gereksinim duyulmaktadır. Temel hesaplama yöntemleri; kullanılacak armatür, aydınlatılacak alan kullanım amacı ve yapısı gibi faktörlere bağlıdır. Bu faktörler, teknik bilgiler ve aydınlatma ile ilgili hesaplama yöntemlerinin yanı sıra günümüzde bazı yazılımlar yardımıyla görsel olarak simülasyon şeklinde gösterilebilmektedir.

Bu çalışmada, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi (KMÜ) Mühendislik Fakültesi iç ve dış aydınlatma sistemleri incelenmiştir. Ayrıca aydınlatma için bir yazılım kullanılarak seçilen aydınlatma sisteminin simülasyonu yapılmıştır. Enerji verimli armatürler ve KMÜ Mühendislik Fakültesi mevcut aydınlatma sistemi incelenmiştir. KMÜ'nin aydınlatma için harcamış olduğu toplam maliyet tespit edilerek enerji tasarruf potansiyeli belirlenmiştir.

2. AYDINLATMA ve ÖNEMİ

Aydınlatma geçmiş çağlardan günümüze ihtiyaçlar doğrultusunda gelen mecburi bir uygulamadır. Aydınlatma ilerleyen zaman neticesinde büyük bir gelişim ve değişim göstererek günümüzdeki yapısını oluşturmuştur. Aydınlatma sistemlerinin çok geniş uygulama alanları bulunmaktadır. Bu sebeple yapılan uygulamalarda sadece aydınlatma elemanlarından söz edilmesi yetersiz kalmaktadır. Yapılan araştırmalar doğrultusunda aydınlatmanın amacı, belli bir aydınlık düzeyi oluşturmak olmadığı iyi görme koşullarını sağlaması gerektiği sonucuna varılmıştır (Sirel, 1992).

Bir başka çalışmada aydınlatma ihtiyaca göre belirlenerek en iyi görme düzeyinin sağlanması olarak tanımlanmıştır. Aydınlatma projeleri oluşturulurken ihtiyaç ve iyi görme koşulları gibi parametrelerinin herhangi birinin eksikliği uygulamalarda hatalara sebep olmaktadır (Choi, J. H. and Zhu, R., 2015:73-81). Esas amaç doğru ışığın ihtiyaca uygun olarak doğru yerde kullanımını sağlamak olmalıdır (Gençoğlu, 2005). Doğru yerde kullanımları sağlamak için ulusal ve uluslararası aydınlatma standartları göz önünde bulundurularak planlamalar yapılmalı, seçilen malzemelerin kalitesi dikkate alınmalıdır (Sirel, 2012).

Doğru ve standartlara uygun aydınlatma uygulamalarının faydalarına dair çok sayıda araştırma yapılmıştır. Doğru aydınlatma ile gözün sağlığının korunması ve göz yorgunluğunun önlenmesi mümkündür. Aynı zamanda görsel konforun artması ile iş kazalarının önleneyeceği ortaya konulmuştur (Şenyurt, 2011). Özsungur ve Öztop (2019:185-204) tarafından yapılan çalışmada farklı kurumların aydınlatılması ve çalışanlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı kurumlardaki amaca yönelik olması gereken aydınlatma prensipleri araştırılmıştır. İş kazaları ve verimlilik açısından aydınlatmanın önemi vurgulanmıştır.

Ayrıca, aydınlatmada doğru uygulamaların yanı sıra enerji verimli uygulamalar da olması çok önemlidir. Aydınlatma sistemlerinde verimlilik, harcanan elektrik enerjisi ile elde edilen ışık enerjisi arasındaki oranı yüksek tutmak anlamına gelmektedir (Demir, vd., 2020:1637-1652). Verimlilik uygulamalarından biri aydınlatmada kullanılacak lamba seçimlerini en yüksek etkinlik faktörüne (yüksek lümen/watt değerine) göre yapmaktır. Örneğin, akkor lambalar yerine daha az enerji tüketen ve daha uzun ömürlü olan LED veya kompakt floresan lambalar kullanmak aydınlatmada enerji verimliliği sağlamaktadır. Ünlü ve Şahin (2021:277-286) yaptıkları çalışmada yüksek enerji verimli ve LED'li aydınlatma araçları kullanımının önemini göstermiştir. Makale, spor salonlarının aydınlatmasında sürdürülebilir ve ekonomik yöntemler olan LED'lerin kullanımını anlatmaktadır.

2.1. Aydınlatma Nedir?

Objelere, objelerin çevrelerine veya belli bir alana kişilerin minimum görme ihtiyaçlarını karşılayabilmek için uygulanan ışığın kullanılma yöntemine aydınlatma denir. Hayatımızın her aşamasında ışığa ihtiyaç duyulmaktadır. Eylemlerimizi rahatça gerçekleştirmek ışığa bağlıdır. Ortamlarda yapay veya doğal ışıklandırmanın bulunması ortamın ve objelerin daha iyi görülebileceği anlamına gelmemektedir. Uygulanması planlanan aydınlatma sisteminin doğru yerlere ve uygun ölçüde yerleştirilmesi son derece önemlidir. Aydınlatma

projelerinin amacı iyi görme koşullarının sağlanmasıdır (Güney, vd., 2002). Bir mekânın ışıklandırılması aydınlatma olarak adlandırılır. Aydınlatmanın uygun yöntemlere göre yapıldığı zaman daha iyi görme konforu sağlanıp güvenli bir ortam oluşturularak aydınlatmada belirlenen amaca katkı sunmaktadır.

2.2. Aydınlatma Türleri

2.2.1. Doğal Aydınlatma

Doğal aydınlatma, ana kaynağı güneş olan günışığının, kişilerin görmeye dayanan ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmış olan aydınlatma sistemleridir. Doğal aydınlatmadan ekonomik ve doğru olarak faydalanabilmek için; pencere ve ışık rafları, binaların günışığına alan yerlerine yerleştirilmeli ve böylece doğal ve yapay ışığın birlikte kullanılması sağlanmalıdır. Bu tür uygulamalar doğal aydınlatmanın daha verimli bir şekilde yapay aydınlatma ile kullanılmasını sağlar (Şenyurt, 2011; Güney, vd., 2002).

2.2.2. Yapay Aydınlatma

Yapay ışık kaynaklarından üretilen ışık, kişilerin görmeye dayanan ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmış olan aydınlatma sistemleridir. Yapay aydınlatma, doğal aydınlatmaya nazaran aydınlatma projesini uygulayan kişiye daha kolay tasarım imkânı sağlamaktadır (Şenyurt, 2011). Yapay aydınlatma konuları arasında; yapay ışığın üretimi, iletimi ve dağıtımı, aydınlatma tesislerinin tasarımı, ışığın insan üzerinde etkileri gibi aydınlatmanın genel konularıdır (Güney, vd., 2002).

2.2.3 Bütünleşik Aydınlatma

Kişilerin görmeye dayanan ihtiyaçlarını karşılamada, doğal gün ışığının kâfi olmadığı durumlarda ek olarak yapay ışığın kullanıldığı aydınlatma bir aradaki sistemlere bütünleşik aydınlatma denilmektedir. Bütünleşik aydınlatmada önemli olan yapay ışık kaynaklarının doğru belirlenip yerleştirilmesidir. İç mekânlarda olduğu kadar bütünleşik aydınlatmanın uygulanması dış mekânlarda da önemlidir. Dış mekânlarda yapay aydınlatmanın doğru kullanılmasına örnek verecek olursak sokak lambalarının yerleşimi aydınlatmaları alan belirli bir bölge olmalı ışık saçılmasının bu şekilde önüne geçilip ışık kirliliği azaltılmış olur (Şenyurt, 2011; Erkin, vd., 2009).

2.2.4. İç Aydınlatma

İç mekân aydınlatma bina, AVM, okul, hastane vb. yerlerin aydınlatılmasını içerir İç mekânlarda aydınlatma uygulamalarında seçilecek ışıklıklar oda eni,

oda genişliği, oda yüksekliği, duvar ve zeminin ışığı yansıtma katsayıları gibi parametrelere bağlıdır. Duvar ve zeminin ışığı yansıtma katsayıları ise yüzey dokularıyla (boya, parke, çimento vb.) belirlenir. Yüzey dokularının açık renk olması ışığı yansımısını kolaylaştırıp gerekli olan armatür sayısını azaltabilir. Buda enerji tasarrufu açısından önemlidir (Şenyurt, 2011).

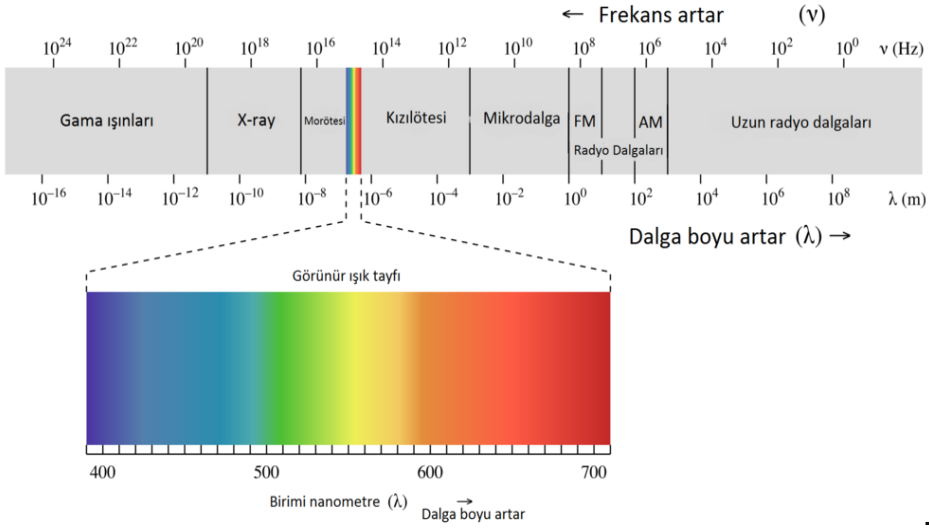
2.2.5. Dış Aydınlatma

Dış aydınlatma, çeşitli ölçeklerdeki açık alanların aydınlatma sistemini konu alır Dış mekanların aydınlatılması yol, yürüyüş yolu, park, bahçe gibi alanları konu alır. Buralarda dikkat edilmesi gereken hususlar çevredeki canlıları göz önüne alarak aydınlatma tasarımı yapmaktan geçer. Aydınlatılacak güzergahın iyi belirlenmesi ışık saçılmasının önlenmesi hem enerji tasarrufu sağlayacak hem de ışığın çevreye vermiş olduğu zararların önüne geçilebilecektir (Şenyurt, 2011; Erkin, vd., 2009).

3. AYDINLATMA HESABI, FORMÜLLERİ VE YARDIMCI ELEMANLARI

3.1. Işık Nedir?

Gözün görme işlemini yapabildiği duyarlılık bölgesinde parlak bir duyum uyandıran elektromanyetik ışımının adıdır. Foton teorisine göre ışık taneciklerden ve elektromanyetik teorisine göre elektromanyetik dalgalardan meydana gelmektedir. Elektromanyetik ışımının insan gözü tarafından fark edilen kısmı 380 nm ile 720 nm dalga uzunluğu arasındadır. Şekil 1'de Elektromanyetik Spektrum ve görünür ışığın dalga boyu gösterilmiştir.



Şekil 1. Elektromanyetik Spektrum ve Görünür Bölge

3.2. Işık Akısı

Işık akısı, bir aydınlatma elemanının her yöne yaymış olduğu toplam ışık oranını yani ışık gücünü ifade eden bir fiziksel büyüklüktür. Işık kaynağına verilen elektrik enerjisinin, ışık enerjisine dönüşen kısmıdır. Işık akısı Φ harfi ile gösterilir ve birimi ise lümen (lm)'dir. Her lambanın gücüne göre lümen değerleri farklıdır. Işık akısı, bir kaynaktan yayılan ışığın insan gözü tarafından algılanan kısmının miktarını belirtir. Işık akısı ile genel ortamın aydınlatma seviyesi belirlenir. Kaynaktan uzaklığa veya yüzeyin büyüklüğüne bağlı değildir, yalnızca kaynağın gücüne bağlıdır. Işık akısı, ışık şiddeti ve katı açı arasındaki ilişki ile de tanımlanabilir. Işık şiddeti, bir kaynaktan belli bir yönde yayılan ışık gücüdür. Katı açı ise bir kürenin yüzeyindeki bir bölgenin alanının kürenin yarıçapının karesine oranıdır. Verimlilik açısından bakıldığında LED ve akkor lambaların güç başına lümen değerleri oldukça yüksektir.

3.3. Işıksal Yeğİnlik (cd)

Işığın kaynağından çıkan ışığın belli bir doğrultuya olan aydınlatma gücünü belirleyen fiziksel büyüklüktür. Işıksal yeğİnliğin birimi candela (cd)'dir. Işıksal yeğİnlik, ışık akısının katı açı ile çarpımına eşittir. Işıksal yeğİnlik, aydınlatma sistemlerinde ışık kaynaklarının özelliklerini belirlemek için kullanılır (Demirdeş, 1993).

3.4. Aydınlik Düzeyi

Aydınlik düzeyi ($\text{lüx} = \text{lümen}/\text{m}^2$); ışık kaynağından çıkan ışığın aydınlatılan alana bölünmesiyle bulunan metre kare başına düşen aydınlığı belirtmektedir.

Aydınlık düzeyinin birimi "lüks" ile ifade edilir ve lüksmetre cihazları ile ölçülmektedir. Her ortamın çalışma ve ortam şartlarına uygun lüks değerleri vardır. Bu lüks değerlerinin sağlanması veya oluşturulması en düşük aydınlatma koşullarının sağlanması yapılan işin veriminin artması bazı iş kazalarının ve psikolojik rahatsızlıkların giderilmesi için çok önemlidir (Erkin, vd., 2009).

3.5. Işıklık

Işıklık (cd/m^2); gözün belirli bir alandan algıladığı aydınlığı belirtir. Işıklığın birimi cd/m^2 'dir. Bu ifade metrekare başına düşen candela'yı göstermektedir.

3.6. Önemli Cisimlerin Işığı Yansıtma Katsayıları

Aydınlatmanın doğru ve verimli bir şekilde yapılabilmesi için armatür seçimi ve yerleşimi dışında bazı cisimlerin ışığı yansıtma katsayılarının da bilinmesi gerekmektedir (Demirdeş, 1993). Tablo 1'de bazı cisimlerin ışığı yansıtma katsayıları verilmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi Açık renklerin ışığı yansıtma katsayısı koyu renklere göre daha fazladır.

Tablo 1. Bazı Cisimlerin Işığı Yansıtma Katsayıları

Malzeme	Işığı yansıtma katsayısı(%)
Koyu Kahverengi	0.10-0.20
Açık Sarı	0.60-0.70
Açık Yeşil	0.45-0.55
Açık Kırmızı	0.30-0.50
Gök Mavisi	0.35-0.45
Beyaz	0.70-0.90
Açık Gri	0.40-0.60
Kahverengi	0.20-0.30
Beton	0.10-0.50

3.7 Oda Aydınlatma Verimi Tablosu

Aydınlatma hesaplamalarında tavan, duvar ve zeminin ışığı yansıtma katsayılarına göre verim değerlerinin bilinmesi gereklidir. Aşağıda Tablo 2'de bilinmesi gereken değerler verilmiştir. Ayrıca Tablo 2'ye göre oda aydınlatma verimi faktörü η değer belirlenirken odaya ait Tavan-Duvar-Zemin renk özellikleri dikkate alınarak belirlenen katsayılar kullanılmalıdır. Örneğin; Tavan için katsayı 0.8, Duvar için 0.3 ve Zemin için 0.3 olan bir odaya ait oda indeksi 0.8 ise oda aydınlatma verimi faktörü $\eta=0,24$ olacaktır (Demirdeş, 1993).

Tablo 2. Oda Aydınlatma Verimi Tablosu (epokulu.com)

Tavan	0.8				0.5				0.3	
Duvar	0.5		0.3		0.5		0.3		0.1	0.3
Zemin	0.3	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1
k=	Oda Aydınlatma Verimi Faktörü η									
0,6	0.24	0.23	0.18	0.18	0.20	0.19	0.15	0.15	0.12	0.15
0.8	0.31	0.29	0.24	0.23	0.25	0.24	0.20	0.19	0.16	0.17
1.00	0.36	0.33	0.29	0.28	0.29	0.28	0.24	0.23	0.20	0.20
1.25	0.41	0.38	0.34	0.32	0.33	0.31	0.28	0.27	0.24	0.24
1.50	0.45	0.41	0.38	0.36	0.36	0.34	0.32	0.30	0.27	0.26
2.00	0.51	0.46	0.45	0.41	0.41	0.38	0.37	0.35	0.31	0.30
2.50	0.56	0.49	0.50	0.45	0.45	0.41	0.41	0.38	0.35	0.34
3	0.59	0.52	0.54	0.48	0.47	0.43	0.43	0.40	0.38	0.36
4	0.63	0.55	0.58	0.51	0.50	0.46	0.47	0.44	0.41	0.39
5	0.66	0.57	0.62	0.54	0.53	0.48	0.50	0.46	0.44	0.40

3.8 Bazı Mekanların En Düşük Aydınlatma Şiddetleri

Göz sağlığı ve güvenlik için aydınlatmada uygulanması gereken standartlar bellidir. Bu standartlara göre mekanların kullanım amacına göre olması gereken aydınlatma miktarları değişiklik göstermektedir. Tablo 3'te belli başlı mekanlar için kullanılması gereken en düşük aydınlatma şiddetleri örnekleri verilmiştir. Aydınlatma planlaması yapılırken mekanlarda olması gereken bu aydınlatma standartları dikkate alınmalıdır.

Tablo 3. Bazı Mekanların En Düşük Aydınlatma Şiddetleri

Aydınlatılacak Alan	En DüşükLux
Mimari proje çizim ofisleri	750
Konferans Salonu	250
Ameliyathane	500
Mutfak	250
Laboratuvarlar	350
Derslikler	250
Çocuk Odası	200
Muayenehane	100-400

4. AYDINLATMA HESABI

Aydınlatma projelerinde yapılan hesaplamalarda k (oda indeksi) hesaplaması için Denklem (1) kullanılır. Sonrasında Tablo 2’de verilen oda aydınlatma verim tablosu kullanılarak hesaplanan k’ya göre verim değeri bulunur. Daha sonra Denklem (2)’den toplam ışık akısı hesaplanmaktadır ve son olarak da gerekli armatür sayısı hesabı için Denklem (3) kullanılmaktadır.

$$k = \frac{(a*b)}{((a+b)*h)} \quad (1)$$

$$\Phi_T = \frac{(E*d*A)}{\eta} \quad (2)$$

$$S = \frac{\Phi_T}{\Phi_L} \quad (3)$$

Denklemlerde yer alan Φ_T , toplam ışık akısı; Φ_L , seçilen lambanın ışık akısı; k ise oda indeksidir. a, mahal eni; b, mahal genişliği, h ise mahal yüksekliğidir. E, kullanılacak lambanın gücü ve d ise lamba kirlenme faktörü olarak isimlendirilmektedir (Güney, vd., 2002).

4.1. Aydınlatmada Enerji Verimliliği

Aydınlatma, kişilerin minimum görebilme ihtiyacını karşılayabilmek için nesnelere uygulanan ışığın kullanılması yöntemidir. Aydınlatmada esas amaç, gereksinime göre mümkün olabilen en iyi görme seviyesini karşılayabilmektir. Rastgele bir ışık kaynağı seçimi ve yerleştirilmesiyle iyi bir aydınlatma sağlanamamaktadır.

Günümüzde aydınlatma hayatta en yaygın kullanılan ve insanoğlu için vazgeçilmez bir konfor çeşidi haline gelmiştir. Giderek azalan fosil kökenli enerji kaynakları ve çevreye verilen zararlar her alanda olduğu gibi aydınlatma sistemlerinde de verimliliğin önemli olduğunu vurgulamaktadır. Verim, alınan ışık enerjisinin harcanan elektrik enerjisine göre daha yüksek ve istenilen konfor şartlarında olması verimli aydınlatma sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Yeterince uzun süreli kullanılan mevcut aydınlatma armatürleri daha az enerji tüketen (örneğin floresan ya da LED gibi) lambalarla değiştirilerek hem enerji tüketimini azalmış hem de istenen konfor şartlarını sağlayan aydınlatma sağlanmış olur. Ayrıca, aydınlatma sistemlerinde GPRS, GSM veya SCADA tabanlı otomatik kontrol sistemleri planlanarak da verimlilik sağlanabilmektedir. Bu şekilde aydınlatma sürelerindeki ölü zamanı yok edilerek enerjide tasarruf sağlanabilmektedir. Aydınlatma sistemlerinde

enerjinin verimli kullanımını için bahsedilen bu teknikler aşağıda detayları ile verilmektedir.

4.1.1. Verimli Armatürlerle Değişimi

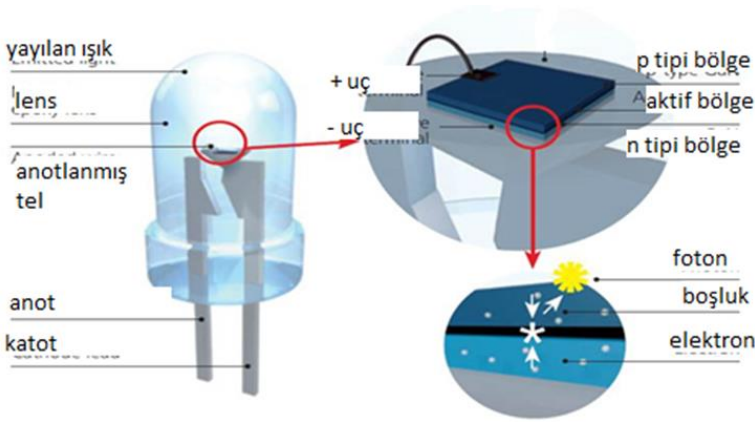
Enerji tasarruflu lambalara göre geçmişten günümüze kullanıla gelen geleneksel akkor lambalar enerjinin yaklaşık %90'ını ısı enerjisine dönüştürmektedir. Bu nedenle tasarruflu lambalara göre yaklaşık 3-5 kat daha fazla enerji tüketmektedir. Akkor lambaların yerine yüksek verimle çalışan tasarruf ampuller kullanıldığında enerji gereksiz tüketilmez ve verimlilik sağlanmış olur.

4.1.2. Işık Yayan Diyotlar (LED Lambalar)

Light Emitting Diodes İngilizce kelimelerinin ilk harflerinden kısaltılarak LED ismi verilmiştir. İlk ticari LED 1962 yılında üretilmiştir. Ticari üretilen kırmızı LED'ler genellikle sinyal ve göstergelerde kullanılmaya başlanmıştır. İlk radyal kılıf 1972'de Siemens Semiconductor Division tarafından üretilmiştir. Kırmızı ve yeşil LED sistemler geçmişte ihtiyaca göre kullanılırken son yıllarda keşfedilen mavi LED ile beyaz ışık elde edilmiş ve günümüzde LED lambalar çok daha yaygın olarak kullanım alanı bulmuştur. LED'in temel yapısı fotovoltaik sistemlerdeki yapılara benzer olarak n ve p tipi yarıiletken katmanlardan oluşmaktadır. Fotovoltaik sistemlere diyota gelen güneş ışınımı elektrik akımı oluşmasına sebep olurken, LED sistemlerde ters bir mekanizma çalışarak elektrik akımı verilen diyotun ışması sağlanmaktadır. LED üzerine doğru akım verildiğinde elektronlar aktif katmanı uyararak aktif katmanda ışık üretilmektedir. LED'lerde sağlanan bu ışık doğrudan veya reflektörden yansıtılarak yayılmaktadır. LED lambaların iç yapısının şematik gösterimi Şekil 2'de verilmektedir.

LED Lambaların pek çok faydaları bulunmaktadır. Bunların başında aydınlatma mühendislerine daha geniş ve kolay tasarım yapma imkânı yer almaktadır. Yaklaşık 200 nano saniye içerisinde hızlı bir şekilde ışık verebilmektedirler. Kullanım sıklığına bağlı olarak uzun ekonomik ömre sahiptirler (yaklaşık 100.000 saate kadar). Işık verimliliği oldukça yüksektir. Buna karşın ısı üretimi oldukça düşüktür. Akkor lambalarda flaman ısı 2700°C'ye kadar, halojen lambalarda 3100°C'ye kadar ve deşarjlı lambalarda tüp ısı 800-1100°C'ye kadar ulaşabilirken LED lambalarda ancak 110 °C'yi geçmemektedir. Renk tayfında pek çok renkler elde edilebilmektedir. Diğer lambalarda yaşanan kırılma gibi dezavantajları yoktur ve şok-titreşim gibi etkilere dayanıklıdır. Çevrecidirler ve yapılarında civa gibi ağır metaller ile halojen gazlar bulunmamaktadır (edyilighting.com). LED lambalar daha az

enerji kullanarak daha çok ışık elde edilen yeni nesil teknoloji ürünleri olarak günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2. LED Lambaların İç Yapısı Şematik Gösterimi

4.2. Aydınlatmada Enerji Tasarrufu Sağlayan Sistemler

Aydınlatma sistemlerinde enerji tasarrufu sağlayan önemli parametrelerinden biri de enerjinin gerektiği yerde ve gerektiği kadar kullanılmasını takip eden sistemlerin kullanılmasıdır. Bunun gerçekleşmesi için aydınlatma sistemlerinin denetimini yapan ve enerji tasarrufunu en fazla şekilde sağlayan otomatik kontrol sistemlerinin kullanılması gerekmektedir. Günlük kullanımda bu sistemler hareket sensörleri, gün ışığı sensörleri, otomatik zamanlayıcılar ile sağlanmaktadır. Bunların dışında uzaktan kumanda sistemiyle de enerji tasarrufu sağlanabilir (elprocus.com).

4.3 DiaLux 4.11 Yazılımı

DiaLux aydınlatma hesaplarında en çok kullanılan programlardan biridir. DiaLux yazılımı çok amaçlı kullanılan oldukça kullanımı kolay bir programdır. Simülasyon olarak programlamanın en güzel örneklerinden olan DIAL GmbH şirketi tarafından sunulan DiaLux, aydınlatma hesaplarında çalışmalarını çok kolaylaştıran bir programdır. Programı iyi bir şekilde anlamak ve daha farkındalık oluşturulması için aydınlatma ile ilgili bazı fiziksel büyüklüklerin ve sembollerin bilinmesi gerekmektedir. Dialux programında başlangıç sayfasından sonra karşımıza proje bilgilerinin girileceği sayfa gelmektedir. Burada proje özellikleri, alan adı, işleyen bilgileri firma logosu seçimleri yapılmaktadır. Program arayüzünde mahal uzunluğu, mahal genişliği, mahal yüksekliği, mahal tipine dair parametreler işlenmektedir. Ayrıca mahal yüzeylerinin ışığı yansıtma katsayıları kullanıcı tahminli veya standart olarak

yapılmalıdır. Çalışma düzlemi Dialux katalog üzerinden ışıklık seçimi ve ışıklıkların tutturma yüksekliği gibi seçimler yapılabilmektedir.

Şekil 3'te gösterildiği gibi veri girişlerinin yapılmasının ardından oluşan armatür yerleşimi ve oluşan aydınlatma simülasyonu görsel olarak yapılmış durumdadır. Ayrıca m² başına düşen ışık şiddeti programda tablo ile verilmektedir. Armatür yerleşimine ait düzenleme iki armatür arası mesafe yatay ve eğik düzlemdeki ışıklık sayısı gibi parametreler bu menüden değiştirilip yeni aydınlatma simülasyonu hesaplanabilmektedir. Bu işlemlerin yapıldığı program sayfası Şekil 3'te verilmiştir.

The screenshot shows the Dialux lighting calculation software interface. The main window is titled "DIALux Işık Yardımcısı". The "Hesap ve Sonuçlar" (Calculation and Results) section is active, displaying the following information:

- Light Source:** Verbatim 52246 Verbatim LED Panel 40W 4
- Dimensions (U x G x Y):** 0.600 x 0.600 x 0.016 m
- Calculation Parameters:**
 - Planned Height: 500 lx
 - Height without fixture: 0 lx
- Horizontal Adjustment:**
 - Number of fixtures (x): 4
 - Distance between fixtures (m): 2.00
 - Offset (m): 1.00
- Vertical Adjustment:**
 - Number of fixtures (y): 5
 - Distance between fixtures (m): 2.40
 - Offset (m): 1.20
- Adjustment Parameters:** Light distribution: 90°

The central part of the interface shows a 2D floor plan diagram of a room with a grid of light fixture positions. The room dimensions are 4.80m by 3.00m. The fixtures are arranged in a 4x5 grid with 2.00m spacing and 1.00m offset horizontally, and 2.40m spacing and 1.20m offset vertically.

On the right side, there are options for "Eşaydınlık Eğrileri" (Equalized Curves): "Otomatik" (Automatic) and "Serbest seçim" (Free selection). The "Yeni" (New) value is set to 0.00 lx. There are buttons for "Ekle" (Add), "Sil" (Delete), and "Standart değer" (Standard value).

Below the diagram is a table showing the calculated light intensity (lx) for various distances (m) from the fixtures. The table has 11 columns for distances: 0.09, 0.28, 0.47, 0.66, 0.84, 1.03, 1.22, 1.41, 1.59, 1.78, 1.97. The rows represent different fixture positions, with values ranging from 7.19 to 7.94 lx.

	0.09	0.28	0.47	0.66	0.84	1.03	1.22	1.41	1.59	1.78	1.97
7.94	319	328	332	341	356	365	377	383	399	403	411
7.81	334	345	350	361	379	389	402	409	425	430	438
7.69	351	362	376	389	400	412	427	436	453	458	466
7.56	364	377	395	409	421	434	449	458	476	482	491
7.44	388	402	423	438	450	464	483	492	504	510	519
7.31	398	414	435	451	463	478	497	507	520	526	536
7.19	412	428	451	468	482	498	518	529	541	548	557

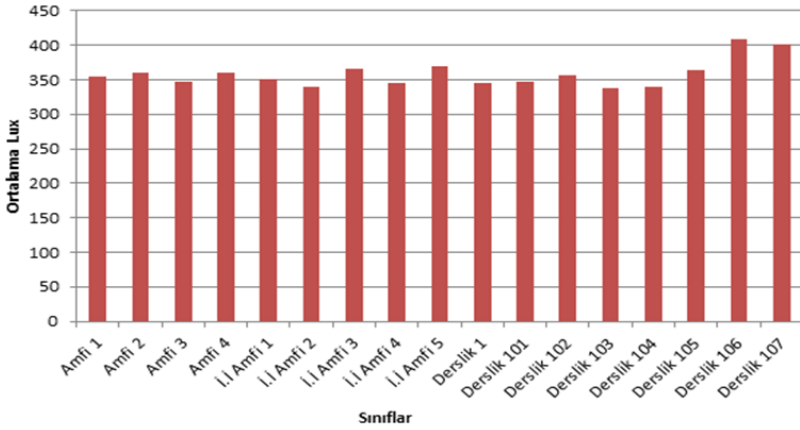
At the bottom of the table, there are summary values: Eav [lx]: 581, Emin [lx]: 313, Emax [lx]: 701, Emin / Eav: 0.54, Emin / Emax: 0.45. There is a "Hesapla" (Calculate) button and navigation buttons: "< Geri" (Back), "İleri >" (Next), and "İptal" (Cancel).

Şekil 3. Dialux Sonuç Sayfası (dialux.com)

Aydınlatma simülasyonu yapıldıktan sonra sonuç sayfası oluşturulmaktadır. Burada istenilen proje kapak sayfası, ışıklık verileri, özet, giriş protokolü ve ışıklık koordinatları listesi gibi bilgilere pdf formatında ulaşılmaktadır.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası içerisinde bulunan toplam 17 mekânda lüksmetre kullanılarak aydınlık seviyesi detaylı ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler Şekil 4'te grafik şeklinde verilmiştir. Grafikte görülen değerler alınan ölçümlerin ortalama değerleridir.



Şekil 4. Dersliklerde Alınan Ortalama Lüks Değerleri

Alınan ölçümler belirlenen alanlarda Testo 435 model ışık ölçer (lüksmetre) kullanılarak her m²'de ölçüm alacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Yapılan lüks ölçümlerine ait örnek bir sınıf için sonuçlar Şekil 5'te verilmektedir.

TAHTA ÖNÜ							
			283	294	282		
PENCERE	268	416	407	500	390	321	235
	327	432	495	461	426	318	197
	299	303	350	322	320	315	128
	225	294	382	391	339	330	166
	304	430	464	506	502	354	258
	301	463	528	512	460	373	213
	225	250	301	328	313	312	207

Şekil 5. Derslik için m² Başına Lüks Değerleri

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde yapılan aydınlatma hesabına örnek olarak bir derslik seçilmiştir. Mekâna ait en (a = 8m), genişlik (b=12m) ve yükseklik değerleri (h=3m) belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak oda indeksi k değeri Denklem (1) kullanılarak k=1.60 olarak hesaplanmıştır.

Seçilen sınıfa ait Tavan=0.8 (Açık beyaz), Duvar=0.5 (Açık), Zemin=0.1 (Koyu) ve kirlenme faktörü 1.25 olarak alınmıştır. Burada verim tablosundan (Tablo 2) verimi 0.41 olarak tespit edilmiştir.

Belirlenen LED armatür 48 watt ve 4800 lümen değerinde ortam koşullarındaki floresan lambalara eşdeğer olarak seçilmiştir. Denklem (2) kullanılarak Φ_T değeri 14048.78 lm olarak hesaplanmıştır. Mühendislik

binasında yer alan 4×18 W şeklinde tasarlanmış elektronik balastlı floresan armatürlerin gücü 72 W, ışık akısı 2344 lm'dir. Fakülte binasında toplam 684 adet armatür kullanılmaktadır.

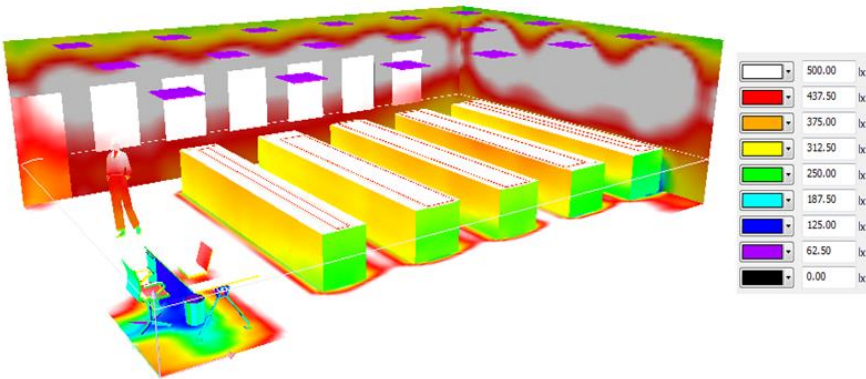
Yapılan çalışmada elektriğin birim fiyatı olarak 2023 yılı Aralık ayı değeri 4.62 TL alınmıştır. Aydınlatma armatürlerin günde 10 saat olmak üzere bir yılda 365 gün aktif kullanılacağı düşünülerek hesaplamalar yapılmıştır. Seçilen LED armatürlerin üreticisi tarafından beyan edilen ömrü 35000 saat olduğundan kullanım ömrü yıl olarak 9.59 değeri hesaplanmıştır. Benzer şekilde floresan için verilen 15000 saat ömür ile kullanım ömrü 4.11 yıl olarak bulunmuştur.

Seçilen LED armatür için 2023 yılı Aralık ayı güncel liste fiyatlarından ortalama olarak 280 TL birim fiyat üzerinden 191 520,00 TL ilk yatırım maliyeti, Floresan armatür için ise 85 TL birim fiyat üzerinden 232 560,00 TL ilk yatırım maliyeti bulunmuştur. Floresan lambaların kullanım ömürleri LED lambalara göre daha kısa olduğundan yıllık lamba masrafları LED lambalara göre fazla olacaktır. Bu durum göz önüne alındığında, mevcut armatürlerin yıllık toplam masrafları 886 627,21 TL ve LED armatürlerin toplam yıllık masrafı 573 331,21 TL'dir.

Mevcut armatürler ile LED aydınlatma armatürleri arasında oluşan kullanım maliyeti farkı yıllık 313 296,00 TL olarak bulunmuştur. Aydınlatma armatürlerinin LED'e dönüşümü şeklinde yapılacak bu enerji verimliliği yatırımı için hesaplanan basit geri ödeme süresi 0.61 yıl olarak hesaplanmıştır.

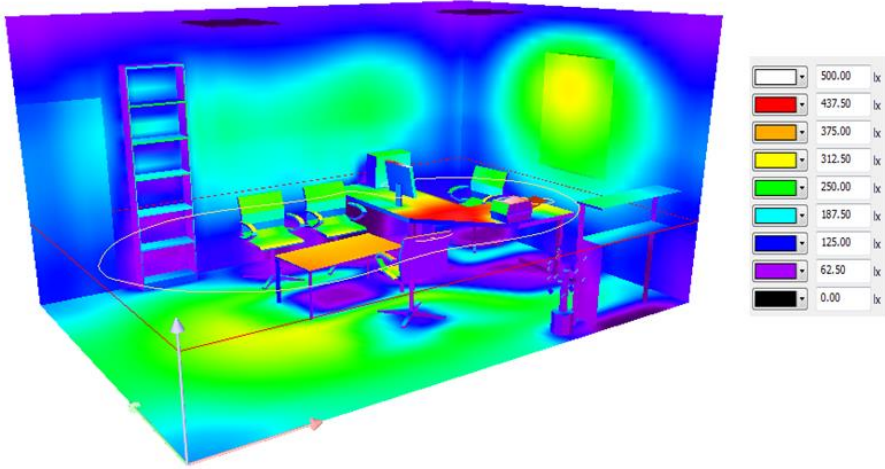
3.2 KMÜ Mühendislik Fakültesinde DiaLux Programı Kullanımı

Şekil 5'te KMÜ Mühendislik Fakültesine ait bir dersliğin aydınlatma simülasyonu yapılmıştır. Yapılan hesaplama bir armatürde 18w x 4 philips floresan lamba 5400 lümen ışık akısına sahip 12 adet armatür yerleşimi yapılarak hesaplanmıştır. Burada en yüksek aydınlık seviyesi 500 lüx beyaz renktir kademeli olarak azalmaktadır.



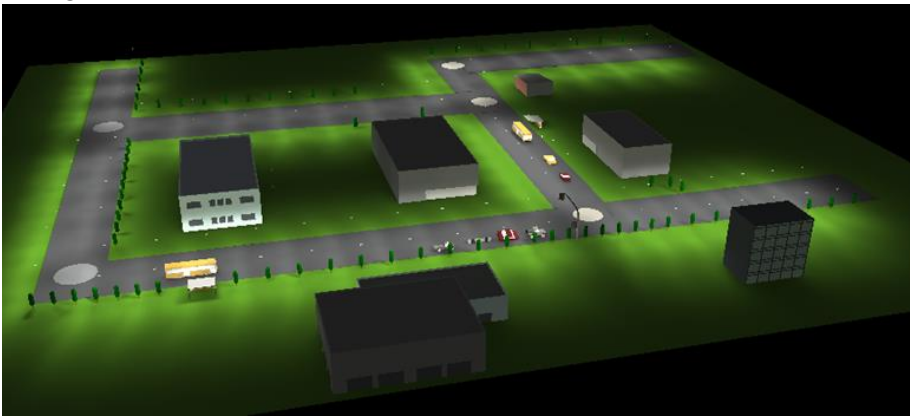
Şekil 5. Sınıf 8m x 12m x 3m Aydınlatma Simülasyonu

Şekil 6'da yine Mühendislik fakültesinde öğretim üyelerine ait odaların aydınlatma simülasyonu hesaplanmıştır.



Şekil 6. Oda 5.4m x 3.6m x 2.8m Aydınlatma Simülasyonu

Şekil 7'de Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik, Edebiyat, MYO, Kütüphane ve Rektörlüğün çizimleri yapılarak yol aydınlatma sistemleri ele alınmıştır. Yol aydınlatmasında her bir armatür 250 watt gücünde 10000 lümen ışık akısına sahip olduğu varsayılarak yapılmıştır. Ayrıca dış aydınlatma enerji israfının en çok olduğu alanlardır. Yapılan ön çalışmada mevcut durumdaki LED lambalar dış çevreye uygulandığında %85'lere varan enerji tasarrufu sağlanabilir ve bu şekilde enerji daha verimli kullanılıp ışık kirliliğinin önüne geçilebilir.



Şekil 7. Dış Çevre 162m x 173m Aydınlatma Simülasyonu

SONUÇ

Aydınlatma, kişilerin minimum görebilme ihtiyacını karşılayabilmek için nesnelere uygulanan ışığın kullanılması yöntemidir. Aydınlatmada esas amaç, gereksinime göre mümkün olabilen en iyi görme seviyesini karşılayabilmektir. Rastgele bir ışık kaynağı seçimi ve yerleştirilmesiyle iyi bir aydınlatma sağlanamamaktadır. Aydınlatma yapılırken muhtemel hataları en aza indirmeye yönelik çeşitli uluslararası standartlar uygulanmalıdır. Ayrıca, gerekli sembollerin, tabloların, yönetmeliklerin proje oluşturulmadan önce belgelendirilmesi gerekmektedir.

Aydınlatma sistemi planlanırken hem standart uygulanmalı hem de enerji tasarrufu açısından ileriye dönük daha verimli armatürler seçilmelidir. Ayrıca bazı ekonomik zararları önlemek için de binanın gün ışığı alma düzeyi göz önüne alınarak aydınlatma projesi oluşturulmalıdır.

Amaca ve yönetmeliklere uygun olarak armatür yerleşimi yapılmasının yanı sıra, aydınlatma kontrolü için yapay zekâ destekli yazılımlar kullanılarak otomasyon sistemleri kullanılmalı böylece optimum aydınlatma ve enerji verimliliği sağlanmalıdır.

Bu çalışmada aydınlatma sistemlerinin genel tanımları yapılmış ve önemi vurgulanmıştır. Aydınlatma sistemlerinde enerji tüketimi azaltmanın en iyi yollarından biri olan tasarruflu lambalar (LED) incelenmiştir. Ayrıca aydınlatma sistemlerinin simülasyonu için kullanılan yazılım anlatılarak örnek hesaplamalar Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi aydınlatma sistemleri için yapılmıştır. Binada bulunan ofis ve sınıflarda, ayrıca dış ortam aydınlatmasında kullanılan armatürler ile oluşacak ışık dağılımları DiaLux yazılımı kullanılarak simüle edilerek gösterilmiştir.

Yapılan lüx ölçümlerinde sınıf ve amfilerde aydınlık düzeyinin uygun olduğu belirlenmiştir. Mevcut armatürlerin yeteri ışık sağladıkları ve günlük 10 saatlik kullanımı ile yılda 365 gün kullanıldıkları öngörülmüştür. Mevcut armatürler ile aynı konfor şartlarını sağlayacak LED armatürler kullanılması durumunda elde edilecek tasarruf miktarı belirlenmiştir. Yapılan yatırım tutarı ve yıllık enerji tasarruf miktarı göz önüne alındığında mühendislik fakültesi için geri ödeme süresi 0.61 yıl olarak bulunmuştur. Üniversitemizde daha geniş alanlarda da LED dönüşüm çalışmalarının yapılması ile elde edilecek enerji tasarrufunun önemli değerlere ulaşacağı öngörülmektedir. Ayrıca aydınlatma araçlarının verimli sistemler ile değiştirilmesi durumunda bina enerji performansının iyileşeceği beklenmektedir.

REFERANSLAR

- Choi, J. H. and Zhu, R. (2015). Investigation of the Potential Use of Human Eye Pupil Sizes to Estimate Visual Sensations in the Workplace Environment. *Building and Environment*, 88: ss. 73– 81.
- Demir, H., Çıracı, G., Kaya, R., Ünver, Ü. (2020). Aydınlatmada Enerji Verimliliği: Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Durum Değerlendirmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 25, Sayı 3, 1637-1652.
- Demirdeş, H. (1993). Uygun aydınlatma bileşenleri. *Kaynak Elektrik Dergisi*, 6, 67-68.
- Erkin, E., Manav, B., Kutlu, R. ve Küçükdoğu, M.Ş. (2009). Avrupa birliğine uyum sürecinde ülkemizde iç aydınlatma konusu ile ilgili yasal mevzuatın değerlendirilmesi, EMO V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 7-10 Mayıs.
- Gençoğlu, M.T. (2005). İç aydınlatmada enerji tasarrufu, EMO III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 23-25 Kasım.
- Güney, İ., Kocabey, S. ve Oğuz, Y. (2002). Aydınlatmanın öğrenme sürecindeki katkısının incelenmesi, IV. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 5 Ekim.
<https://www.ledylighting.com/tr/advantages-and-disadvantages-of-led-lighting/> adresinden 19 Aralık 2023 tarihinde alınmıştır.
- <https://www.elprocus.com/> adresinden 19 Aralık 2023 tarihinde alınmıştır.
- <https://epokulu.com/aydinlatma-hesabi/> adresinden 19 Aralık 2023 tarihinde alınmıştır.
- <https://www.dialux.com/> adresinden 19 Aralık 2023 tarihinde alınmıştır.
DiaLux Kullanım Kulavuzu.
- Özsungur, F., ve Öztop, H. (2019). Kurumlarda Faaliyet Alanlarının Aydınlatılması ve Çalışanlar Üzerindeki Etkisi. *Verimlilik Dergisi* Sayı 2, 185-204.
- Sirel, S. (2012). Aydınlatma sözlüğü. 26 Mart 2014, url: www.yfu.com/AydSozluk.html.
- Sirel, S. (1992). Aydınlığın niteliği. 12 Nisan 2014, url: <http://www.yfu.com/booklet-4.html>.
- Şenyurt, Ö. (2011). Bilgisayar destekli proje II ders notları, Ordu Üniversitesi, Elektrik ve enerji bölümü elektrik programı, (Sf. 3).
- Şener Yılmaz, F. Ve Köknel Yener, A. (2010). Aydınlatma Tasarımında Görsel Konfor, Enerji Performansı ve Çevresel Etki Değerlendirilmesi. *Elektrik Mühendisliği* 10. Ulusal Kongresi.

Ünlü, D.Y. ve Şahin, N. (2021). Spor Tesislerinin Aydınlatmasında Yüksek Enerji Verimli ve LED’li Aydınlatma Araçları. BEU Journal of Science 10 (1), 277-286.

Bölüm 16

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE VERİMLİLİĞE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Selmin ENER RÜŞEN¹
Mahmut Sami ALKAN²

1. GİRİŞ

Dünyadaki artan nüfus ve kentleşme enerjeye olan ihtiyacı gün geçtikçe artırmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için geçmişten günümüze kullanılan fosil enerji kaynaklarının gerek sınırlı olması gerekse bu kaynaklarının çevreye verdiği zararlar dikkate alınarak bunlardan kaçınmak amacıyla çevreye duyarlı yenilenebilir enerji kaynağı arayışına girilmiş ve bu kaynaklara geçiş süreçleri hızlandırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında bilindiği gibi güneş enerjisi, güneş çekirdeğinde bulunan hidrojen gazının helyuma dönüşmesiyle (füzyon tepkimesi) ortaya çıkan devasa ışıma enerjisidir. Güneş, yaklaşık $3,9 \times 10^{26}$ W güç yayan en büyük potansiyele sahip yenilenebilir enerji kaynağı olarak bilinmektedir (Yakıncı ve Kök, 2017:43-55). Güneş enerjisinin bu büyük potansiyelinin özellikle elektrik üretimine dönüştürülebilmesi konusu birçok araştırmacının dikkatini çekmiş ve beraberinde pek çok araştırma çalışmaları getirmiştir (Benghanem, 2012:189-220; Hu, vd., 2016:40-51; Yau, vd., 2016: 177-193; Venkateswari and Sreejith, 2019:376-394).

Güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda 1839 yılında Fransız bilim insanı Edmond Becquerel'in (1839:561-567) tanımladığı fotovoltaik olay, iletken bir sıvı içerisindeki elektrotun ışık yaymasıyla ortaya çıkmıştır. Bu etkinin keşfinden sonra pek çok araştırmacı bu konuda önemli araştırmalar yapmıştır. Örneğin 1877 yılında yapılan araştırma neticesinde Adams ve Day (1877:113) katılaştırılmış selenyumda fotovoltaik etki gözlemlenmişlerdir. 1954 yılında güneşten elektrik üretimi konusunda Bell laboratuvarlarında Si p-n eklemli güneş hücresi üretilmiş ve günümüze kadar ulaşarak yapılan birçok çalışmaya konu olmuştur (Chapin vd., 1954:676–677). Türk Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (The International Renewable Energy Agency, IRENA) tarafından yayımlanan “Yenilenebilir Enerji ve İstihdam 2023 Raporu” verilerine göre yenilenebilir enerji

¹ Doç. Dr; Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü. selminerusen@kmu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-3389-5739

² Öğr. Gör.; Ataçehir Adıgüzel Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Mekatronik Programı. mahmutsamialkan@adiguzel.edu.tr ORCID No: 0000-0001-5389-3904

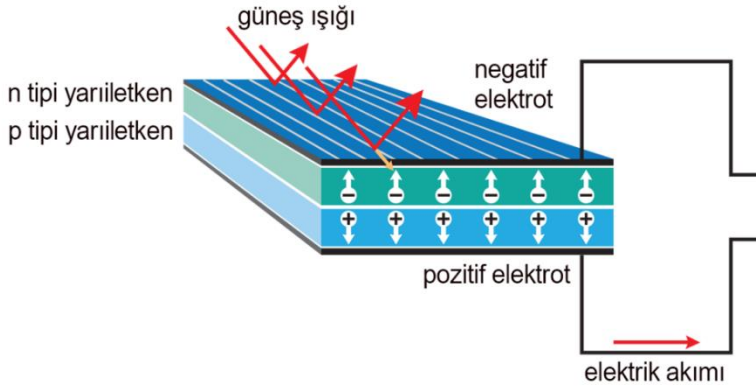
kapasitesinin küresel olarak toplam 3.372 GW değerine geldiği raporlanmıştır. Ayrıca, 2022 yılında yenilenebilir enerji sektöründe çalışanların sayısının geçen yıla göre yaklaşık olarak % 8 artış gösterdiği ve 13,7 milyon kişiye ulaştığı bildirilmiştir. Burada yenilenebilir enerji içerisinde güneş enerjisi sektörünün önemli bir bölümü oluşturduğu yaklaşık 4,9 milyon kişinin güneş enerjisi alanında çalıştığı belirlenmiştir (IRENA, 2023). Son yıllardaki güneş enerjisine olan bu ilgi, hızla süren teknolojik ilerlemeler, enerji fiyatlarında artış, dünya çapında yaşanan fosil kaynak politikaları ve endüstriyel rekabet de Güneş Enerjisi Sistemleri (GES) kurulum maliyetlerinde azalma eğilimi göstererek küresel etkisini artırmıştır (Wang, vd., 2014:370-380).

Bu çalışmada söz konusu Fotovoltaik sistemlerde verimliliğe etki eden parametreleri birer birer analiz edilerek sistem performansına etkisi ortaya konulacaktır.

2. FOTOVOLTAİK SİSTEM

Fotovoltaik; terminolojik olarak Yunancada “photo” ve gerilim anlamındaki “voltaic” kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Fotovoltaik (FV) sistemler, güneş ışığından gelen enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen sistemlerdir. Fotovoltaik sistem, güneş panelleri, güneş çeviricileri ve diğer bileşenlerden oluşur. Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisini verimli ve çevre dostu bir şekilde kullanmak için yaygın olarak tercih edilir (Sayın ve Koç, 2011:3).

Fotovoltaik sistemlerde en küçük yapı güneş hücresidir ve güneş fotonlarının bu hücreye gelmesi sonucunda fotovoltaik etki ile elektrik üretmektedir. Fotonlar güneş hücresine geldiğinde bir kısmı doğrudan yansırken diğer bir kısmı da güneş hücresi sayesinde soğurulmaktadır. Soğrulan fotonlar fotovoltaik etkiyi oluşturur. Kısaca güneş ışınlarının elektriğe dönüştürülmesi olarak tanımlanan fiziksel bir olaydır. Güneş ışığı yarı iletken bir malzemeden yapılmış fotovoltaik güneş hücresine çarptığı anda elektronlar atomik bağlarından ayrılır ve elektron akışı oluşturur. Şekil 1’de elektron hareketliliğinden kaynaklı olarak elektrik üretimi şematik olarak verilmektedir.



Şekil 1. Fotovoltaik etki ile elektrik akımı oluşumu (aydinlatma.org, 2023).

Fotovoltaik sistemlerdeki gelişmeler ve gelecek perspektifleri ele alındığında verimlilik sürekli olarak artırılmak istenmektedir. Araştırmacılar, daha yüksek verimlilik elde etmek için yeni malzemeler, yapay zekâ destekli kontrol sistemleri, gelişmiş üretim teknikleri, tasarım optimizasyonu ve yenilikçi yaklaşım metotları ile araştırma konularını genişletmişlerdir.

Son yıllarda, perovskit tabanlı güneş hücreleri, yüksek verimlilik potansiyeli nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Perovskit hücreler, düşük maliyetli üretim süreçleri ve yüksek hücre verimlilikleri ile gelecekte fotovoltaik sistemlerin verimliliğini artırabilir. Ayrıca, güneş enerjisi depolama teknolojilerinin geliştirilmesi de fotovoltaik sistemlerin verimliliğini artırmada önemli bir rol oynamaktadır (Abdulaziz vd., (2023:2). Depolama çözümleriyle, güneş enerjisinin depolanması ve istenilen zamanda kullanılması için enerji verimliliği artırılabilir.

Mateo Romero vd. (2022:10056)'nin yapmış olduğu bir çalışmada fotovoltaik sistemlerde yapay zekâ tekniklerinin kullanılarak FV sistemlerinin verimliliğini artırdığını tespit etmiştir. Özellikle çalışmada, yapay zekâ tekniklerinin, maksimum güç noktası izleme, enerji üretiminin tahmini, model devre parametrelerinin tahmini ve hata tespiti gibi kritik sorunları çözmede nasıl etkili olduğu incelenmiştir. Ayrıca, bu tekniklerin klasik yaklaşımlardan daha iyi performans gösterdiği ve önceki çözümlere kıyasla verimlilik veya doğruluk açısından nasıl geliştirdiği vurgulanmıştır.

3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Fotovoltaik sistemler güneş ışığı ile temas ettiğinde elektrik enerjisi üretebilen sistemlerdir. Doğrudan gün ışığına maruz kalan fotovoltaik hücrelerin yüzeyi

ısıdır ve sistemin elektrik üretme verimi düşer. Verim, genel olarak sistemin harcadığı enerjinin, sisteme giren enerjiye oranı olarak ifade edilmektedir. Fotovoltaik sistemin maksimum verimi hesaplanırken güneşten gelen radyasyon değeri ve panelin yüzey alanı oldukça önemlidir. Denklem (1)'de panelin maksimum verimini hesaplamak için kullanılan ampirik formül verilmiştir (rfwireless-world.com, Erişim 09.12.2023).

$$\eta_{\max}=(P_{\max}/E \cdot A_c) \cdot 100 \quad (1)$$

Denklemden verilen P_{\max} Maksimum Güç Çıkışı(W), E Güneş Radyasyon Akısı (W/m^2) ve A_c ise Kolektör Alanı (m^2) olarak verilmektedir.

3.1. Soğutma Yöntemi

Fotovoltaik panellerin verimliliği güneşten gelen enerjinin tamamı elektrik enerjisine çevrelemediği için genellikle düşüktür. FV panellerin çıkış gücü iklimsel etkilere bağlı olarak yüzey sıcaklığının artışından olumsuz etkilenmektedir. Sıcaklık artışının temel nedeni, iklimsel ortam sıcaklık artışı ve gelen güneş ışınlarının bir kısmı ısıya dönüşmesidir. Bu durum FV sistem güç çıkışını, verimliliği, FV performansını ve ekonomik ömrünün azalmasına sebep olmaktadır (Ismael, 2022). Yapılan araştırmalara göre sistemdeki her $1^{\circ}C$ 'lik yüzey sıcaklığındaki artış, verimde %0.5'lik bir azalmaya neden olmaktadır. Sıcaklık artışından kaynaklı olarak hücre güneş enerjisinin tamamını elektrik enerjisine dönüştüremez. Bu durumda ısı enerjisi açığa çıkar ve genel dönüşüm verimliliğinde bir azalmaya neden olur (Kumar, vd., 2007). Bu nedenle soğutma teknikleri, FV panellerin aşırı ısınmasını önlemek ve sıcaklığını düşürmek için potansiyel bir çözüm olabilmektedir. Literatürde soğutma yöntemleri kullanılarak güneş pilinin veriminin artırılmasına yönelik birçok araştırma yapılmıştır.

3.1.1. Su ile Soğutma Sistemi

FV sistemlerde yüzey sıcaklıklarının artması nedeniyle sistem verimleri düşmektedir. FV sistemlerin alt yüzeylerine yerleştirilen iletken borular ve içerisinden geçirilen su ile FV sistem sıcaklığının düşürülmesi çalışmaları yapılmaktadır. FV sistemlerin su ile soğutulması konusunda yapılan çalışmalarda su soğutmalı ve soğutmasız sistemlerde FV panellerin verimlilik oranlarının (termal ve elektriksel enerji performansı) karşılaştırılması çalışmaları yapılarak karşılaştırmalar yapılmıştır. İki özdeş panel için de aynı anda aynı miktar güneş ışınımı sağlanarak FV panel sıcaklığı, güç, akım ve gerilim gibi FV panelin farklı parametreleri ölçülmüştür. Genel verim için, su soğutmalı FV sistem, % 5.9 ile

soğutmasız FV sistemden daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir (Halil, 2021:142-148). Benzer bir çalışma Peng ve ark. (2017:949-955) tarafından yapılmıştır. Çalışmada bir FV panelin su soğutmalı sistemle çalıştırılması, diğerinin ise su ile soğutulmaması sonucunda gerilim ve akım değerlerindeki değişimler tespit edilmiş ve su ile soğutulan sistemde yaklaşık %47 oranında verim artışı tespit edilmiştir (Peng, vd., 2017:949-955). Ayrıca literatürde yer alan araştırmalarda verilen sayısal değerler Tablo 1’de yer almaktadır. Tabloda su soğutma sistemi devrede ve devre dışı olduğu durumda verimlilik oranları karşılaştırılmaktadır.

Tablo 1. Su Soğutma Sisteminin Sistem Verimliliğine Etkisi (Peng, Z. vd. 2017: 949-955)

Su Soğutma Sistemi Devre Dışı		Su Soğutma Sistemi Devrede	
Panel Sıcaklığı	Verimlilik	Panel Sıcaklığı	Verimlilik
57 °C	% 8.56	55 °C	% 10.97
49 °C	% 10	47 °C	% 12.24
49 °C	% 11.71	47 °C	% 13.03
53 °C	% 7.83	50 °C	% 9.15

Deney düzeneğinde ölçülen panel sıcaklığı 57°C’de verimlilik %8.56 olarak tespit edilmiştir. Bu durumda iken soğutma sistemi devreye girmekte ve panel sıcaklığını 55°C ’ye düşürmektedir. Tabloda gözlenen verilerden anlaşılacağı üzere sıcaklığın azalmasına bağlı olarak verimlilik artmaktadır. Tablodan da görüldüğü üzere elde edilen sonuçlar, sulu soğutma sisteminin verimlilik artışı üzerinde ne kadar etkili olduğunu açıkça göstermektedir.

3.1.2. Hava Soğutma Sistemi

Fotovoltaik sistemlerin soğutulması ile verimlerinin attığı bilinmektedir. Soğutma sistemleri arasında hava soğutmalı sistemler önemli bir yer almaktadır. Doğal yollarla oluşturulan hava akımının FV sistemlerin verimi üzerindeki olumlu etkileri oldukça fazladır. Hava akımının yoğun olduğu bölgelere FV sistemleri yerleştirmek suretiyle coğrafi konum kullanılarak hava soğutmalı tasarımlar yapılabilir. Böylece oluşan doğal hava akımı sayesinde panelin yüzeyindeki sıcaklık düşer. Doğal hava akımı ile soğutmanın yanı sıra FV panel arkalarına yerleştirilen harici pervaneler yardımıyla da panel yüzeyindeki sıcaklık azaltılabilir. Hava soğutmalı sistemin performansını ortaya koymak amacıyla yapılan çalışmalarda iki adet özdeş FV panel kullanarak aynı ortamda önce doğal hava akımının ile ısı taşınımı, sonrasında harici pervane kullanılarak oluşturulan ısı taşınımı sağlanmıştır. Deneyde elektrik üretimi

sırasında kayıt altına alınan veriler işlendiğinde harici soğutma desteği ile soğutulan FV panelin doğal sirkülasyonla soğutulan FV panele göre % 3-5 oranında daha fazla verim artışı gösterdiği tespit edilmiştir (Kamanga, vd., 2014: 061016).

3.1.3. Nano Akışkan Sistemle Soğutma

Nano akışkan yapılar 1 ila 100 nm boyutlarındaki malzemeler olup akışkanlar ile soğutulan FV sistemlerde soğutma sıvısının içerisine girdikten sonra ısı transferini ve termal verimliliği artırıcı özelliğe sahip yapılar olarak bilinmektedir. Nano akışkanlar ile ilgili yapılan deneylerde özdeş iki FV panellerden biri konvansiyonel yöntem olan saf su ile, diğeri ise nano parçacık takviyeli saf su ile soğutulmuştur. Elde edilen verilere göre, Tablo 2’de farklı debi ve soğutma içeriklerine ait sistemlerdeki verimlerin nano akışkanlarda daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Kaya, vd., 2019:061016). Tablodan da anlaşılacağı üzere, belirli bir debiden sonra her iki sistem için de verim bir miktar azalmaktadır. Bu nedenle sistemin verimini korumak amacıyla optimum debi belirlenmesi gerektiği düşünülmektedir.

Tablo 2. Farklı Debi ve Soğutma İçeriklerine Sahip Sistemlerin Verimliliğe Etkisi (Kaya, vd., 2019:061016)

Debi	Saf Su İçeren Sistem Verimi	Nano Parçacık İçerikli Saf Su Sistem Verimi
0.020 (kg/s)	% 36.51	% 50.45
0.033 (kg/s)	% 38.83	% 52.74
0.051 (kg/s)	% 43.53	% 59.16
0.063 (kg/s)	% 41.17	% 56.61

Grafen Nanopartikül (GNP) nanoakışkanı, mikro boyutlu kanallar vasıtasıyla düz bir güneş panelinde ana soğutma ortamı olarak test edilmiştir. Yapılan çalışmada GNP nanoakışkan soğutmanın, 1.11 L/dk debide akan su soğutmasına göre yaklaşık %42 oranda daha yüksek verimliliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Moh, vd., 2020:282-286).

3.1.4. Faz Değiştiren Malzeme Sistemi

Gizli ısıl enerjinin depolanmasında kullanılan yüksek ısıl kapasiteye sahip ve belirli bir sıcaklıkta faz değiştirerek enerji absorplayan veya bırakan maddeler “Faz Değiştiren Maddeler” olarak adlandırılır (Mert, vd., 2018:161-174). Bu sistemlerde FV panelin alt kısmına yerleştirilen faz değiştiren malzeme bölgeye göre değişen erime sıcaklığına ulaştığında yüzeydeki sıcaklığı gizli ısı olarak depo ederek paneli soğutarak verim artışına katkı sağlamaktadır. Başka bir

çalışmada FV panel faz değiştiren malzeme kullanarak soğutulmuştur. Bir sonbahar mevsiminde gerçekleştirilen deneyin sonuçlarına göre, FV-Faz değiştiren malzeme panelinin FV hücre sıcaklığı, geleneksel FV panele kıyasla maksimum 35,6 °C daha düşük tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda verimde ortalama % 1.1 ile % 2.8 arasında artış elde edilmiştir (Stritih, 2016:671-679; Sahay vd. 2015:306-312).

Başka bir çalışmada ise FV panelde en iyi ısı emici ve ışık yayılım yönteminin belirlenebilmesi amacıyla faz değiştiren malzeme olarak (HS29) ve ısı emici kullanılmıştır. Standart çıkış gücünü tespit edebilmek için iki özdeş FV panelden biri soğutulmamış, diğer panele ise ısı emici takılmıştır. Isı emici ise faz değiştiren malzeme ile doldurulmuştur. Sonuç olarak, faz değiştiren malzeme HS29'un sıcaklıkta geçici bir değişiklik oluşturabildiğini ve ısı emici malzeme ise FV panelindeki ısıyı dağıtıp sıcaklığı düşürdüğü gözlenmiştir. Faz değiştiren malzeme (HS29)'nin ve ısı emici malzemenin kullanılması, panelin sıcaklığını kontrol altına almak ve güç çıkışını maksimum boyutta artırmak için ideal ve ekonomik bir yöntem olduğu tespit edilmiştir (Rajvikram, ve Sivasankar, 2019:283-292).

4. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERE ETKİ EDEN ÇEVRESEL FAKTÖRLER

Fotovoltaik sistem verimliliğine panelin kendisinden kaynaklı olan verim etkenlerinin yanı sıra çevresel faktörlerinde olumsuz tesir etkisi olduğu bilinmektedir. Gölgeleme, toz birikimi, panel açısı, güneş takip sistemi, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve arazinin konumu gibi faktörlerle verim arasında ciddi bir etkileşim vardır.

4.1. Gölgeleme Etkisi

FV hücreler güneş ışığına maruz kaldığında elektrik enerjisi üretme potansiyeline sahiptir. Bilindiği gibi çok sayıda FV hücrelerin birbirleri ile seri bağlanması sonucunda FV paneller oluşturulmaktadır. FV hücreler seri bağlı olduklarından dolayı elektrik üretiminde birbirlerinin performansından etkilenecek şekilde çalışmaktadır. FV panelin bir bölümünün dahi gölgelemesi durumunda elektrik üretimi devam etse bile sistem verimi oldukça düşmektedir. Bu noktada verimli bir sistem için gölgelemenin olmaması önemli bir rol oynamaktadır. Bilindiği gibi gölgeleme panel çevresinde bulunan ağaç, baca, vb. etkenlerden olabildiği gibi genellikle en fazla bulutlardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca panel diziliminin yanlış tasarımından kaynaklı olarak FV panelinin kendisini gölgelemesi de olabilmektedir. Bundan dolayı tasarım aşamasında iken

doğru kararlar alınmalı, panel sisteminin kurulacağı alan ve tasarımları dikkatli seçilmelidir.

FV paneller bulutsuz, güneşli ve soğuk havalarda en iyi elektrik üretimi performansını vermektedir. Örneğin 25 W kapasiteye sahip bir FV panel ile 4 aylık bir periyotta bulutlu günlerde elde edilen elektrik enerjisinin ortalaması hesaplanmış ve maksimum verime nazaran %25 oranında verim kaybı tespit edilmiştir (Bonkaney, vd., 2017).

4.2. Toz Birikiminin Etkisi

FV panellerin dış yüzeyinde hücre iç yapısını koruma amaçlı kullanılan cam kısım bulunmaktadır. Bu cam kısım güneş ışınlarının geçişine izin vermekte ancak dış hava koşullarından FV iç hücre yapısını korumaktadır. Dış ortam ile doğrudan etkileşim halinde olan cam tabakanın bir kısmının kirlenmesi veya zamanla tozlanması sonucunda FV hücreleri yeteri kadar güneş ışığı soğuramamakta ve bu sebeple sistem verimliliği azalmaktadır. Bu durumun analiz edilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada 23 gün süreyle 2 adet özdeş FV panelin birinin temizlenip diğerinin tozlanmasına izin verildiği durumda panel enerji verimliliğinin etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak tozlanmış FV panelin elektriksel güç üretimi veriminde yaklaşık olarak %10 oranında azalma meydana geldiğini tespit edilmiştir (Bonkaney, vd., 2017)

4.3. Optimum Panel Açısı

FV panel performansını etkileyen önemli parametrelerden bir diğeri ise panel açısı ve yönüdür. FV panellerde sisteme gelen güneş ışınları dik olduğu takdirde maksimum verim elde edilmektedir. Verim, panelin açısı ve FV paneldeki yüzey kaplamaya malzemesine göre değişmektedir (Ismael, 2022). Panelden maksimum verim elde etmek için güney yönlerinde 10° ve 30°eğim açılarının uygun olduğu belirtilmiştir (Turhan, ve Çetiner, 2012:4). Yapılan bir çalışmada paneller 0, 15, 20 ve 25° eğim açılarıyla yerleştirilip, güneş ışınımı ölçüm cihazı olan piranometre ile günlük küresel ışınım değerleri incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre 25° eğim açısına sahip FV panelin güney yönüne yerleştirilmesi sonucunda en yüksek ışınım değerine ulaşıldığı tespit edilmiştir (Kaya, vd., 2019). Ayrıca panelin yatayda yapmış olduğu eğim açısının 15° den daha fazla olması durumunda olası yağış hallerinde panel üzerinde biriken tozu temizlemede etkisinin olacağı öngörülmektedir (Detrick, vd., 2015:1581-1586; Yau and Lim, 2016:177-193).

4.4. Sıcaklık Etkisi

Daha önce de bahsedildiği gibi FV panel yüzey sıcaklığının artması FV sistemin performansını olumsuz etkilemektedir. Günümüzde halen atmosfer koşullarında bulunan FV paneller güneşten gelen ışınım enerjisinin maksimum %25 ini elektrik enerjisine dönüştürebilmektedirler. Bu nedenle güneş enerjisinin yüksek miktarda ve dik gelmesi maksimum elektrik enerjisi üretilmesi için son derece önemlidir. Ancak dik ve sürekli gelen güneş ışınımı FV hücrelerinin aşırı ısınmasına sebep olmaktadır. Sıcaklıktan kaynaklı olarak kristal yapıdaki silisyum içerikli hücreler, amorf silisyum hücrelere oranla daha çok etkilenmektedir (Koca, 2019).

Yapılan araştırmalara göre FV paneller üzerindeki 25 °C'nin üzerindeki her bir 10 °C'lik artış, verimin % 0.4 – 0.5 oranında düşmesine neden olmaktadır. FV sistemin arkasında oluşan sıcaklık, panellerin doğrudan havalandırma tasarımıyla ilgilidir. Fotovoltaik sistemlerin arka kısımlarına havalandırma imkânı verilmeyecek şekilde tasarlanması ve monte edilmesi durumunda, arka yüzeyde artan sıcaklığa bağlı olarak performansları düşmektedir (Thomas, 2003).

4.5. Rüzgâr Hızının Etkisi

Hava şartlarındaki değişiklik FV panelin enerji üretimi sırasındaki güç çıkışını önemli oranda etkilemektedir. Panelin ısısı; ortamın sıcaklığı, bulut yapısı, rüzgâr hızı ve FV sistemin konumlandırılmasıyla doğrudan ilişkilidir. Rüzgâr hızı, fotovoltaik panellerin sıcaklıklarını düşürmesi bakımından fayda sağlamakta ve panel yüzeyinde zamanla biriken tozu ve kiri temizleyici bir etki oluşturabilmektedir. Ancak bazı durumlarda rüzgârın etkisi ile havadaki tozun FV panel üzerinde birikmesi de mümkün olabilmektedir. Dolayısıyla bu durumlara uygun tasarımların yapılması son derece önem arz etmektedir (Goossens ve Van Kerschaever, 1999:277-289).

4.6. Sistem Kayıplarının Etkisi

FV sistem kayıplarının büyük bir bölümü elektriksel kısımlarda meydana gelmektedir. Dolayısıyla sistem bağlantı vb. ekipmanlarındaki kayıplar verimi olumsuz etkilemektedir. Bunlar DC kablo kaybı, AC kablo kaybı, panellerde seri bağlı hücrelerden herhangi birisinin olması gerekenden daha düşük verime sahip olması, üretilen doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek amacıyla kullanılan invertör dönüşüm kayıpları gibi nedenler olabilmektedir (Ismael, 2022). Örneğin tasarım esnasında yapılan hesap hatalarından dolayı fazla kablo kullanımı veya yanlış kablo seçimi kablo direncinin artmasına sebep olacaktır. Bu durumda kablo direnci ile doğru orantılı olarak enerji kayıpları da artmaktadır. Tasarımının iyi planlandığı bir sistemde optimum kablo kayıplarının %2'den az olması

gerektiği ve bu oranın zamanla yükselmemesi gerektiği belirtilmiştir (Ancuta, ve Cepisca, 2011:109-115).

SONUÇ

Bu çalışmada, FV sistemlerin verimliliği ile ilgili farklı araştırma alanlarından birçok çalışma incelenmiş ve çalışmaların odak noktalarına, katkılarına ve özellikle soğutmayı sağlamak için kullanılan yöntemlere dikkat çekilmiştir. Bir FV sistemin yüzeyinden ısıyı daha etkin bir şekilde toplamaya yönelik çalışmalar incelendiğinde, FV yüzeylerdeki ısıyı kontrollü bir şekilde soğutma teknolojisi kullanan ve verimi olumsuz yönde etkilemeyen yenilikçi kaplama malzemelerinin yararları dikkat çekmiştir. Ayrıca FV sistemlerin sürekli takibi, arızaların ve anormalliklerin tespiti ve düzenli bakımı yüksek verimlilik sağlamak için oldukça önemlidir. FV verimliliğine etki eden parametrelere yönelik pek çok parametre incelendikten sonra, yeni ve inovatif teknolojiler, avantaj ve dezavantajları, örnek uygulamalar gibi çalışmaların FV sistem yatırımcılarına yol gösterici olacağı belirlenmiştir.

Ayrıca söz konusu yenilikçi FV sistemlerin avantajları, dezavantajları ve bu farklı teknolojilerin neden kullanılması gerektiği sorularına yapay zekâ teknolojilerinden faydalanılarak seçimler yapılabilir. Kurulması planlanan Güneş Enerjisi Sistemleri (GES) santralinin yatırım planlaması, optimum verimle tasarımı ve muhtemel kayıplarının belirlenmesi için mevcut deney ve veriler kullanılarak yapay zekâ ile oluşturan simülasyon programları kullanılabilir. Bununla birlikte FV sistemlerin veriminin yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklıklardan olumsuz etkilendiği belirlenmiştir. Yüzey yüksek sıcaklık değerlerini azaltmak için tasarlanan sistemlerin ise FV verimine olumlu etkileri olduğu görülmüştür.

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansının (IRENA) tarafından yapılan araştırmaya göre FV sistemler üzerindeki çalışmalar ve teknolojik gelişmeler FV sistem maliyetlerini azaltarak yaygınlaşmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca tüm dünyada yaşanan enerji krizi ve çevresel olumsuz etkiler nedeniyle de yenilenebilir enerji kaynaklarının özellikle FV sistemlerin gelişimi hızlanmıştır. Bu konuda yapılacak çalışma ve araştırmaların genişletilmesi ve olumlu neticeler doğurması halinde FV panelden elektrik üretiminin çok daha hızlı yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

REFERANSLAR

- Abdulaziz Bati, S.R., Zhong, Y.L., Paul, L., Burn, M.K.N., Paul, E. Shaw & Munkhbayar Batmunkh (2023). Next-generation applications for integrated perovskite solar cells. *Communications Materials*, volume 4, Article number:2.
- Adams, W.G. and Day, R.E. (1877). The action of light on selenium. *Proceedings of the Royal Society*, A25, 113.
- Ancuta, F., and Cepisca, C. (2011). Failure analysis capabilities for PV systems. *Recent Res. Energy, Environ. Entrep. Innov*, 109-115.
- Becquerel, E. (1839). Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires. *Comptes Rendus*. 9: 561–567.
- Benghanem, M. (2012). Artificial intelligence techniques for prediction of solar radiation data: A review. *International Journal of Renewable Energy Technology*, 3(2), 189-220.
- Bonkaney, A., Madougou, S., and Adamou, R. (2017). Impacts of cloud cover and dust on the performance of photovoltaic module in Niamey. *Journal of Renewable Energy*, 2017.
- Chapin, D.M., Fuller, C.S. and Pearson, G.L. (1954). A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power. *Journal of Applied Physics* 25 (5):676–677.
- Detrick, A., Kimber, A., and Mitchell, L. (2005, January). Performance evaluation standards for photovoltaic modules and systems. In *Conference Record of the Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2005*. (pp. 1581-1586).
- Goossens, D., and Van Kerschaever, E. (1999). Aeolian dust deposition on photovoltaic solar cells: the effects of wind velocity and airborne dust concentration on cell performance. *Solar energy*, 66(4), 277-289.
- Hu, J., Chen, W., Yang, D., Zhao, B., Song, H., and Ge, B. (2016). Energy performance of ETFE cushion roof integrated photovoltaic/thermal system on hot and cold days. *Applied energy*, 173, 40-51.
- Halil, E. (2021). Su soğutmalı fotovoltaik sistemin performans analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 142-148.
- Ismael, J. A. (2022). Fotovoltaik Panellerin Verimliliğinin Artırılması Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun.
- Kamanga, B., Kamunda, C., Mlatho, J. S. P., and Mikeka, C. (2014). Optimum tilt angle for photovoltaic solar panels in Zomba district, Malawi.

- Kaya, H., Eltugral, N., Kurukavak, A., and Arslan, K. (2019). Efficiency assessment of an evacuated U-tube solar collector using silver nanofluid. *Journal of Solar Energy Engineering*, 141(6), 061016.
- Koca, T. F., (2019) Silisyum güneş pillerinin fotovoltaik özelliklerine etkin eden çevresel etkilerin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kumar, K., Sharma, S. D., Jain, L., and Al Khaimah, R. (2007). Standalone photovoltaic (PV) module outdoor testing facility for UAE climate. Submitted to CSEM-UAE Innovation Centre LLC.
- Mateo Romero, H. F., González Rebollo, M. Á., Cardeñoso-Payo, V., Alonso Gómez, V., Redondo Plaza, A., Moyo, R. T., and Hernández-Callejo, L. (2022). Applications of artificial intelligence to photovoltaic systems: A review. *Applied Sciences*, 12(19), 10056.
- Mert, M. S., Merve, S., ve MERT, H. H. (2018). Isıl Enerji Depolama Sistemleri İçin Organik Faz Değiştiren Maddelerin Mevcut Durumu Üzerine Bir İnceleme. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(1), 161-174.
- Moh, T. S. Y., Ting, T. W., and Lau, A. H. Y. (2020). Graphene Nanoparticles (GNP) nanofluids as key cooling media on a flat solar panel through micro-sized channels. *Energy Reports*, 6, 282-286.
- Peng, Z., Herfatmanesh, M. R., and Liu, Y. (2017). Cooled solar PV panels for output energy efficiency optimisation. *Energy conversion and management*, 150, 949-955.
- Renewable energy and jobs: Annual review 2023, IRENA, September 2023, ISBN: 978-92-9260-552-0.
- Rajvikram, M., and Sivasankar, G. (2019). Experimental study conducted for the identification of best heat absorption and dissipation methodology in solar photovoltaic panel. *Solar energy*, 193, 283-292.
- Sahay, A., Sethi, V. K., Tiwari, A. C., and Pandey, M. (2015). A review of solar photovoltaic panel cooling systems with special reference to Ground coupled central panel cooling system (GC-CPCS). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 306-312.
- Sayın, S. ve Koç, İ. (2011). Photovoltaic (PV) Panels Which Are Used to Utilize Solar Energy Actively and Their Usage Forms on Buildings. *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg.*, c.26, s.3, 2011, ISSN: 1304-8708.
- Stritih, U. (2016). Increasing the efficiency of PV panel with the use of PCM. *Renewable Energy*, 97, 671-679.
- Thomas, R. (2003). *Photovoltaics and architecture*. Taylor ve Francis.
- Turhan, S. V., ve Çetiner, İ. (2012). Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirmesi, 6. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, 12(13), 04.

- Venkateswari, R., and Sreejith, S. (2019). Factors influencing the efficiency of photovoltaic system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 376-394.
- Wang, Y., Zhou, S., and Huo, H. (2014). Cost and CO₂ reductions of solar photovoltaic power generation in China: Perspectives for 2020. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 370-380.
- Yakıncı, Z. D. ve K k, M. (2017). Yenilenebilir Enerji Ve Toplum Sağlığı . İn n  Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi,5(1), 43-55.
- Yau, Y. H., and Lim, K. S. (2016). Energy analysis of green office buildings in the tropics—Photovoltaic system. *Energy and Buildings*, 126, 177-193.
- <https://www.aydinlatma.org/gunes-paneli-nasil-calisir.htma> adresinden 19 Aralık 2023 tarihinde alınmıştır.
- <https://www.rfwireless-world.com/calculators/Solar-Cell-Efficiency-Calculator.html> adresinden 09 Aralık 2023 tarihinde alınmıştır.

Bölüm 17

KABLOSUZ İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİNDE SİBER RİSK UNSURLARI

Semih ÇAKIR¹
Nesibe YALÇIN²

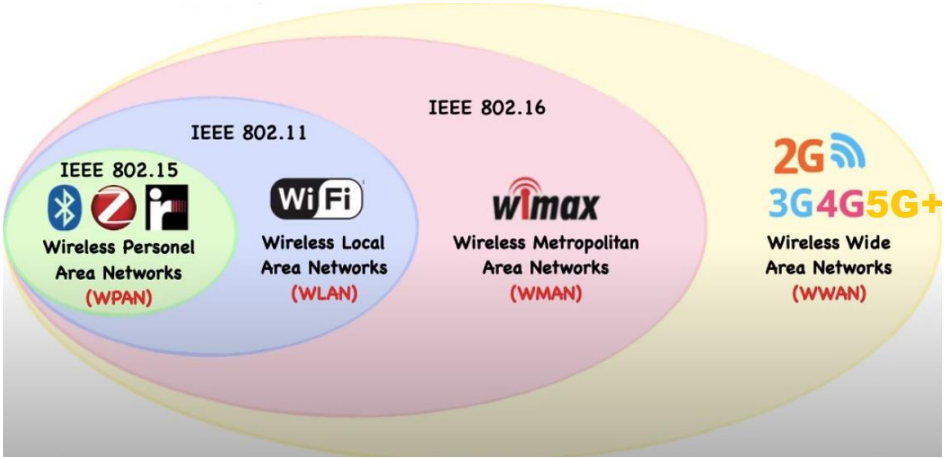
1- GİRİŞ

Kablosuz iletişim, bilginin cihazlar arasında kablo ya da tel gibi fiziksel bağlantılara gerek duymadan iletilmesini ifade eder. Günümüzde artık her alanda cihazlar arası haberleşmede kablolu iletişime alternatif olarak kablosuz iletişim yöntemleri, kısa veya uzun mesafelerde kullanılmaktadır. Haberleşme yöntemi olarak genellikle radyo frekansı (RF) yani elektromanyetik dalgalar kullanarak havadan veri transferi sağlar.

Modern telekomünikasyon ve kablosuz ağ ekosisteminin bütünü artık kablosuz iletişim teknolojisi (KİT) araçları oluşturmaktadır. Dünyanın farklı coğrafyalarında bulunan kullanıcılar ile kolayca haberleşme, istenilen yer ve zaman diliminde bilgiye hızlıca erişim imkanı tanıdığından KİT günlük yaşantımızda önemli bir yere sahiptir. Kablosuz haberleşmenin sağlanacağı ortam içerisinde cihazların birbirlerine olan uzaklıklarına bağlı olarak kablosuz ağları, kendi içerisinde sınıflara ayırmamız mümkündür. Şekil 1’de kablosuz ağ türleri verilmiştir.

¹ Dr. Öğr. Üyesi; Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Kdz. Ereğli M.Y.O. Bilişim Güvenliği Teknolojisi Programı. semih.cakir@beun.edu.tr ORCID No: 0000-0003-3072-9532

² Dr. Öğr. Üyesi; Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. nesibeyalcin@erciyes.edu.tr ORCID No: 0000-0003-0324-9111



Şekil 1: Kablosuz ağ türleri

Kaynak: Benmammam, B. and Amraoui, A. (2014). Réseaux de radio cognitive: Allocation des ressources radio et accès dynamique au spectre. *arXiv preprint*, arXiv:1407.2705.

Kablosuz Kişisel Alan Ağı (Wireless Personal Area Network, WPAN), kablosuz ağ türlerinden menzil anlamında en küçüğüdür. Bu ağ türünde, cihazlar arası haberleşme mesafesi ortamda sinyal bozucu türler olmaması durumuna göre en fazla 20 metre ile sınırlıdır. Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, IoT) aygıtları, kişisel bilgisayarlar, akıllı telefonlar ve giyilebilir cihazlar PAN ile haberleşip veri transferi gerçekleştirebilir.

Kablosuz Yerel Alan Ağı (Wireless Local Area Network, WLAN), aynı kampüs veya bina gibi sınırlı bir coğrafi alanı kapsayan ağ türüdür. Bilgisayarlar, ağ cihazları, yazıcılar, faks makineleri, sunucular, IoT aygıtları gibi birimleri yapısı içerisinde barındırabilir.

Kablosuz Şehirsal Alan Ağı (Wireless Metropolitan Area Network, WMAN), bir şehri ya da geniş bir bölgeyi kapsayan alan içerisinde bulunan cihazların kablosuz haberleşmesini sağlayan ağ türüdür. Ayrıca yapısı içerisinde birden fazla WLAN'ı bulundurma ve bağlama kapasitesine de sahiptir.

Kablosuz Geniş Alan Ağı (Wireless Wide Area Network, WWAN), bir ülke ya da küresel alan içerisinde birden fazla WLAN ve WMAN'ı birbirine bağlayan kapsama alanı olarak en geniş alana sahip ağ türüdür. Hükümetler, geniş bir coğrafi bölge içerisinde hizmet veren/faaliyet gösteren şirketler ve kuruluşlar tarafından sıklıkla kullanılır.

Yeni nesil kablosuz haberleşme teknolojileri ile çok daha hızlı veri transferi gerçekleştirileceği öngörülmektedir. 6. Nesil (6th Generation, 6G) KİT ile özellikle mobil aygıtların akıllı şehir uygulamalarından akıllı tarıma, tıptan

uydu ve uzay teknolojilerine kadar birçok alanda kullanımı ile çığır açan değişimler beklenmektedir. Ekonomik ve sosyal birçok alanda olumlu yansımalarının öngörüldüğü bu değişimler, beraberinde güvenlik sorunlarını da getirecektir. Askeri, enerji, finans ve sağlık gibi hayati birçok iletişim altyapısında 6G teknolojilerinin oluşturacağı siber güvenlik risklerinin siber terör eylemlerini de artıracığı anlamını taşımaktadır. Siber tehdit unsurlarının özellikle kritik altyapılara olası saldırılarının maddi zararın yanı sıra politik birtakım sorunlara yol açma potansiyeli vardır. Örneğin büyük maddi zarara neden olabilen fidye yazılımlar ile kritik altyapı güvenliği ve kişisel/kurumsal verilerin güvenliği risk altındadır.

Bu çalışmada, KİT araçlarının WPAN (kısa menzile sahip) iletim yöntemi türleri üzerine odaklanılmış, Hızlı Yanıt (Quick Response, QR) teknolojisi ve bu teknolojiye yönelik bir uygulama örneği üzerinden bireysel kullanıcıları bekleyen siber güvenlik risklerinden bahsedilmiştir. Muhtemel saldırı senaryoları ele alınmış ile bu senaryolardan kaynaklanabilecek tehditler ele alınmıştır. Ayrıca, potansiyel güvenlik risklerini hafifletmek için kapsayıcı çözümler önerilmiştir.

WPAN VE İLETİM YÖNTEMLERİ

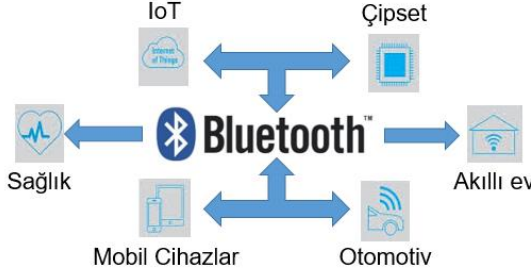
WPAN, kapsam olarak en kısa menzile sahip olan ağ türüdür. WPAN'da kullanılan cihazlar, genellikle düşük güç tüketimi, düşük veri hızı ve kısa iletişim mesafesi özelliklerine sahiptir. Kişisel cihazlar arasında veri transferini kolaylaştırdıkları için kullanıcılar tarafından oldukça yaygın tercih ve kullanım oranına sahiptir. WPAN oluşturmak için Bluetooth, ZigBee, Yakın Alan İletişimi (Near Field Communication, NFC), UWB (Ultra-WideBand), kızılötesi (infrared) ve QR teknolojileri kullanılmaktadır.

Bluetooth

Bluetooth, özellikle taşınabilir cihazlarda yer alan kablosuz kısa mesafeli, her türlü ses ve veri transferini sağlamak amacıyla sıklıkla kullanılan KİT türlerinden biridir. Mobil cihazlar, bilgisayarlar, akıllı nesnelere, multimedya aygıtları ve bilgisayar çevre birimlerini birbirine bağlamak için kullanılan kısa mesafe standardı da olarak ifade edilebilir.

Bluetooth teknolojisi, IEEE 802.15.1 standardında ve 2.4 GHz frekans bandında çalışarak (Dervişoğlu ve Yavanoğlu, 2021:22) her türlü ses ve veriyi kaynaktan alıcıya ulaştırabilmektedir. Ortamda herhangi bir engelleyici olmadığı sürece yaklaşık 10 m'ye kadar 1-3 Mbps (Yavuz vd., 2021:223, Arena ve Pau, 2019) hızında veri transferi gerçekleştirebilmektedir. Kablosuz ses iletimi, dosya paylaşımı, çevre birimlerinin bağlantısı ve IoT uygulamaları için

kullanılmaktadır. Şekil 2’de Bluetooth teknolojisinin en sık kullanıldığı alanlar gösterilmiştir.

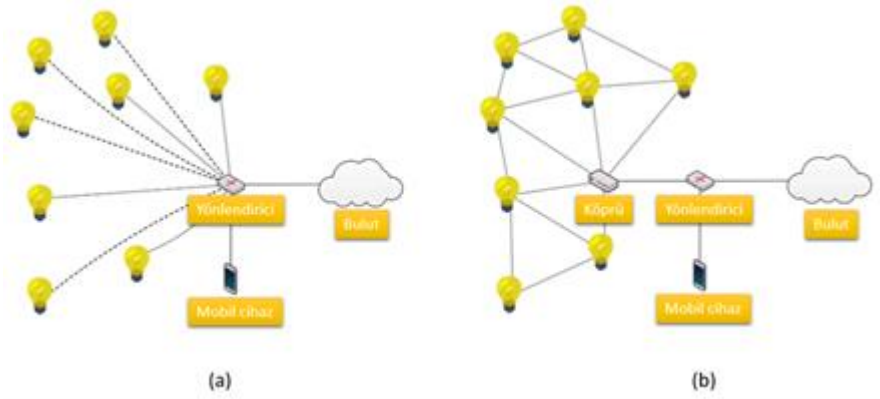


Şekil 2: Bluetooth teknolojisi kullanım alanları

Bluetooth 5 teknoloji standardının birçok alanda kullanımı ile özellikle endüstriyel alanda enerji kısıtlı IoT cihazları için gelişimine katkı sunmaktadır. Ayrıca artan menzil sınırı (250 m – 300 m) ile 100 m üzerindeki mesafelerde, daha büyük bant genişliği, düşük enerji ve 2 Mbps veri hızı sunmaktadır (Dervişoğlu ve Yavanoğlu, 2021:23; Pau vd., 2017).

ZigBee

ZigBee teknolojisi arılar ile çiçeklerin ilişkisine dayalı bir sisteme benzemektedir. Arıların çiçekler arasında zikzaklı yol alması, karmaşık (mesh) topoloji ağı içerisindeki iletim paketlerinin düğümler arası haberleşmeyi betimlemektedir. Bina otomasyonlarında, enerji yönetimi ve verimlilik alanlarında, endüstriyel kontrol ünitelerinde, akıllı ev sistemlerinde tercih edilmektedir. Bu teknolojiye desteklenen iletim aralığı, yaklaşık 250 Kbps veri aktarım hızı ile 100 metreye kadar çıkmaktadır (Yavuz vd., 2018:223; Ahangar vd., 2021). Ayrıca IEEE 802.15.4 protokolünü temel almakta olan ZigBee (Yavuz vd., 2021:223) algılayıcıların birbirleriyle ve merkezi bir kontrol cihazı ile kablosuz iletişim kurmasını sağlamaktadır, bu nedenle de kablosuz algılayıcı (sensör) ağlarının oluşturulması ve yönetilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Wi-Fi ve Bluetooth teknolojilerine kıyasla düşük enerji tüketimi ve düşük maliyetli algılayıcı ağları için çözüm imkânları sunmaktadır. Şekil 3’te kablosuz bağlantı alanı (Wireless Fidelity, Wi-Fi) ile ZigBee teknolojilerinin bir karşılaştırması verilmiştir.



Şekil 3: a) Wi-Fi ve b) ZigBee

Kaynak: (2023). Zigbee teknolojisi: Zigbee nedir? <https://endustrilab.com/zigbee-teknolojisi-zigbee-nedir/>

RFID

Radyo Frekansı ile Tanımlama (Radio Frequency Identification, RFID), fiziksel nesnelere benzersiz olarak tanımlama ve takiplerinin yapılması için geliştirilmiş bir otomatik tanımlama ve izleme teknolojisidir. Ekonomik maliyet, temassız okuma ve tatmin edici performans gibi özellikleri nedeniyle (Li vd., 2018:1; Munoz-Ausecha vd., 2021:3,4) oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olup başta stok kontrolü ve envanter takibi olmak üzere, turizm, sağlık, perakende, eğitim, hizmet sektörü, tarım, inşaat, hayvancılık, akıllı ev sistemleri ve kamuda yoğun talep görmektedir. Nesnelere otomatik tanımlanmasında birbirinden farklı yöntemler olmasına rağmen, temas yöntemi ile haberleşme yerine RF üzerinden haberleşmenin sağlanması RFID sistemlerinin pratikte daha kolay ve kullanılabilir olmasını sağlamıştır.

RFID, çoğunlukla nesneyi benzersiz bir şekilde tanımlanmak için kullanılan bir elektronik koda sahip bir etiket ve o etiketi sorgulayan bir okuyucudan (iletişimin yöneticisi) oluşmaktadır (Landaluce vd., 2020:1). Okuyucu ve nesne kimliğini belirten etiket arasındaki haberleşmede RF ve protokoller kullanılmaktadır. Veri iletişimi, okuyucu ve pasif durumda bulunan etiket arasında tam çift yönlü (full duplex) olarak gerçekleşir ve anten tarafından sağlanır. Anten sayısı, gücü veya yapısı değiştirilerek iletim mesafesi artırılabilir (Aydın, 2023:14). Okuyucudan etiketi çalışır (aktif) hale getirmek için enerji gönderilir. RFID sistemleri aynı zamanda kendi veri tabanına (nesnelere ait verileri içeren bir mikroişlemciye) sahip olup etiketlerden okunan

veriyi, aynı anda veri tabanlarındaki kayıtlı etiket verileri ile karşılaştırma yapabilirler. Şekil 4'te RFID sistem yapısı sunulmuştur.



Şekil 4: Tipik bir RFID sistemi

Kaynak: Li, C. -H., Lao, K. -W., and Tam, K. -W. (2018). A flooding warning system based on RFID tag array for energy facility. 2018 IEEE International Conference on RFID Technology & Application (RFID-TA), Macau, Macao, 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/RFID-TA.2018.8552767.

RFID etiketi, nesnelere yerleştirilen etiketleri temsil ederek üzerlerindeki kayıtlı veriyi antene yansıtır. Anten, etiketin üzerindeki kayıtlı veriyi alıp RFID okuyucuya iletir, daha sonra RFID okuyucu anten ile kablosuz bağlantı üzerinden iletişim kurarak RFID etiketinden veriyi alır son olarak elde edilen tüm veriler RFID veri tabanına ulaşır ve burada saklanır.

NFC

Birçok kullanıcı tarafından mobil cihazlarda uzun süredir kullanılan NFC teknolojisi, verinin aynı ortamda bulunan cihazlar arasında oldukça yakın mesafede genel olarak birkaç cm yakınlıkta aktarılmasını sağlayan yenilikçi bir teknolojidir. Temel olarak NFC, RFID etiketlerine benzer olarak radyo sinyalleri ile iki nesne arasındaki temassız ve kablosuz bağlantı yapısını kullanır ve 10 cm mesafeden 424 Kbps'a kadar veri hızıyla 13.56 MHz frekansında çalışır (Nikitin vd., 2007:167; Chattha, 2014:35; Hakverdi, 2021:21). NFC özelliği aktif edilmiş iki cihaz birbirlerine yaklaştırıldıklarında aktif hale gelir, içerisindeki çipler şifrelenmiş veriyi değiştirir ve NFC çip ve antenleri üzerinden aktarımı gerçekleştirir (İşler ve Gülaç, 2017:64).

Yeni nesil mobil cihazlarda bulunan NFC özelliği, özellikle fiziksel POS cihazları ile ödeme işlemlerinde, toplu taşıma biletlemeye ve ATM'lerde sıklıkla kullanılmaktadır (Chattha, 2014:35). Mobil cihazın oldukça kısa mesafeden POS cihazı üzerine getirilerek okunma işlemi gerçekleştirilmektedir. Böylece kolay ve hızlı herhangi bir plastik kart ve PIN bilgisi gerektirmeden

mobil cihaz üzerinden temassız ödeme işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Bu açıdan NFC özellikli mobil cihazların, geleneksel temassız plastik kartların yerini almasını sağlar.

NFC çipi etiket/kart (pasif) ve/veya okuyucu (aktif) modlarına sahiptir. NFC tabanlı mobil cihazlar (genellikle akıllı cihazlar), her iki modda aynı anda kullanılabilir (Chattha, 2014:35). Yapı itibari ile aktif mod, cihazın kendi radyo frekans sinyalinin oluşturması, pasif mod ise diğer cihaz tarafından meydana gelmiş radyo sinyali ile çalışması olarak ifade edilebilir (İşler ve Gülaç, 2017:64). NFC özelliğine sahip mobil cihazlar ifade edilen bu iki mod arasında hızlı geçiş yapabilirler. Gelişen teknoloji ile NFC özellikli yeni nesil mobil cihazlar, POS cihazı olarak da kullanılabilir. Bu durumda, güvenlik ile ilgili ciddi riskler de ortaya çıkmaktadır. Çünkü mobil cihazların güvenliğini sağlamak, POS cihazların güvenliğini sağlamaktan daha zordur. Fiziksel saldırılara maruz kalabilen POS cihazlarının güvenliği daha kolay sağlanabilirken, fiziksel saldırıların yanında çok çeşitli saldırılara karşı savunmasız kalabilen mobil cihazların güvenliğinin sağlanması daha güç ve zordur.

QR Kodu

QR kodu, ilk olarak 90'lı yılların başında bir Uzakdoğu otomotiv bileşenleri üretim firmasının kullanımı için hayata geçirilmiştir. Geleneksel barkodların genellikle hasara yatkın olması ve bunun sonucunda bilginin erişilemezliğine neden olması, QR teknolojinin kullanımını ve popülerliğini artırmıştır. 2000'li yıllardan itibaren müzeler tarafından kültürel ve tarihi miras hakkında bilgi sunmak, seyahat acentelerince turistik yerler ve gezilecek yerler hakkında bilgi vermek, şirketler tarafından kitapçıklara, panolara, ürünlere yerleştirilerek reklamlarını yapmak gibi amaçlarla aktif olarak kullanılmaktadır (Stupina vd., 2021:1,2). Yaygınlaşan mobil cihaz teknolojisi ile günümüzde kendine daha fazla kullanım alanı bulmuştur.

Yapısı itibari ile 2-D (2 boyutlu) barkod sistemi olan QR kodlar, tek boyutlu barkod sistemlerinin gelişmiş ve içerisinde bilgi taşıyabilen daha yüksek veri kapasitesine sahip halidir (Focardi vd., 2019:1; Dabrowski vd. 2014). Tek boyutlu barkod ile QR kodu tarama yöntemleri birbirlerinden farklıdır. Tek boyutlu barkod ince bir lazer ışınıyla taranırken, QR kodu herhangi bir açıdan bir sensör tarafından 2-D bir görüntü olarak algılanır. Kısmi görüntü hasarı durumunda bile QR kodu işlenebilir (Stupina vd., 2021:2). Ayrıca, veri kaybını önleyen güçlü güvenlik yapısı barındırmaktadır.

Herhangi bir ürüne ait bilgi, metin ve web sayfa bağlantılarına ilişkin bilgiler QR kod barkodunda taşınabilmektedir. Örnek olarak bir web sayfa içeriğine erişim için QR koda tanımlanan web alan adı bağlantısı, mobil cihazlarda

bulunan QR kod okuyucular tarafından kolaylıkla okunabilmektedir. Bu sayede kullanıcı ilgili web adresine yönlendirilebilmektedir. İlgili mesaj yani anlamlı veri, QR kod içerisinde gizlenmiştir ve geleneksel barkod sistemlerinden QR kodları ayıran en önemli özellik budur.

Birçok finans işlemlerinde çeşitli kampanyalar ile QR kod kullanımı özendirilmekte ve bu sayede kullanıcıların QR teknolojisini kullanmaları önerilmektedir. Özellikle ödeme alanlarında, QR sistemlerin çok yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Buna uygun bir senaryo örneği:

1. Ödeme alınacak işyeri için müşterinin mobil cihazından QR kodun okunması ve ödeme aşamasında bilgilerin müşterinin mobil cihazına iletilmesi
2. Basılı veya dijital ortamda bulunan QR Kodun mobil cihaz ile okuma işleminin gerçekleştirilerek ödeme bilgilerinin kullanıcıya sunulması
3. Kullanıcıya ait ödeme bilgisinin QR koda tanımlanarak iş yerindeki QR okuyucu ile okunması

KABLOSUZ İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİNE YÖNELİK SİBER SALDIRILAR

Covid-19 pandemisi sonrası küresel ölçekte artış gösteren siber saldırılar, kendini birçok alanda göstermektedir. Özellikle KİT altyapılarına yönelik gerçekleştirilen saldırılar, verinin gizliliğini, bütünlüğünü ve erişilebilirliğini olumsuz etkilemektedir. Bireysel kullanıcılar, kurum ve kuruluşların güvenliğini tehdit eden saldırılar, hedefe göre saldırının etki düzeyini de artırmaktadır. Kablosuz ağlarda gerçekleşmesi muhtemel siber saldırılar, bu bölümde açıklanmıştır.

- Dinleme (Eavesdropping) Saldırıları: Kullanıcıya ait bilgilerin, kullanıcının bilgisi dışında izinsiz olarak dilenmesi olarak tanımlanan saldırı türüdür. Özel, mahrem ve hassas bilgileri, telefon, medya ve kablosuz iletişim araçları üzerinden hukuka aykırı olarak dinlenerek gerçekleştirilir. Saldırgan tarafından bilgi sızdırmak ve maddi kazanç elde etmek için ele geçirilen veriler; banka hesap bilgileri, kredi kart numaraları, istihbarat bilgileri, kamu-şirket plan ve stratejileri olabilir. Açık hava ortamları, kablosuz iletişim ağları, halka açık ücretsiz ağlar, bu tür saldırılara açık olan yerlerdir.

- Hizmet Reddi (Denial of Service, DoS) Saldırıları: Hizmet veya kaynakların kullanılabilirliğini kısıtlama veya tümüyle engelleme amaçlı yapılan siber saldırı türüdür. Sisteme gereğinden fazla aşırı miktarda trafik yükü gönderilerek sistemin işleyişi ve kaynakların tüketilmesi hedef alınır, bu tür saldırıları gerçekleştirmek için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır: bant genişliği (bandwidth) saldırısı, uygulama katmanı saldırıları, ICMP (ping)

saldırısı, SYN/ACK saldırısı, sıfırcı-gün (zero-day) saldırısı ve Botnet saldırısı.

- Ortadaki Adam (Man in the Middle, MitM) Saldırıları: Saldırganın alıcı ve kaynak arasında tarafların bilgisi ve haberi olmadan girerek iki taraf arasında gerçekleşen iletişim kanalını izlemesi, trafiği kendi üzerinden yönlendirmesi, iletişimi manipüle etmesi olarak ifade edilebilir. MitM saldırıları, verinin gizlilik, bütünlük ve erişilebilirlik ilkelerine karşı gerçekleştirilen hassas verilerin ele geçirilmesi yöntemidir. Paket dinleme (packet sniffing), oturum ele geçirme (session hijacking), DNS sahteciliği (DNS spoofing), SSL sıyırma (SSL Striping) ve Wi-Fi sahteciliği MitM saldırısı gerçekleştirmek için kullanılan yöntemlerden bazılarıdır.

- Şeytani İkiz (Evil Twin) Saldırıları: Kablosuz ağlarda saldırgan tarafından bilinen bir kablosuz erişim noktasının taklit edilerek kullanıcıların yanıltılması amaçlanan saldırı türüdür. Kullanıcılar bildikleri kablosuz ağ adı üzerinden erişim sağladığını düşünerek aslında saldırganın kontrolünde olan sahte ağa bağlanırlar. İnternet trafiğinin gözetlenmesi, kullanıcı verilerinin çalınması ve manipüle edilmesi amaçlı bu saldırı yöntemine başvurulmaktadır.

- Kablosuz Ağlardaki Zayıf Şifreleme Saldırıları: Şifreleme, ağ trafiğini saldırılara karşı korumak için geliştirilen yöntemlerden biridir. Saldırganlar şifreleme yöntemine ait güvenlik açıklıklarından faydalanarak siber saldırı gerçekleştirebilir. Yetersiz ve zayıf şifreleme kullanılan kablosuz ağlarda ciddi güvenlik riskleri oluşturmaktadır. WEP Kırma, WPA Kırma, Kaba Kuvvet (Brute Force) Saldırıları, Sözlük Saldırıları zayıf şifreleme saldırılarına örnek olarak verilebilir.

- MAC Sahtekarlığı (Spoofing) Saldırıları: MAC adreslerinin taklit edilerek ağ trafiğinin manipüle edilmesine ve pasif saldırı yöntemi ile ağı erişim sağlanarak cihaza ait MAC adresinin taklit edilmesine dayalı bir siber saldırı türüdür. Ağ Trafikinin İzlenmesi (Packet Sniffing), Erişim Kontrolü Atlama (Access Control Bypass), Kimlik Saklama (Identity Concealing) ve DoS saldırı amaçlarıyla yapılmaktadır.

QR KOD İLE OLTALAMA SALDIRISI

QR sistemleri, hızlı okunma ve pratik kullanım avantajları ile günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. İnsanlar genellikle QR kodlarını tarama ve içeriklerine güvenme eğilimindedir, ancak kod içeriğinin orijinalliğini ve gizliliğini sağlayacak standart bir mekanizma yoktur (Focardi vd., 2019:1). QR sistemleri, yapılarında çeşitli riskleri barındırmaktadır. Kötü amaçlı bir web sitesine yönlendirme, sahte ödeme işlemi gerçekleştirme veya

akıllı telefona kötü amaçlı yazılım bulaştırma gibi saldırılar pratikte gerçekçi ve uygulanabilirdir.

QR kodlar özellikle oltalama (phishing) saldırılarında son dönemlerde yaygın olarak saldırganlar tarafından kullanılmaktadır. Şekil 5'te QR kod kullanımının bir güvenlik unsuru olarak ele alınması gerektiği ifade edilmiştir.

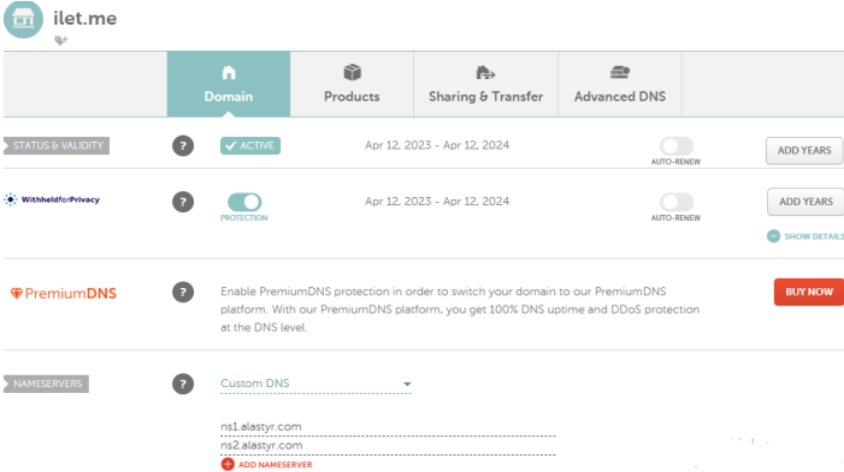


Şekil 5: QR kod ve güvenlik

E-posta, mesaj (SMS) veya sahte bir web sitesi gibi yöntemlerle kullanıcıların zaaflarından ve dikkatsizliklerinden faydalanarak oltalama saldırıları gerçekleştirilmektedir. Bu tür saldırılarda kullanıcılara ait kişisel veriler, finansal bilgiler, kart ve kimlik numaraları, cihaz kontrolü ve cihaz bilgileri hedef alınmaktadır.

Bu çalışmada bir QR örneği üzerinden saldırganların içeriği nasıl manipüle ettikleri, QR kod okutulması ile zararlı içeriğin kullanıcının farkına varmadan arka planda cihaza nasıl indirildiği üzerine bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulama işlem adımları devamında detaylandırılmıştır.

QR kod ile kullanıcıların bağlantıya yönlendirilmesi için uygun bir domain adresinin alınması gerekmektedir. Bu nedenle, ücretsiz alan adı (domain) servislerinden "ilet.me" adresinde bir alan adı tahsis edilmiş ve ad sunucusu (nameserver) yönlendirmesi gerçekleştirilmiştir (bkz. Şekil 6). Daha sonra web sayfasına ait barındırma (hosting) hizmeti alınmıştır (bkz. Şekil 7).



Şekil 6: Alan adı tahsis ve ad sunucusu yönlendirme işlemleri

Toplam 1 sayfa içerisinde 1 ve 1 arası görüntülenmektedir

Ürün / Hizmet	Tutar	Sonraki Son Ödeme Tarihi	Durum
NanoLinux Bireysel Hosting ilet.me	16.87 Yıllık	17/10/2024	Active

10 kayıt göster

Önceki 1 İleri

Şekil 7: Barındırma işleminin gerçekleştirilmesi

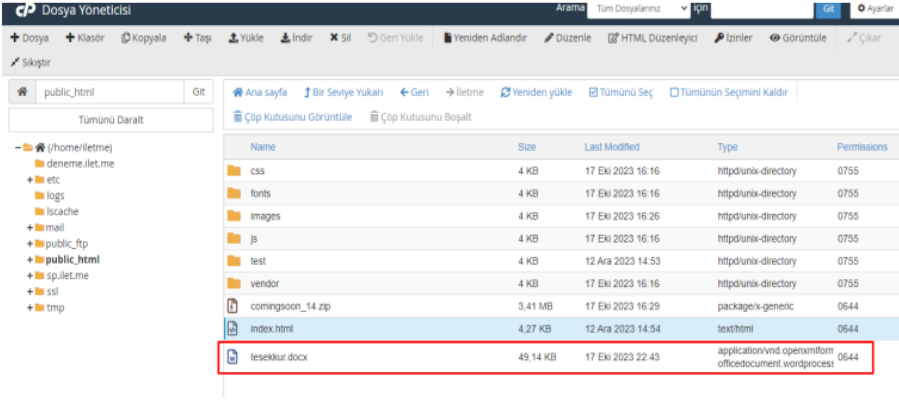
Kullanıcıların web sayfasına erişimi ve dosya içeriğinin (örneğin, zararlı dosya eklentisi) QR koda entegrasyonu için herhangi bir QR kod oluşturma uygulamalarından QR kodun oluşturulması Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8: Örnek bir QR kod

QR kod içerisine gizlenmiş olan dosya, kod okuma işlemi gerçekleşirken arka planda kullanıcının cihazına inmektedir. Bunun için hazırlanan “tesekkur.docx” dosyası, Şekil 9’da görüldüğü gibi HTML dosyası içerisine

yüklenmiştir. Uygulamada senaryo gereği, siber tehdit farkındalığına dikkat çekmek amaçlı bir konferansta bu işlem gerçekleştirilmiştir. Öncesinde kullanıcıların güveni kazanıldığından kullanıcının QR kod ile ilgili şüphe duyma olasılığı en aza indirilmiştir. Konferansa katılan kişilerce QR kod okutulması sonucu Word dosyası cihazlarına inmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, bir zararlı barındırmayan bu dosyanın herhangi bir zararlı dosya olabileceği gerçeğidir ve dosyanın indirilmesine asla ve asla izin verilmemelidir.



Şekil 9: QR içine gizlenmiş dosyanın web sayfasına eklenmesi

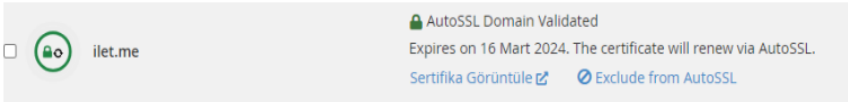
Dosya indirme işleminin gerçekleşmesi için ilgili kod bloğu örneği ve sitenin güvenilir olduğunu belirtmek ve güvenlik uyarısı almamak için (güven kazanmak için) SSL sertifikası alma işlemi Şekil 10'da verilmiştir.

```
<iframe width="1" height="1" frameborder="0" src="https://ilet.me/tesekkur.docx"></iframe>
```

Yukarıdaki kod parçasını ekliyoruz. Bu kod parçası arka planda dosya indirme işlemi yapar.

```
</body>
<iframe width="1" height="1" frameborder="0" src="https://ilet.me/tesekkur.docx"
></iframe>
</html>
```

5- Daha güvenli görünmek için ücretsiz ssl sertifikası alıyoruz.



Şekil 10: Dosya indirme kodu ve SSL sertifika alma işlemi

QR kod okutma işlemi ile kullanıcının web sayfasına yönlendirilmesi ve dosyanın başarı şekilde indirilmesi Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11: QR kod ile web sayfasına erişim ve zararlı olabilecek dosyanın indirilmesi

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

KİT aygıtlarının kullanımında güvenlik önemli bir unsurdur. Her geçen gün sayı ve çeşit olarak artan siber güvenlik saldırılarının, çoğunlukla kablosuz iletişim ağlarına yönelik olduğu görülmektedir. Bu durum, KİT cihazlarının temel prensipleri ve kullanımlarıyla ilgili potansiyel güvenlik riskleri konusunda kapsamlı bir anlayış geliştirme ihtiyacının önemini vurgulamaktadır.

Özellikle temassız gerçekleşen veri iletim yöntemlerinde çalışmada da ele alındığı üzere QR kod tabanlı işlemlerde kullanıcılar daha çok dikkatli olmalıdır. QR kod uygulamaları ile gerçekleştirilen saldırı yöntemlerinde, kullanıcıların güveninden ve/veya dikkat eksikliğinden faydalanılarak her türlü veri ihlali ve manipülasyonlar gerçekleştirilebilmektedir. Uygulamada ifade edildiği üzere QR içerisinde her türlü bilgi taşınabilmekte ve normal göz ile kod içeriği görülemediğinden birçok siber saldırı ve tuzaklar gizlenebilmektedir. Örnek senaryoda ifade edilen siber tehdit unsuru, QR içerisine gizlenmiş bir dosyadır. Bu dosya yerine herhangi yürütülebilir bir zararlı yazılım kod parçası, solucan veya virüs eklenmesi ile kullanıcı cihazı, siber saldırıya uğrayabilir. Bu tür durumlara karşı alınabilecek güvenlik önlemleri aşağıda sıralanmıştır:

- Güçlü şifreleme kullanımı önemli olup kablosuz ağlar, WPA3 ile güvenli hale getirilebilir.
- Kablosuz yönlendiriciye veya ağa erişilmek istendiğinde kullanıcı adı ve güçlü parola (karmaşık, benzersiz) kullanılmalıdır.

- Ağ kimliği görünürlüğünü gizlenmeli ve diğer güvenlik önlemleri ele alınmalıdır.
- Kablosuz ağ erişiminde MAC kontrolü yapılmalıdır.
- Güvenlik duvarı ve güncel yazılımlar kullanılmalıdır.
- Sanal özel ağ kullanılarak veriler şifrelenmeli ve güvenli iletişim sağlanmalıdır.
- Temassız teknolojiler kullanılırken bağlantı içerikleri iyi analiz edilmelidir.
- Şüpheli e-posta içeriklerine dikkat edilmelidir.
- SSL sertifikasına sahip web siteleri kullanılmalı ve hatta bağlantının gerçek bir web adres olup olmadığı kontrol edilmelidir.

REFERANSLAR

- Ahangar, M. N., Ahmed, Q. Z., Khan, F. A., and Hafeez, M. (2021). A survey of autonomous vehicles: enabling communication technologies and challenges. *Sensors*, 21(3), 706. doi:10.3390/s21030706.
- Arena, F. and Pau, G. (2019). An overview of vehicular communications. *Future Internet*, 11(2), 27. doi: 10.3390/fi11020027.
- Aydın, Ö. (2023). *Kıt Kaynaklı Cihazlarda Güvenlik ve Gizlilik*, İzmir: İzmir Akademi Derneği, 1. Baskı.
- Benmammam, B. and Amraoui, A. (2014). Réseaux de radio cognitive: Allocation des ressources radio et accès dynamique au spectre. *arXiv preprint*, arXiv:1407.2705.
- Chattha, N. A. (2014). NFC - vulnerabilities and defense. *2014 IEEE Conference on Information Assurance and Cyber Security (CIACS)*, Rawalpindi, Pakistan, pp. 35-38. doi: 10.1109/CIACS.2014.6861328.
- Dabrowski, A., Kromholz, K., Ullrich, J., and Weippl, E. (2014). QR inception: barcode-in-barcode attacks. *4th ACM workshop on security and privacy in smartphones and mobile devices (SPSM'14)*, p. 3–10.
- Dervişoğlu, İ. and Yavanoğlu, U. (2021). Security threats and performance evaluation of ultra wideband and bluetooth low energy technologies for indoor positioning. *2021 International Conference on Information Security and Cryptology (ISCTURKEY)*, Ankara, Türkiye, pp. 22-27. doi: 10.1109/ISCTURKEY53027.2021.9654342.
- Endustrilab. (2023). Zigbee teknolojisi: Zigbee nedir? <https://endustrilab.com/zigbee-teknolojisi-zigbee-nedir/> adresinden 18 Aralık 2023 tarihinde alınmıştır.
- Focardi, R., Luccio, F. L., and Wahsheh H. A. M. (2019). Usable security for QR code. *Journal of Information Security and Applications*, 48, 102369. doi: 10.1016/j.jisa.2019.102369.
- Hakverdi, F. (2021). Akıllı şehirlerde engelsiz akıllı ulaşım, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- İşler, B. ve Gülaç, H. (2017). Mobil ödemeler, güvenlik sorunları ve çözüm önerileri. *BDDK Bankacılık ve Finansal Piyasalar*, 11(2), 53-86.
- Landaluce, H., Arjona, L., Perillos, A., Falcone, F., Angulo, I., and Muralter, F. (2020). A Review of IoT sensing applications and challenges using RFID and wireless sensor networks. *Sensors*, 20, 2495. doi: 10.3390/s20092495.
- Li, C. -H., Lao, K. -W., and Tam, K. -W. (2018). A flooding warning system based on RFID tag array for energy facility. *2018 IEEE International*

- Conference on RFID Technology & Application (RFID-TA)*, Macao, Macao, 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/RFID-TA.2018.8552767.
- Munoz-Ausecha, C., Ruiz-Rosero, J., and Ramirez-Gonzalez, G. (2021). RFID applications and security review. *Computation*, 9, 69. doi: 10.3390/computation9060069
- Nikitin, P. V., Rao, K. V. S., Lazar, S. (2007). An overview of near field UHF RFID. *2007 IEEE International Conference on RFID*, Grapevine, TX, USA, pp. 167-174.
- Pau, G., Collotta, M., and Maniscalco, V. (2017). Bluetooth 5 energy management through a fuzzy-pso solution for mobile devices of Internet of things. *Energies*, 10(7), p. 992.
- Stupina, M. V., Anistratenko, K. V., and Pazina, L. O. (2021) *Journal of Physics: Conference Series*, 2131(2021), 022077. doi: 10.1088/1742-6596/2131/2/022077.
- Vidas, T., Owusu, E., Wang, S., Zeng, C., Cranor, L., and Christin, N. (2013). QRishing : the susceptibility of smartphone users to QR code phishing attacks. *Proceedings of financial cryptography and data security (FC'13)*, LNCS, Springer, 7862, p. 52-69.
- Wheeler, A. (2007). Commercial Applications of Wireless Sensor Networks Using ZigBee. *IEEE Communications Magazine*, 45(4), 70-77. doi: 10.1109/mcom.2007.343615.
- Yavuz, M. N., Özen, H., and Şahin, O., (2021). Effects of Connected and Autonomous Vehicles on Traffic and Mobility. *6th International Congress on Innovative Scientific Approaches*, Samsun, Türkiye, 220-230.

Bölüm 18

MUTFAK ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE FARKLI BİR YAKLAŞIM

Abdülkadir DİLBER¹
Süleyman GÖKMEN²

GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada yemek fabrikaları, fast-food işletmelerinin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu artışa paralel olarak bu işletmelerde meydana gelen atıkların çoğu değerlendirilememekle birlikte çevre kirliliğine, kontaminasyonlara, gıda zehirlenmelerine ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu olumsuzlukların azaltılması yada kabul edilebilir düzeylere indirilmesi adına atıkların değerlendirilmesinde farklı yöntemlerin araştırılması zorunlu hale gelmiştir. Bu çalışmada mutfak atıklarının değerlendirilmesinde farklı bir metot olarak atıkların enzim üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Mutfak Atıklarının Tanımı ve Sınıflandırılması; mutfak atıkları yemekhanelerde ve/veya toplu beslenme yerlerinde ortaya çıkan organik ve inorganik kaynaklı bileşenlerdir. Bu bileşenlerin hemen hemen tamamını ambalaj, temizlik ve gıda atıkları oluşturmaktadır (Karasu, 2013:20-50 ;İrkin vd., 2023: 805-836).

Bu atıkları şu şekilde sınıflandırmak mümkündür;

Atıkların Sınıflandırılması

Kaynağına göre; Organik ve İnorganik atıklar

Organik atıklar

Yemek kalıntıları

Sebze ve meyve atıkları

Kahve ve çay menşeli atıklar

İnorganik atıklar; ambalaj ve paketlenme ile ilgili atıklar; cam kavanozlar, plastik ve cam şişeler, karton kutular örnekleridir. Bunların dışında alüminyum folyo ve plastik torbalar diğer örneklerdir. Temizlik malzemeleri atıklarında ise kağıt peçete, havlu, süngerler, kullanılmış bulaşık ve/veya temizlik bezleri

¹ Dr Öğretim Üyesi.; Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü. akdilber@kmu.edu.tr ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6130-7194>

² Dr Öğretim Üyesi.; Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü. sugokmen@kmu.edu.tr ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7397-6966>

örnek olarak verilebilir. Tüm bunların yanı sıra yemekhanelerde fındık ve yumurta kabukları ile kuru baklagillerin ambalaj atıkları diğer atıklara örnek olarak verilebilir (Karasu, 2013:20-50 ;İrkin vd., 2023: 805-836).

Oluşan bu atıkların atık yönetimi oldukça önemlidir. Bu nedenle bu atıkların geri dönüşümü hem çevre, hem sağlık hem de maliyet açısından önem arz etmektedir. Organik olarak adlandırılan atıklar kompost üretimi için kullanılabilir. Birlikte bitki beslemede de önemli besleme materyali olarak yararlanılabilir. Ayrıca yemekhanelerde meydana gelen atıklar topraklar için verimli bir gübre materyali olarak değerlendirilebilmekle birlikte doğal olarak üretilen temizlik ürünlerinin üretimi de mümkün olabilmektedir (Karasu, 2013: 20-50 ; İrkin vd., 2023: 805-836). Ambalaj atıklarında ise geri dönüşüm önemlidir. Ambalaj malzemesi atıkları kaynağından ayırt edilerek geri dönüşüme gönderilebilmektedir. Temizlikte meydana gelen atıklar iase işletmenin özel olarak tasarladığı bir atık yönetim sistemine katılmalı ve kontrolü rutin olarak gerçekleştirilmelidir (Eren ve Taşarsu, 2023: 65-74).

Enzimlerin Tanımı ve Özellikleri

Enzimler biyolojik katalizör olarak tanımlanmakla birlikte biyolojik mekanizmalarda hayati öneme sahip olan protein tabiatında bileşenlerdir. Ayrıca hücrede biyokimyasal olayları katalize eden ve canlılık süreçlerini de düzenleyen önemli rollere de sahiplerdir (Copeland, 2023:1-12; Ghattavi & Homaei, 2023:123-136).

Enzimler genel olarak kimyasal reaksiyonları hızlandırır. Bu sayede reaksiyonların daha kısa sürede daha verimli, daha hızlı bir şekilde gerçekleşmesini sağlayıp reaksiyonda herhangi değişime uğramayıp reaksiyondan olduğu gibi çıkan madde/maddelerdir. Bazen yıllarca süren reaksiyonlar enzimler sayesinde birkaç dakikada gerçekleşebilmektedir. Bunun en önemli örneğini sindirim enzimleri oluşturmaktadır. Enzimlerin bir diğer önemli özelliği ise özgünlüğüdür. Yani bir enzim yalnızca belli substratlara etki edebilmektedir. Bu özgünlük sayesinde hücrenin biyokimyasal olayların kontrolünün temelini oluşturmaktadır. Aynı şekilde enzimlerin düzenleyici bir rolleri de vardır. Burada ise hücrel reaksiyonların kontrol edilmesi ve düzenlenmesinde enzimlerin bu özelliklerinden yararlanır. Enzimler gerçekleşecek olan reaksiyonun aktivasyon enerjisini azaltmasından dolayı enerji tasarrufu da sağlamaktadır. Protein sentezi, DNA replikasyonu gibi hücrel süreçlerde de önemli rol almaktadırlar. Metabolik faaliyetlerdeki tüm kimyasal reaksiyonlarda, enzimlerin katılması gerekmektedir. Tüm bu kullanım alanlarının yanı sıra enzimler son zamanlarda bazı hastalıkların teşhis ve tedavilerinde önemli bir rol oynamaktadır. En bilinen tedavi ve teşhis örneği ise

organ hasarlarının tedavisi ve takibidir. Tüm bu nedenlerden dolayı biyolojik sistemin temel yapı taşıdır ve hayati görevlere sahiptirler Ghattavi & Homaei,2023:123-136).

Mutfak Atıklarından Enzim Üretimi

Mutfak atıklarını kullanarak enzim üretimi, sürdürülebilir bir yaklaşım olabilir. Enzimler, biyolojik katalizörlerdir ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılırlar. Evde mutfak atıklarından enzim üretmek için genellikle üç ana bileşen gereklidir: su, şeker ve bir mikroorganizma kaynağı. İşte mutfak atıklarından enzim üretimi için temel adımlar:

1. Malzemeleri Hazırlama:

Su: Enzim üretimi için kullanılacak su temiz ve klor içermeyen su olmalıdır.

Şeker: Şeker, enzimlerin üremesi için gerekli olan karbon kaynağıdır. Genellikle kahverengi şeker veya beyaz şeker kullanılabilir.

Mutfak Atıkları: Kabuklu sebzeler, meyve kalıntıları veya organik atıklar enzim üretiminde kullanılabilir.

2. Kaba Bir Karışım Oluşturma:

Bir kaba su eklenir ve şeker ekleyerek karıştırılır. Genellikle bir litre suya bir su bardağı şeker oranı kullanılabilir.

3. Mutfak Atıkları Eklenir:

Mutfak atıklarını ekleyerek karışımı zenginleştirilir. Bu karışım, karbon ve diğer besin maddelerini enzim üretimi için mikroorganizmalara sağlar.

4. Hava Geçirmez Bir Kap Kullanılır:

Karışımı hava geçirmez bir kaba yerleştirilir. Bu, mikroorganizmaların oksijenle temasını sınırlayarak enzim üretimini teşvik eder.

5. Karışımı Güneş Işığına Maruz Bırakılır:

Karışımı güneş ışığına bırakmak, enzim üretimini hızlandırabilir. Ancak, karışımın aşırı sıcaklık değişimlerinden kaçınmak önemlidir.

6. Bekleme Süresi:

Karışımı belirli bir süre boyunca (genellikle birkaç hafta) bekletilir. Bu süre içinde mikroorganizmalar karışımı fermente edecek ve enzimler üretecektir.

7. Filtreleme ve Saklama:

Fermentasyon süreci tamamlandıktan sonra karışımı süzülür. Elde edilen sıvı, doğal olarak üretilen enzim içerecektir. Bu sıvıyı uygun bir kaptaki saklanabilir (Öncel vd., 2023: 602-613).

Bu basit ev yapımı enzim süreci, temelde mikroorganizmaların doğal olarak ortaya çıkan fermentasyon süreciyle enzimleri üretmelerine dayanır. Ancak, bu işlem kontrol edilemeyebilir ve ticari olarak üretilen enzimlere kıyasla belirli standartlarda olmayabilir. Ayrıca, hijyen ve güvenlik konularına dikkat etmek

önemlidir. Bu ev yapımı temizlik enzimi genellikle doğal temizlik maddesi olarak kullanılır. Ancak, sürecin kontrollü ve hijyenik bir ortamda gerçekleştirilmesi önemlidir. Ayrıca, herhangi bir alerji riskini azaltmak için bu enzimleri kullanmadan önce küçük bir yüzeyde test etmek de akıllıca olacaktır. Atıkların bir diğer bölümünü gıda atıkları oluşturmaktadır. Bu atıklar her geçen gün daha fazla artmaktadır (Öncel vd., 2023: 602-613; Öner,2023: 1713-1741).

Gıda atıkları, çevreden atılan bir tür organik atıktır. Yıllar içinde nüfus, şehirleşme ve ekonomik gelişmedeki hızlı artışla birlikte, evlerden, restoranlardan, halka açık yemekhanelerden ve otellerden her gün bol miktarda mutfak atığı üretiliyor. Çin'de yapılan bir araştırmaya göre haneler, kafeteryalar ve restoranlar, Çin'deki belediye katı çöpünün önemli bir oranı temsil etmektedir. Çin'de her gün 1300 tondan fazla mutfaklardan gıda atığı üretilmektedir.

Mutfak atıkları; pişmiş yemek atıkları, artık meyve ve sebzeler, et, kabuklar ve çekirdekler, yumurta kabukları, kullanılmış yağ ve gresleri içerir. Genellikle hızla ayrışan, böcekleri ve kemirgenleri çeken hoş olmayan aromalara sahip organik atık olarak düşünülür. Mutfak atık kalıntıları karbonhidratlar, proteinler, lipitler, lignin, organik asitler, inorganik tuzlar ve diğer biyoaktif maddeler açısından zengindir ve bu nedenle mikroorganizmalar tarafından enzim üretimi için çekici substratlar olarak kullanılabilir.

Bu nedenle mutfak atıkları substrat olarak farklı enzimlerin üretiminde kullanılmaktadır. Bununla ilgili yapılan literatür araştırmaları aşağıda verilmiştir.

Karbonhidraz grubu enzimler için substrat olarak kullanımı

Glukoamilaz üretimi (Bhatt et al.,2020 101654; Niyomiza et al., 2020: 9-19; Pan et al., 2021: 172; Sharma et al., 2022:1373; Wang et al., 2022:560-566).

Gıda atıklarından glukoamilaz üretmek için daldırılmış fermantasyon kullanıldı, çünkü gıda atıklarındaki su içeriği katı hal fermantasyonunun su sınırını büyük ölçüde aşmaktadır. Bu konu ile ilgili yapılan bir çalışmada Glukoamilaz sentezi için en uygun koşulları oluşturmak için ek besinler, gıda atığı konsantrasyonu ve parçalama işlemi faktörleri araştırılmıştır. Gıda atıklarının hidrolizinde ham glukoamilaz uygulaması değerlendirilmiştir. Bu amaçla substrat olarak kullanılan mutfak atığının özellikleri; öğrenci kafeteryasından izole edilmiştir. Mutfak atığı öncelikle filtre edilip fazla suyu alınmıştır. Daha sonra atık 1.5 mm nin altında olana kadar değirmende öğütülmüştür. Ezilmiş olan örnekler kullanıma kadar 20°C'de saklanmıştır. Örnekler kuru ağırlık bazında değerlendirilmiştir. Örnekler ilk önce

mikroorganizma inokulum hazırlamada kullanılmıştır. Bu amaçla *A. niger* glukoamilaz üretimi için kullanılmıştır. Patates dekstroz agar slantları üzerinde 4°C'de muhafaza edilmiştir. (%): parçalanmış atıklar 2.50 (kuru bazda) ve agar 1.8'den oluşan parçalanmış Ögütülmüş atıklar agar slantları üzerinde 30°C'de 4 gün kültürlendikten sonra, *A. niger* UV-60 sporları toplandı ve süspansiyon (10^6 sporlar/ml) steril su ile, daha sonra spor süspansiyonu inokulum olarak kullanılmıştır. Anı şekilde bu amaçla Plackett-Burman Deney Tasarımından yararlanılmıştır. Fermantasyon sürecinin optimizasyonu daha sonra gerçekleştirilmiştir. Sürecin optimizasyonu için farklı konsantrasyon seviyelerinde (kuru bazda) atıklar substrat olarak kullanılmıştır. Fermantasyon sürecinde tüm bu deneyler, 200 ml üreme ortamı içeren 500 ml'lik Erlenmeyer şişelerinde üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. *A. niger* UV-60'ın spor süspansiyonları (10^6 spor/ml) ve 30°C'de 120 saat boyunca 120 rpm'de bir döner çalkalayıcıda inkübe edilmiştir. Fermantasyon suyu, enzim, indirgeyici şeker ve pH deneyi için aralıklarla örneklenmiştir. Fermantasyon sırasında ham atıkların partikül boyutunun belirgin şekilde bozulmasını göstermek için, üretim ortamının altı ve üstü bir dijital kamera ile resmedilmiştir (DSC-W70, Sony Inc., Japonya).

Parçalanmış atık konsantrasyonunun *A. niger* UV-60'ın büyümesi üzerindeki etkisi, farklı konsantrasyonlarda (%1,25, %2,50, %3,75 ve %6.25, kuru bazda) araştırılmıştır. Her deney üç kez tekrarlanmıştır. Agar plakaları, merkezde 4 günlük konidia ile inoküle edilmiştir. *A. niger* UV-60 patates dekstroz agar yüzeyinden steril bir platin öze kullanılarak toplandı ve 30°C'de 120 saat inkübe edildi. Büyüme, aşılama noktasından yayılan kültürün koloni çapı ölçülerek her 24 saatte bir izlenmiştir.

Bu aşamada gıda atıklarının hidrolizi ile Glukoamilazın üretimi gerçekleştirilmiştir. *A. niger* UV-60'ın fermantasyon nevisi, 4000 rpm'de 5 dakika santrifüjlenmiş ve %10 (ağırlık/hacim, kuru baz) parçalanmış atık bulamacının hidrolize edilmesi için ham gluoamilaz preparasyonu olarak kullanıldı. Enzimatik hidroliz, 15 g (kuru bazda) ezilmiş FW, musluk suyu ve glukoamilaz müstahzarından oluşan 150 ml'lik bir karışım içeren 250 ml'lik Erlenmeyer şişesinde üç tekrarlı olarak gerçekleştirildi. 15 g parçalanmış atık ve uygun musluk suyu eklendikten sonra, şişe belirli bir sıcaklığa kadar ılıtıldı, ardından uygun dozda ham enzim ilave edilmiştir. Her şişeye 180 U/g kuru FW yani 19.7 ml (137 U/ml) sıvı enzim ilave edildi ve son olarak döner çalkalayıcıda 160 rpm'de sıcaklıkta inkübe edildi. Şekeri indirgeme testi için, reaksiyon karışımından aralıklarla numune alındı ve reaksiyonu durdurabilen 0.5 M NaOH ile seyreltildi. Glukoamilaz aktivitesinin belirlenmesi için 1 mililitrelik numune, 0.1 M sodyum asetat tamponu (pH 4.6) ile uygun bir enzim

konsantrasyonuna seyreltildi, döner çalkalayıcıda 180 rpm'de 10 dakika homojenleştirildi ve ardından tülbentten süzüldü. Bir mililitrelik filtrat, 0.1 M sodyum asetat tamponunda (pH 4.6) çözülmüş 1 ml %1 (ağırlık/hacim) çözüner nişasta ile 55°C'de 10 dakika süreyle inkübe edildi ve daha sonra üretilen indirgeyici şeker belirlendi. Böylece aktivite bu şekilde hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Çalışmada basit bir glukoamilaz süreci geliştirmiştir.
- Atıkların değirmende parçalanması işlemi enzim üretim sürecini önemli düzeyde etkilememiştir.

Optimum substrat konsantrasyonu altındaki inokulum koşulları; %5 (v/w, 106 spor/ml), sıcaklık 30.8C, nötr pH, çalkalama hızı 120 rpm ve fermantasyon süre 96 saat, maksimum glukoamilaz 126 U/ml ve 137 U/ml sırasıyla %2,50 ezilmiş ve %3,75 ham atıktan üretilebilir (Moon et al., 2011; Li et al., 2016; Xu et al., 2020).

Bacillus amyloliquefaciens dan KCP2 amilaz üretimi için ekonomik mutfak atığının kullanımı : (Bhatt et al.,2020 101654; Niyomiza et al., 2020: 9-19; Pan et al., 2021: 172; Sharma et al., 2022:1373; Wang et al., 2022:560-566).

Bu çalışmada ise mutfak atıkları ekonomik substrat olarak kullanılarak α -amilaz üretimi gerçekleştirilmiştir. *Bacillus amyloliquefaciens* KCP2, tek karbon ve nitrojen substratı olarak kuru mutfak atığı kullanılarak katı hal fermantasyon işlemiyle amilaz üretimi için kullanılmıştır. Öncelikle mikrobiyal gelişme için; *Bacillus amyloliquefaciens* KCP2, 16s r-DNA dizilimi kullanılarak tanımlandı (Prajapati ve diğerleri, 2015) ve 4 °C'de nişasta agar slantları üzerinde muhafaza edildi. Amilaz üretim yeteneği, öncelikle nişasta hidrolizinin belirlenmesiyle nişasta agar plakası üzerinde kontrol edildi. Plaka çizgilendi ve 48 saat 37°C'de inkübe edildi. Nişasta hidroliz bölgesini belirlemek için nişasta agar plakasına Gram iyot çözeltisi dökülmüştür.

Yüzey hazırlığı ve karakterizasyonu aşamasında ise mutfak atıkları, Hindistan, Gujarat, Vallabh Vidyanagar'daki çeşitli öğrenci yemekhanelerinden toplandı. Toplanan atıklar homojenize edilerek, toplanan atık maddenin nem içeriğine bağlı olarak 60 °C'de sıcak hava etüvünde 24–48 saat süreyle kurutuldu. Kurutulmuş atık ezildi ve amilaz üretimi için substrat olarak kullanıldı.

Aşılama hazırlık safhasında 1 öze dolusu bakteri kültürü, besin suyu içinde aşılandı ve 37°C'de ve 150 rpm'de bir döner çalkalayıcıda tutuldu. Bir gecede büyütülen bakteri kültürü, 7000 rpm'de 10 dakika santrifüjlendi. Bakteriyel hücre topağı, bir optik yoğunluk (OD) birimi elde etmek için N-tuzlu

su (%0.85 sodyum klorür çözeltisi) içinde süspansedildi. Amilaz üretimi için 5 gr kurutulmuş mutfak atığı içeren 250 ml Erlenmeyer şişesine 15 ml mineral tuz solüsyonu eklenmiştir.

Amilaz ekstraksiyonunda ise fermentasyon, 37°C'de statik koşullar altında 72 saat süreyle gerçekleştirildi. Fermentasyon sonrası amilaz enziminin ekstraksiyonu için 35 ml sodyum fosfat tamponu (pH 8) ilave edilerek 150 rpm'de 20 dk 30 °C'de çalkalayıcıda bekletildi. Örnekler tülbenkten süzüldü ve 8000 rpm'de 30 dk santrifüjlendi ve süpernatant, U/gds (kuru substratın gramı başına birim) olarak ifade edilen amilaz aktivitesini belirlemek için test edildi.

Enzimin belirlenmesi aşamasında; amilaz tahlili, standart 3,5-dinitrosalisilik asit (DNSA) yöntemiyle yapılmıştır. Reaksiyon karışımı 0,9 ml 0,05 M fosfat tamponu (pH 8), 0,1 ml uygun şekilde seyreltilmiş enzim özü ve 1,0 ml %1 çözünür nişastadan oluşur ve 65°C'de 10 dakika inkübe edilmiştir. 1 ml DNSA solüsyonu eklenerek reaksiyon durdurulmuştur ve numuneler kaynar su banyosunda 10 dakika kaynatılmıştır. Serbest kalan indirgeyici şekerler, bir spektrofotometre kullanılarak 540 nm'de absorbans alınarak belirlenmiştir. Glikoz, şeker tahminini azaltmak için standart olarak kullanılmıştır. Bir birim amilaz aktivitesi, standart tahlil koşulları altında dakikada 1 µmol glikoz salan amilaz miktarı olarak tanımlanır. Enzim aktivitesi, U/gds (gram kuru substrat) olarak ifade edilmiştir.

Proses parametrelerinin optimizasyonu aşağıdaki aşamaları içermektedir.

Katı hal fermentasyonu kullanılarak *B. amyloliquefaciens* KCP2 suşu tarafından daha yüksek miktarda amilaz üretmek için çeşitli fiziksel parametrelerin etkisi kontrol edilmiş ve optimize edilmiştir.

- Fermentasyon süresinin amilaz üretimine etkisi: Fermentasyon süresinin amilaz üretimi üzerindeki etkisi, aşılınmış şişelerin çeşitli zaman aralıklarında (24 saat, 48 saat, 72 saat, 96 saat ve 120 saat) inkübe edilmesiyle belirlenmiştir

- Fermentasyon sıcaklığının amilaz üretimine etkisi: Optimum fermentasyon sıcaklığı için çalışma, aşılınmış şişeler çeşitli sıcaklıklarda (25 °C, 30 °C, 37 °C, 45 °C) 72 saat inkübe edilerek gerçekleştirilmiştir.

- İlk nem içeriğinin amilaz üretimi üzerindeki etkisi: Başlangıç nem içerikleri, maksimum amilaz üretimi için optimum gereksinimini kontrol etmek üzere 1:1 ila 1:5'lik alt-tabaka-nem oranı için ayarlanmıştır. Amilaz üretimi, 37°C'de 72 saatlik büyümeden sonra kontrol edilmiştir.

- İlk pH'nın amilaz üretimi üzerindeki etkisi: Amilaz üretimi üzerindeki etkisini değerlendirmek için fermentasyon ortamının başlangıç pH'ı 4.0-10.0 aralığında ayarlanmıştır. Fermentasyon, 72 saatlik fermentasyon süresi boyunca 1:3 nem içeriği ile 37°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir.

- Aşı konsantrasyonunun amilaz üretimi üzerindeki etkisi: Aşı konsantrasyonunun (v/w) etkisi, fermantasyon ortamını %10, %20, %30, %40 ve %50 gibi inokulum konsantrasyonları ile inkübe ederek incelenmiştir. Başlangıç pH'ı 8.0 olan 1:3 nem içeriğine sahip fermantasyon ortamı, amilaz üretimini belirlemek için 72 saatlik fermantasyon süresi boyunca 37°C'de inkübe edilmiştir.

- Enzimin kısmi saflaştırılması ve karakterizasyonu: Enzimin ham süpernatandan kısmi saflaştırılması, amonyum sülfat çöktürmesi ile gerçekleştirildi ve elde edilen çöktürmeler çözülmüş ve içinde çözüldükleri 4°C'de 36 saat sodyum fosfat tamponuna (pH 8) karşı diyaliz edilmiştir. Enzim aktivitesi için optimum sıcaklık, reaksiyon karışımlarının çeşitli sıcaklıklarda (35-75 C) inkübe edilmesiyle belirlenmiştir. Farklı pH tamponları (3,5–10,5); sitrat tamponu (3.5–5.5), sodyum-fosfat tamponu (6.0–8.0) ve glisin-NaOH tamponu (8.5–10.5), enzim aktivitesi için optimum pH'ı belirlemek üzere reaksiyon karışımının yanı sıra substrat olarak %1 nişasta hazırlamak için kullanılmıştır.

- Kısmen saflaştırılmış enzimin sakarifikasyonda uygulanması: Mutfak atıklarının şekere dönüştürülmesi için kısmen saflaştırılmış enzim kullanılmıştır. 20 ml 0.05M sodyum fosfat tampon pH 8 içinde 2 g kurutulmuş mutfak atığı olarak %10 mutfak atığı, 10 U/g nihai amilaz konsantrasyonu ile işlenmiştir. Şekerleştirme 60 C sıcaklıkta ve pH 8'de gerçekleştirildi. Enzimin inaktivasyonu için çeşitli zaman aralıklarında örnekler alındı ve 10 dakika kaynatıldı. Üretilen şekerler, standart olarak glikoz kullanılarak DNS yöntemiyle belirlendi. Şekerleştirme etkinliği, sakarifikasyon için mevcut toplam şekerden üretilen şeker kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Maksimum amilaz üretimi, 72 saatlik fermantasyondan sonra 37 C, pH 8, 1:3 nem oranı ve %30 (v/w) inokulumda elde edilmiştir.

- Kısmen saflaştırılmış enzim, optimize edilmiş sıcaklık ve pH olarak sırasıyla 65°C ve 8 göstermiştir. %10 mutfak atığının 10 U/g enzim kullanılarak şekerleştirilmesi 6 saat sonra 60°C'de %80 şekerleştirme etkinliği göstermiştir.

- Kısmen saflaştırılan amilaz ayrıca mutfak atıklarının şekere dönüştürülmesinde 60 °C sıcaklıkta %80 verimle kullanılabilir.

Mutfak Atıklarından izole edilen Bacillus subtilis suşu W3SFR5'ten alkalın aamilazın izolasyonu, saflaştırılması ve biyokimyasal

karakterizasyonu (Bhatt et al.,2020 101654; Niyomiza et al., 2020: 9-19; Pan et al., 2021: 172; Sharma et al., 2022:1373; Wang et al., 2022:560-566):

Bu çalışmanın amacı, gıda atıklarının bakterilerinden bir alkalın amilazı izole etmek, tanımlamak ve karakterize etmektir. Bakteriler seri seyreltme kullanılarak izole edilmiştir, agar plakalarında taranmış ve biyokimyasal değerlendirmeler ve 16S rRNA dizilimi ile karakterize edilmiştir. Her seferinde bir faktör yöntemi kullanılarak bakteriyel büyüme koşulları optimize edildikten sonra, alkalın amilaz kültür sıvısından ekstrakte edilmiş ve Sephadex G-75 kromatografisi kullanılarak kısmen saflaştırılmıştır. Batık fermantasyonla üretilen enzim aktivitesi, 3,5-dinitrosalisilik kullanılarak değerlendirilmiştir.

Bakteri izolatu W3SFR5, agar kültüründe yüksek amilolitik aktivite göstermiştir. 16S rRNA'nın biyokimyasal analizi ve dizilimi, bakteri izolatuın Bacillus subtilis (GenBank erişim numarası: OM258620) olduğunu doğrulanmıştır. Bacillus subtilis W3SFR5, 30–50 °C ve pH 6-9 arasında çoğaltılmıştır. Kısmen saflaştırılmış Bacillus subtilis W3SFR5 amilazı, 65 kDa'lık bir moleküler ağırlığa sahip olduğu bildirilmiş ve 216.02U mg⁻¹'lik bir maksimum spesifik aktivite göstermiştir. Enzim için optimum sıcaklık 60 °C ve pH değeri 9'du. W3SFR5 amilazı, 50–70 °C sıcaklıklar ve 7-9 pH değerinde aktif olarak kararlıydı. Ayrıca 5 mM Fe²⁺, W3SFR5 amilaz aktivitesini arttırmıştır. Enzim, organik çözücülere, yüzey aktif maddelere, inhibitörlere ve oksitleyici maddelere çoğu amilaza göre daha dirençli olduğu bildirildi. Ek olarak sonuçlar, W3SFR5 amilazın çoğu ticari deterjanla uyumlu olduğunu göstermiş ve bu da onun bir deterjan katkı maddesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Biyoaktif maddeler (fengycin) kullanılarak diğer enzimlerin üretimi için substrat olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Mutfak atıklarından Bacillus amyloliquefaciens ve rekombinant Pichia pastoris kullanılarak fengycin üretimi(Bhatt et al.,2020 101654; Niyomiza et al., 2020: 9-19; Pan et al., 2021: 172; Sharma et al., 2022:1373; Wang et al., 2022:560-566):

Fengycin, bir b-hidroksi yağ asidi (C14eC18) ve 10 amino asitten oluşan sıklık bir peptidden oluşan Bacillus cinsinin türleri tarafından üretilen bir tür lipopeptittir. Bu çalışmada, glukozidaz, amilaz ve lipaz üreten mühendislik suşları oluşturulmuş ve mutfak atıklarından fengycin üretmek için kullanımını incelemek için lipopeptid üreten B. amyloliquefaciens HM618 ile bir ortak kültür sistemi geliştirilmiştir. Yüksek değerli kimyasallara biyolojik olarak dönüştürmek için mutfak atığı, fengycin üreten Bacillus amyloliquefaciens

HM618 ve amilaz, glukozidaz veya lipazlar üreten *Pichia pastoris*'i içeren yapay bir konsorsiyum tarafından fengycin üretimi için substrat olarak kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Yapılandırılmış amilaz üreten suşun (rekombinant *P. pastoris* GS115-amy98) maksimum amilaz aktivitesi 385.4 U_{mLL}'e ulaşmıştır.
- Sıvı kromatografi-kütle spektrometrisi (LC-MS) analizi, C14eC18 fengycins A, C13eC14 fengycins B, C16eC18 fengycins B, C16 fengycin B2 ve doymamış yağ asitli bazı fengycin homologları dahil olmak üzere *B. amyloliquefaciens* HM618 tarafından sentezlenen fengycin bileşenlerinin karmaşık olduğunu göstermiştir.
- *B. amyloliquefaciens* HM618'in ortak kültürünün amilaz ve lipaz üreten suşların mutfak atığının fengycin'e dönüşümünü destekleyebileceğini göstermekte olduğu bildirilmiştir.

Enzim üreten mantarların ve Bacillus amyloliquefaciens HM618'in karma kültürü kullanılarak eş zamanlı enzimoliz ve fermantasyon yoluyla mutfak atıklarının yüzey aktifine biyodönüşümü (Konkit and Kim, 2016:4999-5007; Ottoni et al., 2020: 1-8; Solanki et al., 2021:1-25)

Biyosümfaktanlar, sümfaktan özellikleri ve fonksiyonları olan mikroorganizma türevli yüzey aktif bileşiklerdir. Beş sınıfa ayrılırlar: glikolipidler, fosfolipidler ve yağ asitleri, lipopeptitler veya lipoproteinler, polimerik yüzey aktif maddeler ve partiküllü yüzey aktif maddelerdir. Güçlü bir lipopeptid biyosümfaktan olan surfactin, çok yönlü biyoaktif özelliklere sahiptir ve potansiyel endüstriyel uygulamalara sahiptir. Ancak, yüksek üretim maliyetleri ve düşük verim, büyük ölçekli endüstriyel üretimini engellemiştir. Mutfak atığı muamelesi için ticari enzimler (CE'ler) ve enzim üreten mantarlar uygulanmıştır.

Ham KW, Tianjin Üniversitesi'nin yemek salonundan toplandı. Bu çalışmada kullanılan *B. amyloliquefaciens* HM618 (CGMCC 7097) suşu doğal bir toprak habitatından izole edilmiş ve -80 °C'de %25 gliserol içinde saklanmış ve fermantasyon öncesi iki tohum kültürü hazırlanmıştır. *B. amyloliquefaciens* HM618 ilk önce bir tohum ortamında aktive edildi ve ilk tohum kültürü olarak 37 °C'de 24 saat inkübe edildi. Daha sonra birinci tohum kültürü (%5 v/v), ikinci tohum kültürünü elde etmek için 37 °C ve 220 rpm'de 24 saat boyunca tohum ortamına inoküle edildi.

Bu çalışmada kullanılan KW, nişastalar, lipidler, proteinler ve selüloz dahil olmak üzere biyomakromoleküller açısından zengindi. Sümfaktin üretimi için KW'yi küçük moleküllere ayırtırmak için, enzimatik hidroliz için beş CE, yani lipaz, amilaz, proteaz, selülaz ve glukozidaz kullanılmıştır.

KW enzimatik ön arıtma ve surfaktin fermantasyonunda Sürfaktin, hafif modifikasyonlarla asit çökeltmesi kullanılarak saflaştırılmıştır. HM618 suşunun kültür brotu, hücresiz bir süpernatant elde etmek için 12,000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmiştir. Süpernatant, 6 N HCl ile pH 2.0'a asitleştirilmiştir ve daha sonra biyosüfaktin çökeltmek için gece boyunca 4 °C'de tutulmuştur. Çökelti 12.000 rpm'de 30 dakika 4 °C'de santrifüjlenerek geri kazanılmıştır. Çökelti daha sonra üç kez bir aseton-etil asetat (1.0:2.0, v/v) karışımı ile özümlemişdir. Ekstre edilen çözeltinin organik fazı, bir döner buharlaştırıcıda 50 °C'de ekstraktan buharlaştırıldı ve daha sonra etanol ile yeniden çözülmüştür.

Yüksek performanslı sıvı kromatografisi ile Sıvı kromatografi-kütle spektrometresi (LC-MS) kullanılarak yüzey aktifin ölçümü gerçekleştirilmiştir. Fermantasyon süpernatantının yüzey geriliminin (ST) ve süfaktin ekstraktının antifungal aktivitesinin belirlenmesi: 144 saatte fermantasyon suyu toplandı ve 12,000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmiş ve ardından fermantasyon süpernatantı toplanmıştır. Yukarıdaki yüzey maddenin ST'si, QBZY-1 otomatik yüzey gerilimi ölçer kullanılarak saptanmıştır. Süfaktin ekstraktlarının antifungal aktivitesi, solvent kontrolü olarak etanol kullanılarak Oxford kap yöntemine göre ölçülmüştür.

Protein konsantrasyonu ve enzim aktivitesinin belirlenmesi: Protein konsantrasyonu, bir bisinkoninik asit tahlil kiti kullanılarak ölçüldü ve a-amilaz aktivitesi, Bernfeld yöntemini izleyerek substrat olarak %1 nişasta kullanılarak belirlendi. Proteaz aktivitesi, Zhao yöntemine göre substrat olarak %2.0 kazein kullanılarak belirlendi. Lipaz aktivitesi, Duan yöntemine göre 40 °C ve pH 7.5'te üretilen pNP konsantrasyonu ölçülerek belirlenmiştir. Selüloz aktivitesi, %1 sodyum karboksimetil selülozdan salınan glikoz miktarına dayalı olarak ölçülmüştür (He et al., 2021:1-11; Liu et al., 2012:452-460).

Yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Enzimatik hidrolizin pH değeri 7.5, enzimatik hidroliz sıcaklığı ise 45 °C'dir. Bu koşullar altında, enzim karışımı ile ön işleme tabi tutulmuş KW (amilaz, proteaz, selüloz, glukozidaz ve lipaz), tek enzimle ön işleme tabi tutulmuş KW'ye göre yüzey aktifin üretmek için daha etkiliydi ve maksimum yüzey aktifin verimi, KW ile ön işleme tabi tutularak 75.707 mg.gds⁻¹ idi.

- KW'yi süfaktin üretimi için düşük dereceli bir kaynak olarak kullanmak mümkündür.

SONUÇ

Tüm bu bilgiler ışında aşağıdaki sonuçlara ulaşabiliriz.

1. Yıllar içinde nüfus, şehirleşme ve ekonomik gelişmedeki hızlı artışla birlikte, evlerden, restoranlardan, halka açık yemekhanelerden ve otellerden her gün bol miktarda mutfak atığı üretiliyor. Mutfak atıklar; pişmiş yemek atıkları, artık meyve ve sebzeler, et, kabuklar ve çekirdekler, yumurta kabukları, kullanılmış yağ ve gresleri içermektedir. Genellikle hızla ayrışan ve böcekleri ve kemirgenleri çeken hoş olmayan aromalara sahip organik atık olarak düşünülür. Mutfak atıkları kalıntıları karbonhidratlar, proteinler, lipitler, lignin, organik asitler, inorganik tuzlar ve diğer biyoaktif maddeler açısından zengindir ve bu nedenle mikroorganizmalar tarafından enzim üretimi için çekici substratlar olabilir.

2. Yapılan çalışmalardan biri olan nemlendirilmiş ekme atığı, *Rhizopus oryzae* tarafından katı hal fermantasyonu (SSF) yoluyla α -amilaz ve proteazın ortak üretimi için düşük maliyetli bir substrat olarak kullanılmıştır. Mutfak atığının enzimatik reaksiyonlarla katma değerli ürünler üretmek amacıyla kullanılması, gıda tedarik zincirini ve dolayısıyla gıda güvenliğini iyileştirme potansiyeline sahiptir.

3. Çalışmalar daha çok α -amilaz ve glukoamilaz olmak üzere iki ana alt sınıfta toplanmıştır.

4. Mikrobiyal enzimler, geleneksel kimyasal katalizörlere kıyasla tarımsal-endüstriyel ve mutfak atıklarının değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, yeni, ucuz enzim immobilizasyon desteklerinin ve tasarlanmış enzimlerin kullanılması, bunları endüstriyel gıda uygulamalarına uygularken gelişmiş üst düzeyde bir performans sergileyebilir. Yüzey malzemesi aktif bölgeyi tamamen bloke etmezse, minimum enzim yüküyle büyük substratlara karşı makul bir aktivite bulunabilir, bu da substrat ile bağlanmak için etraflarında boş alana sahip enzim molekülleri ile sonuçlanır. Bu hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

5. Mutfak atıklarının enzim üretiminde kullanılması hayvan yemi veya ulaşım yakıtına dönüştürülmesinden potansiyel olarak daha karlıdır. Burada dikkat edilmesi gereken husus mutfak atıklarının taşımacılığına bağlı toplama ve nakliye maliyetleridir. Bu maliyetler dikkate alındığında karlılık daha da artmış olacaktır.

REFERANSLAR

- Bhatt, B., Prajapati, V., Patel, K., & Trivedi, U. (2020). Kitchen waste for economical amylase production using *Bacillus amyloliquefaciens* KCP2. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 26, 101654.
- Copeland, R. A. (2023). *Enzymes: a practical introduction to structure, mechanism, and data analysis*. John Wiley & Sons.
- Eren., Z., & Taşarsu, N. (2023). Katı Atıkların Geri Dönüşümü İçin Depozito İade Sisteminin Önemi: Kızılcahamam Pilot Uygulaması Örneği. *Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24(2), 65-74.
- Ghattavi, S., & Homaei, A. (2023). Marine enzymes: Classification and application in various industries. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123136.
- He, M., Wen, J., Yin, Y., & Wang, P. (2021). Metabolic engineering of *Bacillus subtilis* based on genome-scale metabolic model to promote fengycin production. *3 Biotech*, 11, 1-11.
- İrkin, R., Kızıl, M., Nevruz, C. İ. N., & Küçük, A. N. (2023). Meyve Atıklarının Besin Zenginleştirmede Kullanımı. *Sağlık Bilimlerinde Öncü Ve Çağdaş Çalışmalar*, 805-836.
- Karasu, A. (2013). *Çevresel atıklar, nedenleri, çevresel atıkların geri dönüştürülmesi ve yenilenebilir enerji olanaklarının araştırılması* (Master's thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Konkit, M., & Kim, W. (2016). Activities of amylase, proteinase, and lipase enzymes from *Lactococcus chungangensis* and its application in dairy products. *Journal of Dairy Science*, 99(7), 4999-5007.
- Li, Y., Jin, Y., Li, J., Li, H., & Yu, Z. (2016). Effects of thermal pretreatment on the biomethane yield and hydrolysis rate of kitchen waste. *Applied energy*, 172, 47-58.
- Liu, Z. Q., Zheng, X. B., Zhang, S. P., & Zheng, Y. G. (2012). Cloning, expression and characterization of a lipase gene from the *Candida antarctica* ZJB09193 and its application in biosynthesis of vitamin A esters. *Microbiological Research*, 167(8), 452-460.
- Moon, H. C., & Song, I. S. (2011). Enzymatic hydrolysis of foodwaste and methane production using UASB bioreactor. *International Journal of Green Energy*, 8(3), 361-371.
- Niyomukiza, S., Owino, W., Mathara, J. M., & Maina, N. Isolation, purification and biochemical characterization of alkaline α -amylase from *Bacillus subtilis* strain W3SFR5 isolated from kitchen Wastes. *Applied Food Biotechnology*, 10(1), 9-19.

- Öncel, H.U., Oğul, O., Akdemir, N., & Aktaç, Z. (2023). Evsel Sebze ve Gıda Atıklarından, Bokashi Kompostlama Yöntemi ile Pratik Kompost Üretimi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 7(3), 602-613.
- Öner, M.N.K. (2023). Gıda Atıklarının Fermentasyon Ortamı Olarak Kullanıldığı Anaerobik Parçalanma Yöntemi Üzerine Bir İnceleme. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 1713-1741.
- Otoni JR, E Silva TR, de Oliveira VM, Zambrano Passarini MR. Characterization of amylase produced by cold-adapted bacteria from antarctic samples. *Biocatal Agric Biotechnol*. 2020; 23: -1-8 <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101452>
- Pan, F. D., Liu, S., Xu, Q. M., Chen, X. Y., & Cheng, J. S. (2021). Bioconversion of kitchen waste to surfactin via simultaneous enzymolysis and fermentation using mixed-culture of enzyme-producing fungi and *Bacillus amyloliquefaciens* HM618. *Biochemical Engineering Journal*, 172, 108036.
- Sharma, V., Tsai, M. L., Nargotra, P., Chen, C. W., Kuo, C. H., Sun, P. P., & Dong, C. D. (2022). Agro-Industrial Food Waste as a Low-Cost Substrate for Sustainable Production of Industrial Enzymes: A Critical Review. *Catalysts*, 12(11), 1373.
- Solanki P, Putatunda C, Kumar A, Bhatia R, Walia A. Microbial proteases: Ubiquitous enzymes with innumerable uses. *3 Biotech*. 2021; 11: 1-25 <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02928-z>.
- Wang, X. F., Miao, C. H., Qiao, B., Xu, S. J., & Cheng, J. S. (2022). Co-culture of *Bacillus amyloliquefaciens* and recombinant *Pichia pastoris* for utilizing kitchen waste to produce fengycins. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 133(6), 560-566.
- Xu, X., Zhang, W., Gu, X., Guo, Z., Song, J., Zhu, D. & Makinia, J. (2020). Stabilizing lactate production through repeated batch fermentation of food waste and waste activated sludge. *Bioresource technology*, 300, 122709.

Bölüm 19

BİR TRAKTÖR MONTAJ FABRİKASI İÇİN RİSK ÖNCELİKLENDİRME

Turgay MUTLUOĞLU¹
Tülay KORKUSUZ POLAT²

1- GİRİŞ

Ürün; müşteri için değer sağlayan, yetenek ile çözümün entegre olduğu parçalar olarak tanımlanabilir. Ürün geliştirme, yapılan inovasyon faaliyetinin pazara ulaşmasına kadar gidilen yoldur ve pek çok zaman işletmeler için kurtarıcı rol oynamaktadır. Ürün Geliştirme Süreci'nin en önemli amacı değer üretmektir. Bu kapsamda değer: finansal, zaman, fiziksel, duygusal, zihinsel, psikolojik, imaj ve/veya işlevsel olabilir. Değer üretebilmek için hem iç paydaşlardan (çalışanlar, organizasyon sistemi, ekonomik varlık ve marka) hem de dış varlıklardan (mevcut müşteriler, hedeflenen yeni müşteriler ve toplum) destek alınabilir (Thrassou ve ark., 2012). Özellikle hızla değişen ve rekabetçi pazarlarda başarılı yeni ürünler üretebilmek, firmaların faaliyetlerini devam ettirmeleri açısından oldukça önemlidir.

Makinelerin ve süreçlerin karmaşık yapıda olması, insan faktörünün yoğun olması, belirsizliğin çok fazla olması gibi nedenlerden dolayı özellikle mühendislik faaliyetlerinde riskler oldukça yaygındır. Yapılan işin performansı üzerinde istenmeyen sonuçlar doğurabilecek riskleri değerlendirerek arızaların/gecikmelerin/kazaların meydana gelmesini veya tekrarlanmasını engellemek için kullanılan pek çok teknik vardır: Karar Matrisi Risk Analizi Yöntemi, HAZOP (Hazard and Operability), Hata Ağacı Analizi, Olay Ağacı Analizi, Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) gibi. Bu teknikler, problemlerin temel nedenini analiz etmek için kullanılırken, tekniklerin uygulanabilirliklerini ve etkinliklerini artırarak riskleri daha etkin yönetebilmek için genellikle bulanık küme teorisi, sosyal ağ analizi, yorumlayıcı yapısal modelleme (interpretive structural modeling) ve monte carlo simülasyonu gibi teknikler çok kriterli karar verme teknikleri ile birlikte kullanılmaktadırlar. Kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinin işlevi genellikle riskleri önceliklendirmektir.

¹ YL öğrencisi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı turgay.mutluoglu@ogr.sakarya.edu.tr ORCID No: 0009-0004-4276-8082.

² Doç. Dr., Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, korkusuz@sakarya.edu.tr ORCID No: 0000-0001-6696-7873.

Risk önceliklendirme faaliyeti pek çok kriterin değerlendirilmesi gereken çok kriterli bir karar verme problemi olarak düşünülebilir.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çok kriterli karar verme teknikleri, çok kriterin olduğu karmaşık problemlerin çözümüne olanak sağlayan teknikler olduğu için literatürde yoğun olarak kullanılmaktadır.

KorkusuzPolat ve Kara (2021), bir imalat işletmesi için personel müdürü seçimini Bulanık DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) ve Bulanık VIKOR (VIseKriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje) yöntemleri ile yapmışlardır. Malviya ve ark. (2024) çalışmalarında KOBİ'lerin tedarik zinciri işbirliklerinde başarılı olma olasılıklarını analiz etmek için Bulanık DEMATEL yöntemini kullanmışlardır. Lund ve ark. (2023) çalışmalarında rüzgar türbini kanatlarının geri dönüşümünde kullanılan teknolojilerin sürdürülebilirlik değerlendirmesi için TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) ve AHP (Analytic Hierarchy Process) yöntemlerini kullanmışlardır. Çelik ve Arslankaya (2023) çalışmalarında cam üretimi için belirlenen kalite kontrol kriterlerini Bulanık DEMATEL yöntemi ile değerlendirmişlerdir. YılmazYalçın ve Çaylak (2020) çalışmalarında sektörlerin dijital dönüşüme göre sıralamalarını AHP ve TOPSIS yöntemleri ile yapmışlardır. Saraç ve ark. (2022) çalışmalarında kızıl fasulye ununun vegan kek yapımındaki etkilerini belirlemek için WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) ve SWARA yöntemlerini uygulamışlardır. Vaid ve ark. (2022) çalışmalarında okullar, hastaneler, oteller vb. için sessiz jeneratör seçimi probleminin çözümünde VIKOR ve WASPAS yöntemlerini kullanmışlardır (Farklı uygulamalar için bkz. Ghoushchi ve ark. (2023), Arslankaya ve Çelik (2021), YılmazYalçın (2021), Ulutaş ve ark. (2019), Topal (2021)).

Risk, ortaya çıkması halinde projenin zaman-maliyet-performans hedeflerini olumlu (fırsat) veya olumsuz (tehdit) etkileyen belirsiz olaylar olarak tanımlanabilir (Oehmen et al., 2014). Firmalar finansal zorluklar, imaj kaybı, kredi notlarının düşmesi, bilgiye ulaşmada sıkıntılar vb sonuçları olabilecek risklere karşı kendilerini korumak zorundadırlar. Organizasyonlar rekabet avantajı elde etmek ve/veya karar verme süreçlerine destek olmak için risk yönetimine ihtiyaç duyarlar (De Oliveira et al., 2021). Son zamanlarda tüm üretim fonksiyonlarındaki risklerin değerlendirilmesi konusunda çalışmalarda artış olmuştur. Devenci ve ark. (2023) çalışmalarında sürdürülebilir madenciliği etkileyen riskleri değerlendirmişlerdir. Tomak ve KorkusuzPolat (2022) çalışmalarında başarı faktörleri temelli risk önceliklendirme yapmışlar ve risk

önceliklendirme modelini çok kriterli karar verme teknikleri ile geliştirmişlerdir. Singer ve ÖverÖzçelik (2022) çalışmalarında metalik biyomalzemelerde risk değerlendirme için risk değerlendirme tekniklerinden HTEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi) yöntemini bulanık olarak uygulamış ve Bulanık AHP ve bulanık EDAS (Evaluation Based On Distance From Average Solution) yöntemleri ile entegre etmiştir. Singer ve ÖverÖzçelik (2023) çalışmalarında ortopedik implant üretimindeki riskleri bulanık karar ortamında değerlendirmişlerdir.

VERİ SETİ VE METOTLAR

Veri Seti

Çalışmada bir traktör firmasının yeni ürün devreye alma departmanı ile ilgili risk analizi yapılmaktadır. Veri on farklı riski içermektedir. Belirlenen riskler üretim, lojistik, İSG ve kalite gibi departmanları da etkileyen risklerden oluşmaktadır. Veri seti her bir riske ait olasılık ve etki değerlerini de içermektedir. Riskin ortaya çıkma olasılığı ve ortaya çıktıktan sonraki etkisi için 10x10 luk bir matris oluşturulmuştur. Riskler ve tanımları aşağıdaki gibidir:

Risk 1: Proje başlangıcında yapılan tasarımın üretime uygun olmaması,

Risk 2: Yeni tasarlanan parçaların fiziki olarak birbiri ve hatta seride kullanılan parçalar ile uyuşmaması,

Risk 3: Traktörleri hatta taşıyan skidlerin traktörün alt yapısına uygun olmaması,

Risk 4: Proje hatta üretilmeden önce devreye alınan mühendislik değişikliklerinin takibinin düzgün yapılmaması,

Risk 5: Yeni parçalar ile ilgili satın/yap analizinin yanlış yapılması,

Risk 6: Yeni traktör parçalarının hat üzerinde monte veya taşınmasında kullanılan kaldırma aletlerinin parçalara uygun olmaması,

Risk 7: İlgili projenin operasyon sayfalarının hazırlanması sürecinde, yeni parçaların eksik işlenmesi ya da rotalamaya göre öncül ardıl ilişkisinin yanlış kurulması,

Risk 8: Varyantlara atanan sürelerin otomatik bir şekilde PBOM'lara yansımaması sonucu hatta teyit verilememesi,

Risk 9: Kit listesinde olan parçaların hatta adresleme sonucu eksik gelmesi,

Risk 10: Yeni tasarlanan ve ilk kez kullanılacak olan parçaların zamanında fabrikaya ulaşmaması.

Risk değerlendirme yöntemi olarak Matris Risk Değerlendirme yönteminin kullanılacağı uygulamada, Matris Risk Değerlendirme yönteminin bileşenlerinden olan risklerin ortaya çıkma olasılıklarını değerlendirmek için

Tablo 1’de gösterilen değerlendirme skalası, diğer risk değerlendirme bileşeni olan Etki bileşenini değerlendirmek için de Tablo 2’de gösterilen değerlendirme skalası kullanılacaktır.

Tablo 1: Riskin ortaya çıkma olasılığını değerlendirme skalası

Ortaya çıkma sıklığı		Ortaya çıkma olasılığı
Nicel değeri	Nitel değeri	
10	Sıklığı 50’den fazla	Her an etki gösterebilecek dereceli olasılık (ortalama haftada 2 ya da daha fazla gerçekleşen)
9	Sıklığı 40-49 arasında	Çok yüksek dereceli olasılık (ortalama haftada 1 kere gerçekleşen)
8	Sıklığı 30-39 arasında	Yüksek dereceli olasılık (ortalama ayda 3 kere gerçekleşen)
7	Sıklığı 20-29 arasında	Yüksek-orta dereceli olasılık (ortalama iki haftada 1 kere gerçekleşen)
6	Sıklığı 10-19 arasında	Orta dereceli olasılık (ortalama ayda 1 kere gerçekleşen)
5	Sıklığı 5-9 arasında	Orta-küçük dereceli olasılık (ortalama çeyrekte 2 kere gerçekleşen)
4	Sıklığı 4	Küçük dereceli olasılık (ortalama çeyrekte 1 kere gerçekleşen)
3	Sıklığı 3	Çok küçük dereceli olasılık (ortalama dört ayda 1 kere gerçekleşen)
2	Sıklığı 2	Nadir-çok küçük dereceli olasılık (ortalama yılda 2 kere gerçekleşen)
1	Sıklığı 1 veya daha az	Nadir etki gösterebilecek dereceli olasılık (ortalama yılda 1 kere gerçekleşen)

Tablo 2: Riskin etkisini değerlendirme skalası

Nicel değeri	Derecelendirme
10	Üst düzey
9	Aşırı
8	Çok ciddi
7	Ciddi
6	Orta
5	Orta-hafif
4	Hafif
3	Çok hafif
2	Neredeyse etkisiz
1	Etkisiz

Matris risk değerlendirme yöntemi kullanılarak Tablo 1 ve Tablo 2’ye uygun olarak belirlenen risk büyüklükleri Tablo 3’de verilmektedir.

Tablo 3: Risk büyüklüklerinin belirlenmesi

No	İşin tanımı	Risk	O	E	R
1	3D tasarımın yapılması	Proje başlangıcında yapılan tasarımın üretime uygun olmaması	7	8	56
2	3D tasarımın yapılması	Yeni tasarlanan parçaların fiziki olarak birbiri ve hatta seride kullanılan parçalar ile uyumsuzluğu	9	9	81
3	Taşıyıcı Skid tasarımı	Traktörleri hatta taşıyan skidlerin traktörün alt yapısına uygun olmaması	3	10	30
4	Mühendislik değişikliklerinin takibi	Proje hatta üretilmeden önce devreye alınan mühendislik değişikliklerinin takibinin düzgün yapılmaması	6	7	42
5	Eksik parça	Yeni parçalar ile ilgili satın/yap analizinin yanlış yapılması	6	8	4
6	Parça tedarik şeklinin belirlenmesi	Yeni traktör parçalarının hat üzerinde monte veya taşınmasında kullanılan kaldırma aletlerinin parçalara uygun olmaması	2	9	18
7	Hattın esnekliği	İlgili projenin operasyon sayfalarının hazırlanması sürecinde, yeni parçaların eksik işlenmesi ya da rotalamaya göre öncül ardıl ilişkisinin yanlış kurulması	2	8	16
8	Operasyonların yazılması	Varyantlara atanan sürelerin otomatik bir şekilde PBOM lara yansımaması sonucu hatta teyit verilememesi	4	8	32
9	PBOM sürelendirme	Kit listesinde olan parçaların hatta adresleme sonucu eksik gelmesi	6	5	30
10	Kitlerin toplanması	Yeni tasarlanan ve ilk kez kullanılacak olan parçaların zamanında fabrikaya ulaşmaması	3	8	24

BWM ve CoCoSo Yöntemleri

Risklerin değerlendirilmesi ve sonrasında önceliklendirilmesi oldukça önemlidir. Riskler önceliklendirilirken Matris risk değerlendirme yöntemi ile elde edilen risk puanına göre önceliklendirme yapılabilir. Ama matris risk değerlendirme yönteminin risk puanı hesaplama için kullanılan bileşenlerinden etki bileşeni oluşma olasılığı bileşenine göre daha önemli olabilir. Daha önemli kısmını çözebilmek için farklı çok kriterli karar verme teknikleri kullanılabilir. Bu çalışmada BWM (Best Worst Method) ve CoCoSo (Combined Compromise Solution) yöntemleri kullanılacaktır.

BWM yönteminin adımları aşağıdaki gibidir (Rezai (2015), Ju ve ark. (2024), Khargotra ve ark. (2024), Tan ve ark. (2023)):

Adım 1: Karar vericinin kriter setinin belirlenmesi. Karar vericiler süreçte kullanılacak kriter setlerini belirlerler.

Adım 2: Karar vericinin en iyi ve en kötü kriterleri belirlemesi.

Adım 3: En iyi ve en kötü kriterlerin diğer kriterler ile karşılaştırılması. Kriterler belirlenen en iyi ve en kötü kriterlerle kıyaslanır. Kıyaslamada, 1: Eşit önem değerine sahip, 2: Eşit ve orta derece arasında önem değerine sahip, 3: Orta dereceden daha yüksek önem değerine sahip, 4: Orta ve önemli derece arasında önem değerine sahip, 5: Kesinlikle daha yüksek önem değerine sahip, 6: Yüksek ve çok yüksek önem değerine sahip, 7: Çok yüksekten daha yüksek önem değerine sahip, 8: Çok yüksek ve kesinlikle çok yüksek derece arasında önem değerine sahip, 9: Kesinlikle çok yüksek önem değerine sahip karşılaştırmalar için kullanılır.

Adım 4: En iyi değer ve en kötü değer vektörlerinin oluşturulması. En iyi ve en kötü kriterlerin karşılaştırılması sonucunda en iyi kriter için satır ve en kötü kriter için sütun vektörü, adım 3'te verilen değerlerden elde edilir. Elde edilen satır ve sütun vektörlerinin formülleri denklem (1) ve (2) de verilmektedir.

$$\Omega_B = (\overline{\omega}_{B1}, \overline{\omega}_{B2}, \dots, \overline{\omega}_{Bn}) \quad (1)$$

$$\Omega_W = (\overline{\omega}_{1W}, \overline{\omega}_{2W}, \dots, \overline{\omega}_{nW}) \quad (2)$$

Adım 5: Kriter ağırlıklarının hesaplanması. Elde edilen en iyi ve en kötü vektörleriyle denklem (3) de verilen formül kullanılarak her bir kriter için ağırlıkları hesaplanmaktadır.

$$\min \max_j \left\{ \left| \frac{\omega_B}{\omega_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{\omega_j}{\omega_w} - a_{jW} \right| \right\} \text{S.İ.}$$

$$\sum_{j=1}^n \omega_j = 1; \omega_j \geq 0 \quad \forall j \quad (3)$$

Değerlendirme kriterlerinin optimal ağırlıklarını ve ξ değerini elde edebilmek için Denklem (3)'te verilen formül, Denklem (4)'te verilen formüle dönüştürülür.

$$\min \xi \quad \text{s.t.} \quad \left| \frac{\omega_B}{\omega_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \forall j; \left| \frac{\omega_j}{\omega_w} - a_{jW} \right| \leq \xi, \forall j;$$

$$\sum_{j=1}^n \omega_j = 1; \omega_j \geq 0 \quad \forall j \quad (4)$$

Kriterlerin ve ağırlıkların belirlenmesinden sonra CoCoSo yöntemi kullanılarak risklerin önceliklendirilmesi yapılacaktır. CoCoSo yönteminin aşamaları aşağıdaki gibidir (Khan ve Haleem (2020), Peng ve Huang (2020), Negara ve ark. (2023), Dwivedi ve Sharma (2022)):

Aşama 1: Karar matrisinin oluşturulması. 1-9 değerleri arasında oluşan karar matrisi, kriterler bazında değerlendirilerek her bir risk için oluşturulur.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{2n} \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{mn} \end{bmatrix}$$

Aşama 2: Karar matrisinin normalize edilmesi: Kriterlerin yönlerine göre karar matrisinin elemanları, uzlaşık normalizasyon yaklaşımıyla normalize edilir. Bu normalizasyon sürecinde Denklem (5) kullanılır.

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} & \text{if } j \in B \\ \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} & \text{if } j \in C \end{cases} \quad (5)$$

Aşama 3: ξ_i ve Θ_i değerlerinin hesaplanması. Bu aşamada, toplam ağırlıklı karşılaştırılabilirlik (Θ_i) ve toplam güç ağırlıklı karşılaştırılabilirlik (ξ_i) değerleri Denklem (6) ve (7)'ye göre hesaplanır.

$$\Theta_i = \sum_{j=1}^n (r_{ij} w_j) \quad (6)$$

$$\xi_i = \sum_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j} \quad (7)$$

Aşama 4: Alternatiflerin görelî önem değerlerinin hesaplanması: Risklerin görelî önemlerinin hesaplanması için, sırasıyla Denklem (8), (9) ve (10) kullanılarak ağırlıklı toplam yöntemi uygulanır. Bu yöntemde, ilk adımda risklerin ağırlıklı toplamı alınır ve ardından aritmetik ortalaması hesaplanır. İkinci adımda, ağırlıklı çarpım yöntemi kullanılarak en iyi karar alternatifine kıyasla ağırlıklı çarpım skoru hesaplanır. Son olarak, ağırlıklı toplam skoru ile ağırlıklı çarpım skorunun toplamı alınarak ağırlıklı toplam yöntemi ile ağırlıklı çarpım yönteminin dengelenmiş skor değeri hesaplanır.

$$M_{ia} = \frac{\Theta_i + \xi_i}{\sum_{i=1}^m (\Theta_i + \xi_i)} \quad (8)$$

$$M_{ib} = \frac{\Theta_i}{\min \Theta_i} + \frac{\xi_i}{\min \xi_i} \quad (9)$$

$$M_{ic} = \frac{\lambda(\Theta) + (1-\lambda)(\xi_i)}{\lambda \max \Theta_i + (1-\lambda)(\max \xi_i)} ; 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (10)$$

Denklem (10)'da yer alan λ parametresi 0 ila 1 arasında değer almaktadır. Uygulamada genel olarak her duruma eşit şans verebilmek için 0,5 olarak alınmaktadır.

Aşama 5: Alternatiflerin performanslarının belirlenmesi. Risklerin elde edilen görelî önem değerlerine göre, her bir risk için görelî önem skorları Denklem (11) kullanılarak belirlenir.

$$M_i = (M_{ia} \times M_{ib} \times M_{ic})^{\frac{1}{3}} + (M_{ia} + M_{ib} + M_{ic})^{\frac{1}{3}} \quad (11)$$

Aşama 5: Alternatiflerin sıralanması. Denklem (11) kullanılarak elde edilen görelî önem skorlarıyla, riskler en yüksek önem değerine sahip olandan

başlayarak sıralanır. Bu şekilde, risklerin önem sıralaması belirlenir ve risk azaltma kaynaklarının kullanım önceliği ve ağırlığı da belirlenmiş olur.

UYGULAMA

Uygulama bölümünde, bir traktör firmasında Yeni Ürün Devreye Alma departmanına ait risklerin belirlenip, risklerin önceliklendirilmesinde BWM ve CoCoSo yöntemleri hibrit bir şekilde uygulanmaktadır. BWM ve CoCoSo yöntemlerinin uygulanmasında, metotlar bölümünde belirtilen adımlar sırasıyla takip edilmiştir.

Kriterlerin belirlenmesi adımında, Yeni Ürün Devreye Alma departmanı ile etkileşimde bulunan departmanlar, Yeni Ürün Devreye Alma departmanının risklerinden etkilenecek olacak departmanlarda olacakları için kriter olarak belirlenmişlerdir. Tablo 4’te kriterler gösterilmektedir.

Tablo 4: Kriter Seti

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	Kriter 4
Kriter Adı	Üretim	Kalite	Mühendislik	Lojistik

En iyi ve en kötü kriterlerin diğer kriterler ile kıyaslanması adımında, 1-9 arasında değerlendirilecek şekilde en iyi ve en kötü kriterler diğer kriterler ile kıyaslanmaktadır. Bu değerlendirmeye göre “Üretim” için satır vektörü, “Lojistik” için ise sütun vektörü Tablo 5 ve 6’da gösterildiği gibi oluşturulmuştur.

Tablo 5: En İyi Kriter Vektörü

En iyi ve Diğerleri	Üretim	Kalite	Mühendislik	Lojistik
Üretim	1	2	5	9

Tablo 6: En Kötü Kriter Vektörü

En Kötü ve Diğerleri	Lojistik
Üretim	9
Kalite	5
Mühendislik	2
Lojistik	1

Kriter ağırlıklarının belirlenmesi adımında, satır ve sütun (en iyi ve en kötü) referans alınarak MS Excel’de “veri” kısmındaki çözücü yardımıyla ağırlıklar

hesaplanmıştır. Her bir kriter için hesaplanan ağırlıklar Tablo 7’de gösterilmektedir.

Tablo 7: Ağırlıklar Matrisi

Ağırlıklar	Üretim	Kalite	Mühendislik	Lojistik
	0,5473	0,2811	0,1124	0,0592

Ağırlık değerleri incelendiğinde 0,5473 ağırlık değeri ile “Üretim” kriterinin diğer kriterlerden daha önemli olduğu gözükmektedir. Üretim kriterini 0,2811 ile “Kalite” kriteri, onu da 0,1124 ağırlık değeri ile “Mühendislik” kriteri takip etmektedir. En kötü kriter olan “Lojistik” kriterinin ağırlık değeri ise 0,0592 dir.1 ve 9 derecelendirme skalasının MS Excel çözücü yardımıyla hesaplanan tutarlılık oranının kabul edilebilir eşik değeri 0,2681 dir. Bu değer ile tutarlılık oranı karşılaştırıldığında ($CR=0,0139 < 0,2681$) modelin kriter ağırlıklarının tutarlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

İlk aşamada BWM yöntemi ile kriterlerin ağırlık hesabı yapıldıktan sonra, risklerin önceliklendirilmesi aşamasında CoCoSo yöntemi kullanılmıştır.

Risklerin önceliklendirilmesi adımı, her bir risk 1 ile 9 arasında 4 kriter bazında derecelendirilmiştir. Derecelendirme Tablo 8’de gösterilmiştir. Mühendislik kriteri maliyet şartlı, Üretim Kalite ve Lojistik kriterleri ise fayda şartlı formülüyle eşitlik denklemine göre normalize edilerek risklerin önem derecelerine göre performans değerlerinin belirlenmesinde kullanılacak girdiler Tablo 8’de gösterilmiştir. (Tablo 8-9-10’da Ür: Üretim, Ka: Kalite, Mü: Mühendislik, Lo: Lojistik olarak kısaltılmıştır).

Tablo 8: Karar matrisi

	Ür	Ka	Mü	Lo
Proje başlangıcında yapılan tasarımın üretime uygun olmaması	9	5	5	1
Yeni tasarlanan parçaların fiziki olarak birbiri ve hatta seride kullanılan parçalar ile uyuşmaması	9	7	6	1
Traktörleri hatta taşıyan skidlerin traktörün alt yapısına uygun olmaması	9	2	6	1
Proje hatta üretilmeden önce devreye alınan mühendislik değişikliklerinin takibinin düzgün yapılmaması	9	3	7	2
Yeni tasarlanan ve ilk kez kullanılacak olan parçaların zamanında fabrikaya ulaşmaması	9	3	6	9
Yeni parçalar ile ilgili satın/yap analizinin yanlış yapılması	9	3	6	9
Yeni traktör parçalarının hat üzerinde monte veya taşınmasında kullanılan kaldırma aletlerinin parçalara uygun olmaması	4	1	8	1
İlgili projenin operasyon sayfalarının hazırlanması sürecinde, yeni parçaların eksik işlenmesi ya da rotalamaya göre öncül ardıl ilişkisinin yanlış kurulması	6	2	8	1
Varyantlara atanan sürelerin otomatik bir şekilde PBOM'lara	7	2	8	1

yansımaması sonucu hatta teyit verilememesi				
Kit listesinde olan parçaların hatta adresleme sonucu eksik gelmesi	7	1	6	9

Tablo 8’deki veriler girdi olarak kullanılarak normalize edilmiş veriler Tablo 9’da gösterilmektedir. Tablo 10’da ise risklerin önem skorları ve sıralamaları gösterilmektedir.

Tablo 9: Normalize edilmiş veriler

	Ür	Ka	Mü	Lo
Ağırlıklar	0,5473	0,2811	0,1124	0,0592
Proje başlangıcında yapılan tasarımın üretime uygun olmaması	1	0,667	1	0
Yeni tasarlanan parçaların fiziki olarak birbiri ve hatta seride kullanılan parçalar ile uyuşmaması	1	1	0,667	0
Traktörleri hatta taşıyan skidlerin traktörün alt yapısına uygun olmaması	1	0,167	0,667	0
Proje hatta üretilmeden önce devreye alınan mühendislik değişikliklerinin takibinin düzgün yapılmaması	1	0,333	0,333	0,125
Yeni tasarlanan ve ilk kez kullanılacak olan parçaların zamanında fabrikaya ulaşmaması	1	0,333	0,667	1
Yeni parçalar ile ilgili satın/yap analizinin yanlış yapılması	0	0	0,333	0,5
Yeni traktör parçalarının hat üzerinde monte veya taşınmasında kullanılan kaldırma aletlerinin parçalara uygun olmaması	0,167	0	0	0
İlgili projenin operasyon sayfalarının hazırlanması sürecinde, yeni parçaların eksik işlenmesi ya da rotalamaya göre öncül ardıl ilişkisinin yanlış kurulması	0,5	0,167	0	0
Varyantlara atanan sürelerin otomatik bir şekilde PBOM’lara yansımaması sonucu hatta teyit verilememesi	0,667	0,167	0	0
Kit listesinde olan parçaların hatta adresleme sonucu eksik gelmesi	0,667	0	0,667	1

Tablo 10: Risklerin önem skorları ve sıralaması

	Θ_i	ξ_i	M_a	M_b	M_c	M_i	Sıra
Proje başlangıcında yapılan tasarımın üretime uygun olmaması	0,847	2,892	0,127	16,998	1,954	7,976	4
Yeni tasarlanan parçaların fiziki olarak birbiri ve hatta seride kullanılan parçalar ile uyuşmaması	0,903	2,955	0,131	17,783	1,967	8,289	2

Traktörleri hatta taşıyan skidlerin traktörün alt yapısına uygun olmaması	0,669	2,560	0,110	14,160	1,882	6,814	6
Proje hatta üretilmeden önce devreye alınan mühendislik değişikliklerinin takibinin düzgün yapılmaması	0,686	3,502	0,124	16,857	2,086	8,073	3
Yeni tasarlanan ve ilk kez kullanılacak olan parçaların zamanında fabrikaya ulaşmaması	0,775	3,690	0,152	18,335	2,126	8,680	1
Yeni parçalar ile ilgili satın/yap analizinin yanlış yapılması	0,930	1,844	0,094	15,110	1,727	6,994	5
Yeni traktör parçalarının hat üzerinde monte veya taşınmasında kullanılan kaldırma aletlerinin parçalara uygun olmaması	0,091	0,375	0,016	2	1,409	1,496	10
İlgili projenin operasyon sayfalarının hazırlanması sürecinde, yeni parçaların eksik işlenmesi ya da rotalamaya göre öncül ardıl ilişkisinin yanlış kurulması	0,321	1,289	0,055	6,949	1,607	3,719	9
Varyantlara atanan sürelerin otomatik bir şekilde PBOM'lara yansımaması sonucu hatta teyit verilememesi	0,412	1,405	0,062	8,261	1,632	4,259	8
Kit listesinde olan parçaların hatta adresleme sonucu eksik gelmesi	0,499	2,756	0,111	12,820	1,924	6,349	7

Riskler önem skorlarına göre sıralandıktan sonra her bir risk için strateji belirlenmiştir. Azaltma, kabul (B) planı, transfer, paylaşma ve kaçınma gibi stratejiler, risklerin önem sıralaması dikkate alınarak belirlenmiştir. Risk stratejileri için kullanılacak kaynaklar, bu risklerin öncelik sırasına göre planlanarak uygulanacaktır. Risk stratejileri Tablo 11'de gösterilmektedir.

Tablo 11: Risk stratejileri

Risk	O	E	R	Risk Stratejisi				
				Azaltma	Kabul / B planı	Transfer	Paylaşma	Kaçınma
Yeni parçaların fiziki olarak birbiri ve hatta seride kullanılan parçalar ile uyumlaması.	9	9	81	Nihai 3D modelde İleri imalat teknikleri ekibince parçaların birbiri ile uyumu kontrol edilmiş, ayrıca tedarik edilen tüm yeni parçaların kalite ekibince hatta girmeden speklere uygunluğunun kontrol edilmiş.			Yeni parçaların fabrikaya ulaştırıldığı hepsinin teknik resimlere göre kontrolünün kalite ekibince sağlanması.	
Proje başlangıcında yapılan tasarımın üretime uygun olmaması	7	8	56	Proje tasarım aşamasındaki İken , İleri imalat teknikleri ekibi tarafından Teamcenter üzerinden, modeldeki gruplamaların hatta uygunluğunun sağlanması.				
Yeni tasarımların ve ilk kez kullanılacak olan parçaların zamanında fabrikaya ulaşmaması	6	8	48	Hafiflik platformu tasarlanırken, tüm ekipmanlar için gerekli malzemelerin, Toplatılarda ürün İderleri tarafından projenin mevcut durumunun paylaşarak, acilleyli olan parçaların hakkında bilgi verilip aksiyon alınması.				
Proje hatta üretilmeden önce devreye alınan mühendislik değişikliklerinin takibinin düzgün yapılması	6	7	42	Özellikle farklı yerlerden tedarik edilerek beraber montajı yapılan parçaların etkileyen mühendislik değişikliklerinin devreye girişi tarihi üretim tarihi ile karşılaştırılarak ve üretim hattı bilgilendirilmesi ve takibi sağlanması.		Yeni projelere ait mühendislik değişikliklerinin takibi planlama ekibine devredilebilir.		
İlgili projenin operasyon sayfalarının hazırlanması sürecinde , yeni parçaların eksik işlenmesi yada rotalamaya göre öncül aralı ilişkisinin yanlış kurulması	4	8	32	Bazı araçlar ile proje aracının PBOM'larının kıyaslanarak, fark parçaların belirlenerek, ilgili operasyonlarda eklenerek yapılarak operasyon sayfalarının güncellenmesi.Rotalama ve öncül aralı konusunda İle hat İderleri ile toplantılar yapılması.			Proje tasarım aşamasında İken , tasarımların yanlış değişiklikleri kayda alınarak, proje ortak klasöründe paylaşılması.	

Risk	O	E	R	Risk Stratejisi				
				Azaltma	Kabul / B planı	Transfer	Paylaşma	Kaçınma
Traktörleri hatta taşıyan skidlerin traktörün alt yapısına uygun olmaması	3	10	30	Her yeni proje traktörü için , hatta üzerine koyulacak skidlerin İleri imalat teknikleri ekibince kontrol edilip tasarlanması.				
Varyantlara atanan sürelerin otomatik bir şekilde PBOM lara yansımaması sonucu hatta teyit verilememesi.	6	5	30	Hatta girmeden ilgili PBOM a ait varyant sürelerinin kontrol edilmesi, süresi olmayan varyantlar için sürelerin belirlenmesi.				
Kit listesinde olan parçaların hatta adresleme sonucu eksik gelmesi	3	8	24	Üretime girmeden hatta kilitlerle beslenecek listedeki tüm kodların/parçaların adreslemelerinin eksik olmadığından emin olmak.		Adresli tüm yeni parçaların belirlenip, adreslenmesi görevi Lojistik ekibinin sorumluluğuna devredilebilir.		
Satın al/ yap analizinin yanlış yapılması	2	9	18	MBOM ekibince yeni kod ve gruplar tanımlanma aşamasında metot mühendislerinin dahil olup, parça tanımlamalarının hat bilgisi olan ekip ile yapılması				
Yeni traktör parçalarının hat üzerinde monte veya taşınmasında kullanılan kaldırma aletlerinin parçalara uygun olmaması	2	8	16	Taşıma aparatları nihai 3D modelde göre İleri imalat teknikleri ekibince hatta kullanılan kaldırma aletleri göz önünde bulundurularak , projeye uygunluğunun kontrolü, uygun olmayanlar için yeni ekipmanların tasarımının İSÇ onayı ile yapılması.				

SONUÇ

Karar verici, kriterler veya alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar yapmadan önce en iyi ve en kötü kriterleri belirleyerek, daha güvenilir ikili karşılaştırmalara yol açabilecek bir değerlendirme aralığı hakkında net bir anlayışa sahiptir. Bu da orijinal BWM çalışmasında gösterilen daha tutarlı ikili karşılaştırmalar anlamına gelir.

İkili karşılaştırmaya dayalı yöntemlerde, ya tek bir vektör kullanılır ya da tam bir matris kullanılır. Veri girişi için tek bir vektör kullanmak, yöntemi çok veri (ve zaman) açısından verimli kılar, ancak sadece bir vektöre dayalı yöntemlerin temel zayıflığı, sağlanan ikili karşılaştırmaların tutarlılığının kontrol edilememesidir. Öte yandan, tam bir matris kullanmak, sağlanan ikili karşılaştırmaların tutarlılığını kontrol etme imkanı sağlar, ancak veri (ve zaman) açısından verimli değildir. Tam matris kullanımı durumunda, karar vericiden çok fazla soru sormak, karar vericinin kafa karışıklığına ve tutarsızlığına katkıda bulunabilir. BWM ise bu iki yöntem arasında bir orta noktadadır. BWM, veri (ve zaman) açısından en verimli yöntem olup, sağlanan ikili karşılaştırmaların tutarlılığını kontrol etme olasılığını sağlar. İki vektör, iki spesifik referans kriterini (veya alternatifini) dikkate alarak oluşturulduğundan, BWM tamamlanmamış bir ikili karşılaştırma matrisi durumu olarak görülmemelidir.

Uygulama sonucuna göre Yeni Ürün Devreye Alma Departmanı için en yüksek önceliğe sahip risk “Yeni tasarlanan ve ilk kez kullanılacak olan parçaların zamanında fabrikaya ulaşmaması” olarak belirlenmiştir. Risklerin önceliklendirilmesinde, kaynakların risklere dağılımında ve önceliklendirilmesinde BWM ve CoCoSo yöntemleri kullanımı önerilmiştir. Model gelecek durumlarda kriter sayısı artırılarak çalışma daha da detaylandırılabilir. Kaynağın kısıtlı olduğu bir iş dünyasında kaynakların kullanımında risk değerlendirmesi için BWM ve CoCoSo yönetmelerinin başarılı sonuçlar verecektir.

KAYNAKÇA

- Thrassou, A., Vrontis, D., Chebbi, H., Yahiaoui, S., (2012), A Preliminary Strategic Marketing Framework for New Product Development, *Journal of Transnational Management*, 17(1), page 21-44. DOI: 10.1080/15475778.2012.650108
- KorkusuzPolat, T., Kara, N., (2021), Personel seçiminde Bulanık DEMATEL ve Bulanık VIKOR yöntemlerinin uygulanması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, sayı 23, 376-385.
- Malviya, R.K., Kant, R., Kumar, P., Lahane, S., Pujara, A.A. (2024), A hybrid fuzzy decision-making trial and evaluation laboratory and multi-criteria decision-making approach for successful implementation of supply chain collaboration strategies, *Supply Chain Analytics*, 5, 100053
- Çelik, M.T., Arslankaya, S., (2023), Analysis of quality control criteria in an business with the fuzzy DEMATEL method: Glass business example, *Journal of Engineering Research*, 11, 100039.
- Lund, K.W., Nielsen, M.L., Madsen, E.S. (2023), Sustainability assessment of new technologies using multi-criteria decision making: A framework and application in sectioning end-of-life wind turbine blades, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 184, 113542
- YılmazYalçın, A., Çaylak, İ., (2020), Türkiye’de Dijital dönüşüme başlangıç için AHP ve TOPSIS yöntemleri ile Sektörel sıralama, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 8-2, 258-265.
- Saraç, M.G., Dedebaş, T., Hastaoğlu, E., Arslan, E., (2022), Influence of using scarlet runner bean flour on the production and physicochemical, textural, and sensorial properties of vegan cakes: WASPAS-SWARA techniques. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 27, 100489
- Vaid, S.K., Vaid, G., Kaur, S., Kumar, R., (2022), Application of multi-criteria decision-making theory with VIKOR-WASPAS-Entropy methods: A case study of silent Genset, *Materials Today: Proceedings*, vol 50(5), page 2416-2423
- Ghoushchi, S.J., Garg, H., Bonab, S.R., Rahimi, A., (2023), An integrated SWARA-CODAS decision-making algorithm with spherical fuzzy information for clean energy barriers evaluation, *Expert Systems With Applications*, 223, 119884
- Arslankaya, S., Çelik, M.T., (2021), Green supplier selection in the steel door industry using fuzzy AHP and fuzzy MOORA methods, *Emerging Materials Research*, Vol 10(4), page 357-369.

- YılmazYalçın, A., (2021), Determination of the cost-effective lot-sizing technique for perishable goods: A case study, *International Journal of Management and Administration*, vol 5(9), page 33-46.
- Topal, A., (2021), Çok kriterli karar verme analizi ile elektrik üretim şirketlerinin finansal performans analizi: Entropi tabanlı CoCoSo yöntemi, *BMIJ*, 9(2), 532-546.
- Ulutaş, A., Karaköy, Ç., (2019), G-20 Ülkelerinin lojistik performans endeksinin çok kriterli karar verme modeli ile ölçümü, *S.C.Ü İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, cilt 20, sayı 2.
- Oehmen, J., Olechowski, A., Kenley, C.R., Ben-Daya, M., (2014), Analysis of the effect of risk Management practices on the performance of new product development, *Technovation* 34, page 441-453.
- De Oliveira, U.R., Neto, L.A., Abreu, P.A.F., Fernandes, V.A., (2021), Risk Management applied to the reverse logistics of solid waste, *Journal of Cleaner Production*, 296, 126517.
- Deveci, M., Varouchakis, E.A., Brito-Parada, P.R., Mishra, A.R., Rani, P., Bolgkoranou, M., Galetakis, M., (2023), Evaluation of risks impeding sustainable mining using Fermatean fuzzy score function based SWARA method, *Applied Soft Computing*, 139, 110220
- Tomak, N., KorkusuzPolat, T., (2022), Risk prioritization model driven by success factor in the light of multicriteria decision making, *Open Chemistry*, vol 20(1), page 759-776, <https://doi.org/10.1515/chem-2022-0188>
- Singer, H., ÖverÖzçelik, T., (2022), Bir risk temelli karar verme yaklaşımı ile metalik biyomalzeme değerlendirme, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 37, Sayı 2, 641-654.
- Singer, H., ÖverÖzçelik, T., (2023), A risk-based decision making framework to analyze the properties of cobalt-chromium alloys, *Emerging Materials Research*, vol 12(4), page 1-14.
- Rezaei, J., (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega (United Kingdom)*, 53, page 49-57.
- Ju, Y., Zhao, Q., Luis, M., Liang, Y., Dong, J., Dong, P., Giannakis, M., (2024), A novel framework for FMEA using evidential BWM and SMAA-MARCOS method, *Expert Systems With Application*, 243, 122796
- Khargotra, R., Alam, T., Thu, K., Andras, K., Singh, T., (2024), Optimization of design parameter of V-shaped perforated blocks in rectangular duct of solar air heater by using hybrid BWM-CODAS technique, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 264, 112627

- Tan, Y., Wang, X., Liu, X., Zhang, S., Li, N., Liang, J., Xu, D., Yang, Q., (2023), Comparison of AHP and BWM methods based ArcGIS for ecological suitability assessment of *Panax notoginseng* in Yunnan Province-China, *Industrial Crops and Products*, 199, 116737
- Khan, S., Haleem, A., (2020), Investigation of circular economy practices in the context of emerging economies: a CoCoSo approach, *International Journal of Sustainable Engineering*, Vol 14(3), page 357-367.
- Peng, X., Huang, H., (2020), Fuzzy decision making method based on CoCoSo with critic for financial risk evaluation, *Technological and Economic Development of Economy*, 26(4), page 695-724
- Negara, R.M., Syambas, N.R., Mulyana, E., (2023), C3CPS: CRITICoCoSo-based caching placement strategy using multi-criteria decision method for efficient content distribution in Named Data Networking, *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 35(9), 101714
- Dwivedi, P.P., Sharma, D.K., (2022), Application of Shannon entropy and CoCoSo methods in selection of the most appropriate engineering sustainability components, *Cleaner Materials*, 5, 100118

Bölüm 20

YAPAY ZEKA VE İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ: GELECEĞİN TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜMÜ VE UYGULAMALARI

Uğur KAFKAS¹

GİRİŞ

Teknolojik ilerlemeler, farklı disiplinlerin kesişiminde yeni ufuklar açmakta ve özellikle yapay zeka ile diğer birçok bilim dalı ve endüstriyel sektör arasındaki etkileşim, günümüzün dinamik ve hızla evrilen bilimsel ve teknik ortamında büyük bir çekim noktası oluşturmaktadır. Öte yandan, inşaat mühendisliği, fiziksel altyapının planlanması, tasarımı, inşası ve yönetimi süreçlerini içeren kapsamlı bir alandır. İnşaat mühendisliği, matematiksel, fiziksel ve malzeme bilimleriyle etkileşerek, toplumsal gereksinimleri karşılayan sağlam ve sürdürülebilir yapılar inşa etmeyi amaçlar.

Endüstri 4.0, dördüncü endüstriyel devrimi temsil eden bir kavramdır ve üretim süreçlerinin dijitalleşmesi, otomasyonu ve entegrasyonunu ifade eder. Endüstri 4.0, teknolojinin hızlı gelişimiyle birlikte üretim süreçlerinde dönüşüm yaratmış ve endüstriyel sektörleri temelinden etkilemiş bir kavramdır. Bu kavram, üretim alanında dijitalleşme, otomasyon, veri analitiği ve yapay zeka gibi teknolojilerin entegre edilmesini ifade eder. Yapay zeka, Endüstri 4.0'ın temel taşlarından biridir.

Yapay zeka, insanlığın bilgisayar sistemlerini düşünme ve öğrenme yetenekleriyle donatma hedefine yönelik ilerlemesiyle kökleri derinlere uzanan bir disiplindir. Alanın temelleri, 20. yüzyılın ortalarına kadar dayanmakla birlikte (Winston, 1984), teknolojik gelişmeler ve büyük veri kullanılabilirliği, yapay zekayı son yıllarda hızla evrimleştirmiştir. Bu evrim, birçok sektörde devrim niteliğinde değişimlere yol açmıştır. Finans sektörü örneğinde, otomatik algoritmalar sayesinde hisse senedi ticareti ve risk yönetimi daha akıllı ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir (Yıldız, 2022). Sağlık alanında, tıbbi teşhislerin doğruluğunu artırmak ve tedavi planlamalarını optimize etmek amacıyla yapay zeka kullanılmaktadır (Eliaçık vd., 2023). Üretim endüstrisinde, robotlar ve yapay zeka sistemleri, verimliliği artırarak üretim süreçlerini optimize edebilmekte ve hataları en aza indirebilmektedir (Berkun, 2018).

¹ Dr. Öğr. Üyesi; Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Kütahya Teknik Bilimler MYO İnşaat Bölümü. ugur.kafkas@dpu.edu.tr ORCID No: 0000-0003-1730-7810.

Ayrıca, doğal dil işleme ve görüntü analizi gibi alanlarda yapılan gelişmeler, hizmet sektöründe müşteri deneyimini kişiselleştirme ve hızlandırma konusunda önemli adımlar atmıştır (Sivri, 2023).

İşte bu sektörlerde görülen yapay zeka etkileri, inşaat sektörüne de büyük bir potansiyel sunmaktadır (Andersen & Gaarslev, 1996). İnşaat mühendisliği, özellikle karmaşık projelerin planlanması, yönetimi ve sürdürülebilirliği açısından zorluklarla karşı karşıyadır. Yapay zeka, bu zorlukları aşma ve sektörün verimliliğini artırma konusunda önemli araçlar sunmaktadır.

İnşaat sektörü, büyük ölçekli projelerin yürütülmesi, kaynakların yönetimi, zamanlamanın kontrolü ve risklerin değerlendirilmesi gibi çok sayıda karmaşık süreç içerir. Yapay zeka, bu süreçlerde çeşitli şekillerde etkiler yaratabilir. Proje Yönetimi ve Planlama alanında yapay zeka algoritmaları, büyük veri analizi sayesinde projelerin daha etkili bir şekilde planlanmasına yardımcı olabilir. Geçmiş projelerden elde edilen verileri değerlendirerek, gelecekteki projelerin zamanlamasını ve kaynak ihtiyaçlarını daha doğru bir şekilde tahmin edebilir. Bu da projelerin bütçesini ve zamanlamasını daha iyi yönetmeyi sağlar. Aynı zamanda yapay zeka, tasarım aşamasında en iyi çözümleri bulma konusunda mühendislere yardımcı olabilir. Ayrıca, mühendislik analizlerinde ve simülasyonlarda kullanılarak, yapının davranışını daha önceden tahmin etmeye ve olası sorunları tespit etmeye yardımcı olabilir.

Yapı Malzemeleri ve Teknolojileri alanında yapay zeka, yeni nesil yapı malzemelerinin geliştirilmesi ve üretim süreçlerinin optimize edilmesi için kullanılabilir. Akıllı malzemelerin ve 3D baskı teknolojisinin kullanımıyla, daha dayanıklı ve enerji verimli yapılar inşa etmek mümkün olabilir. Kalite Kontrol ve Denetim alanında ise, inşaat sahasında görüntü analizi ve sensör verileri kullanarak kalite kontrol süreçlerini iyileştirebilir. Yapılan işlerin uygunluğunu değerlendirmek ve hataları tespit etmek için daha hızlı ve hassas bir şekilde kullanılabilir.

Yapay zekanın inşaat sektöründeki etkileri sadece mevcut süreçleri optimize etmekle sınırlı değildir; aynı zamanda sektörü daha sürdürülebilir hale getirme potansiyeline de sahiptir. Malzeme ve enerji kullanımının optimizasyonu, atık yönetimi, yeşil bina tasarımı gibi alanlarda da yapay zeka büyük bir rol oynayabilir.

Bu çalışmanın temel amacı, inşaat sektöründe yapay zekanın potansiyelini ve mevcut uygulamalarını ele alarak, gelecekteki inşaat projelerinin daha akıllı, daha verimli ve daha sürdürülebilir bir şekilde nasıl yönetilebileceğini incelemektir. Bu bölümün ardından, yapay zeka tekniklerinin inşaat mühendisliği disiplinde nasıl kullanıldığına ve sektördeki dönüşümlere daha yakından odaklanılacaktır.

YAPAY ZEKA

Yapay zeka bilgisayar sistemlerinin, insan benzeri bilişsel yeteneklerini modelleyen ve analitik işlemlerle öğrenme yeteneğini birleştiren çok katmanlı bir disiplindir (Kalogirou, 2003; Syam & Sharma, 2018). Makine öğrenimi, derin öğrenme ve doğal dil işleme gibi alt alanları içinde barındıran yapay zeka, büyük ve karmaşık veri setleri üzerinden örüntüler ve anlamlı sonuçlar elde etme kapasitesine sahiptir.

Makine Öğrenimi

Makine öğrenimi, yapay zekanın önemli bir alt dalıdır ve bilgisayar sistemlerinin deneyimlerden öğrenme yeteneği kazanmasını amaçlar (Zhang & Lu, 2021). Temelinde, veri analizi ve örüntü tanıma yatar. Bu, bir bilgisayar programının, belirli bir görevi belirli bir performans ölçütüne göre otomatik olarak iyileştirebilmesi için verileri kullanarak öğrenme yeteneğine sahip olmasını içerir (Gültepe, 2019).

Makine öğrenimi, bazı temel bileşenleri içerir. Bunlardan ilki “Veri Toplama ve Hazırlama”dır. Makine öğrenimi projeleri, öncelikle veri toplama aşamasıyla başlar. Bu veriler, modelin eğitilmesi ve değerlendirilmesi için kullanılır. Veri, çeşitli özellikler ve etiketler içerebilir ve genellikle büyük veri setlerine dayanır. Veri toplandıktan sonra, düzenlenir, temizlenir ve özelliklerine göre ayırım yapılır. Verileri toplamak kadar, yüksek miktardaki veriler arasında bağ kurmak da son derece önemlidir (Savaş vd., 2012).

İkinci adım ise “Model Seçimi” adımıdır. Veri toplandıktan ve hazırlandıktan sonra, uygun bir model seçilir. Model, veriyi temsil eden matematiksel bir yapıdır ve genellikle bir algoritma içerir. Regresyon, sınıflandırma ve kümeleme gibi farklı model türleri farklı görevler için kullanılır.

Daha sonra “Model Eğitimi” aşaması gelmektedir. Model seçildikten sonra, veri seti modelin eğitim aşamasında kullanılır. Bu aşamada, model veriyi analiz eder, örüntüleri tanır ve genel bir anlayış geliştirir. Model, veriyi inceledikçe ve tekrarlamalı işlemler gerçekleştirdikçe performansı gelişir.

“Model Değerlendirmesi” aşamasında ise eğitim tamamlandıktan sonra, modelin gerçek dünya verileri üzerinde ne kadar iyi performans gösterdiği değerlendirilir. Bu değerlendirme, modelin doğruluğunu, hassasiyetini, özgünlüğünü ve başka performans ölçütlerini içerebilir.

“Model Ayarlaması” aşamasında eğer ihtiyaç varsa model değerlendirme sonrasında, modelin performansını artırmak için ayarlamalar yapılabilir. Bu aşamada hiper parametreler değiştirilebilir veya farklı algoritmalar denenebilir.

Son olarak da “Model Dağıtımı ve Uygulama” aşamasında eğitilmiş ve değerlendirilmiş model, gerçek dünya problemlerini çözmek için kullanılabilir hale getirilir. Modelin gerçek dünya verileri üzerinde nasıl performans gösterdiği izlenir ve gerekirse düzenlemeler yapılır. Uygulamayı geliştiren programcı, hangi makine öğrenimi algoritmasının kullanılacağına karar verir. Makine öğrenimi, farklı algoritma seçeneklerini içerir ve bu seçim, verinin doğru bir şekilde işlenmesini sağlayacak en uygun algoritmanın belirlenmesini gerektirir (Tosunoğlu vd., 2021).

Derin Öğrenme

Derin öğrenme, yapay zeka ve makine öğrenimi alanlarında önemli bir dönüm noktasını temsil eden, insan benzeri öğrenme yeteneklerini simüle eden etkileyici bir yaklaşımdır (Gültekin & Doğan, 2021). Temelinde, yapay sinir ağlarının tasarımı ve kullanımı yatar. Bu, büyük ve karmaşık veri setlerini anlama, öğrenme ve temsil etme yeteneğine odaklanır. Yapay sinir ağları, insan beyninin sinir hücrelerinin etkileşimini modellemek amacıyla tasarlanmış matematiksel yapılar olarak ortaya çıkar (Bingöl vd., 2020). Bu sinir ağları, çok sayıda bağlantılı düğümden (nöron) oluşur ve her nöron, girdi verilerini işler ve çıktı üretir. Derin öğrenme, bu yapay sinir ağlarının çok katmanlı ve karmaşık hale getirilmesini içerir, bu da daha yüksek düzeyde örüntüleri ve temsilleri öğrenme yeteneği sağlar.

Derin öğrenme, veri üzerinde otomatik olarak özellikleri ve temsilleri öğrenme yeteneği ile öne çıkar. Bu, veri setlerindeki karmaşıklığı ve yapıyı ifşa etmek ve anlamak anlamına gelir. Algoritma, veriyi ağırlıklar ve bağlantılarla temsil eden bir sinir ağı inşa eder. Bu ağ, veri setindeki desenleri algılayabilir, böylece özellikleri ve temsilleri uygun bir şekilde oluşturulur. Ayrıca derin öğrenme, öğrenilen temsilleri kullanarak daha karmaşık verilerden anlam çıkarımları yapma yeteneğine sahiptir. Katmanlı sinir ağları, veriyi yüksek düzeyde soyutlayarak işler. İlk katmanlar basit özellikleri tanıırken, daha derin katmanlar daha soyut ve anlamlı temsiller oluşturabilir. Böylece, görüntü analizi, doğal dil işleme ve ses tanıma gibi karmaşık veri setleri üzerinde etkili sonuçlar elde edilir (Dhar, 2016; Şeker vd., 2017).

Doğal Dil İşleme (DDİ)

Doğal Dil İşleme (DDİ), yapay zekanın önemli bir dalı olarak, bilgisayar sistemlerinin insan dilini anlamalarını, yorumlamalarını ve üretmelerini sağlamayı amaçlar. Bu, metin tabanlı verileri işlemek, anlam çıkarmak ve insan dilini kullanarak etkileşim kurmak için çeşitli teknikler ve algoritmaları içerir. DDİ, metin tabanlı verileri analiz ederek anlam çıkarımı yapma yeteneği ile öne

çıkarmak. Bu, kelime düzeyinde ayrıştırılmadan, cümle yapısını anlamaya ve metinler arasındaki semantik ilişkileri belirlemeye kadar geniş bir yelpazede uygulanabilir (Adalı, 2012).

DDİ algoritmaları, dilin ötesine geçerek metinlerdeki duygusal tonları, anlam katmanlarını ve bağlamları da anlayabilir. DDİ, metinleri belirli kategorilere sınıflandırmak ve etiketlemek için kullanılabilir. Bu, spam e-postalarını tanımlamaktan, duygu analizi yapmaya ve belgeleri konu veya içerik açısından sınıflandırmaya kadar geniş bir yelpazeyi kapsar. DDİ, bilgisayar sistemlerinin insan gibi metinler üretmelerine olanak tanır. Bu, metin tabanlı cevaplar üretmekten, yazılı içerik oluşturmaya ve hatta metinlerin otomatik çevirisine kadar çeşitli uygulamalarda kullanılabilir.

Ayrıca DDİ, ses kayıtlarını anlamak, metne çevirmek ve hatta bilgisayar tarafından üretilen metni sese dönüştürmek için kullanılabilir. Bu, sanal asistanlarla etkileşimden, sesli kitaplara ve otomobillerde sesli komutlara kadar geniş bir yelpazede uygulanabilir. DDİ, büyük veri setlerini analiz ederek anlamlı sonuçlar çıkarma yeteneği ile büyük ölçekli uygulamalarda da kullanılabilir.

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI

Günümüzün hızla gelişen teknolojik dünyasında, inşaat sektörü de bu dönüşümden etkilenmekte ve yenilikçi çözümler arayışı hızla artmaktadır. Bu bağlamda, yapay zeka, inşaat sektöründe büyük bir potansiyele sahip olan ve iş süreçlerini daha akıllı, verimli ve sürdürülebilir hale getirme yolunda önemli bir katalizör olarak öne çıkmaktadır. Yapay zeka, bilgisayar sistemlerinin insan benzeri düşünme ve öğrenme yeteneklerini taklit etmeyi amaçlayan bir disiplin olarak, inşaat sektörünün çeşitli alanlarında devrim niteliğinde yenilikler sunmaktadır.

Yapay zeka iş dünyasında köklü bir değişimin öncüsü olarak ortaya çıkmaktadır. Mevcut mesleklerin ve geleneksel beceri setlerinin yapılandığını ve bu teknolojilerin iş yapma şekillerini dönüştürdüğünü gözlemlemekteyiz (Yavuz Aksakal & Ülgen, 2021). Bu gelişmeler, çalışma yöntemlerini yeniden tanımlarken, bireylerin ve organizasyonların bu yeni dijital döneme ayak uydurabilmeleri için esnek ve yenilikçi yaklaşımlar geliştirmelerini gerektirmektedir.

İnşaat sektörünün karmaşıklığı ve geniş kapsamı, projelerin yönetiminden tasarımına, malzeme seçiminden kalite kontrolüne kadar birçok aşamada büyük zorlukları beraberinde getirmektedir. Bu noktada, yapay zeka algoritmaları, büyük veri analizi, örüntü tanıma ve otomatik öğrenme yetenekleri ile bu zorlukları aşma potansiyeli taşımaktadır. Proje yönetiminden başlayarak, yapı

tasarımı, malzeme geliştirme, kalite kontrol ve güvenlik yönetimi gibi alanlarda yapay zeka uygulamaları, daha kesin tahminler, daha iyi planlamalar ve daha etkili kararlar alınmasına olanak tanımaktadır. Bu girişim, inşaat sektörünün geleceğine yönelik aydınlatıcı bir pencere sunarken, yapay zekanın yaratıcı potansiyelinin sektörde nasıl keşfedileceğine dair bir çerçeve sunmayı amaçlamaktadır.

Proje Yönetimi ve Planlama

Yapay zeka, inşaat sektöründeki proje yönetimi ve planlama süreçlerini daha etkili ve verimli hale getirmek için çeşitli uygulamalar sunar. Geleneksel yöntemlere göre daha hızlı ve kesin sonuçlar elde etmek, kaynakları optimize etmek ve riskleri önceden tahmin etmek amacıyla yapay zeka teknikleri kullanılabilir.

Zaman tahminleri ve kaynak yönetimi konusunda yapay zeka, geçmiş projelerin verilerini analiz ederek gelecekteki projelerin zamanlamasını tahmin edebilir. Bu, daha doğru teslimat tarihleri belirlemek ve kaynak tahsisini optimize etmek için önemlidir. Ayrıca, projenin farklı imalat aşamaları arasındaki bağımlılıklarını analiz ederek, etkili bir iş programı oluşturulmasına yardımcı olabilir.

Risk analizi ve alınacak önlemler söz konusu olduğunda yapay zeka, projelerin olası risk faktörlerini tahmin edebilir ve bu risklere karşı önlemler geliştirebilir. Derin öğrenme sayesinde büyük veri analizi ve örüntü tanıma ile olası problemleri önceden belirleyebilir ve riskli alanlara odaklanarak daha etkili bir risk yönetimi sağlayabilir.

İnşaat sektörüne aşına olanların çokça karşılaştığı şekilde, proje yönetiminde, beklenmedik değişiklikler sıkça ortaya çıkabilir. Yapay zeka, mevcut verileri analiz ederek değişen şartlara nasıl uyum sağlanacağı konusunda önerilerde bulunabilir. Bu, proje yöneticilerine esneklik kazandırırken, aynı zamanda iş süreçlerinin akıcı bir şekilde devam etmesine de yardımcı olacaktır.

Yapay zeka aynı zamanda, proje yöneticilerine daha iyi kararlar alabilmeleri için veri tabanlı bilgi sunabilir. Büyük veri setleri üzerinde yapılan analizler sayesinde, proje yöneticileri daha bilinçli ve doğru kararlar alabilir, böylece projenin başarısını artırabilir. Ayrıca yapay zeka, projede yer alan farklı ekipler arasındaki iletişimi ve iş birliğini iyileştirmek için kullanılabilir. Proje verilerini analiz ederek, ekiplerin daha etkili bir şekilde iletişim kurmasına ve sorunları çözmesine yardımcı olabilir.

Ayrıca yapay zeka tabanlı yaklaşımlar, inşaat öncesi yapı yaklaşık maliyet çalışmalarında kullanılabilir. Bu tür çalışmalar,

projenin başlangıcında tahmini maliyetleri belirlemek ve buna göre planlama yapmak için oldukça önemlidir. Yapay zeka, bu süreçte çeşitli avantajlar sunabilir. İlk olarak, geçmiş projelerin veri setlerini analiz ederek farklı faktörlerin maliyet üzerindeki etkileri belirlenebilir. Bu verileri kullanarak, benzer projeler için tahmini maliyetler daha doğru bir şekilde hesaplanabilir. Ayrıca, yapılan analizler sayesinde maliyetlerin zaman içindeki değişimleri ve eğilimleri izlenebilir.

Bileşenlerin ve malzemelerin maliyet analizi de yapay zeka ile yapılabilir. Farklı yapı bileşenlerinin ve malzemelerinin maliyetleri analiz edilerek, proje tasarımının erken aşamalarında, farklı malzeme seçeneklerinin maliyet etkileri değerlendirilebilir ve en ekonomik seçenekler belirlenebilir. Aynı zamanda yapay zeka, farklı senaryoları ve değişkenleri kullanarak tahmini maliyetleri analiz edebilir. Bu, farklı koşullar altında nasıl maliyetlerin değişebileceğini anlamak için kullanışlı olabilir. Örneğin, farklı inşaat yöntemleri veya tasarım değişiklikleri altında maliyetlerin nasıl etkilenebileceğini tahmin etmek için yapay zeka kullanılabilir. Yeni veri girdilerine adapte olabilmek ve tahminleri güncelleyebilmek için de kullanılabilir. Bu, projenin ilerledikçe ve yeni bilgiler ortaya çıktıkça maliyet tahminlerinin güncel ve doğru kalmasını sağlar.

Makine öğrenmesi ve yapay sinir ağları kullanarak, önceki verileri dikkate alıp aylık maddi gelir gider tahmini uygulaması yapan Sudheer vd. (2014), başarılı bir tahmin modeli geliştirmişlerdir. Yine makine öğrenmesi kullanılarak yaklaşık maliyet tahmin çalışmaları da yapılmıştır. Özellikle büyük veriler kullanılarak yapılan çalışmalar daha iyi sonuç vermektedir (Günaydın & Doğan, 2004; G. H. Kim vd., 2004). Buradan da anlaşılacağı gibi ne kadar fazla veri kullanılabilirse yapılacak tahminlerin doğruluk oranı o kadar artmaktadır. Bu çerçevede yapay sinir ağları kullanılarak malzeme birim teklif fiyatının tahmin edilmesi için bir çalışma yapılmış ve çok düşük hata oranlarında başarı elde edilmiştir (Bahadır, 2013). Yine yapay sinir ağları kullanılarak yapılacak olan yığma bir binanın yapı yaklaşık maliyeti tahmin eden bir başka model oluşturulmuştur (Korkmaz & Uğur, 2012). Fang vd. (2018), inşaat sahalarında işçi ve iş makinalarının otomatik olarak tespiti için derin öğrenme temelli bir sistem geliştirmiştir. Bu çalışmada, oluşturulan model, inşaat sahalarında çalışanların ve iş makinalarının durumlarını son derece yüksek bir doğrulukla tespit etmiştir. Bir başka çalışmada da veri madenciliği kullanılarak iş güvenliği ve işçi sağlığı kapsamında büyük öneme sahip olan yüksekten düşme olaylarını azaltmak için bilgisayarlı bir model geliştirilmiştir (Fang vd., 2019).

Proje yönetimi ve planlama alanında yapay zeka kullanımı, daha etkili, verimli ve başarılı projelerin hayata geçirilmesine katkı sağlayabilir. Bu,

projelerin daha düşük maliyetlerle ve daha kısa sürelerde tamamlanmasına olanak tanırken, aynı zamanda kaliteyi ve müşteri memnuniyetini artırabilir.

Yapay Zeka Destekli Tasarım

Yapay zeka, inşaat sektöründeki tasarım ve simülasyon süreçlerini daha yaratıcı, verimli ve öngörülebilir hale getirmek için çeşitli yöntemler sunar. Geleneksel tasarım ve simülasyon yaklaşımlarına kıyasla, yapay zeka ile desteklenen tasarım süreçleri daha karmaşık ve karmaşıklık içeren projelerin üstesinden gelmeye yardımcı olacaktır.

Yapay zeka, farklı tasarım seçeneklerini analiz ederek en uygun ve optimize edilmiş çözümleri belirlemede yardımcı olur. Bu, malzeme ve kaynak kullanımının en verimli şekilde yapılmasına olanak sağlar. Ayrıca, enerji tasarrufu, sürdürülebilirlik ve dayanıklılık gibi faktörleri göz önünde bulunduran tasarım seçeneklerinin de daha fazla değerlendirebilmesine olanak sağlar.

Bununla beraber yapay zeka, farklı yapı malzemelerinin özelliklerini analiz ederek en uygun malzeme seçimi konusunda da devreye girecektir. Dayanıklılık, ağırlık, maliyet, ulaşılabilirlik gibi kriterleri göz önünde bulundurarak yapı malzemesi seçimini optimize edilebilir. Ayrıca, malzeme analizi, yapı bileşenlerinin ne kadar süreyle dayanabileceğini veya ne tür yüklere maruz kalabileceğinin daha isabetli tahmin modelleri oluşturabilir.

Aynı zamanda yapay zeka araçları kullanılarak, farklı senaryoları simüle etme ve yapıların nasıl davranacağını ve performans göstereceğini önceden değerlendirme şansı artacaktır. Bu, deprem etkileri, hava koşulları veya kullanım senaryoları gibi çeşitli faktörlerin analizini içerir. Simülasyon sonuçları, tasarımın güçlü yönlerini vurgulayabilir ve zayıf noktaları belirleyebilir. Deprem öncesi oluşabilecek yapısal hasarların önceden tahmin edilmesi (Abdeljaber vd., 2018; Avcı vd., 2017; Lin vd., 2017; Mohanaselvi & Hemapriya, 2019; Santos vd., 2016), barajlarda; su seviyelerinin tahmin edilmesi (Abu Salam & Keskin, 2018; Arslan vd., 2020; Khai vd., 2019), buharlaşma tahmini (Özdülkar vd., 2019; Özel & Büyükyıldız, 2019; Tezel & Buyukyıldız, 2016) ve toprak sıcaklığı tahmini (Behmanesh & Mehdizadeh, 2017) gibi çalışmalar literatürde yer almaktadır.

Yapay zeka, tasarım süreçlerini hızlandırarak daha hızlı sonuçlar elde etmeyi sağlarken, büyük veri setlerini analiz ederek, tasarım süreçlerindeki gereksiz tekrarları azaltabilir ve verimliliği artırabilir. Aynı zamanda tasarım aşamasında potansiyel hataları tespit edebilir ve kalite kontrolü sağlayabilir. Bu, yapı tasarımında daha güvenilir ve güvenli sonuçlar elde edilmesini sağlar.

Kalite Kontrol ve Denetim Süreçleri

Yapay zeka, inşaat sektöründe kalite kontrol ve denetim süreçlerinin daha etkili, kapsamlı ve verimli bir şekilde yönetilmesini sağlar. Geleneksel denetim yaklaşımlarının ötesine geçerek, daha hassas sonuçlar elde edilmesine yardımcı olurken, aynı zamanda insan hatası riskini de azaltır.

Yapay zeka, büyük veri setlerini analiz ederek yapılan işlerin ve malzemelerin kalitesini değerlendirebilir. Bu, yapıda olası hataları ve sorunları tespit etmek için kullanılabilir. Veri analizi, yapı malzemelerinin dayanıklılığını, işçilik kalitesini ve montaj doğruluğunu değerlendirmek için kullanılabilir. Bununla birlikte, görüntü ve sensör verilerini kullanarak da yapısal kusurları ve eksiklikler tespit edilebilir. Örneğin, çatlaklar, yüzey deformasyonları veya bozulmalar gibi yapısal sorunlar yapay zeka algoritmalarıyla otomatik olarak tespit edilebilir.

Yapay zeka, geniş alanları ve yüksek yapıları detaylı bir şekilde tarayarak eksiksiz denetimler yapabilir. İnsan denetçilere kıyasla daha hızlı ve daha kapsamlı bir şekilde denetim gerçekleştirebilir. İnşaat sahasının yapay zeka modelleri yardımıyla denetimi ile ilgili bugüne kadar pek çok çalışma yapılmıştır (Che & Wang, 2014; Ding vd., 2018; D. Kim vd., 2019; Luo vd., 2018; Moon vd., 2015). Özellikle denetim mekanizmasının otomatikleştirilebilmesi inşaat sektörüne damga vurabilecek bir gelişme olacaktır.

Aynı zamanda yapay zeka, önceki projelerden ve denetimlerden elde edilen verilere dayanarak potansiyel hataları ve sorunları önceden tahmin edebilir. Sahip olunan veriler ışığında ve önceki edinilmiş tecrübelerle birlikte saha denetimi alanında çok değerli tahminler oluşturulabilir. Denetim süreçlerinde daha yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirlik sayesinde insan denetçilere kıyasla daha az hata yapma ve aynı kalite standartlarına sahip olan homojen denetim yapma olanağı ortaya çıkacaktır. Yapılacak denetimlerin ardından elde edilen verileri de analiz ederek detaylı raporlar oluşturmak ve bu raporlar sayesinde, işçilik kalitesini, malzeme uygunluğunu ve projenin genel kalitesini değerlendirmek son derece kolay ve hatasız olacaktır.

Yapay Zeka Tabanlı Yapı Malzemeleri ve Teknolojileri

Yaşanan teknolojik gelişmeler ve yapılan birçok çalışma neticesinde yapay zeka, inşaat malzemelerinin ve teknolojilerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaya başlamıştır. Özellikle nanoteknoloji alanındaki gelişmelerle birlikte halihazırda çok sayıda araştırma gerçekleştirilen malzeme bilminde, yapay zeka kullanımı ile devrim niteliğinde gelişmeler yaşanmaktadır. Bu duruma paralel gelişmeler yapı malzemeleri alanını da etkilemektedir. Yapılan

çalışmaların hızla devam ettiği alanda, yakın gelecekte yapay zeka destekli akıllı malzemeler, yapıların çeşitli koşullara otomatik olarak tepki verebilmesini sağlayabilecektir. Örneğin ısıyı emme veya salma kapasitesine sahip malzemeler, enerji verimliliğini artırabilir. Aynı zamanda, sensörlerle entegre edilen malzemeler, yapı bileşenlerinin dayanıklılığını ve işlevselliğini sürekli olarak izleyebilir (Farrar & Worden, 2007; Gui vd., 2017; Worden & Manson, 2007).

Yapay zeka, 3D baskı gibi üretim tekniklerini destekleyerek, özelleştirilmiş ve karmaşık yapı malzemelerinin üretimini kolaylaştırabilir (Alkhalidi & Hatuqay, 2020; Lu vd., 2019; Yuan vd., 2020). Bu, daha hızlı ve uygun maliyetli inşa süreçleri sağlayarak, tasarım ve üretimde yeni sınırların keşfedilmesine olanak tanyacaktır. Bu teknoloji sayesinde imalatlarda standartlaşma güçlenecek, imalat aşamasında oluşabilecek hataların önüne geçilecek, aynı zamanda işgücü verimliliği üst bir boyuta taşınacaktır. Bununla birlikte yapay zeka sayesinde yapı malzemeleri seçiminde veriye dayalı yaklaşımlar çok daha hızlı ve kolay olarak ortaya çıkacaktır. Malzeme performansını, dayanıklılığını ve maliyetini dikkate alan algoritmalar, en uygun malzeme seçimini hem hızlandıracak hem de kolaylaştıracaktır.

Çevre duyarlılığı ve sürdürülebilirlik kapsamında düşünüldüğünde ise, yapay zeka, inşaat malzemelerinin çevresel etkilerini değerlendirmek ve minimize etmek için de kullanılabilir. Malzeme seçiminde ve üretiminde yapay zeka destekli analizler sayesinde, daha sürdürülebilir ve çevre dostu malzemelerin geliştirilmesi teşvik edilebilir.

Malzeme özellikleri, dayanıklılık, geri dönüşüm potansiyeli, enerji kullanımı ve atık üretimi gibi faktörler yapay zeka algoritmaları ile değerlendirilerek en çevre dostu malzemelerin seçilmesine olanak sağlar ve bu da inşaat projelerinin çevresel ayak izini minimize ederek sürdürülebilirliği artırabilir. Bununla birlikte yapay zeka, malzeme üretim süreçlerini optimize ederek atık miktarının azaltılması noktasında fayda sağlayarak, üretim aşamaları yapay zeka algoritmalarıyla izlenebilir ve böylece gereksiz kaynak kullanımı ve atık oluşumu engellenebilir. Aynı zamanda, geri dönüşüm ve tekrar kullanım fırsatları da yapay zeka ile daha etkin bir şekilde belirlenebilir.

Yapay zeka, inşaat sektörünün enerji verimliliğini artırma ve ısı yönetimini optimize etme konularında önemli bir araç haline gelmektedir. Bu teknoloji, inşaat projelerinin enerji tüketimini azaltarak çevresel etkileri minimize etmeye ve maliyetleri düşürmeye yardımcı olabilir. Örneğin yapay zeka, binaların enerji tüketimini izlemek ve yönetmek için kullanılabilir. Sensörler aracılığıyla toplanan veriler, yapay zeka algoritmalarıyla analiz edilerek enerji tüketim

desenleri anlaşılabilir. Buna göre, ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi sistemler otomatik olarak düzenlenir, gereksiz enerji harcamaları engellenebilir.

Sonuçta yapay zeka tabanlı yapı malzemeleri ve teknolojileri, inşaat sektörünün geleceğini şekillendirecek önemli bir faktördür. Bu teknolojiler, daha dayanıklı, enerji verimli, çevre dostu ve özelleştirilmiş yapıların geliştirilmesine olanak tanıyarak sektörün dönüşümünü hızlandırabilir.

İnşaat Sektöründe Yapay Zeka Uygulamalarının Geleceği

Gelecekte yapay zeka, inşaat sektörünü temelden değiştirme potansiyeline sahiptir. Bu teknolojinin etkisi sadece fiziksel inşaat işlerini değil, aynı zamanda tasarım, yönetim, güvenlik ve sürdürülebilirlik gibi tüm alanları kapsayacaktır. İnşaat projelerinin geleceği, bir fütürist perspektifinden değerlendirildiğinde, çeşitli önemli eğilimler ve etkiler öngörülebilir.

Yapay zeka, inşaat projelerinin yönetimini daha etkin ve verimli hale getirebilir. Süreçlerin otomasyonu ve optimizasyonu sayesinde projelerin bütçe ve zaman sınırlarına daha iyi uyum sağlaması mümkün olabilir. Aynı zamanda, yapay zeka destekli analitik ve tahmin modelleri, projelerin ilerlemesini öngörerek riskleri minimize edebilir ve proaktif önlemler alınmasına yardımcı olabilir. Gelecekteki yapay zeka uygulamaları, inşaat tasarımını da kökten değiştirebilir. Mimari ve mühendislik alanlarında, yapay zeka destekli tasarım ve simülasyonlar, daha karmaşık ve dayanıklı yapıların tasarımını hızlandırabilir. Bu da inşaat projelerinin daha önce düşünülenenden daha hızlı ve yenilikçi şekillerde hayata geçirilmesine olanak sağlayabilir. Ayrıca, güvenlik ve sürdürülebilirlik, yapay zekanın inşaat sektöründeki etkisinin odak noktalarından biri olabilir. Gelecekte, yapay zeka destekli sensörler ve analitik araçlar, inşaat sahalarında daha güvenli çalışma koşullarını sağlamak için kullanılabilir. Aynı zamanda, malzeme ve enerji yönetimi gibi sürdürülebilirlik alanlarına odaklanarak, çevre dostu inşaat projelerinin artması sağlanabilir. Böylece sürdürülebilirlik kavramının da altı doldurulmuş olur.

Yapay zekanın bu potansiyeli, inşaat sektörünün geleceğini şekillendirecek ve bu sektördeki profesyonellerin yeni yetenekler kazanmasını gerektirecek, böylece inşaatçılar, tasarımcılar ve mühendisler, yapay zeka ile iş birliği yaparak daha verimli, yenilikçi ve sürdürülebilir projeler üretme fırsatını yakalayacaktır. Ancak, bu teknolojik evrimin getireceği etik ve toplumsal sorunları da ele almak, yapay zekanın inşaat sektöründeki geleceğini şekillendiren önemli bir faktör olarak karşımıza çıkacaktır. İnsan işgücünün yerini alabilecek olması, veri gizliliği endişeleri ve yapay zekanın yarattığı yeni normlar, toplumun bu teknolojiye yaklaşımını şekillendirecektir.

SONUÇ

Bu çalışma, inşaat mühendisliği ve inşaat sektörü alanındaki yenilikçi uygulamalar ve yapay zeka teknolojisinin birleşimi üzerine kapsamlı bir bakış sunmayı amaçlamaktadır. Yapay zeka, inşaat sektöründe devrim niteliğinde değişiklikler yaratma potansiyeli taşıyan bir araç olarak öne çıkmaktadır. Günümüzün hızla değişen dünyasında, inşaat projelerinin daha etkili, verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi ve tasarlanması gerekmektedir. Bu çalışma, inşaat mühendisliği profesyonellerine, sektör paydaşlarına, araştırmacılara ve öğrencilere, yapay zeka teknolojisinin inşaat sektörüne getirebileceği fırsatları ve zorlukları anlamalarında rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

Çalışmanın başında, yapay zeka teknolojisinin inşaat sektöründeki potansiyeli ve önemi vurgulanmıştır. Teknolojik dönüşümün hızla gerçekleştiği bir dönemde, inşaat sektörünün de bu dönüşümden etkilenmesi kaçınılmazdır. Yapay zeka, iş süreçlerini optimize etmek, verimliliği artırmak ve daha akıllıca kararlar almak için güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır. Daha sonra, yapay zeka teknolojisinin inşaat sektöründeki çeşitli yönleri ele alınmıştır. Proje yönetimi ve planlama süreçlerinde yapay zekanın nasıl kullanılabileceği incelenmiştir. Zaman tahminleri, kaynak yönetimi ve risk analizi gibi kritik alanlarda yapay zeka algoritmalarının sağlayabileceği avantajlar vurgulanmıştır. Ayrıca, yapay zeka destekli tasarımın nasıl daha yaratıcı ve verimli sonuçlar doğurabileceği tartışılmıştır. Bu bölümde, yapay zeka teknolojisinin inşaat sektöründe nasıl devrim niteliğinde değişiklikler yaratabileceğine dair örnekler sunulmuştur. Son bölümde ise, yapay zeka teknolojisinin projelerin yönetimi, tasarımı ve denetimi üzerindeki etkisi daha ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Proje yönetimindeki hızlı ve kesin sonuçlar, tasarım optimizasyonu ve kalite kontrolünün nasıl yapay zeka ile güçlendirilebileceği açıklanmıştır. Aynı zamanda, inşaat sahalarında güvenlik ve sürdürülebilirlik gibi kritik alanlarda yapay zekanın nasıl kullanılabileceği örneklerle açıklanmıştır.

Gelecekte, yapay zeka teknolojisinin inşaat sektöründe daha da yaygın olarak kullanılması beklenmektedir. Bu teknolojinin benimsenmesi, inşaat projelerinin daha etkili ve verimli bir şekilde yönetilmesine yardımcı olacak, aynı zamanda kalite standartlarını yükseltecektir. Ancak, bu dönüşümün beraberinde getirdiği etik, toplumsal ve iş gücü dönüşümü gibi sorunlar da ele alınmalıdır.

Sonuç olarak, yapay zeka teknolojisi, inşaat sektörünü daha sürdürülebilir, yenilikçi ve güvenli projelerin hayata geçirildiği bir alan haline getirebilir. İnşaat mühendisleri ve sektör paydaşları, bu teknolojiyi kendi projelerinde ve süreçlerinde kullanarak, sektörün gelişimine önemli katkılarda bulunabilirler.

Bu çalışma, yapay zekanın inşaat mühendisliği alanındaki potansiyelini anlamak ve bu teknolojiyi etkili bir şekilde kullanmak isteyenlere rehberlik etmeyi amaçlamıştır.

REFERANSLAR

- Abdeljaber, O., Avcı, O., Kiranyaz, M. S., Boashash, B., Sodano, H., & Inman, D. J. (2018). 1-D CNNs for structural damage detection: Verification on a structural health monitoring benchmark data. *Neurocomputing*, 275, 1308-1317. <https://doi.org/10.1016/J.NEUCOM.2017.09.069>
- Abu Salam, Z. K. A., & Keskin, M. E. (2018). Yapay sinir ağları ile Dibis Barajı'nın seviye tahmini. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(4), 564-569.
- Adalı, E. (2012). Doğal Dil İşleme. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 5(2).
- Alkhalidi, A., & Hatuqay, D. (2020). Energy efficient 3D printed buildings: Material and techniques selection worldwide study. *Journal of Building Engineering*, 30, 101286. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2020.101286>
- Andersen, T., & Gaarslev, A. (1996). Perspectives on artificial intelligence in the construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 3(1/2), 3-14. <https://doi.org/10.1108/eb021019>
- Arslan, H., Üneş, F., Demirci, M., Taşar, B., & Yılmaz, A. (2020). Keban Baraj Gölü Seviye Değişiminin ANFIS ve Destek Vektör Makineleri ile Tahmini. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 71-77. <https://doi.org/10.47495/okufbed.748018>
- Avcı, O., Abdeljaber, O., Kiranyaz, S., & Inman, D. (2017). *Structural Damage Detection in Real Time: Implementation of 1D Convolutional Neural Networks for SHM Applications* (ss. 49-54). https://doi.org/10.1007/978-3-319-54109-9_6
- Bahadır, Y. (2013). *Cam Elyaf Katkılı Cephe Kaplama Elemanlarına Yönelik Teklif Fiyatı Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması* [Yüksek Lisans]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Behmanesh, J., & Mehdizadeh, S. (2017). Estimation of soil temperature using gene expression programming and artificial neural networks in a semiarid region. *Environmental Earth Sciences*, 76(2), 76. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6395-1>
- Berksun, E. (2018). *Sanayide endüstri 4.0 süreçleri: Çorum sanayisinde bir uygulama* [Yüksek Lisans]. Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Bingöl, K., Er Akan, A., Örmecioğlu, H. T., & Er, A. (2020). Depreme dayanıklı mimari tasarımda yapay zeka uygulamaları: Derin öğrenme ve görüntü işleme yöntemi ile düzensiz taşıyıcı sistem tespiti. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(4), 2197-2210. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.647981>

- Che, J. X., & Wang, J. Z. (2014). Short-term load forecasting using a kernel-based support vector regression combination model. *Applied Energy*, 132, 602-609. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2014.07.064>
- Dhar, V. (2016). The Future of Artificial Intelligence. *Big Data*, 4(1), 5-9. <https://doi.org/10.1089/big.2016.29004.vda>
- Ding, L., Fang, W., Luo, H., Love, P. E. D., Zhong, B., & Ouyang, X. (2018). A deep hybrid learning model to detect unsafe behavior: Integrating convolution neural networks and long short-term memory. *Automation in Construction*, 86, 118-124. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2017.11.002>
- Eliaçık, B., Dal, A., & Işık, A. H. (2023). Beyin Tümörü MR Görüntülerinin Evrişimsel Sinir Ağları ile Sınıflandırılması. *Uluborlu Mesleki Bilimler Dergisi*, 6(1), 71-91.
- Fang, W., Ding, L., Zhong, B., Love, P. E. D., & Luo, H. (2018). Automated detection of workers and heavy equipment on construction sites: A convolutional neural network approach. *Advanced Engineering Informatics*, 37, 139-149. <https://doi.org/10.1016/J.AEI.2018.05.003>
- Fang, W., Zhong, B., Zhao, N., Love, P. E. D., Luo, H., Xue, J., & Xu, S. (2019). A deep learning-based approach for mitigating falls from height with computer vision: Convolutional neural network. *Advanced Engineering Informatics*, 39, 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.12.005>
- Farrar, C. R., & Worden, K. (2007). An introduction to structural health monitoring. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1851), 303-315. <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1928>
- Gui, G., Pan, H., Lin, Z., Li, Y., & Yuan, Z. (2017). Data-driven support vector machine with optimization techniques for structural health monitoring and damage detection. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(2), 523-534. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-1518-5>
- Gültekin, B., & Dogan, G. (2021). İnşaat Mühendisliğinde Yapay Zeka Çalışmaları. *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, 2(2), 117-138.
- Gültepe, Y. (2019). Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Hava Kirliliği Tahmini Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme. *European Journal of Science and Technology*, 8-15. <https://doi.org/10.31590/ejosat.530347>
- Günaydın, H. M., & Doğan, S. Z. (2004). A neural network approach for early cost estimation of structural systems of buildings. *International Journal of Project Management*, 22(7), 595-602.

- <https://doi.org/10.1016/J.IJROMAN.2004.04.002>
- Kalogirou, S. A. (2003). Artificial intelligence for the modeling and control of combustion processes: a review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 29(6), 515-566. [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(03\)00058-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(03)00058-3)
- Khai, W. J., Alraih, M., Ahmed, A. N., Fai, C. M., El-Shafie, A., & El-Shafie, A. (2019). Daily forecasting of dam water levels using machine learning. *Int. J. Civ. Eng. Technol.(IJCET)*, 10, 314-323.
- Kim, D., Liu, M., Lee, S. H., & Kamat, V. R. (2019). Remote proximity monitoring between mobile construction resources using camera-mounted UAVs. *Automation in Construction*, 99, 168-182. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2018.12.014>
- Kim, G. H., An, S. H., & Kang, K. I. (2004). Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning. *Building and Environment*, 39(10), 1235-1242. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2004.02.013>
- Korkmaz, S., & Uğur, L. O. (2012). Yığma konutların maliyet tahmininde yapay sinir ağlarının (YSA) kullanılması. *Engineering Sciences*, 7(3), 615-631.
- Lin, Y., Nie, Z., & Ma, H. (2017). Structural Damage Detection with Automatic Feature-Extraction through Deep Learning. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 32(12), 1025-1046. <https://doi.org/10.1111/mice.12313>
- Lu, B., Weng, Y., Li, M., Qian, Y., Leong, K. F., Tan, M. J., & Qian, S. (2019). A systematical review of 3D printable cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 207, 477-490. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.02.144>
- Luo, X., Li, H., Cao, D., Yu, Y., Yang, X., & Huang, T. (2018). Towards efficient and objective work sampling: Recognizing workers' activities in site surveillance videos with two-stream convolutional networks. *Automation in Construction*, 94, 360-370. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2018.07.011>
- Mohanaselvi, S., & Hemapriya, G. (2019). *Application of fuzzy logic to earthquake damage predictions*. 020043. <https://doi.org/10.1063/1.5112228>
- Moon, H., Kim, H., Kamat, V. R., & Kang, L. (2015). BIM-Based Construction Scheduling Method Using Optimization Theory for Reducing Activity Overlaps. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 29(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000342](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000342)

- Özdülkar, K., Üneş, F., Demirci, M., & Kaya, Y. Z. (2019). Günlük Buharlaşıma Miktarının Bulanık Mantık Yöntemleri Kullanılarak Bölgesel Olarak Modellenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 23-29.
- Özel, A., & Büyükyıldız, M. (2019). Aylık buharlaşma tahmininde yapay zeka yöntemlerinin kullanılabilirliği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.516891>
- Santos, A., Figueiredo, E., Silva, M. F. M., Sales, C. S., & Costa, J. C. W. A. (2016). Machine learning algorithms for damage detection: Kernel-based approaches. *Journal of Sound and Vibration*, 363, 584-599. <https://doi.org/10.1016/J.JSV.2015.11.008>
- Savaş, S., Yılmaz, M., & Topaloğlu, N. (2012). Data Mining and Application Examples in Turkey. *Istanb. Commer. Univ. J. Sci*, 11(21), 1-23.
- Sivri, E. (2023). Kütüphanelerde Yapay Zekâ'nın Geleceği: Farklı Alanlardaki Potansiyel Uygulamalar ve Yeni Kullanım Alanları Oluşturma. *Library Archive and Museum Research Journal*, 4(2), 175-184. <https://doi.org/10.59116/lamre.1299783>
- Sudheer, Ch., Maheswaran, R., Panigrahi, B. K., & Mathur, S. (2014). A hybrid SVM-PSO model for forecasting monthly streamflow. *Neural Computing and Applications*, 24(6), 1381-1389. <https://doi.org/10.1007/s00521-013-1341-y>
- Syam, N., & Sharma, A. (2018). Waiting for a sales renaissance in the fourth industrial revolution: Machine learning and artificial intelligence in sales research and practice. *Industrial Marketing Management*, 69, 135-146. <https://doi.org/10.1016/J.INDMARMAN.2017.12.019>
- Şeker, A., Balık, H. H., & Diri, B. (2017). Derin Öğrenme Yöntemleri Ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(3), 47-64.
- Tezel, G., & Buyukyildiz, M. (2016). Monthly evaporation forecasting using artificial neural networks and support vector machines. *Theoretical and Applied Climatology*, 124(1-2), 69-80. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1392-3>
- Tosunoğlu, E., Özeren, E., Sağlam, Z., & Yılmaz, R. (2021). Eğitimde Makine Öğrenmesi: Araştırmalardaki Güncel Eğilimler Üzerine İnceleme. *Journal of Ahmet Kelesoglu Education Faculty*, 3(2), 178-199.
- Winston, P. H. (1984). *Artificial intelligence*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- Worden, K., & Manson, G. (2007). The application of machine learning to structural health monitoring. *Philosophical Transactions of the Royal*

Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 365(1851), 515-537.

<https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1938>

Yavuz Aksakal, N., & Ülgen, B. (2021). Yapay Zekâ ve Geleceğin Meslekleri. *TRT Akademi*, 6(13), 834-853. <https://doi.org/10.37679/trta.969285>

Yıldız, A. (2022). Finans Alanında Yapay Zeka Teknolojisinin Kullanımı: Sistematik Literatür İncelemesi. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 52, 47-66.

Yuan, L., Guo, J., & Wang, Q. (2020). Automatic classification of common building materials from 3D terrestrial laser scan data. *Automation in Construction*, 110, 103017. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2019.103017>

Zhang, C., & Lu, Y. (2021). Study on artificial intelligence: The state of the art and future prospects. *Journal of Industrial Information Integration*, 23, 100224.

<https://doi.org/10.1016/J.JII.2021.100224>

Bölüm 21

Lastik Ve Kauçuk Malzemelerin Çekme Özelliklerinin Belirlenmesi (ISO 37 ve ASTM D412 göre)

Bülent AYDEMİR¹

Anahtar Kelimeler: ISO 37, ASTM D412, Çekme Deneyi, Lastik malzemeler, Kauçuk malzemeler

1. GİRİŞ

Vulkanize edilmiş ve vulkanize edilmemiş termoplastik lastik ve kauçuk malzemelerin üretim sonrası tasarım şartlarına uygun ve doğru olarak kullanılabilmesi için üreticiler mekanik özelliklerini belirlemesi gereklidir. Malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılan en yaygın deney çekme deneyidir.

Termoplastik lastik ve kauçuk malzemeler çekme deneyi özelinde plastik malzemelerden farklı değerlendirilirler. Plastik malzemelerin çekme deneyi ISO 527 standardında ifade edilir. Termoplastik lastik ve kauçuk malzemeler için ise kullanılan çekme deney standartları ASTM D412 ve ISO 37 olarak karşımıza çıkarlar [1-3]. Bu standartlar, lastik ve elastomer malzemeler için uygulanan çekme testinin temel öğelerini, ekipmanlarını, yazılımı ve gerekli numuneleri genel olarak tanıtmak için hazırlanmıştır.

ISO 37 standardı, vulkanize edilmiş ve termoplastik lastik ve kauçuk malzemelerin çekme gerilimi-uzama özelliklerinin tayini için bir yöntemi kapsar. Belirlenebilen özellikler, çekme mukavemeti, kopmada uzama, belirli bir uzamada gerilim, belirli bir gerilimde uzama, akmada gerilim ve akmada uzamadır. Akma noktasındaki gerilim ve gerinim ölçümü yalnızca bazı termoplastik kauçuklar ve bazı diğer bileşikler için geçerlidir.

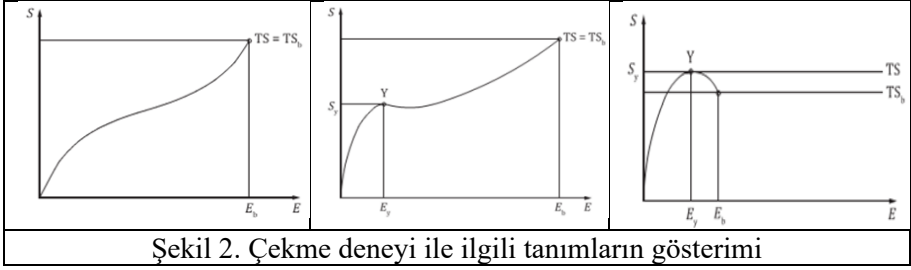
Bu çalışmada, ISO 37 standartları esas alınarak lastik ve kauçuk malzemelerin çekme deneyi detaylı olarak ele alınmıştır. Çekme deneyinde elde edilen sonuçlar ve çekme deney hızları hakkında bilgiler verilmiştir.

2. LASTİK VE KAUÇUK MALZEMELERDE ÇEKME DENEYİ

ISO 37 ve ASTM D412 standartları, lastik ve kauçuk malzemelerin çekme testinin temel öğelerini, cihazları, yazılımı ve gerekli numunelere genel bir

¹ Doç.Dr., TÜBİTAK UME Ulusal Metroloji Enstitüsü Kuvvet Laboratuvarı, bulent.aydemir@tubitak.gov.tr, ORCID No: 0000-0001-6848-2681

- Akma gerilmesi (S_y), Gerilme-boyut değişimi eğrisinde, gerilmede artış olmamasına rağmen boyut değişiminin artmaya devam etmesi olayının ilk başladığı noktadaki çekme gerilmesi
- Akma uzaması (E_y), gerilme-boyut değişimi eğrisinde, boyut değişiminde artış olmamasına rağmen gerilmenin artmaya devam etmesi olayının ilk başladığı noktadaki çekme uzaması değeridir.



Dambıl(köpek kemiği) ve halka (yüzük) test numuneleri, ilgili gerilim-uzama özellikleri açısından mutlaka aynı değerleri sağlamayabilir. Bunun temel nedeni ISO 37 standardına göre gerilmiş halkalarda gerilimin kesit boyunca homojen veya uniform olmamasıdır. İkinci bir faktör ise dambıl numunelerin boylarının damara paralel ya da dik olmasına göre farklı değerler vermesine neden olabilecek “tane”nin varlığıdır.

Dambıl ve halka (yüzük) test numunesi seçimi yaparken dikkat edilmesi gereken başlıca noktalar aşağıda tanımlanmıştır.

a) Çekme mukavemeti

Çekme mukavemetinin belirlenmesi için dambıl numuneler tercih edilir. Halkalar dambıllardan daha düşük, bazen çok daha düşük değerler verebilir.

b) Kopma noktasındaki uzama

Halkalar yaklaşık olarak dambıllarla aynı değerleri verir; ancak,

1) halkaların uzaması, başlangıçtaki iç çevrenin bir yüzdesi olarak hesaplanır ve

2) dambıllar, eğer önemli derecede mevcutsa, damarlara dik açılarda kesilir.

Halkalar bu amaç için uygun olmadığından tanecik etkilerini incelemek gerekiyorsa dambıl kullanılmalıdır.

c) Belirli bir gerilimde uzama ve belirli bir uzamada gerilim

Genellikle daha büyük dambıllar (tip 1, 2 ve 1A) tercih edilir. Halkalar ve dambıllar yaklaşık olarak aynı değerleri verir ancak,

1) Halkaların uzaması, başlangıçtaki ortalama çevrenin yüzdesi olarak hesaplanır ve

2) Damarlara paralel ve dik açıyla kesilen dambıllar için, eğer bu önemli derecede mevcutsa, ortalama değer alınır.

Otomatik testlerde, test parçalarının taşınmasının kolaylığı ve belirli bir uzamadaki gerilimin belirlenmesinde halkalar tercih edilebilir.

Küçük, minyatür test parçaları, daha büyük test parçalarından biraz farklı, genellikle daha yüksek çekme mukavemeti ve kopma uzaması değerleri verebilir.

ASTM D412 standardında çekme deneyinin kapsamı, vulkanize termoset kauçukların ve termoplastik elastomerlerin çekme (gerilme) özelliklerini değerlendirmek için kullanılan prosedürleri kapsadığı tanımlanır. Bu test yöntemi ebonit ve benzeri sert, düşük uzama gösteren malzemelerde uygulanmadığı belirtilmiştir. Ayrıca standarda göre test yöntemleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

Test Yöntemi A, dambıl ve düz kesit numuneleri

Test Yöntemi B, halka kesilmiş numuneler için tanımlanmıştır.

Ayrıca standartta bu iki farklı yöntemin aynı sonuçları vermediği belirtilmiştir.

2.1. Numune şekilleri ve boyutları

ISO 37' ye göre 7 tip olası test numune boyutu vardır (Şekil 3). Dambıl biçimli tipler 1, 2, 3, 4 ve 1A ve halka biçimli tipler A (normal) ve B (minyatür) olarak tanımlanır. Belirli bir malzeme için elde edilen sonuçların, kullanılan test parçasının tipine göre değişmesi muhtemeldir. Bu nedenle, farklı malzemeler için elde edilen sonuçlar, aynı tip test parçası kullanılmadıkça karşılaştırılabilir olarak kabul edilmemelidir. Test parçalarının hazırlanması cilalama veya kalınlık ayarı gerektirdiğinde, sonuçlar etkilenebileceği dikkate alınmalıdır.

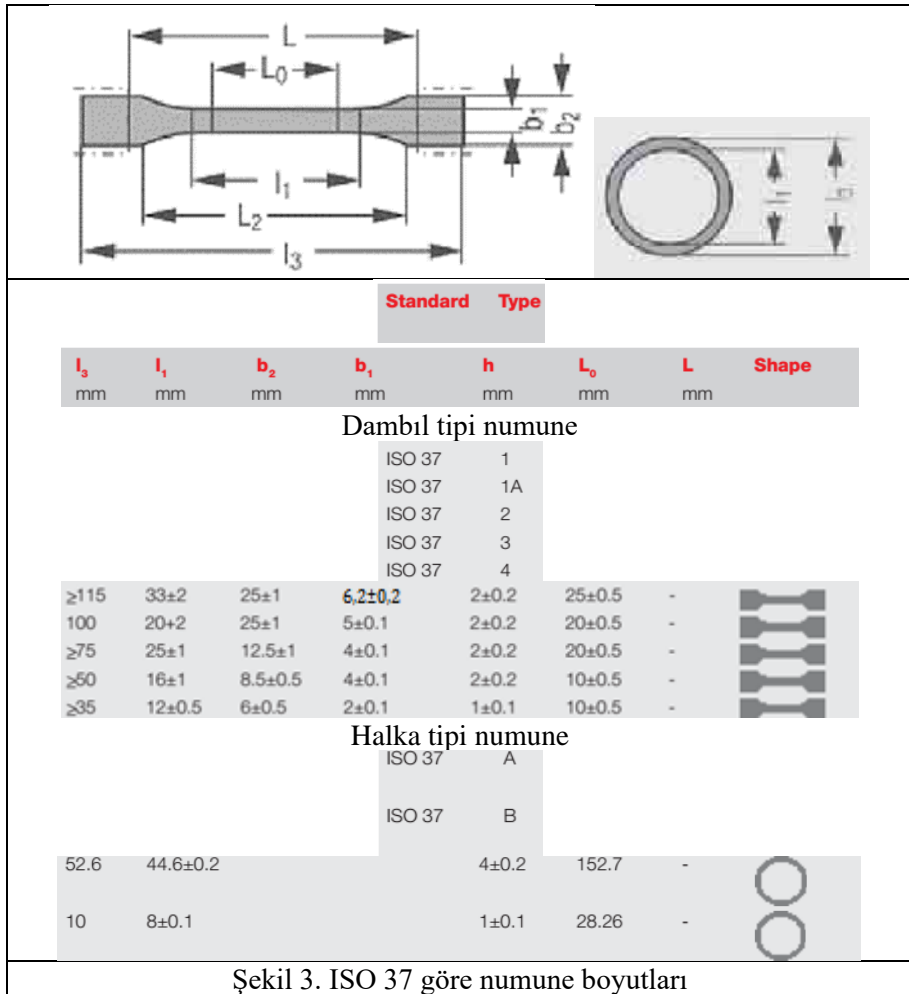
Dambıl test parçaları, Şekil 3'de gösterilen boyutlara sahip olmalıdır. Dar kısmın standart kalınlığı tip 1, 2, 3 ve 1A için $2,0 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ ve tip 4 için $1,0 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ olmalıdır. Dambılların diğer boyutları uygun kalıp tarafından üretildiği şekilde olmalıdır.

Standart olmayan test parçaları için, örneğin bitmiş ürünlerden alınanlar için, dar kısmın maksimum kalınlığı tip 1 ve 1A için $3,0 \text{ mm}$, tip 2 ve 3 için $2,5 \text{ mm}$ ve tip için $2,0 \text{ mm}$ olmalıdır.

Halka standart A tipi test numunesinin iç çapı $44,6 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ olmalıdır. Medyan aksel kalınlık ve medyan radyal genişlik $4 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ olmalıdır. Ayrıca bir halkanın radyal genişliği hiçbir yerde ortancadan $0,2 \text{ mm}$ 'den fazla sapmamalı ve halkanın aksel kalınlığı hiçbir yerde ortancadan %2'den daha fazla sapmamalıdır.

Halka standart B tipi test numunesinin iç çapı $8 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ olmalıdır. Medyan aksenal kalınlık ve medyan radyal genişlik $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ olmalıdır. Ayrıca bir halkanın radyal genişliği hiçbir yerde ortancadan $0,1 \text{ mm}$ 'den fazla sapmalıdır. Bu deney parçası yalnızca daha büyük olan A tipi deney parçası için yeterli malzemenin mevcut olmadığı durumlarda kullanılmalıdır.

Dambıl test parçalarının kalınlık ölçümü ve halka test parçalarının aksenal kalınlığını ölçen alet, ISO 23529:2016 yöntem A'da kullanıma uygun olmalıdır.



Şekil 3. ISO 37 göre numune boyutları

2.2. Kesme Kalıbı ve Kesiciler

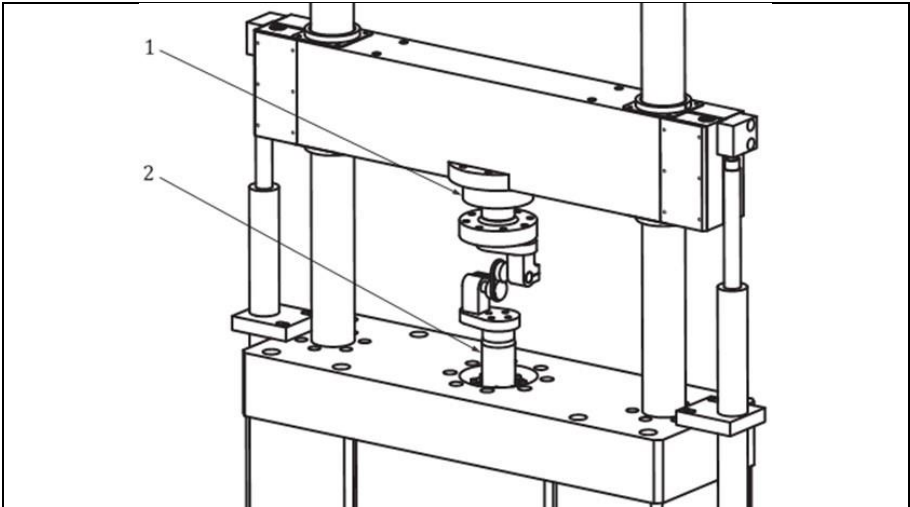
Kullanılan tüm kalıplar ve kesiciler ISO 23529'a uygun olacaktır. Dambıl tipi numunelerin hazırlanmasına yönelik kalıplar, Şekil 4'te yalnızca uygun bir

dambıl test numuneleri için ise ISO 5893 göre E sınıfına uygun bir doğruluğa sahip olmalıdır. ISO 5893 standardı incelendiğinde uzama ölçüm sisteminde müsaade edilen maksimum hata değeri ± 2 den küçük olması gerekliliği sınıflandırma tablosunda verilmiştir.

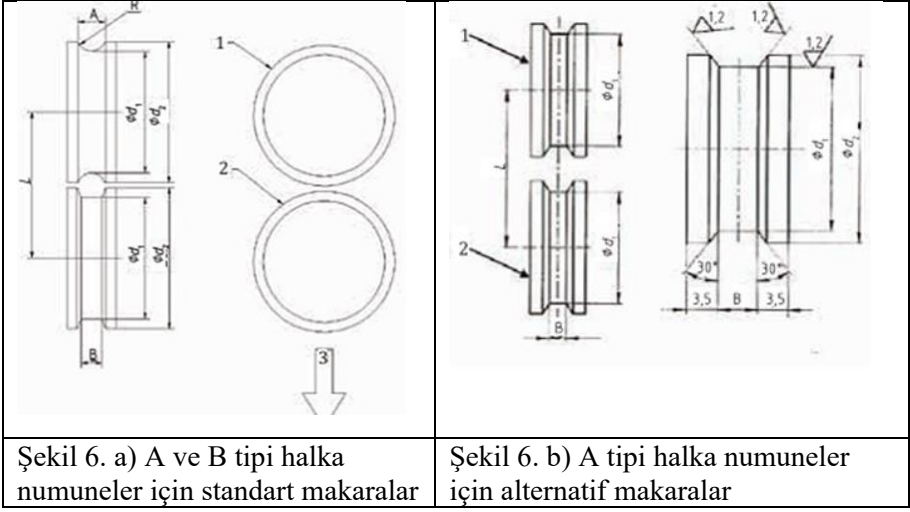
ASTM D412 göre ise ASTM E4 göre kalibre edilmiş olmalıdır. Ayrıca test makinası en az 750 mm (30 inç) mesafe için 500 ± 50 mm/dak oranında bir hareketli tabla hızı sağlayabilmelidir. Test makinesi, uygulanan kuvveti $\% \pm 2$ dahilinde ölçmek için hem uygun bir kuvvet dönüştürücüye hem de bir gösterge veya kayıt sistemine sahip olmalıdır.

ISO 37 göre test makinasından beklenen özellik 100 mm/dak, 200 mm/dak ve 500 mm/dak çekme hızlarında deney yapabilmesidir. ISO 5893 standardına göre test makinası çekme hızlarını 100 mm/dak ± 10 mm/dak, 200 mm/dak ± 20 mm/dak ve 500 mm/dak ± 50 mm/dak olarak tanımlanan değişimlerle uygulayabilmelidir.

Halka tipi numuneleri test etmek için Şekil 5'te verilen şekilde aparatlara sahip bir test makinası kullanılması gereklidir. A ve B tipi halka tipi numuneler için makara boyutları Tablo 1 ve Şekil 6'te belirtildiği gibi olmalıdır. Makaralardan biri çok düşük sürtünme ile serbestçe dönebilmelidir. Diğer makara ise halkayı döndürecek şekilde tahrik edilmeli ve 10 dev/dak ile 15 dev/dak arasında bir hızda çalıştırılmalıdır.



Şekil 5. Halka tipi numuneleri testi için test makinasının sahip olması gerekli aparat örneği



Tablo 1. Makara boyutları tablosu

Makara ölçüleri (boyutlar mm'dir)	L	$\phi d1$	A	R	$\phi d2$	B
A tipi halkalar için	$30_0^{+0,2}$	$25,5 \pm 0,05$	5,66	3,0	$29 \pm 0,1$	4,3
A tipi halkalar için	$35_0^{+0,2}$	$22,3 \pm 0,05$	-	-	$25 \pm 0,1$	5,0
B tipi halkalar için	$5,5_0^{+0,2}$	$22,3 \pm 0,05$	1,27	0,75	$5,2 \pm 0,05$	1,2

Termoplastik lastik ve kauçuk malzemelerin çekme deneyi, ayarlanabilen bir deformasyon hızına sahip, hassas bir kuvvet ve uzama göstergesine sahip olan, basit ve doğru bir şekilde değerlendirmeye olanak sağlayan çekme test makinasında yapılması tarif edilir.

Elastomerler malzemeler test edilirken, bazı malzemeler % 700 veya daha fazla kopma uzamasına sahip olduğundan, genellikle de düşük kuvvetlerde (< 500 N) yüksek uzamalar beklenir. Bu nedenle, uzun mesafeye sahip hareketli tablalı çekme test makinaları ve ekstansometrelerinin de uzun mesafeleri okuyabilmesi gerekmektedir.

Elastomer malzemeler düşük mukavemetlere sahiptirler. Bu malzemeler bilinen mukavemet aralıklarına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılması yapılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Elastomerlerin çekme mukavemetine göre sınıflandırma aralıkları

Çekme Mukavemeti Aralığı	Sınıflandırma
0 ila 5 N/mm ²	Düşük mukavemetli elastomer
5 ila 10 N/mm ²	Orta kuvvette elastomer
10 - 15 N/mm ²	Yüksek mukavemetli elastomer
15 N/mm ² 'den büyük	Çok yüksek mukavemetli elastomer

Ayrıca test makinasındaki ekstansometreler, numune koptuğunda veya yırtıldığında olası bir geri tepme nedeniyle hasar görmeyecek kadar sağlam olmalıdır. Ek olarak, elastomerleri test ederken genellikle düşük kuvvetler kullanıldığından, cihazın kuvvet ve uzama çözünürlükleri de uygun şekilde seçilmiş olması önemlidir.

2.4. Numune sayısı ve numunelerin hazırlanması, şartlanması, işaretlenmesi

Doğru sonuçlar elde etmek için doğru boyut ölçümü gereklidir. Boyut ölçümleri için gereklilikler ISO 16012 standardında plastik malzemeler için, ISO 23529 standardında ise kauçuk malzemeler için tanımlanmıştır [11,12].

ISO 37 standardı en az 3 numunenin test edilmesi gerektiğini ifade eder. Daha fazla sayıda numune kullanılmasına da müsaade eder.

Tüm test amaçları için, vulkanizasyon ile test arasındaki süre minimum 16 saat olmalıdır. Ürün dışı testler için, vulkanizasyon ile test arasındaki süre maksimum 4 hafta olması ve karşılaştırılabilir olması amaçlanan değerlendirmeler için testler mümkün olduğunca aynı bekleme süresinden sonra gerçekleştirilmelidir.

Ürün testleri için, mümkün olduğunda, vulkanizasyon ile test arasındaki süre 3 ayı geçmemelidir Diğer durumlarda, ürünün müşteri tarafından teslim alındığı tarihten itibaren 2 ay içerisinde testler yapılmalıdır.

Standart laboratuvar sıcaklığından farklı sıcaklıklardaki testler için, test parçalarını, testin gerçekleştirileceği sıcaklıkta, test parçalarının ISO 23529'a göre önemli bir dengeye ulaşmasını sağlamak için yeterli bir süre boyunca koşullandırılmalıdır.

Numuneler ve test parçaları, vulkanizasyon ve test arasındaki süre boyunca hasara yol açabilecek tüm dış etkilerden mümkün olduğu kadar tamamen korunmalıdır, örneğin ışık ve ısıdan korunmalıdır.

Test parçaları kesilmeden önce kauçuk hammaddesi olan lateks dışındaki numuneler en az 3 saat boyunca, lateks numuneler ise en az 96 saat boyunca nem kontrolü olmadan standart bir laboratuvar sıcaklığında ISO 23529'a göre koşullandırılmalıdır.

Test parçalarının hazırlanması parlatma içeriyorsa, parlatma ile test arasındaki süre 16 saatten az ve 72 saatten fazla olmamalıdır.

Standart laboratuvar sıcaklığındaki testler için, deney parçaları şartlandırılmış deney numunelerinden kesildiyse ve başka bir ön hazırlık söz konusu değilse hemen test edilebilir. Ek hazırlık söz konusu olduğunda, deneye tabi tutulabilir. Ayrı bir hazırlık söz konusuysa, standart laboratuvar sıcaklığında 3 saat boyunca süresine izin verilir.

Temassız bir ekstansometre kullanılıyorsa, uygun bir işaret kullanarak Tablo 1'de belirtilen test uzunluğunu tanımlamak için dambıl test parçalarını iki referans işaretiyle işaretleyin. Test parçası işaretlendiğinde gerilmemiş olmalıdır. Çizgiler, test parçasının dar kısmında, yani test parçasının merkezinden eşit uzaklıkta ve uzunlamasına eksenine dik açılarda işaretlenecektir

2.5. Numune ölçümleri

Kalınlık ölçer ile test uzunluğunun merkezinde ve her iki ucundaki kalınlık ölçülmelidir. Kesit alanını hesaplamak için 3 ölçümün ortalama değerini kullanın. Herhangi bir dambıl numunenin dar kısmın 3 kalınlık ölçüsünden hiçbiri ortalama kalınlıktan % 2'den daha fazla farklı olmamalıdır. Test parçasının genişliği dar kısımda kalıbın kesici kenarları arasındaki mesafe olarak alınmalı ve bu mesafe ISO 23529'a göre 0,05 mm çözünürlükte olacak şekilde ölçülmelidir. Ürünlerden kesilen test parçaları, dikdörtgen olmayan bir enine kesite sahip olabilir, bu durumda genişlik doğrudan test parçası üzerinde ölçülmelidir.

Halka tipi numunelerde radyal genişliği ve ekstenel kalınlığı halka etrafında yaklaşık eşit aralıklarla 6 konumda ölçülmelidir. Kesit alanının hesaplanmasında her bir ölçüm setinin ortalama değeri kullanılmalıdır. İç çap 0,1 mm çözünürlükle ölçülmelidir. İç çevreyi ve ortalama çevreyi aşağıdaki formül ile hesaplanmalıdır.

$$\text{İç çevre} = \pi \times \text{iç çap}$$

$$\text{Ortalama çevre} = \pi \times (\text{iç çap} + \text{radyal genişlik})$$

İki test parçası grubu (dambıl veya halka tipi) numuneler karşılaştırılıyorsa, her grup için ortalama kalınlık, iki grup için genel ortalama kalınlığın %7,5'i içinde olmalıdır.

2.6. Ön gerilme

Deney numuneleri test edilirken, uzama ölçüm cihazının doğru ölçüm alabilmesi amacıyla, test numunelerinin bükülmesini önlemek için test parçasına küçük bir ön gerilme kuvveti uygulaması gerekebilir. Bu durumda test makinası gerekli ön gerilimi uygulayabilmelidir. Gerekirse, test parçasının ilk ölçü uzunluğu ölçülürken numunenin bükülmemesi için 0,1 MPa'lık bir ön gerilme kuvvetinin uygulanabileceği standartta belirtilmiştir.

2.7. Çekme deneyi gereklilikleri

Çekme test makinası üzerinde dambıl tipi test numunesini simetrik olarak kavrayarak tutabilen makine çenelerine numuneler makine eksenine ile numune eksenine uygun olacak şekilde tutturulurlar. Her testten önce kuvvet değerinin sıfırlanması unutulmamalıdır. Gerekli olursa, test parçasının ilk test uzunluğunda bükülme olmaması için 0,1 MPa'lık bir ön gerilme uygulanabilir. Yine gerekli ise, ekstansometre cihazı numune üzerinden uzama değerini alabilecek şekilde konumlandırılır. Daha sonra çekme testine başlanabilir.

ISO 37 standardına göre hareketli tablanın hızı, tip 1, tip 1A ve tip 2 deney numuneleri için 500 mm/dak olmalı, tip 3 ve tip 4 deney parçaları için ise 200 mm/dak olmalıdır.

İnceltilmiş kısmın dışından kopan veya test uzunluğunun dışına çıkan herhangi bir test numunesinin değerleri atılmalı ve ek bir test numunesi üzerinden test tekrarı yapılmalıdır.

Halka test numuneleri için makaralar arasındaki başlangıç mesafesini Tablo 1 de verilen L mesafelerine göre doğru ve hassas bir şekilde ayarlanmalıdır.

Test numuneleri makaralara monte etmeden önce kuvvet değeri sıfırlanmalıdır. Hareketli tablanın hızı, A tipi deney numuneleri için 500 mm/dak olmalı, B tipi deney numuneleri için ise 100 mm/dak olmalıdır. Ayrıca, tahrik edilen makara test başlangıcından itibaren doğru hızda dönmelidir.

2.8. Sonuçların hesaplanması

Çekme deneyi sonucunda aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilir.

Parametre	Dambıl tip numuneler	Halka tip numuneler
Çekme gerilmesi (TS)	$TS = \frac{F_m}{W \cdot t} \quad (1)$	$TS = \frac{F_m}{2W \cdot t} \quad (9)$
Kopma gerilmesi (TS _b)	$TS_b = \frac{F_b}{W \cdot t} \quad (2)$	$TS_b = \frac{F_b}{2W \cdot t} \quad (10)$
Kopma uzaması (E _b)	$E_b = \frac{100(L_b - L_0)}{L_0} \quad (3)$	$E_b = \frac{100(\pi d + 2L_b - C_i)}{C_i} \quad (11)$
Verilen bir uzamadaki gerilme (S _e)	$S_e = \frac{F_e}{W \cdot t} \quad (4)$	$S_e = \frac{F_e}{2W \cdot t} \quad (12)$
Verilen bir gerilmedeki uzama (E _S)	$E_S = \frac{100(L_S - L_0)}{L_0} \quad (5)$	$E_S = \frac{100(\pi d + 2L_S - C_i)}{C_m} \quad (14)$
Belirli bir gerilmeye karşılık gelen kuvvet değeri (F _e)	$F_e = S_e \cdot W \cdot t \quad (6)$	$F_e = 2S_e \cdot W \cdot t \quad (15)$
Akmada çekme gerilmesi (S _y)	$S_Y = \frac{F_Y}{W \cdot t} \quad (7)$	$S_Y = \frac{F_Y}{2W \cdot t} \quad (16)$
Akma uzaması (E _y)	$E_Y = \frac{100(L_Y - L_0)}{L_0} \quad (8)$	$E_Y = \frac{100(\pi d + 2L_Y - C_i)}{C_m} \quad (17)$
Belirli bir uzamaya karşılık gelen makaraların merkez-leri arasındaki mesafe (L _e)		$L_e = \frac{C_m \cdot E_S}{200} + \frac{C_i - \pi d}{2} \quad (13)$

Yukarıda verilen denklemlerde aşağıdaki semboller kullanılmıştır.

F_b , Kopma anında kaydedilen kuvvet, Newton biriminde

F_m , Kaydedilen maksimum kuvvet, Newton biriminde

F_y , Akma anında kaydedilen kuvvet, Newton biriminde

L_0 , Başlangıç deney uzunluğu, milimetre biriminde

L_b , Kopma anındaki deney uzunluğu, milimetre biriminde

L_s , Verilen bir gerilme değerindeki deney uzunluğu, milimetre biriminde

L_y , Akma anında deney uzunluğu, milimetre biriminde

t , Deney uzunluğu boyunca deney parçasının kalınlığı, milimetre biriminde

W , Numune genişliği, milimetre biriminde olarak tanımlanır.

2.9. Test raporu

Lastik ve kauçuk malzemelerin çekme deneyini sonucunda hazırlanacak test raporunda olmasında gerekenler ISO 37 standardına göre aşağıda sıralanmıştır.

a) Numune ve deney parçalarının ayrıntıları:

1) Numunenin ve menşeinin tam bir açıklaması,

2) Biliniyorsa bileşen ayrıntıları ve kürlenme durumu,

3) Test parçalarının hazırlanma yöntemi (örneğin parlatma),

4) Kullanılan deney parçasının tipi,

5) Deney parçasının ortalama kalınlığı,

6) Dambıl tip numunelerin kesildiği herhangi bir taneye göre bağlı

yönü;

b) Deney yöntemine atıf, yani ISO 37 standardına;

c) Test ayrıntıları:

1) Gerekirse test sıcaklığı ve bağlı nem,

2) Test edilen test parçası sayısı,

3) Verilen işlemde herhangi bir sapma;

d) Test sonuçları:

1) Her bir numunenin test sonuçları,

2) Hesaplanan ve belirlenen özelliklerin ortalama değerleri verilmelidir. Ayrıca standartta her durumda, her belirlenen özellik için ortalama değer rapor edilmesi belirtilmiştir.

e) Deneyin yapıldığı tarihi

ASTM D412 standardına göre test raporunda olmasında gerekenler ise aşağıda sıralanmıştır.

1 Uygun olarak hesaplanan sonuçlar,

2 Test numunesinin türü veya açıklaması ve hangi kalıp tipinin kullanıldığı.

3 Test tarihi,

4 Belirtildiği gibi değilse uzatma oranı,

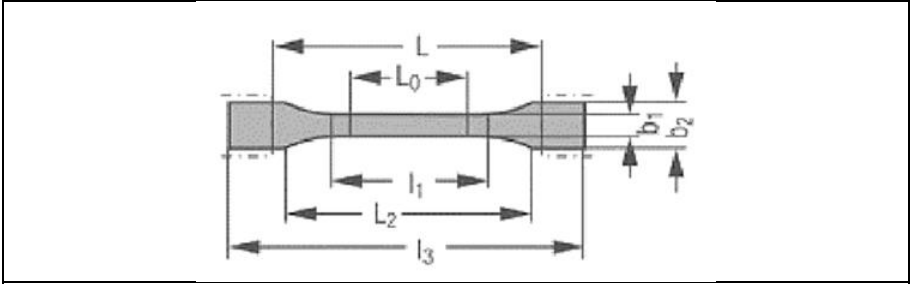
5 Belirtildiği gibi değilse, test odasının sıcaklığı ve nemi,

6 Test sıcaklığı $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ dışındaysa

7 Vulkanizasyon tarihi, kauçuğun hazırlanma tarihi veya biliniyorsa her ikisi

2.10. Lastik ve elastomer malzemeler için tanımlanmış numune tipleri ve boyutları

Lastik ve elastomer malzemelerin çekme deneyi üzerine pek çok standart vardır. Bunlara göre numune tiplerinde değişiklikler gözlemlenir. Aşağıda lastik ve elastomer malzemelere uygulanan testler göre ilgili standartlarında tanımlanmış tüm numune tipleri ve boyutları Şekil 15 de verilmiştir [14].



Standard	Tip	Uygulama	l_2 mm	l_1 mm	b_2 mm	b_1 mm	h mm	L_0 mm	L mm	Şekil
ISO 37	1	Tercih edilen boyut	1115	33±2	25±1	6+0.4	2±0.2	25±0.5	-	
ISO 37	2	Küçük tercih edilen boyut	375	25±1	12.5±1	4±0.1	2±0.2	20±0.5	-	
ISO 37	3	Küçük boyut	350	16±1	8.5±0.5	4±0.1	2±0.2	10±0.5	-	
ISO 37	4	Çok küçük boyut	335	12±0.5	6±0.5	2±0.1	1±0.1	10±0.5	-	
DIN 53504	S1	Büyük boyut	115	33±2	25±1	6+0.4	2±0.2	25	-	
DIN 53504	S2	Tercih edilen boyut	75	25±1	12.5±1	4±0.1	2±0.2	20	-	
DIN 53504	S3a	Küçük boyut	50	16	8.5	4	2±0.2	10	-	
DIN 53504	S3	Çok küçük boyut	35	12±0.5	6±0.5	2±0.05	1±0.1	10	-	
ASTM D 412	C	Tercih edilen boyut	1115	33	25±1	6+0.05	1.3...3.3	25±0.25	-	
ASTM D 412	A	Uygun boyut	140	59±2	25±1	12+0.05	1.3...3.3	50±0.5	-	
ASTM D 412	B	Uygun boyut	340	59±2	25±1	6+0.05	1.3...3.3	50±0.5	-	
ASTM D 412	D	Uygun boyut	100	33±2	16±1	3+0.05	1.3...3.3	25±0.25	-	
ASTM D 412	E	Uygun boyut	125	59±2	16±1	3+0.05	1.3...3.3	50±0.5	-	
ASTM D 412	F	Uygun boyut	125	59±2	16±1	6+0.05	1.3...3.3	50±0.5	-	
ISO 37	A	Normal boyut	52.6	44.6±0.2	-	-	4±0.2	152.7	-	
ISO 37	B	Küçük boyut	10	8±0.1	-	-	1±0.1	28.28	-	
DIN 53504	R1	Tercih edilen boyut	52.6	44.6	-	-	4±0.2	152.7	-	
DIN 53504	R2	Küçük boyut	44.6	36.6	-	-	4±0.2	127.5	-	
ASTM D 412	1	Tercih edilen boyut	17.9	15.9	-	-	1...3.3	50	-	
ASTM D 412	2	Büyük boyut	35.8	31.8	-	-	1...3.3	100	-	
ISO 34-1		Yırtılma testi, pantolon	100	-	15±1	-	2±0.2	-	-	
		Tercih edilen boyut	100	-	16±0.05	12.7±0.05	2±0.2	-	-	
ISO 34-1		Yırtılma testi, açılı	100	-	16±0.05	12.7±0.05	2±0.2	-	-	
ASTM D 824		Kesme kalıbı C, kesmeden	110	-	25±0.5	10.5±0.05	2±0.2	-	-	
ISO 34-1		Yırtılma testi, Crescend	110	-	25±0.5	10.5±0.05	2±0.2	-	-	
ASTM D 824		Kesme kalıbı B, kesmeden	42	-	-	10.2	-	-	-	
ASTM D 824		Kesme kalıbı A	60	-	-	9±0.1	Slit 5±0.1	30	-	
ISO 34-2		Delft test numunesi	60	-	-	9±0.1	Slit 5±0.1	30	-	
ISO 816		Yanık dahil	-	-	-	-	-	-	-	

Şekil 15. Lastik ve elastomer malzemeler için numune boyutları

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Malzeme test makinalarında doğru ve standartlara uygun bir deney gerçekleştirebilmek için pek çok parametreye dikkat edilmesi gerekmektedir. Öncelikle uygun deney cihazı (kuvvet dönüştürücü, ekstansometre, yazılım) kullanılmalıdır. Daha sonra tanımlanan standartlara uygun olarak deney gerçekleştirilerek ölçüm sonuçları raporlanmalıdır. Bu çalışma ile lastik, kauçuk ve elastomer malzemelerde çekme deneyi yapacak kişilerin dikkat etmesi gereken hususlar ve anlaşılması zor olan kısımların daha uygulamaya yönelik olarak çözümler paylaşılmıştır. Bu çalışma lastik, kauçuk ve

elastomer malzemelerde çekme deneyi üzerine araştırma yapanlar için potansiyel bilgilendirici, eğitici ve pratik bir rehber doküman oluşturulması amaçlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1]. ISO 37: 2017, Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of tensile stress-strain properties
- [2]. ASTM D412-16, 2021, Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers-Tension
- [3]. ISO 23529: 2016, Rubber - General procedures for preparing and conditioning test pieces for physical test methods
- [4]. ISO 7500-1, 2018, Metallic materials - Calibration and verification of static uniaxial testing machines - Part 1: Tension/compression testing machines - Calibration and verification of the force-measuring system
- [5]. ISO 9513, 2012, Metallic materials - Calibration of extensometer systems used in uniaxial testing
- [6]. ISO 5893, 2019, Rubber and plastics test equipment-Tensile, flexural and compression types (constant rate of traverse)-Specification
- [7]. ISO 16012:2015, Plastics Determination of linear dimensions of test specimens
- [8]. DIN 53504, March 2017, Testing of rubber - Determination of tensile strength at break, tensile stress at yield, elongation at break and stress values in a tensile test
- [9]. ISO 34-1:2022, Rubber, vulcanized or thermoplastic, Determination of tear strength, Part 1: Trouser, angle and crescent test pieces
- [10]. ISO 34-2:2022, Rubber, vulcanized or thermoplastic Determination of tear strength, Part 2: Small (Delft) test pieces
- [11]. ISO 527-1, 2019, Plastics-Determination of tensile properties - Part 1: General principles
- [12]. Testing of Plastics and Rubber, Catalogue, Zwick/Roell, www.zwickroell.com
- [13]. Aydemir, B. "Plastiklerin ISO 527 Standardına Göre Çekme Özelliklerinin Belirlenmesi", Mühendislik Alanındaki Gelişmeler, İzmir : Duvar Yayınları, (2022),111. (978-625-8109-13-9)
- [14]. Aydemir, B., Taşcan, H., Camyurdu, C., O. Baran, A. Temiz, Metalik Malzemelerde Farklı Deney Hızlarının Sonuçlar Üzerine Etkilerinin Araştırılması, 2017, 2nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'17), October 11-13, 2017, Nevşehir, Turkey, S.155-160
- [15]. Aydemir, B., Taşcan, H., Camyurdu, C., Baran, O., Metalik malzemede farklı deney hızlarında gerçekleştirilen çekme deneyi sonuç raporu, UME-KV-17-02, Tübitak UME, 08.2017

- [16]. Aydemir, B., Taşcan, H., Camyurdu, C., “Çekme deneyinde farklı uzama ölçme yöntemlerinin etkilerinin incelenmesi”, 2015, Metal Dünyası, Sayı 266, S.44-50, İstanbul
- [17]. Aydemir, B., “Çekme deneyinde gerilme oranı veya uzama oranı olarak tanımlanan hızların sağlanabilmesi için hareketli tabla hızının belirlenmesi”, 4nd International Conference on Material Science and Technology in Kızılcahamam (IMSTEC'19), October 18-20, 2019, ANKARA, Turkey, s.261-264

Bölüm 22

BULUT BİLİŞİM TEKNOLOJİSİNİN TEMELİ VE GELECEĞE YÖNELİK ÖNERİLER

Sezin GÜLERYÜZ¹
Yuşa Çağatay GÜNAYDIN²

1- GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ekonomik, sosyal ve ekolojik yenilikler doğar. Bu yenilikler, tüketicilerin ve kurumların bu yeniliklere ayak uydurmasını gerektirmektedir (Çelik vd., 2018). Bulut bilişim kavramı da son yılların popüler yeniliklerinden biridir. Bulut bilişim genel olarak, kullanıcıların ihtiyaç duydukları işlemleri internete erişimleri dahilinde her zaman, her yerde gerçekleştirmelerini sağlayan bir teknolojidir. Bulut bilişim, hizmet olarak yazılım (SaaS), hizmet olarak platform (PaaS) ve hizmet olarak sunucu altyapısını (IaaS) içerir. Bulut bilişim, kullanıcılara birçok alanda fayda sağlar (Keskin, vd., 2020, s. 46).

Günümüz teknolojisi ile bireylerin ve kurumların kişisel ve kurumsal verileri internet ortamında barındırmasına ve bu verilere erişmesine olanak sağlayan bulut bilişim sistemlerinin, düşük maliyetlerinin artması nedeniyle daha fazla kullanıcı tarafından tercih edilmektedir. Bu tercih yerinde kalmadı yeni teknolojilerin önünü açtı alt yapı oldu bunlardan sanallaştırma ve verileri dijitalleştirme ortaya çıkardığı yenilikler; Sanal gerçeklik, sektör 4.0, derin makine öğrenmesi, blok zincir, yapay zeka ve NFT projeleri piyasaya çıkmaktadır ve bunların hepsi kendi başına bir maliyettir yoğun çalışmalarla kitlesel sonuçlara ulaşmak için bireysel veya küçük çaplı kurumların fiziksel donanım, uzman insan kaynağı gibi ihtiyaçlar yerini bulut bilişimin sağladığı niteliklere bırakacaktır.

Sınırsız ve gelişmekte olan ihtiyaç ve gereksinimlerini karşılamak üzere bulut bilişim sistemleri de hızla gelişmekte, Hızla gelişen ihtiyaç fazlası bile sunabilen bir sistem geleceği hakkında net sonuçlar elde etmek zorlaşıyor. Ancak, sistemin faydaları sayesinde günümüzde bulut bilişimi kullanarak çıkardığı yeni teknolojiler gelecekte de birçok teknolojik atılımın olması muhtemeldir (Kılıç, 2017'dan aktaran; Çelik, 2021, s.237).

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. assetgroup.yusacagatay@hotmail.com ORCID No: 0000-0002-4788-454x.

Bu çalışmada, Bulut Bilişim fikrinin oluşması ve kavramsallaşması, zaman içerisindeki gelişimi, servis hizmetleri ve dağıtım modellerinden bahsedilmiştir. Araştırmada bulut bilişim sistemleri kullanılarak oluşturulan çalışmalar üzerinde literatür taraması yapılmıştır ve çalışmalar kısaca açıklanmıştır. Yazının sonlarına doğru araştırmadan elde edilen çıkarımlar ve öneriler, sonuç başlığı altında yer verilmiştir.

BULUT BİLİŞİM

Bulut Bilişim kavramı, “Cloud Computing” kavramının dilimize uyarlanmış halidir. Bulut Bilişim data(veri)‘ların geniş çaplı işlenmesine ihtiyaca yönelik knowledge (bilgi)‘nin üretimi, depolanması ve yönetimini merkezi bir sistemde toparlayan ve geniş alan ağı (WAN) üzerinden dışarıya erişime açılır farklı bir deyişle, internet üzerinden bilişim sistemlerine erişim imkanı sağlayan teknolojidir (Çark, 2019, s. 74). Bir başka açıdan Bulut Bilişim, internet üzerinden sağlanan kaynak ve hizmetleri ifade eder (Okutucu, 2012, s. 16). Farklı açılardan bulut bilişim; Bilgisayar ağları, sunucular (server), uygulamalar (application) ve depolama (storage) hizmetleri gibi yapılandırılabilir bilgi işlem ya da bilişim sistemleridir. Bilgi İşlem sistemleri bileşen ve hizmetlerinin sağlandığı bir HUB (yıldız yapısındaki ağlarda merkezi bağlantıyı sağlayan elektronik cihaz) Merkezi üzerinden erişimi aktif ve verimli kılmak üzere kolaylaştıran yapılara dönüştürülerek bulut bilişim alt yapısını oluşturmayı hedefler. Kısaca, birden fazla bilgi işlem noktasını global erişimde tek noktadan yapılandırıp ve yönetebildiğiniz merkezi bir sistemi temsil eder (Akben ve Avşar, 2017, s. 108).

Bulut Bilişim, bilgi işlem altyapısının merkezileştirilmesini sağlamak için gerekli donanım ve yazılımların kullanıldığı ve bireysel kaynak maliyetinin azaltılarak verinin merkezi bir yerde tutulmasını sağlayan sistemler bütünüdür (Hayes, 2008; Tay & Şentürk, 2021, s. 69). Bulut bilişim, bilgi işlem altyapısını merkezileştirmek ve bireysel kaynakların maliyetini azaltmak için gerekli donanım ve yazılımı kullanarak verileri merkezi olarak yöneten bir sistem kümesidir (Keskin, vd., 2020, s. 46).

Bulut bilişim, önceden yapılan prosedürler ve anlaşmalar takip edilerek zaman ve mekân açısından engel olmaksızın kullanılabilir (Çelik, 2021 s. 438). Bulut bilişim, servis sağlayıcılarla veya çok az yönetim süreciyle hızlı faturalandırma, paylaşım ve iletişim için anında ağ erişimi sağlayan bir teknolojidir (Çelik, 2021). Bulut bilişim donanım ve yazılımının maliyeti olabildikçe düşüktür. Anında güncellenir ve sınırsız depolama kapasitesi sunabilen modüler bir yapıya sahiptir (Çelik, 2021).

Bulut Bilişim kavramını topluluk tartışmalarında sözde uzaktan erişim sağlanan depolama servisi olarak görülmektedir. Bu tanım bulut bilişim kavramı için yeterli değildir. Bulut bilişim hem platform hem yazılım hem de alt yapı desteği sağlar. Bilişim sistemleri arasında köprü iletişimi sağlamasının yanında merkezi yönetimi etkin kılan ve kullanılacak alana göre modellenebilen bütünlük sistemidir.

Bulut Bilişimin Tarihçesi

Bulut bilişimin bilgisayar teknolojisindeki kökenleri incelendiğinde 1960'lı yıllara kadar uzanmaktadır. Bu yıllarda noktadan noktaya iletişim bileşenleri sağlayan telekomünikasyon şirketleri ağ teknolojisine geçmiştir. Sanal özel (VPN) ve Amerikalı bilgisayar bilimcisi John McCarthy's "Bilgisayar teknolojisi bir gün bir kamu hizmeti olarak ele alınabilir" ifadesi, bu kökenlerin çok eski zamanlardan geldiğini açıkça ortaya koymaktadır. Yine, bir zorunluluk olarak bulut bilişimin birçok örneği, Kanadalı bilgisayar bilimcisi Herb Grosh'un dünyanın dört bir yanındaki aptal uç noktaların sadece 15 veri merkezi (datacenter) tarafından yönetilebileceğini önermesi gibi, yıllar önce görülebilir (Okutucu, 2012, s. 19). Veri merkezleri, 1970'lerden itibaren ağırlıklı olarak kullanılan ve daha sonra İnternet olarak bilinen bu geniş ağ ile hayatımıza girdi. Sonuç olarak güç tüketimi, güvenlik, yönetim araçları gibi konular zaman içinde değerlendirildi ve her yerden erişilebilen birleşik çözümler kullanılmaktadır (Okutucu, 2012, s. 19). Günümüzde eski bir teknoloji olmasına rağmen anabilgisayar (Mainframe) bilişim, bulut bilişimde birçok yeniliğin kaynağı olmuştur. Bu benzersiz büyük sistemler, yüksek işlem hızı ve depolama avantajı sunarak yüksek performans, güvenlik ve kullanılabilirlik sağlar. Ayrıca son yıllarda popülerlik kazanan sanallaştırma teknolojisinin temelini ana bilgisayar sistemleri oluşturmaktadır (Okutucu, 2012, s. 19).

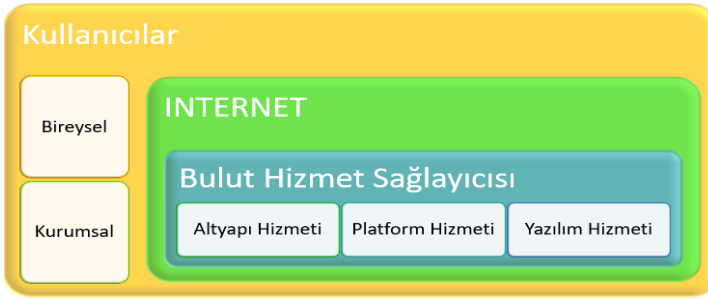
Höfer ve Karagiannis (2011), bulut bilişimin geleneksel yaklaşıma göre aşağıdaki temel bileşenleri içerir:

- Paylaşım ve çok kullanıcıli iletişim yapısı,
- Sistem niteliklerini kullandıkça ödeme yöntemi ile modelleme,
- Hizmet verimliliğini devamlı artıran ve süreçlerin devamlılığını sağlama,
- Ölçeklenebilir ve ergonomik dönüşümler gerçekleştirebilen bir yapı içerir.

Bulut Bilişim Mimarisi

Bulut Bilişim Altyapı Bileşenleri; sunucular(server), enerji sağlayıcısı (powersup), elektronik ve mekanik parçalar. Kurulum, bakım ve destek, veri merkezi (datacenter) yönetimi, elektriksel veri taşıma gibi faaliyetler bu

bölümde gerçekleştirilir. Altyapı üzerinde çalışmaya devam eden platformlarda, donanım bulut işletim sistemi hakimdir. Depolama, hesaplama ve yönetim ile ilgili uygulamalar vardır. Platform, yazılım geliştirme için altyapı olarak kullanılan kısmı temsil eder. Platformdaki bileşenler, uygulama programlama arayüzü aracılığıyla birbirleriyle haberleşir (Yalçınkaya vd., 2019). Şekil 1’de bulut bilişim mimarisinin görsel bir temsilini sağlar (Çelik, 2021 s. 439).



Şekil 1: Bulut Bilişim Mimarisi

Bulut Bilişim'in mimari yapısı 5 ana model olan geliştirici, denetleyici, taşıyıcı, sağlayıcı ve tüketiciden oluşmaktadır (Grossman, 2009; Tay & Şentürk, 2021, s. 70).

- Servis sağlayıcı: ilgili taraflara hizmet sağlayan bir kuruluştur.
- Tüketici: Bulut Bilişim sağlayıcıların sağladığı servislerden faydalanan kişi ya da kurumlardır.
- Servis geliştirici: Bulut Bilişim hizmeti sağlayan ile tüketici arasında yapılan anlaşma kapsamında gerekli yapılandırmaları bulut bilişim sistemine uyarlar. Bunlar; Servislerin kullanımı, performans artırma ve dağıtımını yönetir.
- Servis taşıyıcı: Bulut Bilişim hizmet sağlayıcısı ile tüketici arasında kurulan bağlantı üzerinden hizmetin ulaşmasını sağlar.
- Denetleyici: Her bilişim sistemi yönetilmeye, dönüştürülmeye ve korunmaya muhtaçtır kontrol biriminin üstlendiği rol bunları kapsar.

Bulut Bilişimin Temelleri ve Yapılan Çalışmalardan Derlemeler

Bulut bilişim ile ilgili yapılan araştırmalar derlenerek temelleri yapılan çalışmalar verilerek açıklanmıştır. Örneğin, Atıcı ve Akgün (2021) bulut bilişimin eğitim amaçlı kullanımına yönelik araştırmalar içerik analizi yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. İçerik analizi, benzer verilerin derlenmesi, okuyucunun anlayabileceği şekilde düzenlenmesi ve yorumlanmasıdır. 2014 ve 2015 yıllarında bulut bilişimin eğitim amaçlı

kullanımı artmış, bu da bulut bilişim kullanımının ve bilincinin artışı göstermektedir. Bulguların çoğu araştırma ve betimsel araştırmalardan oluşmaktadır.

Çark ve Akyürek (2021) yaptıkları araştırmada, bulut teknolojisini iş süreçleri açısından incelenmekte ve turizm perspektifinden gelişimini gözlemlemektedir. Avantajları ve zorlukları açıkça belirtilerek turizm sektöründe kullanımı bu çalışmada incelenmektedir.

Yüksek ve Ünsal (2022) çalışmalarında, öğretmenlerin ve öğrencilerin merkezi sınavlara hazırlanma ve hazırlanmanın avantajlarını ve dezavantajlarını ortaya çıkarmak için uzaktan eğitim kullanımını incelemektedir.

Buldur, A. ve Sarı, N. (2022) çalışmalarında, okul öncesi öğretmen adaylarının 21. yüzyıl becerileri yeterlik algılarını ve STEM eğitime yönelik davranışlarını cinsiyet ve sınıf seviyesi bakımından değerlendirmek ve bu değişkenler aralarındaki ilişkiyi analiz etmek olarak özetlemiştir.

Karabudak ve Akkuş (2022) bulut bilişim servis modeline göre sınıflandırılmış olan toplam 42 bulut tabanlı aracı incelemiştir. Araçlar tıbbi ve biyolojik alanlarda kullanım amaçları açısından dört farklı gruba ayrılmış ve amaç, yeni nesil dizileme veri analizinde kullanılan bu araçların tıbbi ve biyolojik alanlardaki uygulamalarını özetlemektedir.

Kaya (2022) çalışmasında, Yüksek Boyutlu Model Gösterilimi olarak bilinen evrensel duyarlılık analizi yöntemi kullanılarak bahsedilen ölçümler nasıl yapılabileceği tarif edilmiş ve önerilen yaklaşımın uygulanabilirliği deneysel olarak TeaStore adlı bir bulut uygulaması üzerinde gösterilmiştir.

Özyiğit (2022) ve bulut bilişim sistemini işletmeler üzerindeki risklerini ve etkilerini özet bir şekilde ortaya koymaktadır. Çalışmada işletme yöneticilerinin kurumsal risk yönetimi açısından bulut bilişim sistemi sorumlulukları belirtilerek, bulut bilişim sisteminin kurumsal risk yönetimi çerçevesinde kullanıldığında işletmelere fayda sağlayacağı ve işletme yöneticilerinin bulut bilişim sistemini kullanarak karşılaşılabilecekleri riskleri daha detaylı ve kapsamlı bir şekilde değerlendirebilmelerine yardımcı olacağı öngörülmektedir.

Wisdom (2022) Nijerya'daki listelenen üretim işletmelerinin performansı üzerindeki bulut muhasebesi etkisini hem birincil hem de ikincil verileri kullanarak incelemektedir. Çalışma, bulut muhasebesi maliyetlerini düşürmek için kurumsal inisiyatiflerin uygulanmasını ve farklı bulut muhasebesi maliyet bileşenlerinin imalat sanayi işletmelerinin maliyet yapısına uyumlu hale getirilmesi için muhasebe düzenlemelerinin geliştirilmesini önermektedir.

Gülburun ve Dener (2022) çalışmalarında, birçok işletme tarafından hazırlanan bulut bilişim güvenlik raporları inceleyerek, bulut bilişim alanında karşılaşılan temel tehditleri ortaya koymuşlardır. Daha sonra, Web of Science

veri tabanı üzerinden yapılan son çalışmalar incelenmiş ve gerçek dünya sorunları ile akademik çalışmalar birlikte değerlendirilerek, bulut bilişim güvenliği alanında hangi konularda daha fazla çalışma yapılması gerektiği belirlenmiştir.

Baki (2022) araştırmasında, mevcut bir karar modeli olan Rank Order Centroid (ROC) ve CODAS methodolijilerine dayalı karar modeli geliştirilmiştir. Önerilen modeli, bir yazılım şirketinde test edilerek etkinliği doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, bulut hizmet sağlayıcılarını seçme konusunda yardımcı olacak ve gereksinimlerini karşılayabilecek bulut hizmet sağlayıcılarını belirlemeye yönelik kuruluşlara yardım sağlayacaktır.

Pakdil ve Çelik (2022) araştırmalarında, farklı Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılım mimarileri ele alınarak bulut bilişim tabanlı servislerin sunucusuz mimari kullanımı incelenmiştir.

Bilgin ve Alper (2022) çalışmalarında, bulut tabanlı harmanlanmış öğrenme ortamının meslek lisesi öğrencilerinin bilişsel yüklerine, başarılarına ve öğrenmedeki dayanıklılığına etkisini araştırmaktır.

Hamutoğlu (2022) Bulut Bilişim Teknolojileri (BBT) kullanılarak desteklenmiş ve BBT kullanılmadan yapılan işbirlikçi öğrenme etkinliklerinin üniversite öğrencilerinin BBT kabulü, paylaşmaya uygunluk ve öğrenme performansına etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Akleyek ve Kılıç (2022) bulut bilişim güvenliği ve bu alanda kullanılan makine öğrenimi yaklaşımları hakkında bir sistematik literatür taraması yapmışlardır.

Aslandoğdu, Aydın, ve Çetinkaya (2022) Tensorflow Javascript teknolojisi ve ÖM teknolojisi kullanılarak bulut tabanlı bir YTS sistemi (YTS-ÖM) geliştirilmiştir.

Şahin, Uçar, ve Solak (2022) araştırmalarında Türkçe dilinde hazırlanmış fiziksel kartvizitler bulut tabanlı bir veritabanında dijital olarak saklayan bir yazılım geliştirilmiştir.

Saygıner (2022) Bu araştırma, Yeniliğin Yayılması (DOI) teorisini ve Bulut Üretiminin adaptasyonuna ilişkin Teknolojik, Örgütsel ve Çevresel (TOE) teorisini izleyerek, bulut üretimini adapte edenler ve adapte etmeyenler arasındaki farkları incelemek amacıyla düzenlenmiştir.

Top ve Bulut (2022) araştırmalarının ana hedefi, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemlerinin çözümü için geliştirilen Bulut Endeks-Beta (BE- β) yöntemini teorik ve uygulamalı olarak tanıtmaktır. Bu çerçevede, Bulut Endeks (BE) ile bu yöntemin gelişmiş sürümü olan BE- β karşılaştırılmıştır.

Süme ve Aslan (2022) bilişim teknolojileri öğretmenlerinin karşılaştığı problemler ve bu problemleri sonuçlandıracak önerilerin orta koyulmasını

hedeflemişlerdir. Araştırma sonucuna göre, bilişim teknolojileri öğretmenleri; norm fazlası olmaları, teknik servis muamelesi yapılması, angarya işler yüklenmesi, bilişim sınıflarının yenilenmemesi, bilişim sınıflarında donanımyazılım desteğinin olmaması, üniversitede aldıkları eğitimin yetersizliği, alanlarındaki gelişmeleri takip edemediklerinde stres yaşamaları ve yakın çevreler tarafından teknik servis olarak görülmeleri gibi sorunları paylaşmışlardır.

Boz ve Durgun (2023) çalışmalarında, Edge Impulse makine öğrenme araçlarını kullanarak gelişmiş bir tahmin dayalı sistem tasarımı ile Nesnelerin İnterneti (IoT) ve makine öğrenimini birleştirerek ivme sensörü kullanarak hareket tespiti yapmıştır.

BULUT BİLİŞİM SERVİS MODELLERİ

Bulut bilişim hizmet modelleri üç hizmet modeli içerir: IaaS, SaaS ve PaaS. Standartta üç servis modeli verilmesine rağmen gelişen teknolojinin etkisiyle CaaS ve NaaS modelleri bulut bilişimde kullanılmaktadır.

Servis olarak Altyapı (Infrastructure as a Service - IaaS): Altyapı sağlayan servis modelidir. Kendi işletim sisteminizi ve uygulamalarınızı çalıştırmanıza izin verir. Tüketiciler ağlar, sunucular, depolama birimleri, işletim sistemleri gibi bulut bilişim altyapısını direk yönetemezler ancak işletim sistemleri dahil uygulamalar üzerinde vadeli haklara sahiptirler (Akben & Avşar, 2017, s. 109). Bu yaklaşım, "tüketim yaptıkça öde" sistemi üzerinde çalışır. Esas olarak bellek, veri depolama ve bant genişliği gibi işlemler için kullanılır. Bu hizmet türü, kullanıcılara sanal donanım sağlar (Keskin, vd., 2020, s. 46).

Servis olarak Yazılım (Software as a Service - SaaS): Tüketicilere bulut altyapısında programları çalıştırma yeteneği verir. Web tabanlı bir e-posta istemcisinde olduğu gibi, uygulamaya bir web tarayıcısı veya bir program arayüzü kullanılarak erişilebilir. Tüketiciler, programlarda sınırlı ayar değişiklikleri yapmak dışında ağlar, sunucular, depolama, işletim sistemleri gibi bulut bilişim altyapısını direk yönetemezler (Akben & Avşar, 2017, s. 109). Kullanıcılar, buluttaki verilerine ve uygulamalarına başka bir yazılıma ihtiyaç duymadan yalnızca internet tabanı üzerinden erişebilir (Keskin, vd., 2020, s. 46).

Servis olarak Platform (Platform as a Service - PaaS): Tüketicilere, sunucu tarafında programlama dillerini, kitaplıkları, hizmetleri ve araçları kullanarak uygulamalar geliştirme yeteneği sağlar. Tüketiciler ağlar, sunucular, depolama, işletim sistemleri gibi bulut bilişim altyapısını direk yönetemez, ancak geliştirilen ve devreye alınan uygulama üzerindeki kontrolü elinde tutar (Akben & Avşar, 2017, s. 109). Uzak kullanıcıların bulut bilişim hizmeti sağlayıcılarının işletim sistemlerini, ara katman yazılımlarını ve web

sunucularını kullanmasını sağlayan bir hizmettir. Kullanıcılara üzerinde çalışabilecekleri bir platform sunar (Keskin, vd., 2020, s. 46).

Servis olarak İletişim (Communication as a Service - CaaS): Alıcıların bulut bilişim yaklaşımına dayalı iletişim tabanlı ve ilgili uygulamalardan faydalanmasını sağlayan hizmet türüdür. Faydalanıcılar; Video konferans, anlık mesajlaşma ve IP Üzerinden Ses (VoIP) gibi iletişim türü platformlar oluşturan CaaS, bazen Hizmet Olarak Yazılım (SaaS) modelinin alt dallarından biri olarak anılır (Köse ve Armutlu 2015: 24-25'ten aktaran; Çelik, 2021).

Servis olarak Ağ (Network as a Service - NaaS): Kullanıcıların iletişim tabanlı özellikleri ve görevleri yönetmesini ve kullanmasını sağlayan bir hizmet modelidir. Bu servis, VPN(Sanal Özel Ağ) sistemlerinden ve şu anda kitleler tarafından kullanılan bazı dinamik bant genişliği yönetim biçimlerinden yararlanabilir (Köse ve Armutlu 2015: 28'den aktaran; Çelik, 2021).

Dağıtım Modelleri

Bulut bilişim hizmetlerinde standart olan dağıtım modelleri genel bulut, özel bulut, hibrit bulut ve topluluk bulut olmak üzere dört farklı kullanım şekilleri kısaca açıklanmıştır.

Genel Bulut (Public Cloud): Bulut altyapısı, genel kullanıma yöneliktir. Genel bulut uygulamaları, hizmet sağlayıcıların kullanıcılara genel amaçlarla sunduğu hizmetlerdir. Bu hizmetler genellikle kullandıkça öde modeline göre faturalandırılır (Keskin, vd., 2020, s. 46).

Özel Bulut (Private Cloud): Bulut altyapısı, çoklu ünitelerden oluşan bir kurum olduğu gibi birden fazla ünite içeren tek bir kuruluş için hazırlanmıştır. Verinin koruması ve güvenirliliği öncelikli olan her seviyedeki kurumlar için sunulan dağıtım modelidir. Kurumlar kendi bulut bilişim sistemlerini oluşturabilir ve yönetebilirler. Fakat, kurum içinde oluşturulan bir ağ üzerinden erişilebilir dışardan erişim sağlanamaz. Kurum içi ağ modellerinden Intranet buna örnek verilebilir (Keskin, vd., 2020, s. 46).

Karma Bulut (Hybrid Cloud): Benzersiz kalan iki veya daha fazla bulut modeli kullanılarak oluşturulan bulut altyapısı, veri ve uygulama taşınabilirliği sağlayan teknolojilerle ilişkilidir. İki veya daha fazla bulut dağıtım modelini birleştiren bir hizmet. Esnek yapısı nedeniyle güvenliğin daha önemli olduğu alanlarda özel bulutlar, güvenliğin daha az önemli olduğu alanlarda ise genel bulut dağıtım modelleri kullanılmaktadır (Keskin, vd., 2020, s. 47).

Topluluk Bulut (Community Cloud): Bulut altyapısı, güvenlik gibi ortak endişeleri olan belirli tüketici topluluklarının ihtiyaçlarını karşılamak için oluşturulmuştur. Bulutta yerel hizmetler, belirli bir topluluğa sağlanan bir hizmet türüdür. Bu yapıyı kullanan firmalar bu hizmeti paylaşır ve aynı

işlevselliğe sahip firmalar tarafından desteklenir (Keskin, vd., 2020, s. 47). Buna örnek, siber güvenlik çalışmalarının yapıldığı ve sergilendiği sanal platform ve yazılım servis hizmeti veren modelin topluluk sunucularında kullanılmasıdır. Farklı bir açıdan topluluğa devamlı güncelleme ve düzeltme yayınlamak durumunda kalan aynı zamanda topluluktan da geri bildirimler alabileceği ve ortak etkileşimin sağlandığı dağıtım modelidir.

SONUÇ

Bulut bilişim kamu ve özel sektörlerde kullanılmasıyla teknolojinin nimetlerine katılarak sektörlerde büyük çapta verimlilik kazandırmış bireysel olarak verilerin uzaktan paylaşılması, değiştirilmesi, güncellenmesi, bölünüp genişletilmesi ve barındırılması özellikleriyle farklı sektörlerin vazgeçilemez unsuru olarak tanımlanmaya başlamıştır. Ulaşılabilirliği kolaylaştıran internet iletişimi, grup ve proje çalışmaları için sağlanan platform desteği ve sektör ve büyük çaplı teknolojiler için modellenebilen altyapı desteği sağlaması rekabetin vazgeçilmez bileşeni haline gelmiştir.

Bilimsel araştırmalar göstermektedir ki, işletmeler, bireysel çalışmalar, sanal ofisler, kütüphaneler, depolama hizmetleri gibi birçok hizmetlere ve sürekli gelişime açık yapısıyla yeni hizmetler ortaya çıkmakta ve yeni istihdamlar sağlayarak insan kaynağının gelişimine destek sağlamaktadır. Bulut bilişim tüm kullanılabilir kaynak ve araçların dijital ortamda kullanılabilir hale getirerek, verilere dönüştürüp ve işlenebilir hale getirmesiyle Endüstri 4.0, yapay zekâ, makine öğrenmesi, veri madenciliği ve veri bilimi gibi araştırma çalışmalarına projelerin süreçlere dahil olmasını sağlamaktadır.

Bulut bilişimle doğan insan kaynağının günümüzde uzmanlık alanları; başta güvenlik olmak üzere sistem güvenlik uzmanları ile siber güvenlik uzmanları, sistem yönetim ve ağ yöneticileri, HUB(merkezi yönetim) ve datacenter (veri merkezi) yönetimi, NTF ve Blockchain teknolojileri, uzaktan kontrol ve yapay zeka entegreli otonom cihazlarının yazılım ve platform geliştirmelerine, veri analiz bilimcileri, siber istihbarat uzmanları, yapay zeka ve derin makine öğrenmesi algoritma geliştirme uzmanları, uzaktan eğitim ve danışma hizmetlerinin doğmasında büyük etkisi olmuştur.

Günümüzde Endüstri 4.0 kavramının yerini yapay zekaya bırakacağı ücretsiz tam donanımlı yüksek performanslı internet alt yapısıyla bulut bilişimin artık fiziksel cihazlar tarafından yönetiminin giderek daha az olacağına ve bunun yanında artan güvenlik açıklarının önüne geçilememesi insan haklarının ihlal edilmesinin sıradanlaşarak asayişin bozulmasına, mahremiyetin yanıltış kullanımlar sonucunda suçların bilişim sistemleri ve algoritmalarına atılması gibi birçok olumsuzlukları da yanında getireceği ön görülebilir.

KAYNAKÇA

- Akben, İ., ve Avşar, İ.İ. (2017). Dijital Tedarik Zinciri ve Bulut Bilişim Digital Supply Chain and Cloud Computing. El-Ruha, 104.
- Atıcı, B. ve Akgün, M. (2021). Eğitimde bulut bilişime ilişkin araştırmaların içerik analizi yöntemiyle incelenmesi. Uluslararası Türkçe Edebiyat Kültür Eğitim Dergisi, 10(1), 272-284.
- Boz, M. ve Durgun, Y. (2023). Parkinson hastalarının aktivitelerinin tanınmasında TinyML tabanlı uç bilişim sistemi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(1), 1-1.
- Buldur, A. ve Sarı, N. (2023). Öğretmen Adaylarının 21.yy Yeterlik Algıları ile STEM Eğitimi Tutumları Arasındaki Kanonik İlişki. Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 1-28.
- Çark, Ö. ve Akyürek, S. (2021). Bulut Bilişim Teknolojisinin İşletmeler Açısından Önemi ve Turizm Sektörü Açısından Değerlendirilmesi. International European Journal of Managerial Research Dergisi (EUJMR), 5(8), 72-91.
- Çelik, K. (2021). Bulut Bilişimde Temel Konular. Uluslararası Batı Karadeniz Sosyal ve Beşerî Bilimler Dergisi, 5(2), 236-250.
- Çelik, K. (2021). Bulut Bilişim Teknolojileri. Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 12(24), 436-450.
- Keskin, N., Kıran, A.N., Egdemir, F.K. ve Eren, T. (2020). Bulut Bilişim Güvenlik Gereksinimlerine Göre Çok-Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Hizmet Sağlayıcı Seçimi. Uluslararası Bilgi Güvenliği Mühendisliği Dergisi, 6(1), 45-60.
- Okutucu, B.O. Bulut bilişim ve teknolojileri. İstanbul: Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- Tay, M. ve Şentürk, A. (2021). Kenar Sis ve Bulut Bilişimin IoT Açısından İncelenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Özel Sayı 2021 (RDCONF), 68-75.
- Yüksek, F. ve Ünsal, S. (2023). Uzaktan Eğitim ile Merkezi Sınava Hazırlamak ve Hazırlanmak. Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 1-24.
- Karabudak, S. ve Akkuş, M. S. (2022). Yeni Nesil Dizileme Verilerinin Analizinde Bulut Teknolojisi. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11(1), 1-10.
- Kaya, H. (2022). Bulut Uygulamalarında Evrensel Duyarlılık Analizi. Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, 15(1), 77-84.
- Özyiğit, H. (2022). Kurumsal Risk Yönetimi ve Bulut Bilişim Sistemi. Muhasebe ve Finansman Dergisi, (93), 31-52.

- Okere, W. (2022). Cloud Accounting and Performance of Listed Manufacturing Firms in Nigeria. *Anadolu İktisat ve İşletme Dergisi*, 6(2), 124-141.
- Gülburun, S. ve Dener, M. (2022). Bulut Bilişim Güvenliğindeki Zorluklar ve Güncel Çalışmalar Üzerine Bir İnceleme. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 15(1), 45-53.
- Baki, R. (2022). Application of ROC and CODAS Techniques for Cloud Service Provider Selection. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 21(1), 217-230.
- Pakdil, M. E. ve Çelik, R. N. (2023). Bulut bilişimde sunucusuz mimariler ile coğrafi bilgi teknolojilerinin kullanımı üzerine bir inceleme. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 10(1), 1-15.
- Mutlu Bilgin, M. ve Alper, A. (2022). The Effects of a Cloud-Based Blended Learning Environment on Stevens' Achievement, Persistence and Cognitive Load. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 30(4), 728-746.
- Hamutoğlu, N. B. (2022). Integration of Cloud Computing Technologies with Collaborative Learning Activities. *Cukurova University Faculty of Education Journal*, 51(2), 760-794.
- Yazar, B. K., Akleyek, S. ve Kılıç, E. (2022). Bulut Bilişim Güvenliği İçin Kullanılan Makine Öğrenimi Yöntemleri Üzerine Bir Derleme. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(2), 893-913.
- Aslandoğdu, Ö. F., Aydın, H. ve Çetinkaya, A. (2022). Bulut üzerinde Tensorflow Javascript ile geliştirilen Öğretilebilir Makine (ÖM) Modelinin Doğruluk Tahmini ve Analizi: Yüz Tanıma Sistemi Uygulaması. *Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri ve Bilgisayar Bilimleri Dergisi*, 6(1), 66-77.
- Şahin, İ., Uçar, M.H. B. ve Solak, S. (2022). Cloud Based WEB Application Design for Automatic Turkish Business Card Recognition and Its Performance Evaluation. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 10(1), 118-134.
- Saygıner, C. (2022). Exploring It Decision Makers' Views On Adoption Of Cloud Manufacturing In Turkey. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B - Teorik Bilimler*, 10(2), 82-92.
- Top, M. ve Bulut, T. (2022). Yeni Bir Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi: Bulut Endeks-Beta (Be-B). *Verimlilik Dergisi*, (3), 393-414.
- Süme, G. ve Aslan, H. (2022). Bilişim Teknolojileri Öğretmenlerinin Yaşadığı Sorunlar Ve Çözüm Önerileri. *Uluslararası Anadolu Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(4), 1285-1298.