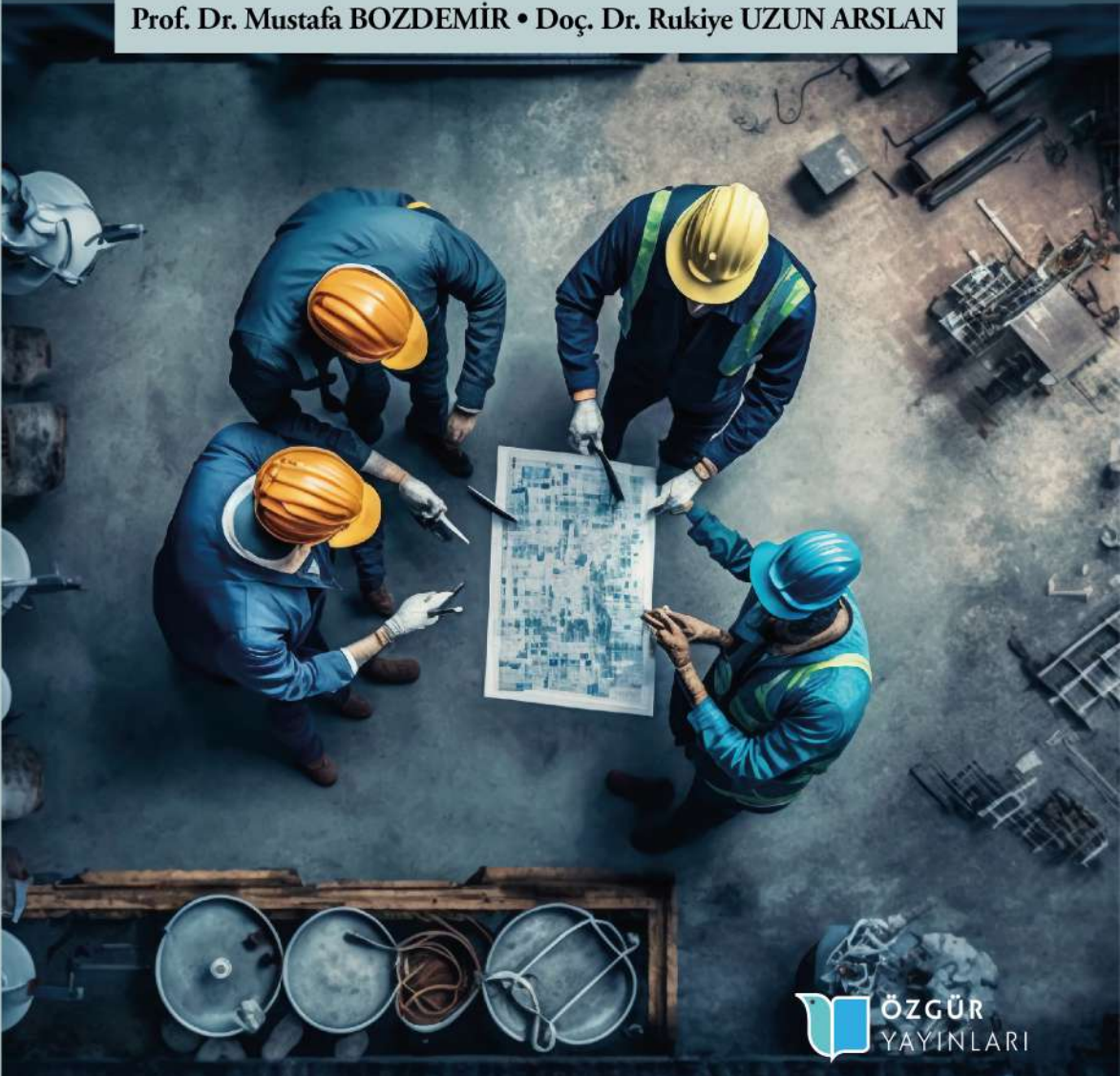


Mühendislik Alanında Akademik Analiz ve Tartışmalar

*Academic Analysis and
Discussions in Engineering*

Editörler

Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR • Doç. Dr. Rukiye UZUN ARSLAN



**ÖZGÜR
YAYINLARI**

Mühendislik Alanında Akademik Analiz ve Tartışmalar

Editörler

Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR

Doç. Dr. Rukiye UZUN ARSLAN



Published by

Özgür Yayın-Dağıtım Co. Ltd.

Certificate Number: 45503

📍 15 Temmuz Mah. 148136. Sk. No: 9 Şhitkamil/Gaziantep

☎ +90.850 260 09 97

📞 +90.532 289 82 15

🌐 www.ozguruyayinlari.com

✉ info@ozguruyayinlari.com

Mühendislik Alanında Akademik Analiz ve Tartışmalar

Academic Analysis and Discussions in Engineering

Editörler: Prof. Dr. Mustafa Bozdemir / Doç.Dr. Rukiye Uzun Arslan

Language: Turkish

Publication Date: 2023

Cover design by Mehmet Çakır

Cover design and image licensed under CC BY-NC 4.0

Print and digital versions typeset by Çizgi Medya Co. Ltd.

ISBN (PDF): 978-975-447-686-6

DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub193>



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0). To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>
This license allows for copying any part of the work for personal use, not commercial use, providing author attribution is clearly stated.

Suggested citation:

Bozdemir, M. (ed), Uzun Arslan, R. (ed) (2023). *Mühendislik Alanında Akademik Analiz ve Tartışmalar*.

Özgür Publications. DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub193>. License: CC-BY-NC 4.0

The full text of this book has been peer-reviewed to ensure high academic standards. For full review policies, see <https://www.ozguruyayinlari.com/>



İçindekiler

Bölüm 1

Kalp Krizi Risk Seviyesinin Bulanık Mantık Temelli Modellenmesi	1
<i>Ziynet PAMUK</i>	
<i>Rukiye UZUN ARSLAN</i>	

Bölüm 2

Türkiye Taşınmaz Değerleme Sistemi Kurumsal Yapısının Geliştirilmesi Yönünde Yapılan Akademik Çalışmalara Genel Bir Bakış	17
<i>Nuri ERDEM</i>	

Bölüm 3

Bitkisel Bazlı Diyetler: Yenilikçi Uygulamalar & Karşılaşılan Zorluklar	43
<i>Zeynep KILCI</i>	

Bölüm 4

Akciğer Kanserinin Teşhisinde Farklı Makine Öğrenme Algoritmalarının Başarımının Karşılaştırılması	61
<i>Rukiye UZUN ARSLAN</i>	
<i>Ceren KAYA</i>	

Bölüm 5

Anne Sağlık Durumu Riskinin Makine Öğrenmesi Yöntemleri İle Belirlenmesi	75
<i>Mahmut TOKMAK</i>	

Bölüm 6

Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Hamilelik Risk Tahmini	87
<i>Tuğba PALABAŞ</i>	
<i>Ceren KAYA</i>	

Bölüm 7

Derin Öğrenme Yaklaşımları ile Metin Üretme ve Analiz	107
<i>Ulanbek TOKTOGULOV</i>	
<i>Yılmaz ATAY</i>	

Bölüm 8

Statistical Methods Used In Engineering	125
<i>Mehmet Emin DEMİR</i>	

Bölüm 9

Groundwater Level Time Series Prediction Using Group Method of Data Handling and Deep Convolutional Neural Network With Recurrent Neural Networks	143
<i>Okan Mert KATIPOĞLU</i>	
<i>Kadir GEZİCİ</i>	
<i>Mehdi, KEBLOUTİ</i>	
<i>Selim ŞENGÜL</i>	

Bölüm 10

Comparative Analysis of Seasonal Groundwater Distribution Mapping Via Empirical Bayesian Kriging and Local Polynomial Interpolation Techniques	161
<i>Okan Mert KATIPOĞLU</i>	
<i>Kadir GEZİCİ</i>	
<i>Selim ŞENGÜL</i>	

Bölüm 11

Bir Süt Fabrikasının Depolama, Vakum ve Bakım-Onarım Bölümlerinin Risk Değerlendirmesi	177
<i>Murat Salih GEDİKLİ</i>	
<i>Mustafa GÜNAYDIN</i>	

Bölüm 12

Rammed Earth: An Eco-Friendly Construction Technique	195
<i>Batuhan AYKANAT</i>	
<i>Mehmet Emin ARSLAN</i>	

Bölüm 13

Tütün Tarımında Kullanılan Makinelerin Tasarım ve Çalışma Prensipleri Açısından Değerlendirilmesi	211
<i>Recep Onur UZUN</i>	

Bölüm 14

Biyosensörler: Sınıflandırma, Temel Bilgiler ve Karakterizasyon	229
<i>Özgün UZ</i>	
<i>Yaşar ŞENTÜRK</i>	
<i>Ömer Faruk KOÇAL</i>	
<i>Batukan BELTEKİN</i>	
<i>Faruk BASTIKOĞLU</i>	
<i>Özge TÜZÜN ÖZMEN</i>	

Bölüm 15

Biyosensörlerin Sınıflandırılması, Karakterizasyon Yöntemi, Uygulama Alanları ve Geleceği	249
<i>Burak TAŞ</i>	
<i>Zeynep BALTA</i>	
<i>Fatih KAYA</i>	
<i>Muhammed Samil ÇİMEN</i>	
<i>Hakan ERKAN</i>	
<i>Muratcan ÇAM</i>	
<i>Özge TÜZÜN ÖZMEN</i>	

Bölüm 16

Bitkisel Sütler ve Fonksiyonel Özellikleri	269
<i>Ayşe ŞAHİN</i>	269
<i>İlkay BURAN</i>	269

Bölüm 17

- Bentonitin Özellikleri, Oluşumu, Kullanımı ve Türkiye'den Örnek Yataklar 287
Didem KIRAY
Oya CENGİZ

Bölüm 18

- Saç Metaller İçin Bükme Kalıbı Analiz Programı Geliştirilmesi 303
Mustafa BOZDEMİR

Bölüm 19

- Prediction Gross Quarterly Electricity Consumption Demand Through Mr,
Anfis and Ann Methods: Case of Turkey 313
Fatma Şeyma YÜKSEL
Şölen ZENGİN
Zahide Figen ANTMEN

Bölüm 20

- Polymeric Membranes For Food Packaging 331
Sara AGHAEINEJAD AJBISHEH
Beril TANÇ KAYA
Biliter ZEYTUNCU

Bölüm 21

- Gerçek Zamanlı Üretim İzleme Sistemleri: Mimari Çözüm Örneği 369
Fatih YÜCALAR

Bölüm 22

- Comparative Performance of the Solar Energy Assisted Organic Rankine
Cycle For Average Monthly Isparta Data 387
Serpil ÇELİK TOKER

Kalp Krizi Risk Seviyesinin Bulanık Mantık Temelli Modellenmesi

Ziynet PAMUK¹

Rukiye UZUN ARSLAN²

1. GİRİŞ

Bulaşıcı olmayan hastalıklardan olan kardiyovasküler hastalıklar, dünya genelinde tüm ölüm nedenleri arasında ilk sırada yer almaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)' nün yayımladığı rapora göre yaklaşık 18 milyon ölümün kardiyovasküler hastalıklardan kaynaklı olduğu bildirilmiştir. Ayrıca aynı raporda, Covid-19'un kalp hastalıkları riskini artırdığını ortaya konulmuştur. DSÖ'ye göre kardiyovasküler hastalıklardan kaynaklı ölümlerin yüzde 85' i kalp krizi ve inme nedeniyle gerçekleşmiştir ("World Health Organization", 2023). Bu durum kalp krizini hem gelişmekte olan hem de gelişmiş ülkelerdeki en önemli sağlık problemi haline gelmesine yol açmıştır.

Kalp krizi; kalbin koroner damarlarının tamamen veya kısmi daralması nedeniyle kalp kasındaki hücrelerin beslenememesi ve oksijensiz kalması sonucu şiddetli göğüs ağrısıyla meydana gelen ölümcül olabilen bir hastalıktır (Lu vd., 2015; Kılınç, 2022). Kalp krizi oluşumunda sigara kullanımı, aşırı alkol tüketimi, yüksek kolesterol, yaş, sistolik ve diyastolik kan basıncı, diyabet, obezite, yüksek tansiyon, stres, öncesinde kalp krizi geçirip geçirmediği gibi birçok risk faktörü yer almaktadır (Devlin and Henry, 2008, Jensen vd., 1991).

Çoğu kalp krizi vakasında hayat kurtarıcı olan erken teşhis büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda literatürdeki birçok çalışmada kalp

1 Dr. Öğr. Üyesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye, e-mail: ziyetpamuk@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3792-2183.

2 Doç. Dr., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye, e-mail: rukiyeuzun67@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2082-8695.

hastalıklarının erken teşhisinde makine öğrenme tekniklerinden olan yapay sinir ağlarından (YSA) yararlanılmıştır (Dangare and Apte, 2012; Dogan, 2007; Durairaj and Revathi, 2015; Panday and Godara, 2012; Takçi 2018; Puri vd., 2021; Göktas ve Yağanoğlu, 2020). Örneğin Dangare ve Apte (2012) YSA temelli kalp hastalığı tahmin sistemi önermişlerdir. Çalışmada önerilen modelin kalp hastalıklarını %100'e yakın doğrulukla tahmin ettiği ortaya koyulmuştur. Dogan (2007) uzman doktorlara yardımcı olmak adına karar ağacı yöntemini kullanarak biyokimya test sonuçlarından kalp krizi riskini tespit edebilen bir sistem geliştirmişlerdir. Durairaj ve Revathi (2015) kalp hastalığı tahmininde çok katmanlı yapay sinir ağına (ÇKYSA) dayanan yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen yaklaşımın başarımı açık erişime sahip olan UCI veri tabanından alınan bir kalp hastalığı veri kümesi üzerinde 13 tıbbi özellik kullanılarak ölçülmüş ve benzer yaklaşımlara kıyasla daha yüksek başarıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Panday ve Godara (2012) kardiyovasküler hastalığı tahmin etmek için ÇKYSA ve Geliştirilmiş ÇKYSA tekniklerine dayalı yeni bir model önermişlerdir. Önerilen modellerin başarımı UCI veri tabanından alınan 720 veri üzerinde 10 kat çapraz doğrulama metodu kullanılarak kıyaslanmıştır. Takçi (2018) optimum parametrelere sahip birçok makine öğrenme yöntemi ve çeşitli öznitelik seçme yöntemleri kullanarak kalp krizini tahmin etmeye yönelik bir karar destek sistemi tasarlamıştır. Tasarlanan sistemin başarımının aynı veri seti üzerinde gerçekleştirilen diğer çalışmalara kıyasla daha yüksek olduğu gösterilmiştir. 2020 yılında yapılan bir çalışmada çeşitli kalp hastalıkları faktörlerinin (yaş, cinsiyet, kan basıncı, kolesterol gibi) kalp kriziyle ilişkisi incelenmiş ve kalp krizini en doğru tahmin eden makine öğrenme algoritmasının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kalp krizi teşhisinde literatürde en yüksek başarımları gösteren rastgele orman, destek vektör makineleri (DVM), k-en yakın komşu ve C4.5 karar ağacı algoritmalarından yararlanılmış ve en yüksek başarımın C4.5 karar ağacı ile elde edildiği gösterilmiştir (Göktaş ve Yağanoğlu, 2020). Yakın zamanda yapılan bir çalışmada ise, kalp krizini öngörmek için hipertansiyon, ortalama vücut şekeri seviyesi, vücut kitle indeksi (VKİ) ve tütün kullanımı gibi parametrelerden yararlanarak üç farklı DVM algoritmasına dayalı bir karar destek sistem modeli önerilmiştir (Puri vd., 2021).

Öte yandan literatürde kalp hastalıklarının erken teşhisine yönelik yukarıda değinilen YSA temelli çalışmaların yanı sıra bulanık mantık (BM) tekniklerinden yararlanan çalışmalarda bulunmaktadır (Adeli and Neshat, 2010; Bhatla and Jyoti, 2012; Devi and Anto, 2014; Schuster vd., 1999; Kumar ve Kaur, 2013, Torun, 2007; Kora vd., 2019; Sijimol vd., 2014; Oad and DeZhi, 2014; Sikchi vd., 2013; Rathod and Gawande, 2016;

Arslankaya and Celik, 2021; Maraj and Kuka, 2022). Örneğin 1999 yılında yapılan bir çalışmada kalp hastalığı riski uzman sistemlerden yararlanarak ele alınmıştır (Schuster vd., 1999). Kumar ve Kaur (2013), tansiyon, kan şekeri, kolesterol gibi risk faktörlerini kullanarak kalp hastalığını Mamdami çıkarım metoduyla tahmin eden bir bulanık mantık modeli önermişlerdir. Torun 2007 yılında tasarladığı bulanık uzman sistemine göre bireyin on yıllık koroner kalp hastalığını riskini ele almıştır (Torun, 2007). 2019 yılında Kora ve arkadaşları koroner kalp hastalığının (KKH) otomatik tespiti için bulanık kural tabanlı bir klinik sistem önermişlerdir. Önerilen sistem ağırlıklı bulanık standartların tasarlanması ve duygusal olarak destekleyici bir ağ seçimine dayalı bulanık kılavuzlar oluşturulması olmak üzere iki temel adımdan oluşmaktadır (Kora vd., 2019). Oad ve DeZhi (2014) kalp hastalığının teşhisinde uzman hekimlerin iş yükünü azaltmak ve daha doğru karar vermelerine yardımcı olmak amacıyla bulanık kural tabanlı bir destek sistemi önermişlerdir. Sikchi vd. (2013) kalp hastalığı teşhisi için Matlab ve Visual Basic programlarını kullanarak grafiksel bir kullanıcı arabirimi üreten bir bulanık mantık model tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Rathod ve Gawande (2016) Matlab programının bulanık mantık arayüzünü kullanarak koroner kalp hastalığını sınıflandırmışlardır. Maraj ve Kuka (2022) yaptıkları çalışmada önerdikleri bulanık mantık temelli modellerde Arnavutluk'ta hipertansiyon, sigara, aile öyküsü, VKİ, diyabet ve kolesterol gibi risk faktörlerini kullanarak koroner kalp hastalığını sınıflandırmışlardır.

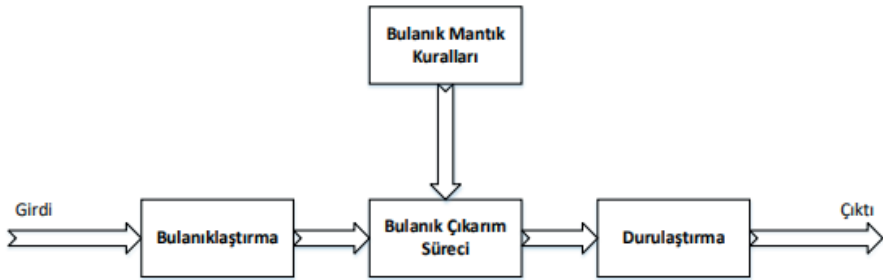
Yukarıda değinilen çalışmalarla makine öğrenmesi yöntemlerinin kalp hastalığının teşhisine katkı sağladığı açık bir şekilde ortaya koyulmuştur. Diğer taraftan Türkiye Halk Sağlığı Kurumu'nun yayınladığı raporunda kalp hastalıklarının dünya genelinde mortalite oranı açısından diğer hastalıklara nazaran ilk sırada olacağı belirtilmiştir (THSK, 2021). Bu nedenle kalp krizi risk seviyesinin teşhisi oldukça önem arz etmektedir. Genellikle kalp krizi riskini hesaplanmasında uzman hekimler farklı ulusal veya uluslararası internet sitelerinden (ASCVD Risk Estimator Plus, Heart Disease Risk Calculator gibi) yararlanmaktadırlar. Ancak internet erişim sorununun yaşanabilmesi, birçok ekstra bilginin sisteme girilme zorunluluğu gibi durumlar göz önüne alındığında uzman hekimlere yardımcı olabilecek bir karar destek sisteminin tasarımı oldukça önemlidir. Bu bağlamda yapılan bu çalışmada kalp krizi riskini doğru tespit edebilen bulanık mantık temelli bir model önerilmiştir. Böylelikle mevcut kalp krizi risk seviyesini hesaplayan internet sitelerine alternatif olabilecek bir karar destek sistem modeli geliştirilmiştir. Önerilen modelde girdi parametresi olarak yaş, cinsiyet, toplam kolesterol değeri, HDL, sistolik ve diyastolik kan basınç değerleri, yüksek tansiyon tedavi görüp/görmediği, şeker hastalığı durumu ve tütün

kullanımı; çıktı parametresi olarak ise düşük (<%5), orta(%5-7.4), yüksek (%7.5-19.9) ve çok yüksek(>%20) değer aralıklarına sahip olan kalp krizi risk değeri göz önünde bulundurulmuştur.

Çalışmanın takip eden bölümlerinde bulanık mantık hakkında kısaca bilgi verilmesinin ardından önerilen bulanık mantık tabanlı karar destek sisteminin esaslarına ayrıntılı olarak değinilmiştir. Son olarak önerilen modelin kalp krizi risk seviyesini doğru teşhis edip etmediğini belirlemek amacıyla uzman hekimlerin kullandıkları internet adreslerinden olan ASCVD Risk Estimator Plus internet sitesinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır.

2. BULANIK MANTIK

Bulanık mantık kavramı ilk kez Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında yayınlanan makaleyle literatüre kazandırılmıştır (Zadeh, 1965). Temeli küme teoremine dayanan bulanık mantık insanların dilsel kurallar ile karar verme kabiliyetini makinelere/bilgisayarlara uyarlamaktadır. Bunun için de dilsel terimler ve değişkenler matematiksel olarak üyelik dereceleri ve üyelik fonksiyonlarıyla ifade edilmektedir. Bilginin gösterimi açısından, klasik mantıktan farklı olarak bulanık mantıkta sayısal değerler yerine büyük, küçük, çok, az gibi dilsel ifadeler kullanılmaktadır. Klasik mantıkta bir ifade 0 veya 1 değeri alabilirken, bulanık mantıktaysa 0 ile 1 arasında herhangi bir gerçek değeri alabilmektedir. Bulanık mantık temelli sistemler bulanıklaştırma, bilgi tabanı (kural tabanı ve veri tabanı), sonuç çıkarım sistemi ve bulanıklaştırma olmak üzere dört temel bölümden oluşmaktadır (Şekil 1). (Jang vd., 1996; Güner ve Çomak, 2014; Esen ve Tokgöz, 2021; Vasif, 2005).



Şekil 1. Bulanık mantık temelli sistemlerin temel bölümleri.

Bağımlı ve bağımsız değişkenleri içeren girdi bölümünde değişkenleri en iyi ifade eden üyelik fonksiyonları tespit edilmekte ve ardından bulanıklaştırma aşamasına geçilmektedir. Bulanıklaştırma aşamasında sisteme gerçek (kesin) sayılarla tanımlanan giriş bilgileri üyelik fonksiyonları yardımıyla dilsel (sözel) niteleyiciler olan sembolik ifadelere dönüştürülmektedir. Bu aşamada üyelik

fonksiyonları sayısı veya türü hususunda herhangi bir sınırlama olmamakla birlikte, uzman kişinin yönlendirmesine göre değişkenlik göstermektedir (Arslan ve Zırhlıoğlu, 2021). Sistemin verimliliği artırmak amacıyla üçgen, yamuk, gaussian ve çan şekilli gibi değişik şekillerde üyelik fonksiyonları seçilebilmektedir (Elmas, 2003). Uzman kişilerin görüşleri doğrultusunda hazırlanan kural tabanında, giriş verileri ile bunlara karşılık gelen çıkış verileri arasındaki mantıksal bağlantıların 've/veya', 'eğer-ise' şeklinde ifade edildiği bir dizi sözel kurallar bulunmaktadır. Bulanık çıkarım aşamasında kural tabanındaki kurallardan yararlanarak bulanıklaştırma aşamasından gelen bulanık değerlerden sonuçlar çıkarılmaktadır. Genel olarak bu aşamada Mamdani, Sugeno ve Tsukamoto çıkarım yöntemleri kullanılmaktadır (Arslan ve Zırhlıoğlu, 2021). Yapılan bu çalışma kapsamında Mamdani çıkarım yöntemi kullanılmıştır (Mamdani and Assilian, 1975). Son olarak durulaştırma aşamasında ise karar verme biriminden gelen bulanık veriler tekrar kesin değerlere dönüştürülmektedir.

Kompleks ve zor problemlerin çözümünde kolay ve kullanışlı çözüm bulma yaklaşımına sahip olan bulanık mantık günümüzde birçok farklı disiplinde kendine uygulama alanı bulmuştur (Keskenler, 2017). Sosyolojiden mühendisliğe, mühendislikten tıpa kadar birçok alanda kullanılan bulanık mantıkla uzman kişilerin tecrübelerinden yararlanarak kesin veya net olarak bilinmeyen (tespit edilemeyen) olay, veri ve fonksiyonlar modellenebilmektedir (Baykan ve Beyan, 2004). Bu bağlamda bulanık mantık sağlık alanında hastalığın tam (kesin) olarak teşhis edilemediği durumlarda uzman hekimlere yardımcı olmak amacıyla kullanılmaktadır (Abdod vd., 2001; Phuong and Kreinovich, 2001).

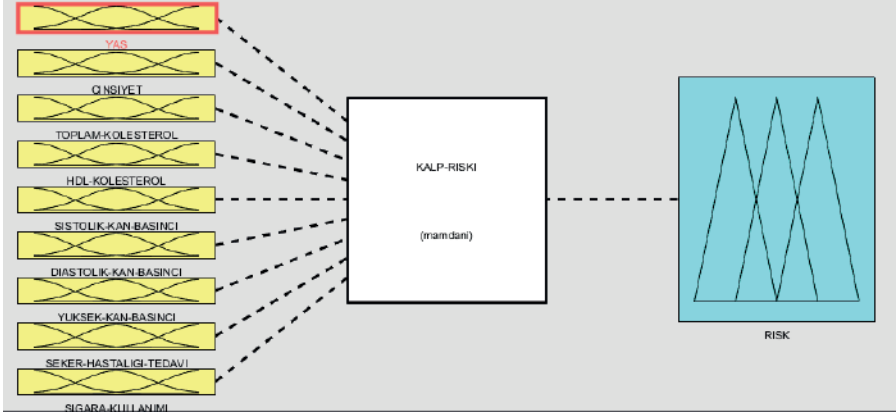
3. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada uzman hekimlerin kalp krizi riskini tahmin etmesinde ASCVD Risk Estimator Plus gibi farklı internet siteleri yerine bulanık mantık temelli bir karar destek modeli önerilmiştir. Önerilen modelle 9 girdi parametresi ve 1 çıktı parametresi kullanılarak bireyin kalp krizi risk düzeyi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Girdi parametreleri; yaş, cinsiyet, toplam kolesterol değeri, HDL kolestrol değeri, Sistolik kan basıncı, diyastolik kan basıncı, yüksek kan basıncı, şeker hastalığı durumu ve tütün kullanımıdır. Çıkış parametresi olan kalp krizi dilsel değişkeni risk seviyesi düşük (<%5), orta(%5-7.4), yüksek (%7.5-19.9) ve çok yüksek(>%20) dilsel terimleri ile ifade edilmiştir. Tüm girdiler kalp krizini etkileyen faktörlerdir. Giriş ve çıkış parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Bununla birlikte çalışmada kullanılan Mamdani'nin maksimum-minimum bulanık çıkarım yöntemi Şekil 2'de gösterilmiştir.

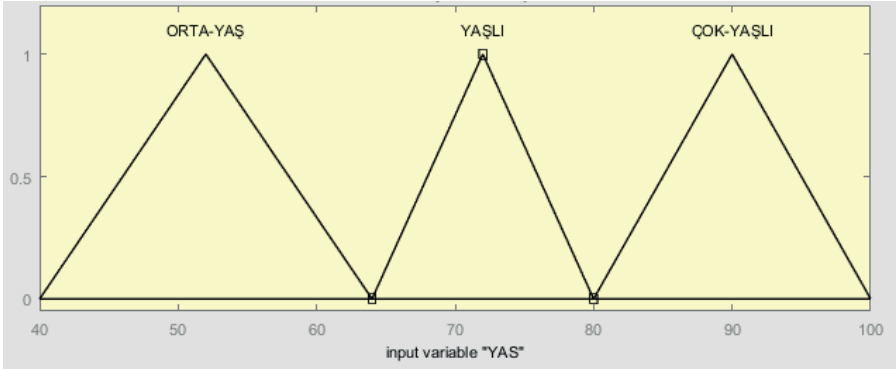
Tablo 1. Risk faktörleri ve aralıkları

Parametreler	Aralık	Bulanık Küme
Yaş	40-64 65-80 80 <	Orta-Yaş Yaşlı Çok Yaşlı
Cinsiyet	1 2	Kadın Erkek
Toplam kolesterol	120-193 193-232 233-270 271 <	Normal Biraz-Yüksek Yüksek Çok Yüksek
HDL kolesterol	20-38 29-56 47-73 64-91 82-100	Çok Düşük Düşük Normal Yüksek Çok Yüksek
Sistolik kan basıncı	120 > 120-129 130-139 140 <	Düşük Normal Biraz-Yüksek Yüksek
Diastolik kan basıncı	80 > 80-84 85-89 90 <	Düşük Normal Biraz-Yüksek Yüksek
Yüksek kan basıncı	1 2	Yok Var
Şeker hastalığı	1 2	Yok Var
Tütün kullanımı	1 2	Yok Var
Risk seviyesi	% 5 > % 5 - 7.4 % 7.5 - 19.9 % 20 <	Düşük Orta Yüksek Çok Yüksek

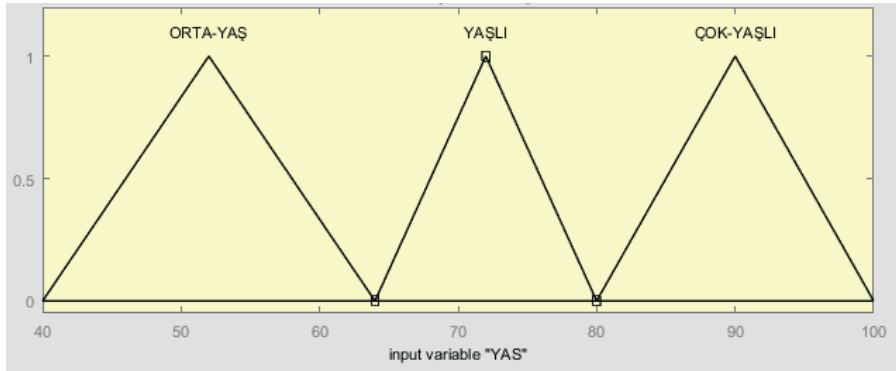


Şekil 2. Kalp krizi risk seviyesinin tespiti için önerilen modele ait Mamdani ara yüz gösterimi.

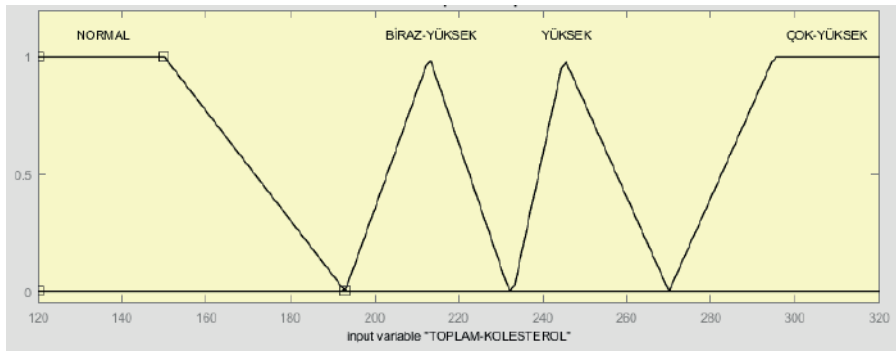
Girdi parametrelerinden yaş, cinsiyet, yüksek kan basıncı, şeker hastalığı ve tütün kullanımı üçgen üyelik fonksiyonlarıyla ifade edilirken; toplam kolesterol, HDL kolesterol, sistolik ve diyastolik kan basınç değerleri içinse üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları birlikte kullanılmıştır. Çıktı parametresi olarak üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Giriş ve çıktı parametrelerine ait üyelik fonksiyonları Şekil 3 - Şekil 12 de verilmiştir. Durulaştırma aşamasında Centroid (Center of Gravity Method) yöntemi kullanılmıştır.



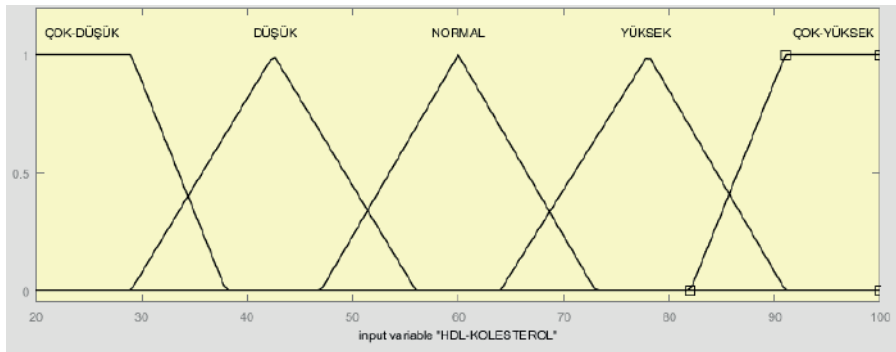
Şekil 3. Girdi parametresi olan yaş dilsel değişkenine ait üyelik fonksiyonu.



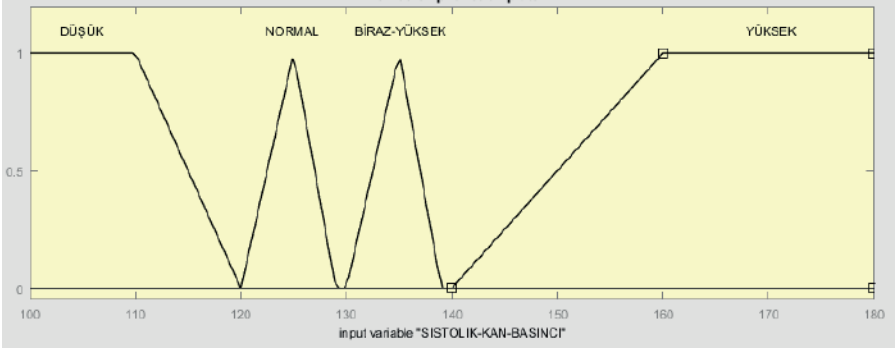
Şekil 4. Girdi parametresi olan cinsiyet dilsel değişkenine ait üyelik fonksiyonu.



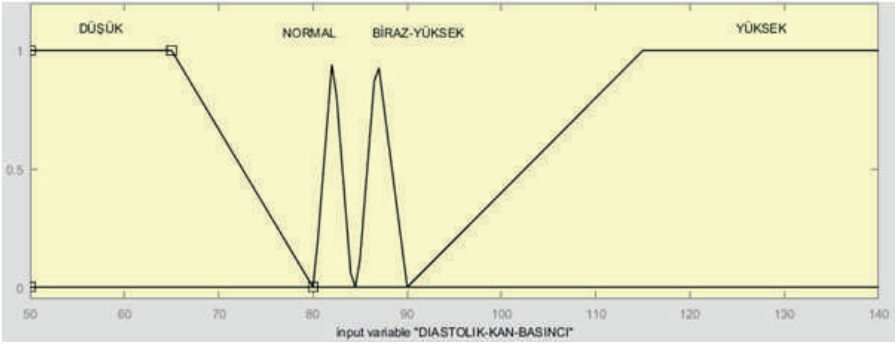
Şekil 5. Girdi parametresi olan toplam kolesterol dilsel değişkenine ait üyelik fonksiyonu.



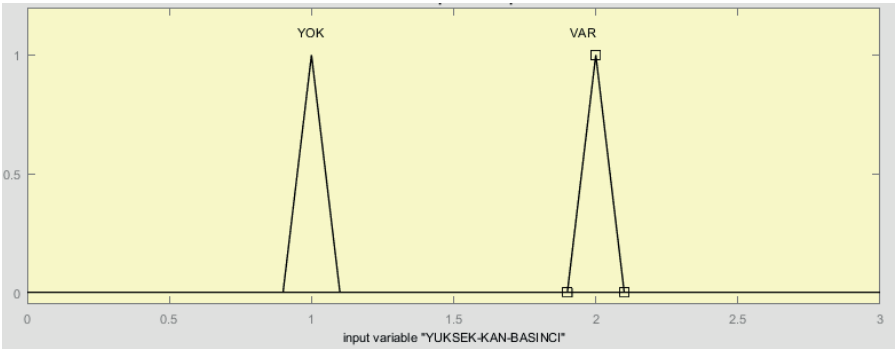
Şekil 6. Girdi parametresi olan HDL kolesterol dilsel değişkenine ait üyelik fonksiyonu.



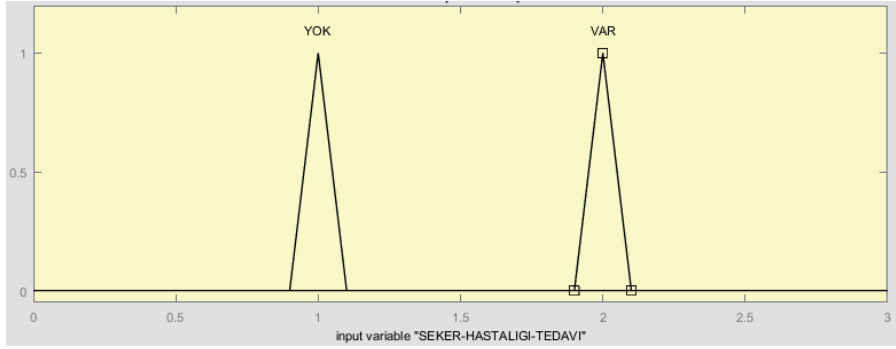
Şekil 7. Girdi parametresi olan sistolik kan basıncı dilsel değişkenine ait üyelik fonksiyonu.



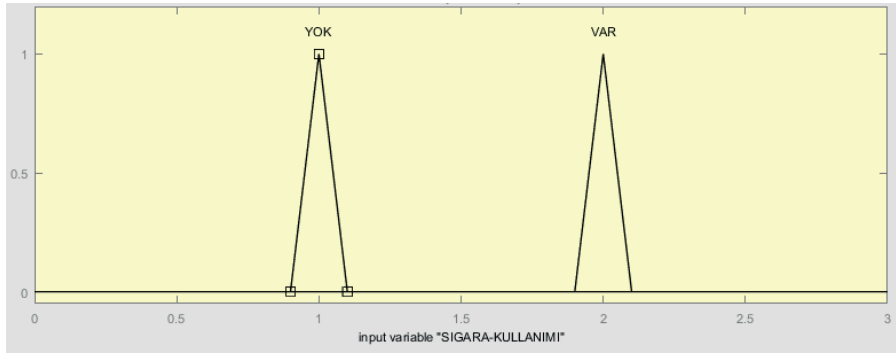
Şekil 8. Girdi parametresi olan diyastolik kan basıncı dilsel değişkenine ait üyelik fonksiyonu.



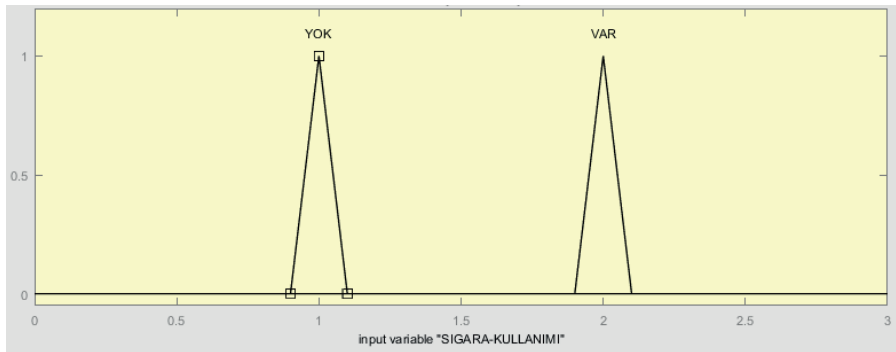
Şekil 9. Girdi parametresi olan yüksek kan basıncı dilsel değişkenine ait üyelik fonksiyonu.



Şekil 10. Girdi parametresi olan şeker hastalık durumu dilsel değişkenine ait üyelik fonksiyonu.

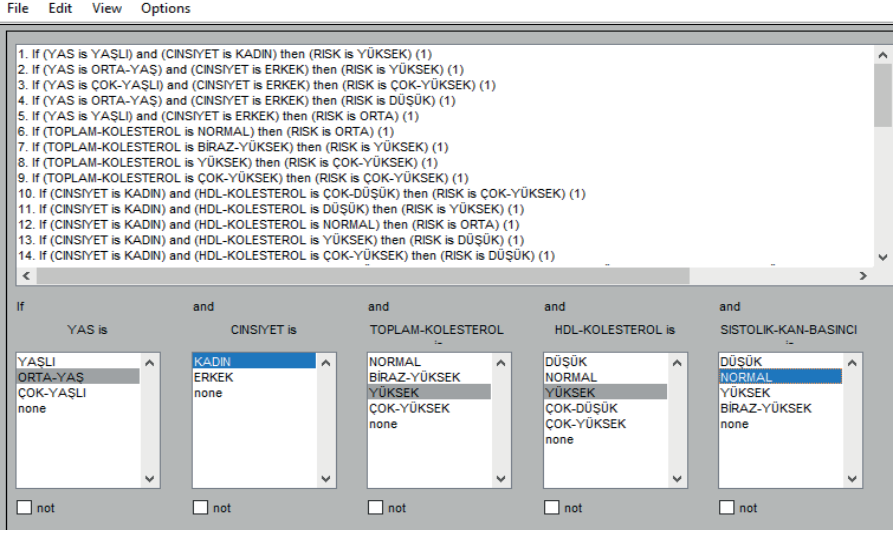


Şekil 11. Girdi parametresi olan tütün kullanım dilsel değişkenine ait üyelik fonksiyonu.

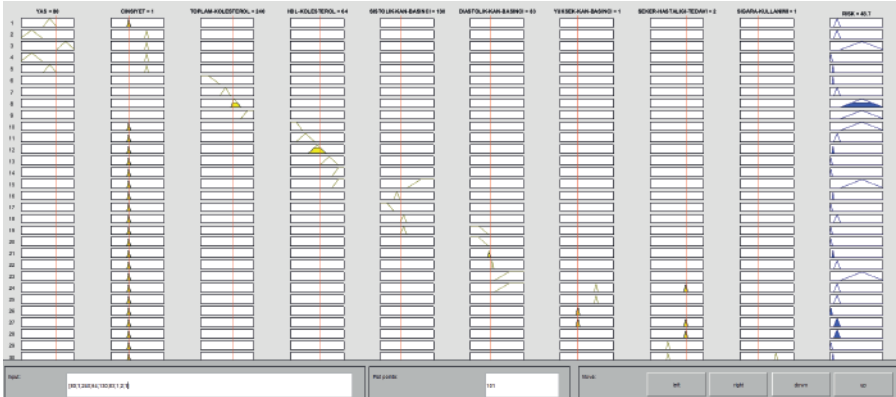


Şekil 12. Çıkış parametresi olan kalp krizi risk seviyesi dilsel değişkenine ait üyelik fonksiyonu.

Çalışmada ilk olarak girdi ve çıktı parametrelerinin limit değerleri, dilsel değişkenleri ve üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Kural tabanını oluşturmak için girdi ve çıktı arasında ilişki kurularak Matlab programının bulanık mantık (Fuzzy) arayüzündeki Rule Editor bölümüne aktarılmıştır. Kural tablosunun oluşturulmasından uzman hekimin tavsiyelerine başvurulmuş ve bu tavsiyeler doğrultusunda toplam 41 adet kural oluşturulmuştur. Bunlardan ilk 14 tanesi Şekil 13’de verilmiştir. Rule Editor bölümünde kural tabanları oluşturulduktan sonra fuzzy arayüzündeki çıkarım ekranı sayesinde kural indeksi örnek bir bireye ait veriler kullanılarak grafiksel olarak gösterilmiştir (Şekil 14).



Şekil 13. Uzman hekim tavsiyeleri ışığında oluşturulan kural tablosundan bir kesit.



Şekil 14. Örnek bir bireye ait veriler kullanılması durumunda önerilen modelin arayüz ekranı.

Çalışmada son olarak önerilen modelin doğruluğunu göstermek amacıyla farklı giriş verileri kullanılarak, kalp krizi risk seviyesi hem uzman hekimlerin yararlandığı internet sitesi hem de önerilen modele göre hesaplanarak Tablo 2’de kıyaslamalı olarak verilmiştir. Tablodan açıkça görüldüğü üzere kalp krizi risk seviyesinin tespitinde önerilen model oldukça başarılıdır. İnternet sitesi üzerinden yapılan hesaplamalarda karşılaşılabilecek erişim sorunları, yukarıda verilen girdi parametrelerine kıyasla daha fazla girdi parametresine sahip olması, girdi parametrelerin sınır değerlerinin sabit olması (örneğin yaşın 40-59 olarak alınması) gibi dezavantajlar göz önünde bulundurulduğunda önerilen modelin uzman hekimlere kalp krizi risk seviyesinin tespitinde yardımcı olabileceği kanısına varılmıştır.

Tablo 2. Kalp krizi risk seviyesinin tespitinde uzman hekimlerin yararlandığı ASCVD Risk Estimator Plus internet sitesi ile önerilen modelin karşılaştırılması

Girdi Parametreleri									Çıktı Parametresi	
Yaş	Cinsiyet	Toplam Koles-terol	HDL Koles-terol	Sistolik Kan Basıncı	Diyastolik Kan Basıncı	Yüksek Kan Basıncı	Şeker Hastalığı Tedavi	Tütün Kullanım Durumu	Kalp Krizi Risk Seviyesi Başarım (%)	
									WEB	Önerilen Model
43	1: kadın	130	85	120	60	1:yok	1:yok	1:yok	0.5 Düşük	3.68 Düşük
40	2:erkek	180	58	125	72	2:var	2:var	1:yok	5.2 Orta	6.25 Orta
55	1: kadın	180	68	180	78	2:var	2:var	2:var	17.1 Yüksek	11.3 Yüksek
59	1: kadın	240	64	130	83	1:yok	2:var	1:yok	23.8 Çok Yüksek	24 Çok Yüksek

KAYNAKÇA

- Abbod, M. F., von Keyserlingk, D. G., Linkens, D. A., & Mahfouf, M. (2001). Survey of utilisation of fuzzy technology in medicine and healthcare. *Fuzzy Sets and Systems*, 120(2), 331-349. doi: 10.1016/S0165-0114(99)00148-7.
- Adeli, A. & Neshat, M. (2010, March). A fuzzy expert system for heart disease diagnosis. In *Proceedings of international multi conference of engineers and computer scientists, Hong Kong* (Vol. 1).
- Arslan, M., & Zırhloğlu, G. (2021). Öğretmen Performanslarının Bulanık Mantık Yöntemiyle Değerlendirilmesi. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 18(1), 569-594. doi:10.33711/yyuefd.919431
- Arslankaya, S. & Çelik, M. T. (2021). Prediction of heart attack using fuzzy logic method and determination of factors affecting heart attacks. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 7(1), 1-8. doi: 10.31590/ejosat.1251862
- Baykal, N., & Beyan, T. (2004). *Bulanık mantık ilke ve temelleri*. Bıçaklar Kitabevi.
- Bhatla, N. & Jyoti, K. (2012). A Novel Approach for heart disease diagnosis using Data Mining and Fuzzy logic. *International Journal of Computer Applications*, 54(17).
- Dangare, C., & Apte, S. (2012). A data mining approach for prediction of heart disease using neural networks. *International Journal of Computer Engineering and Technology (IJCET)*, 3(3), 30-40.
- Devi, Y. N. & Anto, S. (2014). An evolutionary-fuzzy expert system for the diagnosis of coronary artery disease. *IJAR CET*, ISSN, 2278-1323.
- Devlin, R. J. & Henry, J. A. (2008). Clinical review: Major consequences of illicit drug consumption. *Critical care*, 12(1): 202. doi: 10.1186/cc6166
- Dogan, S. (2007). Heart attack detection from cardiac enzymes by using decision trees. *Engineering Sciences*, 2(3), 39-50.
- Durairaj, M. & Revathi, V. (2015). Prediction of heart disease using back propagation MLP algorithm. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 4(8), 235-239.
- Elmas, Ç., & Uygulamaları, Y. Z. (2003). Seçkin yayıncılık. *Baskı, Ankara*.
- Esen, Y. & Tokgöz, H. Bulanık mantık modellemesi ile taşınmaz değerlemeye farklı bir bakış. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(4), 1155-1165. doi: 10.21923/jesd.876523
- Göktaş, M. E. & Yağanoğlu, M. (2020). Veri bilimi uygulamalarının hastalık teşhisinde kullanılması: Kalp krizi örneği. *Journal of Information Systems and Management Research*, 2(2), 26-32.

- Güner, N. & Çomak, E. (2014). Lise öğrencilerinin matematik dersine yönelik tutumlarının bulanık mantık yöntemi ile incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(5), 189-196.
- Jang, J. S. R., Sun, C. T., & Mizutani, E. (1997). Neuro-fuzzy and soft computing-a computational approach to learning and machine intelligence [Book Review]. *IEEE Transactions on automatic control*, 42(10), 1482-1484.
- Jensen, G., Nyboe, J., Appleyard, M. & Schnohr, P. (1991). Risk factors for acute myocardial infarction in Copenhagen, II: Smoking, alcohol intake, physical activity, obesity, oral contraception, diabetes, lipids, and blood pressure. *European heart journal*, 12(3), 298-308. doi: 10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a059894.
- Keskenler, M. F. & Keskenler, E. F. (2017). Bulanık mantığın tarihi gelişimi. *Takvim-i Vekayi*, 5(1), 1-10.
- Kılınc, E. E. (2022). *Yapay Sinir Ağı yöntemleri kullanılarak kalp krizinin tahmin edilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur. Yükseköğretim Kurumu Başkanlığı Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 747232)
- Kumar, S. & Kaur, G. (2013). Detection of heart diseases using fuzzy logic. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 4(6), 2694-2699.
- Kora, P., Meenakshi, K., Swaraja, K., Rajani, A. & Islam, M. K. (2019). Detection of cardiac arrhythmia using fuzzy logic. *Informatics in Medicine Unlocked*, 17, 100257. doi: 10.1016/j.imu.2019.100257
- Lu, L., Liu, M., Sun, R., Zheng, Y. & Zhang, P. (2015). Myocardial infarction: symptoms and treatments. *Cell biochemistry and biophysics*, 72, 865-867.
- Mamdani, E. H. & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International journal of man-machine studies*, 7(1), 1-13.
- Maraj, E., & Kuka, S. (2022, July). Prediction of Coronary Heart Disease Using Fuzzy Logic: Case Study in Albania. In *2022 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)* (pp. 1-6). IEEE. doi: 10.1109/ICECET55527.2022.9872569.
- Oad, K. K. & DeZhi, X. (2014). A fuzzy rule based approach to predict risk level of heart disease. *Global Journal of Computer Science and Technology*, 14(C3), 17-22.
- Panday, P. & Godara, N. (2012). Decision support system for cardiovascular heart disease diagnosis using improved multilayer perceptron. *International Journal of Computer Applications*, 45(8).
- Phuong, N. H., & Kreinovich, V. (2001). Fuzzy logic and its applications in medicine. *International journal of medical informatics*, 62(2-3), 165-173. doi: 10.1016/S1386-5056(01)00160-5

- Puri, H., Chaudhary, J., Raghavendra, K. R., Mantri, R. & Bingi, K. (2021, July). Prediction of heart stroke using support vector machine algorithm. In *2021 8th International Conference on Smart Computing and Communications (ICSCC)* (pp. 21-26). IEEE.
- Rathod, A. B. & Gawande, P. S. (2016, July). Design of rule based fuzzy expert system for diagnosis of cardiac diseases. In *National Conference on Innovative Trends in Science and Engineering* (Vol. 4, No. 7, pp. 313-320).
- Schuster, A., Adamson, K. & Bell, D. A. (1999). Decision-making on fuzzy pieces of evidence. In *Workshop on Intelligent Data Analysis in Medicine and Pharmacology* (pp. 114-116).
- Sijimol, A. S., Vijayan, P., & Koshy, S. (2014). Cardiovascular disease diagnosis using fuzzy petri net. *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, 3(4), 451-453.
- Sikchi, S. S., Sikchi, S. & Ali, M. S. (2013). Design of fuzzy expert system for diagnosis of cardiac diseases. *International Journal of Medical Science and Public Health*, 2(1), 56-61.
- Takci, H. (2018). Improvement of heart attack prediction by the feature selection methods. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 26(1), 1-10. doi:10.3906/elk-1611-235
- T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Halk Sağlığı Kurumu (THSK), Türkiye Kalp ve Damar Hastalıkları Önleme ve Kontrol Programı (2021-2026). (2023, Mayıs 25). Erişim adresi: <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/kronikhastaliklar-haberler/turkiye-kalp-ve-damar-hastaliklar-onleme-ve-kontrol-programi-2021-2026.html>
- Torun, S. (2007). *Koroner kalp hastalığı riski tanısı ve tedavisi için hiyerarşik bir bulanık uzman sistem tasarımı*. (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Konya. Yükseköğretim Kurumu Başkanlığı Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 178040)
- World Health Organization, Cardiovascular diseases (CVDs): keyfacts. (2023, May 25). Retrived from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-cvds>
- Vasif, N. V. (2005). Yapay Zeka; Problemler-Yöntemler-Algoritma. *Seçkin Yayınevi*.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.

Türkiye Taşınmaz Değerleme Sistemi Kurumsal Yapısının Geliştirilmesi Yönünde Yapılan Akademik Çalışmalara Genel Bir Bakış¹

Nuri ERDEM²

1. GİRİŞ

Son yıllarda taşınmaz (gayrimenkul) sektörünün giderek artan önemi ve dolayısıyla bu gelişmelerden etkilenen gayrimenkul değerlendirme faaliyetleri, uluslararası tüm ekonomik ilişkilerde vazgeçilemez bir unsur haline gelmiştir. Taşınmaz değerlendirme faaliyetleri, ülkelerin ekonomik sisteminde önemli bir yer tutmakta ve birçok farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Gayrimenkul değerlerinin likidite olarak piyasada kullanılabilirliği olması, ekonomik hayatın sağlıklı işlemesi açısından önemli bir unsurdur (HKMO, 2012).

Birleşmiş Milletler (BM), Uluslararası Haritacılar Federasyonu, Dünya Bankası ve Avrupa Birliği gibi kuruluşlar tarafından yayınlanan rapor ve bildirimlerde, ülke yönetimlerinin taşınmazların pazar değerlerinin belirlendiği sistemleri oluşturması gerektiği belirtilmektedir (Çete, 2008; EU, 2004; Çete ve Yomraloğlu, 2009). Bütün ülkelerin kendine özgü bir değerlendirme modeli ve standartlarının bulunmasına rağmen, günümüzde gayrimenkul değerlerine bağlı yaşanan küresel ekonomik krizler, değerlendirme standartlarının uluslararası bir düzeyde geliştirilmesini ve bilimsel temelleri güçlü olan değerlendirme sistemleri kurulmasını zorunlu hale getirmiştir.

Gayrimenkul değerlemesi; bir taşınmaz veya taşınmaz projesinin, ona bağlı olan hakların ve faydaların belirli bir tarih anındaki olabilecek değer

1 Bu çalışma Yük. Müh. Nuri ERDEM'in 2016 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalında tamamlanan "Türkiye İçin Bir Taşınmaz Değerleme Sistemi Yaklaşımı" isimli doktora tez çalışmasından üretilmiştir. Ayrıca, diğer güncel kaynaklar da taranmış ve çalışmaya eklenmiştir.

2 Doç. Dr., Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, Türkiye, nurierdem@osmaniye.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-1850-4616>

bağımsız olarak çalışan değerlendirme uzmanları tarafından takdir edilmesi olarak tanımlanır (SPK, 2001; Appraisal Institute, 2001; Açlar ve Çağdaş, 2002). Taşınmaz değerlemeye; gerek sigortacılık ve bankacılık gibi özel sektör uygulamalarında ve gerekse kamulaştırma, vergilendirme, özelleştirme gibi kamusal hizmetlerde yoğun ihtiyaç duyulmaktadır (Çete, 2008).

Bu durum gerek mesleki ve gerekse akademik çevrelerde çoğunlukla dile getirilmekte ve ülkemiz değerlendirme sistemi kurumsal yapısının yeniden yapılandırılması gerekliliği ihtiyacına işaret edilmektedir. Ancak, bu alanda yürütülen tek çalışma olarak Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'nün (TKGM) bünyesinde geliştirilen Tapu ve Kadastro Modernizasyon Projesi (TKMP)'nde önemli bir ayağı teşkil eden Gayrimenkul Değerleme Bileşeni kapsamındaki çalışmalar görülmektedir. Gayrimenkul değerlendirme sisteminin kurumsal yeniden yapılandırma gibi çalışmaların başarısı ülke bütünü kapsayan bir etkiye de sahip olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, bu tür kurumsal yeniden yapılanma çalışmaları bilimsel araştırmalarda desteklenmesi gerekmektedir.

Ülkemizdeki taşınmaz değerlendirme faaliyetleri, yaklaşık 26 farklı kurumun kendi bünyesindeki elemanları içerisinde oluşturduğu değer takdir komisyonları eliyle yürütülmektedir (Tablo 1). Ayrıca, yargıdaki sorunların çözümünde ilgili mahkemelerin oluşturduğu bilirkişilik komisyonları da değerlendirme faaliyeti yapmaktadır (Çete, 2008; Nişancı, 2005). Komisyonların oluşturulma şekli, değerlemenin hangi yöntemle yapılacağı, işlemin amacına bağlı göre farklı olan yasalar ve yönetmeliklerle tanımlanmış durumdadır. Taşınmazın cinsi ve niteliğine göre, komisyonda yer alacak olan üyelerin mesleki alanlarının da değiştiği görülmektedir. Tablo 1'de verilen kamu kurumlarının dışında, özel sektöre ait gayrimenkul değerlendirme yapan şirketler de değerlendirme faaliyetlerinde bulunmaktadır (Köktürk, & Köktürk, 2015; Açlar ve Çağdaş, 2008).

Tablo 1. Gayrimenkul değerlendirme faaliyeti yapan kurumlar (Candaş, 2012; Yomralıoğlu vd., 2011).

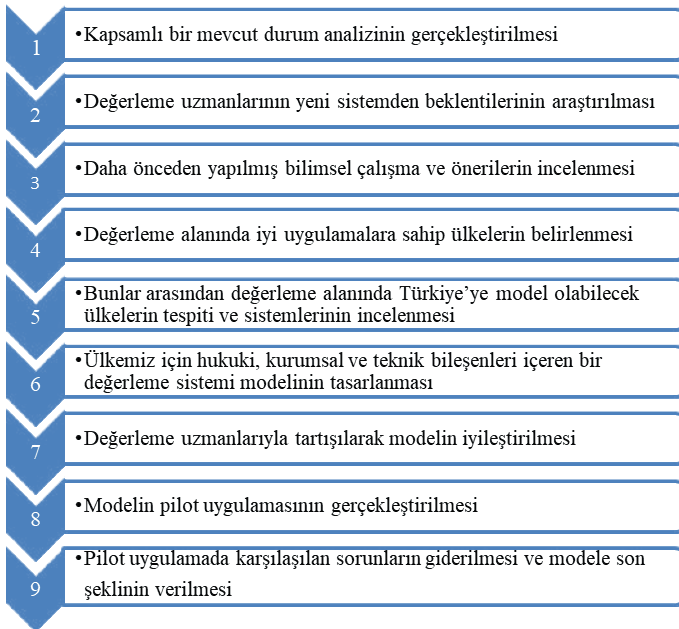
BAKANLIK	KURUM	TAŞINMAZ DEĞERLEME İLE İLİŞKİSİ	YASA
Çevre ve Şehircilik	Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü	Vergiye esas birim değer hesabı	Kadastro Kanunu (3402) Tapu Kanunu (2644) Tapu Sicil Tüzüğü
	Mekânsal Planlama Genel Müdürlüğü	Projelendirme	İmar Kanunu (3194) Kamulaştırma Kanunu (2942)
	İller Bankası AŞ	Kamulaştırma	Kamulaştırma Kanunu (2942)
Enerji ve Tabii Kaynaklar	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü	Kamulaştırma	Kamulaştırma Kanunu (2942)
	Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ)	Kamulaştırma	Kamulaştırma Kanunu (2942)
	Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü	Kamulaştırma/ Kiralama	Kamulaştırma Kanunu (2942)
Orman ve Su İşleri	Orman Genel Müdürlüğü	Satın Alma/İnşaat/ Kamulaştırma	Orman Kanunu (6831)
	Orman Köy İşleri Genel Müdürlüğü	Etüt/Planlama	Orman Kanunu (6831)
Başbakanlık	Sermaye Piyasası Kurulu	Değerleme Mevzuatı/Değerleme Uzmanları	Sermaye Piyasası Kanunu (2499)
	Toplu Konut İdaresi Başkanlığı	Satın Alma/Projelendirme	Toplu Konut İdaresi Yasası (2985)
	Özelleştirme İdaresi Başkanlığı	Özelleştirme	Özelleştirme Kanunu (4046)
	Vakıflar Genel Müdürlüğü	Vakıf Taşınmazlarının Kiralama ve Satışı	Vakıflar Kanunu (5737)
	GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı	Toplulaştırma/ Kamulaştırma	Sulama Alanlarında Arazi Düzenlemesine Dair Tarım Reformu Kanunu (3083) Kamulaştırma Kanunu (2942)
Gıda, Tarım ve Hayvancılık	Tarım Reformu Genel Müdürlüğü	Toplulaştırma/ Kamulaştırma	Sulama Alanlarında Arazi Düzenlemesine Dair Tarım Reformu Kanunu (3083) Kamulaştırma Kanunu (2942)
İçişleri	Valilikler	Projelendirme	İl Özel İdaresi Kanunu (5302)
	Belediyeler	Emlak Vergisi Toplama	Emlak Vergisi Kanunu (1319)
	İl Özel İdaresi	Taşınmaz Yönetimi/Yatırım	İl Özel İdari Kanunu (5302)
Ulaştırma	DIİM Genel Müdürlüğü	Kamulaştırma	Kamulaştırma Kanunu (5942)
	Karayolları Genel Müdürlüğü	Kamulaştırma	Kamulaştırma Kanunu (5942)
	Demiryolları Genel Müdürlüğü	Kamulaştırma	Kamulaştırma Kanunu (5942)
Maliye	Milli Emlak Genel Müdürlüğü	Hazine Taşınmazlarının Yönetimi	Hazineye Ait Taşınmaz Malların Değerlendirilmesi ve Katma Değer Vergisi Yasasında Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun (4706)
	Gelir İdaresi Başkanlığı	Vergi Toplama	Vergi Usul Kanunu (213) Gelir Vergisi Kanunu (193)

Bu çalışmada, yukarıdaki açıklamalarda dile getirilen ihtiyaç çerçevesinde, daha önceden yapılmış olan akademik çalışma ve öneriler doğrultusunda değerlendirme sisteminin kurumsal açılardan yeniden yapılandırılması bağlamında ülkemiz şartlarına uygun bir yaklaşımın geliştirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, bu konuda bilimsel anlamda yapılmış yurtiçindeki çalışmalar ve öneriler hangi iyi uygulama örneklerini kapsadığı ve bunların muhtemel kullanıcılar tarafından ne anlama geldiği üzerinde durulmuştur.

2. KURUMSAL YAPILANMA SÜRECİNDE TEMEL İŞLEM ADIMLARI

Türkiye gayrimenkul değerlendirme sistemi kurumsal yeniden yapılanmasına yönelik daha önceden yapılmış bilimsel çalışmalar ve öneriler ışığında yeni bir değerlendirme sistemi yaklaşımı geliştirilmelidir. Ülkemize özgü bir değerlendirme sistemi geliştirilirken önceki çalışmalar da analiz edilmelidir (Şekil 1).

Dünyadaki iyi uygulama örneklerinin araştırılması, ülkemiz taşınmaz değerlendirme sistemi temel ayaklarından birisi olan kurumsal yapılanma için önemlidir. Bu alanda iyi işleyen değerlendirme sistemleri tesis etmiş olan İngiltere, Hollanda, Almanya ve ABD gibi ülkelerin bu sistemleri incelenerek ülkemize uyan yönleri alınıp ülkemize özgün bir değerlendirme sistemi kurumsal yaklaşımı geliştirilebilir (Şekil 1).

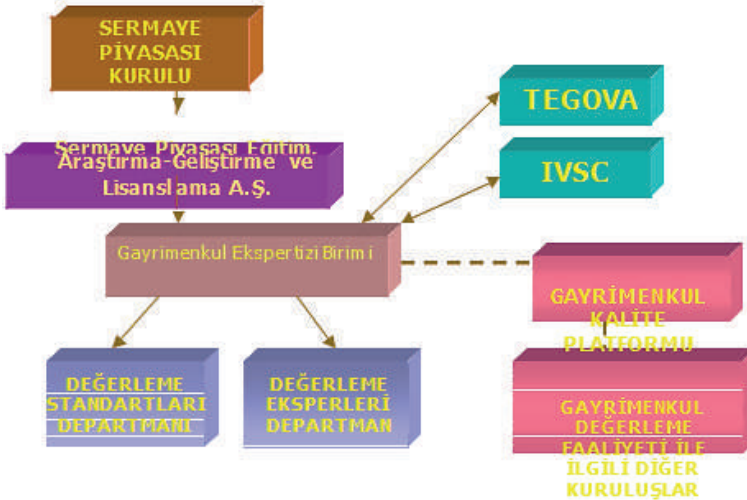


Şekil 1. Taşınmaz değerlendirme sistemi kurumsal yapılanması temel işlem adımları önerisi (Erdem ve Çete, 2013).

3. DAHA ÖNCEDEN YAPILMIŞ AKADEMİK ÇALIŞMALAR

Taşınmaz değerlendirme sistemi kurumsal yapılanması için daha önceden yapılmış mevcut akademik çalışma ve önerileri incelenmiştir. Buna göre çalışmada kullanılan kaynakların içeriğinde eğer varsa taşınmaz değerlendirme sistemimizin sadece kurumsal yapılanmasıyla ilgili olan kısımları değerlendirmeye alınmıştır.

Güngör (1999)'a göre; Ülkemizde değerlendirme mesleğine ilişkin düzenlemeler yapabilecek, meslek etiklerini sağlıklı bir şekilde belirleyecek, meslek giriş, çıkış ve kalış şartlarını net belirleyip uygulayabilecek, kurallara uymayan ve etik kurallara aykırı davranan üyeler için uygulanacak yaptırımları hayata geçirebilecek, raporlamanın belli bir standarda hazırlanmasını sağlayacak ve uzmanların eğitimleri için düzenlemeler yapabilecek, ABD, Almanya ve İngiltere gibi iyi uygulama örneklerinde görülen düzenleyici bir kuruluş gibi faaliyet yapabilecek bir kurumun olması gerekmektedir. Söz konusu bu kurum "*Değerleme Standartları Departmanı*" ve "*Değerleme Ekspertleri Departmanı*" olmak üzere iki farklı biriminin olması öngörülmektedir. Değerleme Standartları Departmanının en başta gelen görevleri; meslek ilkelerini, uygulama metodlarını ve etik kuralları belirleyerek değerlendirme uzmanlarının faaliyetleri sırasında uyması gereken meslek standartları ve etik kuralları düzenlemektir. Değerleme Ekspertleri Departmanının başlıca görevi ise; uzman olarak görev yapacakların niteliklerini belirlemek, yeni uzmanları yetiştirmek ve mesleki bilgi ve becerilerini artırmaktır. Böylece, bu iki alt departman yapılanmasından oluşacak olan bu kurumun yetki ve görevlendirme dağılımlarını daha etkin bir şekilde düzenlenmiş olacaktır. Düşünülen kurumsal yapının idari çerçevesi Şekil 2'de verilmiştir.

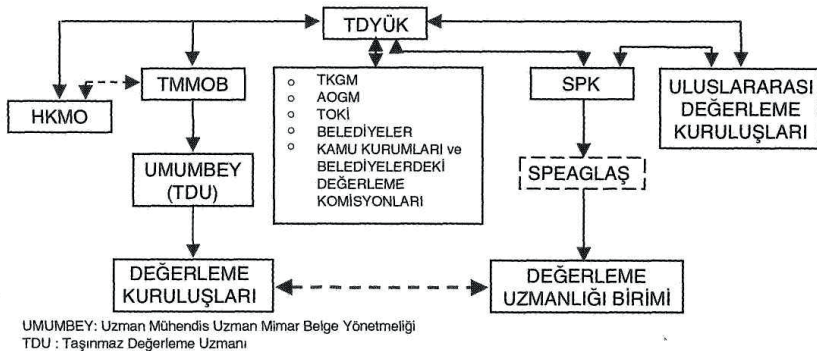


Şekil 2. Önerilen taşınmaz değerlemesi meslek kuruluşunun idari şekli (Güngör, 1999).

HKMO (2003)'e göre; mevcut değerlendirme sistemimizdeki sorunları çözebilmek, gayrimenkul değerlendirme işlemleri bilgi sistemi kurabilmek ve ilgili kurum ve kuruluşlar arasında oluşacak veri akışını hızlı ve sağlıklı bir şekilde yapabilecek bir *“Taşınmaz Değerlemesi Yüksek Kurulu Kurulması Yasası”* acilen çıkarılması, AB üyesi olabilmek amacıyla Anayasası ile birlikte birçok yasanın değiştirilen Türkiye için en öncelikli konulardan birisidir.

Açlar vd. (2003a)'ya göre; SPK, yaptığı hukuki ve kurumsal düzenlemelerle gayrimenkule dayalı olan sermaye piyasası araçlarının değerlendirme gereksinimlerini öncelikle karşılamayı hedeflemiş olmasına rağmen günümüzde, değerlendirme sektörünün tek başına düzenleyici kurumu olmaya aday olmuş gibidir. Ancak, SPK'nın; özellikle harita mühendisliği bölümleri öğretim planlarında *“Gayrimenkul Değerlemesi”* zorunlu olan dersini okutan ve bu dersleri öğretim planlarında olan üniversitelerle iş birliği yapması gerekir.

SPK ile de doğrudan bağlantılı olan gayrimenkul değerlendirme uzmanlığı; diğer birçok meslek grubunun da ilgisini çekmektedir. Bundan dolayı Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası (HKMO) liderliğinde *“Taşınmaz Değerleme ve Yönetimi Yüksek Kurulu” (TDYÜK)* oluşturulmalıdır. Bu kurulun mesleki terminoloji, ilke, yöntem, veri ve belgelerde standart sağlamalıdır. Bağımsız olacak olan Yüksek Kurul bu yetkisini, TMMOB Yasası'nda yapılabilecek bir düzenleme ile ya da ayrıca bir yasa düzenlemesinden alarak; ülkemiz gayrimenkul işlemlerini düzenleyen ve yönlendirmekte olan Arsa Ofisi Genel Müdürlüğü, SPK, TKGM, diğer kamu kurum ve kuruluşları ile belediyelerdeki değerlendirme komisyonlarıyla uyumlu bir şekilde çalışmalıdır. Bu kurumlarımızdan her türlü gayrimenkule dayalı veriyi isteyebilmeli ve kullanabilmelidir. Bu alanda faaliyet gösteren uluslararası değerlendirme kuruluşları ile de veri alışverişinde bulunabilmelidir (Şekil 3).



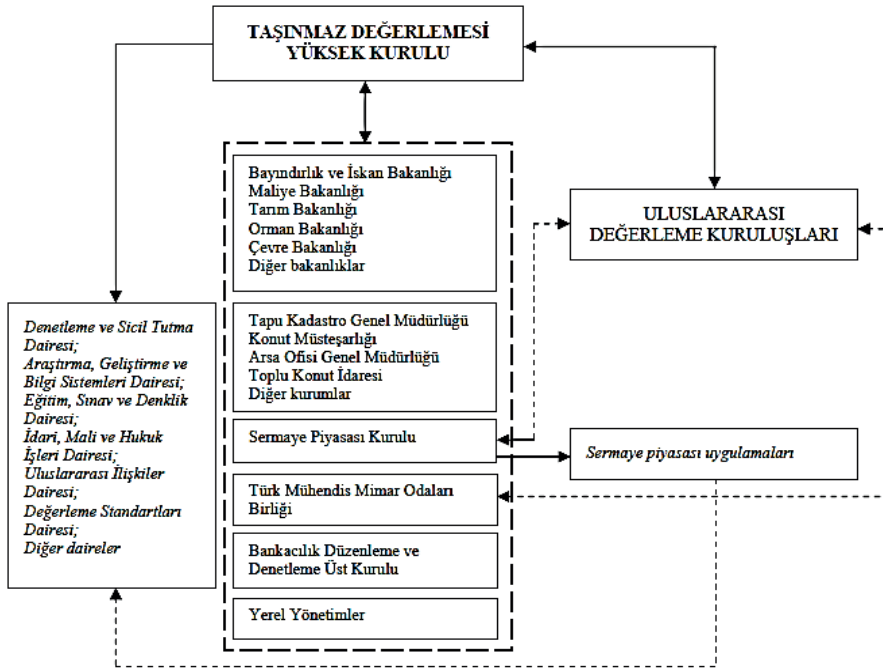
Şekil 3. Ülkemize özgü bir gayrimenkul değerlendirme sistemi için kurumsal yapı önerisi (Açlar vd., 2003a).

Açlar vd. (2003b)'e göre; ülkemizde çok başlı bir kurumsal yapıda gerçekleşen gayrimenkul değerlendirme hizmetleri kurumsal yeniden yapılanma açısından ele alınmış ve bir yapının oluşumu yönünde öneriler geliştirilmiştir. Buna göre, sistemin ana ilkelerinin tasarımı için, HKMO tarafından hazırlanmış olan *“Taşınmaz Değerleme Yüksek Kurulu Kurulması Hakkında Yasa Tasarısı Taslağı”* bir yön gösterici olabilir.

Kamu ve özel sektörde değerlendirme alanında çalışmak isteyenlere, yetki belgesi alma zorunluluğunun getirildiği yasa taslağında, TDYÜK'e değerlendirme uzmanlarının seçimi için sınavlar düzenleme ve eğitim programları açma yetkisi tanınmıştır. TDYÜK, bu alanda çalışacakların görevleri sırasında uymaları zorunlu teknik ve etik kuralları, yönetmelik ya da tebliğler yoluyla düzenleyecek ve denetleyecektir. Koyduğu ilkelere aykırı davranan değerlendirme uzmanlarını uzmanlıktan ihraç edebilecektir. Değerleme uzmanı olarak çalışmak isteyenlerin tümünün TDYÜK tarafından yetkilendirilmesini öngören sistem, SPK ya da uluslararası değerlendirme kurumlarından alınmış yetki belgelerinin denkliğini sağlayacak düzenlemeler yapmakla da yükümlüdür. Örneğin, sermaye piyasasına yönelik değerlemeler yapan uzmanlardan, denkliği sağlanamayanlar diğer alanlarda değerlendirme yapamayacaklardır.

Böylesine bir sistemin oluşumunda kuşkusuz diğer kurumlara ve özellikle kadastro örgütüne büyük görevler düşmektedir. Var olan durumuyla kadastro değinilen işlevleri sağlamaktan uzaktır. Kadastronun değerlemeye altlık olabilecek şekilde yeniden yapılanması sistemin oluşumu için gerek koşuldur. Yeniden yapılanmada kadastradan, kentsel ve kırsal alanlardaki tüm taşınmazları sınıflandırması ve istatistiksel verileri üretmesi beklenmektedir.

TDYÜK, değer kavramlarını kesin biçimde tanımlayacak; Şekil 4'de görülen kurumlarla da ilişki kurarak değerlendirme verileri, yöntemleri ve belgelerine ilişkin standartları oluşturacak, kendi bünyesinde değerlemeye ilişkin bir veri tabanı oluşturmaya başlayacaktır. TDYÜK uluslararası kuruluşlarla da iş birliğine geçerek değerlemenin etik kurallarını belirleyecek ve değerlendirme uzmanlarının dürüst, tarafsız, bağımsız, yetkin biçimde çalışmasını sağlayacak düzenlemeleri yapacaktır.

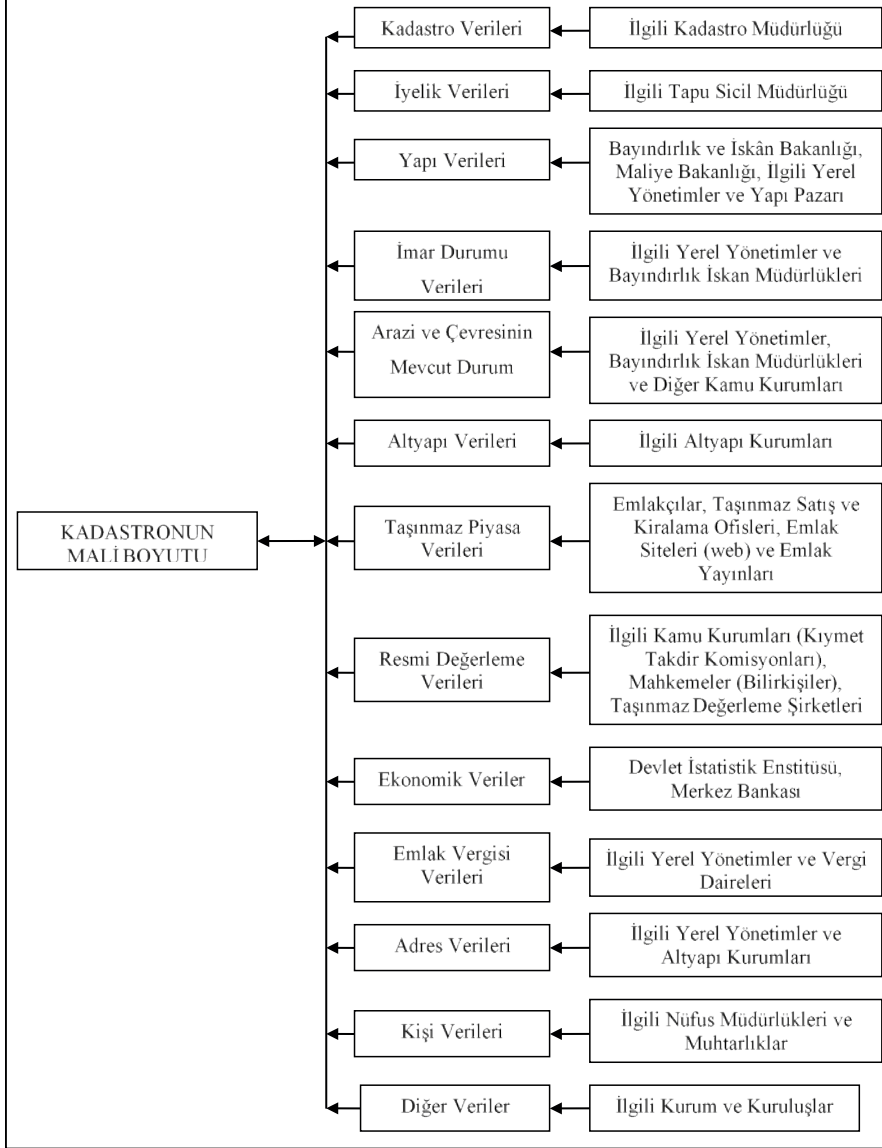


Şekil 4. Ülkemize özgü bir değerlendirme sistemi kurumsal yapısı önerisi (Açlar vd., 2003b).

Yomralıoğlu ve Nişancı (2006)'a göre; Kentsel alanlarda gayrimenkul değerini etkileyen faktörler o bölgede faaliyet gösteren uzmanlarca belirlenmelidir. Adliyelerde de gayrimenkul değerinin objektif yapılması gerekmektedir. Mahkemelerce kurulan bilirkişi heyetleri emsal taşınmazlar ile değerlendirme konusu taşınmaz arasındaki değeri etkileyebilecek etkenleri önceden belirtmesi gerekirken, uygulamada bunun yapılabilmesi için taşınmaz değerine etki eden faktörlerin belirlenmesi ve ağırlıklarının da bilinmesi gerekir. Ancak bunun için bağımsız bir üst kurulun bu faktörleri o bölge için önceden tespit etmiş olması gerekir. Bunun için il bazında gayrimenkul değerlendirme kurulları ve ayrıca bu kurullara bağlı olarak çalışacak alt birimler oluşturulmalıdır. Değerleme faaliyetleri de bu konuda uzman kişilere yaptırılmalıdır. Gayrimenkul değerlemesinin belirli bir kurum tarafından yapılması, taşınmaz değerlerindeki farklı sonuçların oluşmasını bir ölçüde önlemiş olacaktır.

Demir (2006)'a göre; mevcut haliyle hem içerik yapısıyla kadastro kanunu hem de kurumsal yapısı olarak TKGM, kadastonun olması gereken mali boyutundan beklenen işlevleri yapmaktan uzak bir durumdadır. Kadastrodaki mali boyutu kısmını da içine alan yeni bir yapılanma önerisinde (Şekil 5), mevcut hukuksal yapısının yanı sıra vergiye konu olabilecek tüm

gayrimenkulleri tanımlayan; gayrimenkulleri boyutu, tipi, yapı türü vb. gibi kullanma şekillerine göre sınıflandırma yapan; değerlendirme faaliyeti için gerekli olan ekonomik, sosyal ve çevresel verileri kayıt altına alan; taşınmazların reel satış fiyatları, tarihlerini tanımlayan bir kurumsal yapının oluşturulması gerekmektedir (Çağdaş vd., 2003; Dale ve McLaughlin, 1999). Bu şekilde oluşturulan bir yapı için başta TKGM olmak üzere, gayrimenkulle ilgili olarak veri üretimi yapan tüm kurum ve kuruluşlara büyük görev düşmektedir.



Şekil 5. Kadastro nun mali boyutu için veri ve kurumsal altyapı önerisi (Demir, 2006).

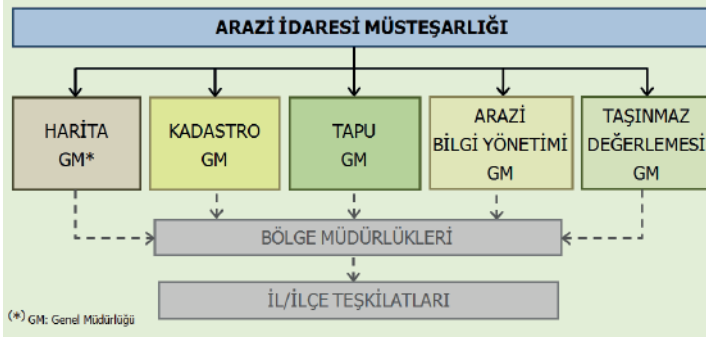
Çağdaş (2007)'e göre; küme (toplu) taşınmaz değerlemesine ilişkin yetkilerin merkezi yönetimde Maliye Bakanlığına (MB), il ölçeğinde ise MB defterdarlıklarına bırakılmasına karar verilmiştir. Bu seçimin başlıca neden ise, değerlendirme modellerinin ülke genelinde standart biçimde belirlenmesi ve uygulanması; ikincisi de özellikle küçük belediyelerdeki personellerin, yazılım ve donanım yetersizliklerinin bulunması ihtimalidir. Defterdarlıklar, modellerin kurulacağı veri tabanı ve değeri belirlenecek gayrimenkullerin bulunduğu veri tabanı ile sistem döngüsünün oluşturulacağı küme değerlendirme yazılımlarının kurulmasını ve çalıştırılmasını yürütürler.

Önerilen sistemde arsa ve arazi birim değerlerinin belirlenmesinden sorumlu kıymet takdir komisyonları da korunmalıdır, ancak bu komisyonlarda görevli üyelerin nitelikleri, görevli tanımları ve komisyon yapısı yeniden düzenlenmelidir. Buna göre, her belediyede yetki sınırlarından sorumlu olacak özerk bir değerlendirme komisyonunun (DK) kurulması önerilmektedir. Bu komisyonlar yalnızca vergilendirmeye yönelik değerlemeler yapmamalı, ayrıca kamulaştırma, ipotekli satış, kentsel dönüşüm, sermaye piyasalarının durumu vb. gibi diğer kamusal ve özel sektör değerlendirme faaliyetleri için de yetkili kılınmalıdır. DK'ların kurulması, komisyondaki uzmanların seçim ve eğitimi gibi işler ya bir üst kurulun denetiminde olmalı ya da MB'nin sorumluluğuna bırakılmalıdır.

Demir (2008)'e göre; gayrimenkul değerlendirme alanındaki faaliyetleri denetleyici ve düzenleyici bir işleve sahip, bu alanda gerekli olan teknik, etik ve uygulama standartlarını oluşturan, uzmanlar seçen, eğitim ve yetki verilmesini sağlayan, bu arada TMMOB'u da içine alabilecek özerk olan bir kurumsal yapı modeli, bir üst kurul oluşumu önerilmektedir. Bu kurulun, ülke geneli için gayrimenkul değerlendirme bilgi sistemi oluşturabilmek için gayrimenkul piyasasını düzenleyen başta TKGM ve konuyla ilgili SPK, belediyeler ve ilgili diğer kamu kurum ve kuruluşlarıyla da ilişkili bir şekilde çalışması, bu kurumlardan her türlü gayrimenkul verisini isteyebilmesi ve kullanmaya da yetkili olması önerilmiştir. Ancak, bu alanda TMMOB etkili olmadığından dolayı SPK fiilen bu işin yöneticisi olmuştur. Gelecekte bu yapı içinde vergilendirme, kamulaştırma ve özelleştirme gibi kamusal amaçlı değerlendirme faaliyetlerinin de yürütülmesine ilişkin düzenlemeler yapılması hem kamu yararıyla ve hem de meslek çıkarlarıyla çelişebilecektir. TDUB'nin da bu görevi tek başına yapabilmesi imkansızdır.

Çete (2008)'e göre; Türk Arazi İdare Sistemi (TAİS) şeklinde isimlendirilen sürdürülebilir yapıda bir arazi idaresi sistem oluşumu önerilmektedir. Bu yaklaşımın temel bileşenlerinden birisi de yasal düzenlemelere uygun olarak oluşturulmuş "kurumsal yapılanmalar" dır. İlerleyen süreçte yeni gelişmeler

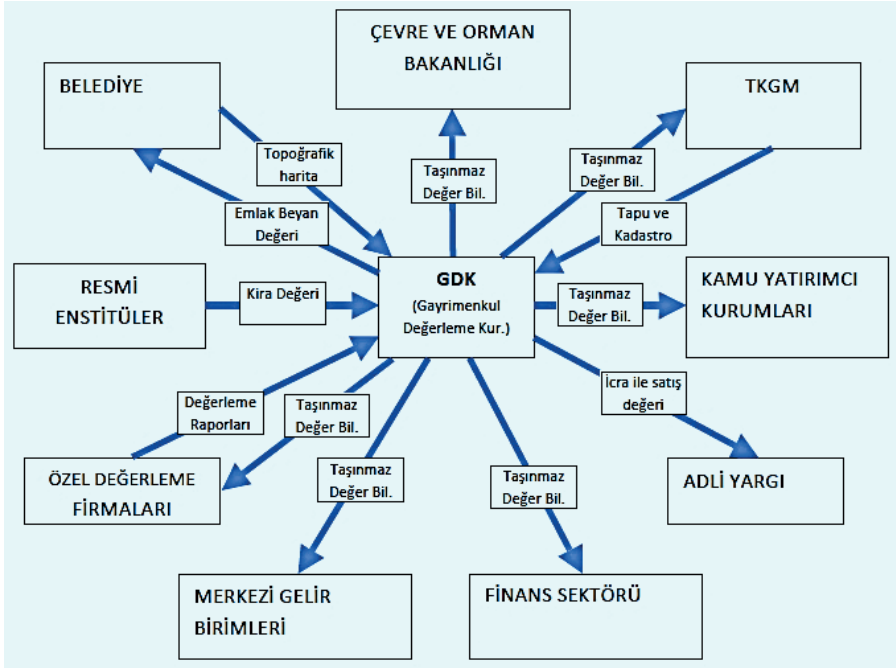
görülmesi veya sistem faaliyetlerinde herhangi bir sorun yaşanması olasılığında, TAİS'in aktif olarak oluşan bu yeni sisteme ayak uydurması ve sorunlar için çözüm üretebilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, arazi idaresi sisteminin lider kurumu olarak "Arazi İdaresi Müsteşarlığı" (AİM) şeklinde bir güçlü kurumsal yapılanmanın olması ve gayrimenkul değerlemesi faaliyetini bünyesinde oluşturması önerilmektedir (Şekil 6). TAİS'in en önemli özelliği, arazi bilgi sisteminin temel unsurlarından birisi olan gayrimenkul değerlerini kendi içerisinde bütünleşik bir yapıda oluşturabilmesi, bunu sürdürülebilir kılması ve doğrudan kullanıcılara sunabilmesi önerilmektedir.



Şekil 6. Önerilen AİM'nin kurumsal yapısı (Çete, 2008).

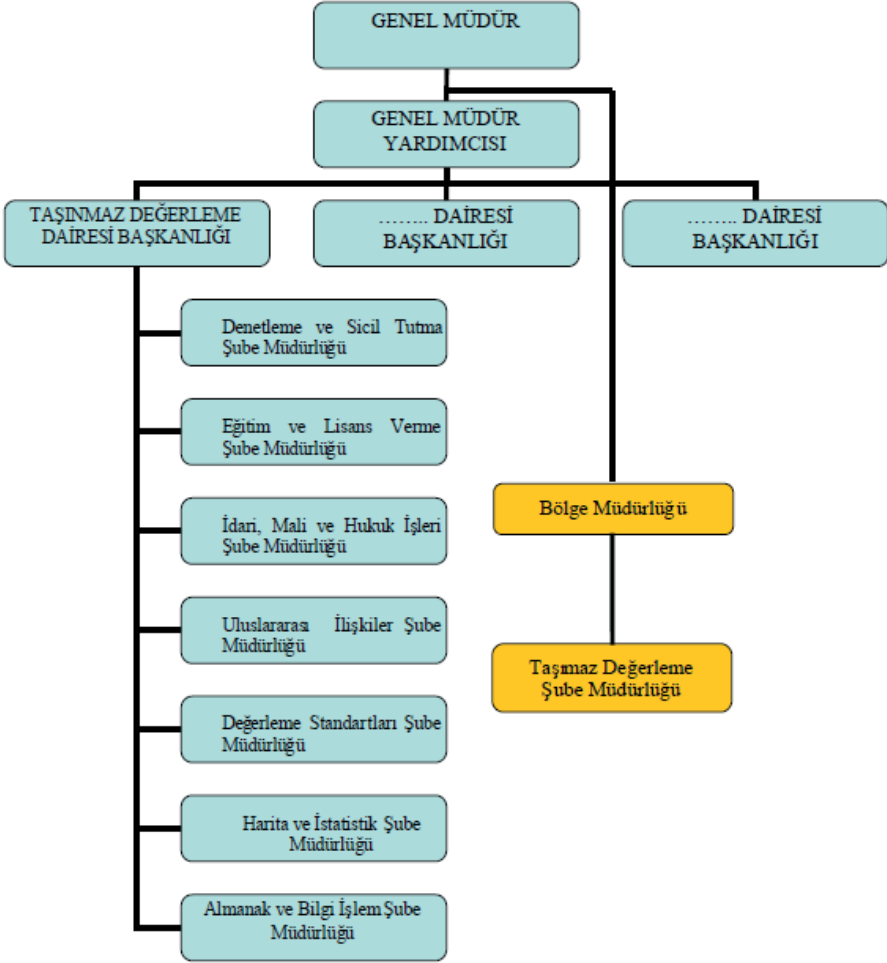
Köktürk (2009)'a göre; En başta gelen sorun, "kurumsal yapılanma sürecinin bir sahibi olmalı mıdır?" sorusunun cevabında yatmaktadır. Bu süreç SPK'nın hamiliğinde mi oluşacaktır? Eğer kurulacak olursa Meslek Birliği bu sürecin sahibi olabilecek mi? Gayrimenkul değerlemenin tamamını kapsayan bir yönetim hangi odaktan sağlanacaktır? Bu konuda dünyada birçok model uygulanmaktadır. Ülkemizde de bu bakımdan bir durum belirlenmesi gereği vardır. Uygulanan yöntemler konusunda standartlaşmaya gidilmesi gerekmektedir. Bu nedenlerle, gayrimenkul değerlendirme konusunda bu dağınıklığı ortadan kaldıracak, eşgüdüm sorunlarını çözebilecek yeni bir kurumun yapılandırılması gerekmektedir.

Yomralıoğlu (2009)'a göre; gayrimenkul değerlendirme ile olarak kurumsal bazda değer belirleme karmaşası, hem değerlendirme faaliyetlerinin yetkili olarak kılınmış tek bir kuruma verilmiş olmasını hem de bu konuda yeni bir hukuksal değerlendirme mevzuatı ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. İlgili kamu kurumları arasında veri alışverişinde bulunabilecek ve veriyi kendi içerisinde tutabilecek, gerekirse pazarlayıp satışını yapabilecek bir *Gayrimenkul Değerleme Kurumuna (GDK)* öncelikle ihtiyaç vardır (Şekil 7).



Şekil 7. Önerilen değerlendirme kurumu yapısı (Yomraluoğlu, 2009).

Uzer (2009)'a göre; Taşınmaz Değerleme Sistemi (TDS) olarak isimlendirilen bu yaklaşımın esas bileşenlerinden birisi de “kurumsal yapılanma”dır. Ülkemiz bu alanda oldukça deneyimli olması dikkate alındığında, gayrimenkul değerlemesinde lider kurum TKGM olmalıdır. TKGM'nin içerisinde “Taşınmaz Değerleme Dairesi Başkanlığı” ve buna bağlı 22 adet bölge müdürlüğü bazında “Taşınmaz Değerleme Şube Müdürlüğü” kurulabilir (Şekil 9).



Şekil 9. Önerilen değerlendirme sisteminin kurumsal yapısı (Uzer, 2009).

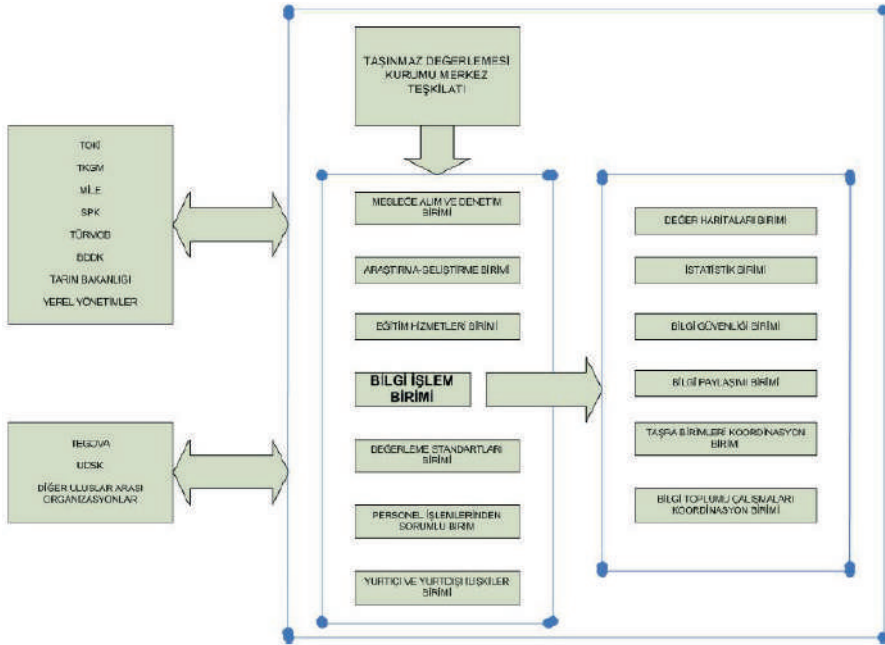
Önerilmiş olan lider olacak kurumsal yapının yapması gereken görevleri;

- Tüm yasa ve kurul kararlarının gayrimenkul değerlendirme faaliyetlerine ilişkin uygulama esaslarını belirlemek;
- Gayrimenkul değerlemesi faaliyetlerinin uluslararası standartlara uygun hale getirilmesini sağlamak, gayrimenkul bilgi sistemi oluşturmak,
- Meslek etiğine uygun çalışacak uzmanları seçmek ve yetkilendirmek amacıyla sınav, kural, eğitim şartı ve diğer gerekli ölçütleri koymak;
- Gerekli yönetmelik ve tebliğleri hazırlamak ve denetlemek;

- Kurallara uygun davranmayan değerlendirme uzmanları için uygulanması gereken yaptırımları belirlemek;
- Bu alanda ilgili kurumlar arasında değer verisi akışını sağlamak;
- Bu alandaki ulusal ve uluslararası gelişmeleri yakından takip etmek, ülkemizdeki değerlendirme faaliyetlerinin daha güvenli bir şekilde yapılmasını sağlamak,
- Değer envanterini tutmak ve bunlara ilişkin istatistikî raporları yayınlamak,

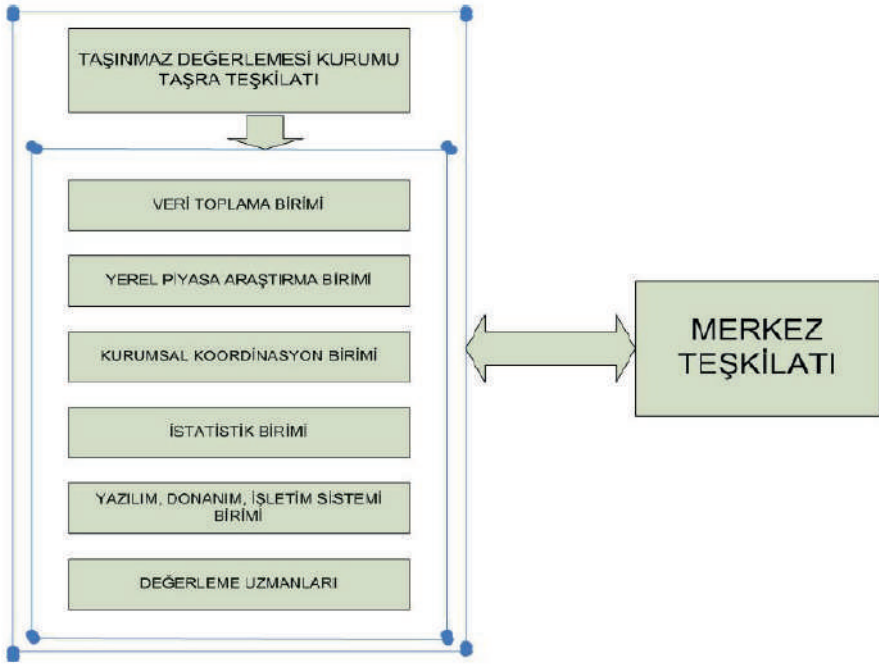
olmalıdır.

Çağatay (2008)'e göre; gayrimenkul değerlendirme faaliyetlerinden sorumlu olacak kuruluş değerlendirme verilerini kullanan kamu kurumlarıyla uyum içerisinde çalışabilmelidir. Bu kuruluşun kendi iç örgütlenmesi; merkez teşkilatı içerisinde kurulacak olan Bilgi Sistemleri Birimi, gayrimenkul değer harita standartlarını belirleyebileceği, istatistikî çalışmaları koordine edeceği, kurum bilgi güvenliği politikalarını yönlendirecek, diğer taşra birimleri kanalıyla gelecek konumsal/konumsal olmayan bilgileri kontrol edip karar vericilere yol gösterebilecek çalışmalar yapmalıdır. Ayrıca bu söz konusu birim, AB sürecinde oluşturulacak olan TADEBİS projesi için de koordinasyon işlerinden sorumlu olmalıdır (Şekil 10).



Şekil 10. Önerilen kurumun merkez teşkilatlanma yapısı (Çağatay, 2008).

Önerilen kurumun taşra teşkilatlanmasında, verilerin temin edilmesi aşamasında yerel gayrimenkul piyasası bilgilerine ulaşılabilmesi açısından il bazlı örgütlenmiş olan gayrimenkul değerlendirme birimlerinin oluşturulması gerekir. Merkez ve taşra teşkilatından oluşan bu yapılanma, ülke genelinde gayrimenkul değerlendirme faaliyetlerinin iyi bir şekilde işleyişini sağlayacaktır. Bu yapı sayesinde hem gayrimenkul değerlendirme mesleğinde standartlaşma sağlanacak, hem de ülke genelinde değer haritalarına bağlı Taşınmaz Değerleme Bilgi Sistemi sağlıklı bir şekilde işleyecek ve güncellemeler kolay bir şekilde yapılabilecektir. Bu kurumunun taşra teşkilatı önerisi Şekil 11’te verilmiştir.



Şekil 11. Önerilen kurumun taşra teşkilatlanması (Çağatay, 2008).

Değirmenciler (2008)’e göre; öncelikle *Değer İzleme Sistemi* kurulması gerekir. Değer hareketleri anlık değişebildiği için bunun izlenebilmesi ancak taşınmazın bulunduğu bölgede bulunmakla olabilir. Bu nedenle değer izleme sisteminin merkezi yönetilebilen ve yerel ağlardan bilgi akışının bir toplamı şeklinde olması gerekir. *Değer İzleme Sistemi*, MB’na bağlı kurulacak olan bir birim içerisinde faaliyetlerini yürütebilir. Ancak burada, hazine taşınmazlarının yoğunluğundan dolayı tek yetkili kurum Maliye Bakanlığı olmalıdır.

Hacıköylü (2009)’a göre; Emlak vergisinin belirlenmesi ve toplanması aşamalarında değer tespitine ilişkin yaşanan sorunların başında idari yapı gelmektedir. Bu sorunların çözülebilmesi için, belediyelerde vergi inceleme yetkisi verilmiş personel istihdam edilmelidir. Böylece emlak vergisi yönetim sistemi daha etkin olacak ve vergi kayıpları ve kaçaklar da önlenmiş olacaktır.

Bakırcı (2010)’a göre; Türkiye’de bu alandaki birçok sorun Almanya’daki değerlendirme sisteminin güçlü yönlerinin uygulanmasıyla çözümlenebilir. Bu nedenle, Alman taşınmaz değerlendirme sisteminin baz alınması gerekir. İncelemenin gösterdiği üzere Alman taşınmaz değerlendirme sistemi Türk taşınmaz değerlendirme sisteminin oluşturulmasında iyi bir temel olabilir. Alman sisteminin güçlü yanları Türk ihtiyaçlarını bu yönde karşılar. Çünkü bir taraftan Alman değerlendirme sistemi yalnız çok az ülkede bulunacak şekilde ayrıntılı yasal düzenlemelerle yapılandırılmıştır. Federal İmar Kanunu’nda normlandırılmış ve taşınmaz değerlemesi için baz verileri her tür normda sunan taşınmaz değerlendirme komisyonu Alman değerlendirme sisteminde büyük bir avantajdır. Diğer yandan ortak Avrupalı bakış açısı altında her iki ülkenin değerlendirme standartlarının karşılaştırılması ve analizi göstermektedir ki, Alman değerlendirme sistemi uluslararası karşılaştırmada iyi işleyen değer belirleme akışlarına sahiptir. Analizin sonuçları Alman taşınmaz değerlendirme yöntemlerinin uluslararası değerlendirme standartları ile uyum içinde bulunduğunu kabul etmektedir.

Yapılandırılabilirliği gerçekleştirebilmek için politik hazırlık da mevcut olmalı ve çeşitli kurumlarla iş birliği sağlanmalıdır. Gelişim politikasında uluslararası kalite standardına ulaşılması için Türkiye “Good Governance” ilkelerini de benimsemelidir. Son olarak taşınmaz mallar ekonomisine ilişkin dalların bir profesyonelliği için de Türkiye’de taşınmazlar ekonomisi ile ilgili öğretici alanları ve birbirlerinden bağımsız araştırma enstitüleri açılmalıdır.

Bakırcı (2012)’e göre; Almanya’daki gibi bir sistem önerebilir. Taşınmazlar dünyasıyla ilgili bir kamu kuruluşundan bir görevlinin başkanlığında diğer birkaç üyelerden oluşan bir yapı kurulabilir. Bu üyelerin devlet memuru olması gerekmez, ancak değerlendirme alanında uzman olmalıdır. Çünkü gayrimenkul değerlemesi için iyi işleyen bir veri sistemine ve çok iyi bir veri bankasına sahip olunması gerekir. Oluşturulacak komisyonların da bağımsız olmalıdır. Bu sistem Türkiye’de TKGM içerisinde kurulabilir.

Cesur (2010)’a göre; il ve ilçelerdeki tapu sicil müdürlüklerinde verilen hizmet yeniden tanımlanmalı, sağlık sektörü ve diğer bazı alanlardaki gibi performansa dayalı uygulama içerikleri geliştirerek, çalışanların ekonomik sorunlarına kalıcı çözüm önerileri üretilmelidir. Örneğin, personelin “gayrimenkul değerlendirme uzmanlığı” lisansı alması özendirilmelidir.

Müdürlüklerdeki her türlü işlemde taşınmazların gerçek değerinin beyan edilmesi zorunlu hale getirilmeli, bu yapılmadığında cezası çok ağır olmalıdır.

Candaş (2012)'ye göre; bu alanda etkin bir görev üstlenen TKGM'nin lider kurum olması doğru olacaktır. Bu amaçla gayrimenkul değerlendirme faaliyetlerini yürütülmesi amacıyla TKGM bünyesinde *Taşınmaz Değerlemesi Daire Başkanlığı* kurulması gerekir. Gayrimenkul değerlendirme faaliyetlerinin standartlaştırılması, işlemlerin yalnızca bir kurum eliyle yürütülmesi ve denetlenebilmesi, gayrimenkul değerlerinin kayıt altına alınabilmesi ve gayrimenkul piyasasındaki spekülasyon hareketlerin kontrol altına alınabilmesi, kurumlardaki tekrarlı işlemlerin ve farklılıkların ortadan kaldırılabilmesi ve bu gibi sebeplerden dolayı ülkemizde acilen bir *Taşınmaz Değerlemesi Kanunu* gibi bir kanuni düzenlemeye ihtiyaç vardır.

Bostancı vd. (2013)'e göre; Ülkemizde taşınmaz değerlendirme, arazi idaresi alanında yeniden yapılandırmaya ihtiyaç duyulan alanların başında gelmektedir. Bu ihtiyaç özellikle son yıllarda yaygın bir şekilde dile getirilmekle birlikte, sorunun çözümüne yönelik sistematik girişimlerin henüz mevcut olmadığı görülmektedir. Çözüm aşamasında kurumsal yapılanmalar oluşturulması gerekmektedir.

Yıldız (2014)'e göre; gayrimenkul değerlendirme sisteminin sorumlusu olabilecek kuruluşun, öncelikle veri paylaşımları konusunda herhangi bir sorunla karşılaşmaması gerekir. Ayrıca, siyasi baskılardan etkilenmemelidir. Bu nedenle, tüm değerlendirme faaliyetlerinin bir *üst kurul* tarafından yürütülmesi uygundur.

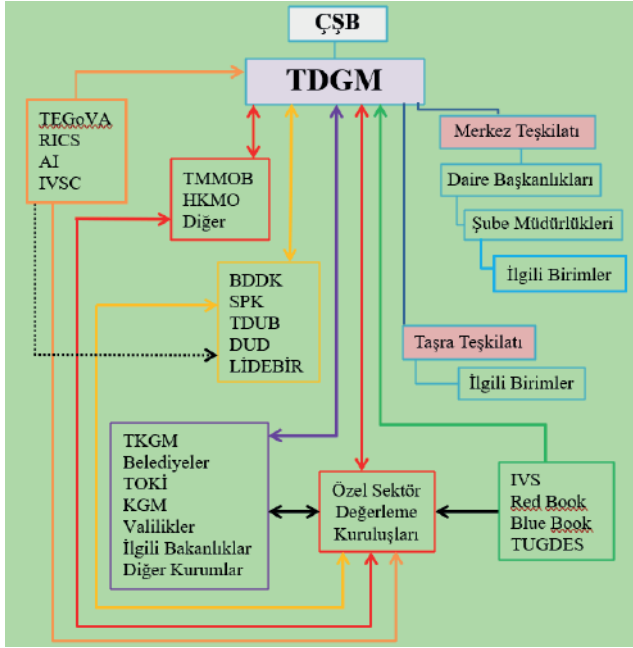
Kılıç (2015)'e göre; özel sektör değerlendirme şirketleri kamu alanındaki çalışmalarda daha fazla bir şekilde görev almalarının yolu açılmalıdır. Değerleme yapmakta olan kamu kurumlarında daha fazla uzman istihdam edilmelidir. Ayrıca, belediye veya tapu sicil müdürlükleri bünyesinde, gelir veya vergi kayıplarını azaltmak amacıyla değerlendirme birimleri veya müdürlükleri kurulmalı ve buralarda mesleki yeterliliği yüksek değerlendirme uzmanlarının görev alması sağlanarak yaşanabilecek kayıpların önüne geçilmelidir.

4. YENİ BİR KURUMSAL YAPILANMA ÖNERİSİ

Ülkemizde gayrimenkul değerlendirme faaliyetleri tek elden yürütülmeli ve denetlenebilmelidir. Bu amaçla tüm faaliyetlerden sorumlu olacak bir *"lider kurum"* yapılanmasına ihtiyaç vardır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı bünyesinde *Taşınmaz Değerleme Genel Müdürlüğü (TDGM)* şeklinde adlandırılacak bir kurum oluşturulmalıdır. Tüm değerlendirme faaliyetlerinde bu kurum lider olmalıdır. Bu şekildeki bir genel müdürlük vasıtasıyla, işi yapacak

olan özel sektör, düzenleyen ve denetleyen ise TDGM olması gerekir. Bu kuruma yeterli sayıda ve donanımda teknik elemanın yetiştirebilmesinin önü açılmalıdır (Erdem, 2016).

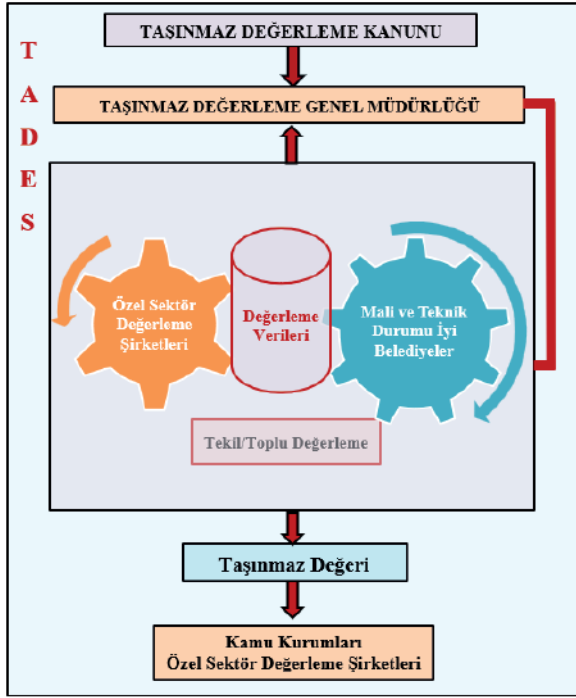
Ancak, tüm değerlendirme süreci için tek elden yönetimin olması, toplanması gereken verilerin temin edilmesinde bazı zorluklar yaşanması mümkündür. Bu nedenle TDGM bünyesinde birkaç ili kapsayacak şekilde bölge müdürlükleri oluşturulabilir. Eğer ihtiyaç olursa Ankara, İstanbul, İzmir gibi bazı büyük illerimizde bir bölge müdürlüğü için tek bir ilin sınırlarını kapsayacak şekilde yapılandırılması gerekebilir. İstanbul ili için Anadolu ve Avrupa yakası şeklinde iki ayrı bölge müdürlüğü oluşturulabilir (Şekil 12). Bu değerlendirme birimleri, bölgesel taşınmaz piyasaları hakkında araştırmalar yapması ve çalışmalarını desteklemiş olması sistemin de sağlıklı bir şekilde işlenmesini sağlayacaktır. TDGM kurumu merkez ve taşra teşkilatının önerisi Şekil 12’de verilmiştir (Erdem, 2016).



Şekil 12. Önerilen sistemin kurumsal yapısı (Erdem, 2016).

Ülkemizdeki taşınmazlar dünyasıyla ilgili en etkili ve köklü kuruluş TKGM'dir. Bu kurum, taşınmaz değerlemesi alanındaki pilot toplu değerlendirme çalışmalarıyla, bazı teknik elemanlarına da bu alanda lisansüstü eğitimler aldırmasıyla, konuyla ilgili çeşitli konferans, seminer, çalıştaylar düzenlemesiyle, bu alandaki potansiyel lider bir kurum özelliğini öne

çıkarmaktadır. Ancak, TKGM mevcut faaliyet alanları içerisinde; mülkiyet verilerinin eksiksiz bir şekilde ve güncel bir yapıda oluşturması, mülkiyet hakları ve kısıtlamaların kadastro çalışmalarında gösterilmesi, 3B-4B ve ileriki aşamada kadastronun mali boyutuyla birlikte 5B kadastro, tüm ülke genelini kapsayan bir kadastro çalışma sisteminin hayata geçirilmesi gibi bazı görevleri de yapması beklemektedir. Bu ve benzeri nedenlerle mevcut yapıyla TKGM, bu görevleri yerine getirebilmesi biraz zor olabileceği düşünülmektedir. Önerilen TDGM birimleri bu aşamada gerekli teknik desteği sağlayabilir (Erdem, 2016). Bu nedenle, TDGM'nin, kurumsal anlamdaki en esas özelliği; tüm değerlendirme faaliyetleri için düzenleyen, denetleyen ve yol gösteren bir yapılanma olmasıdır (Şekil 13).



Şekil 13. TADES'in temel işleyiş mekanizması (Erdem, 2016).

5. DİĞER ÜLKELERDEKİ İYİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Gayrimenkul değerlendirme alanında iyi işleyen uygulamalara sahip ülke sistemleri incelendiğinde kurumsal yapılanmalarında önemli ölçüde bazı farklılıklar olduğu görülmüştür. İlgili ülke sistemleri hakkında özet bilgiler Tablo 2'de verilmiştir (Erdem, 2016).

Tablo 2. İyi uygulamaya sahip ülkelerdeki kurumsal yapılanma şekilleri (Erdem, 2016).

Ülke	Ülkelerin Kurumsal Yapılanma Şekli		
	Sorumlu/Yapan	Denetim ve/veya Danışmanlık	Yardımcı
Almanya	Değerleme Uzmanları Komitesi	Değerleme Uzmanları Yüksek Komitesi	Değerleme Uzmanları Komitesi Lisanslı Özel Değerlemeciler
Hollanda	Belediyeler Polderboard	Taşınmaz Değerleme Konseyi	Özel Değerleme Şirketleri
Danimarka	Gümrükler ve Vergi İdaresi	Taşınmaz Değerleme Konseyi	Özel Değerleme Şirketleri
İsviçre	Vergi İdareleri	Taşınmaz Değerleme Uzmanları Komitesi	Özel Değerleme Şirketleri
İngiltere	Kamu Değerleme Kurumu	Değerleme Ofisi Ajansı	Değerleme Standartları Konseyi (IVSC) Lisanslı Değerleme Uzmanları Kraliyet Kurumu (RICS)
ABD	Değerleme Kurumu Belediyeler	Değerleme Enstitüsü	Değerleme Komitesi Özel Değerleme Şirketleri
Finlandiya	Vergi Daireleri ve Finans Bakanlığı	Teknik Araştırma Merkezi	Ulusal Arazi Ölçme Kurumu
Estonya	Ulusal Arazi Kurulu	Özel Değerleme Şirketleri	Lisanslı Özel Değerlemeciler
Malezya	Gayrimenkul Değerleme Genel Müdürlüğü	Değerleme Şirketleri ve Uzmanları Kurulu	Lisanslı Özel Değerlemeciler Özel Değerleme Şirketleri
İspanya	Belediyeler	Merkez Bankası	Lisanslı Özel Değerlemeciler Özel Değerleme Şirketleri
Tayvan	Arazi Müdürlüğü Gayrimenkul Değerleme Birimi	Arazi Yönetim Başkanlığı	Lisanslı Özel Değerlemeciler Özel Değerleme Şirketleri

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Ülkemiz gayrimenkul değerlendirme sisteminin kurumsal anlamda yeniden yapılandırılması için öncelikle mevcut durum ve yaşanan sorunlar iyi analiz edilmelidir. Daha sonra, gayrimenkul değerlemesi alanında iyi uygulamaya sahip ülke sistemleri incelenmelidir. Her ne kadar her ülkenin ayrı kurumsal yapıları olsa da ülkemizin başka bir ülkenin sisteminden alabileceği pek çok şey vardır. Alınanların ülke şartlarına uyarlanması sonucu sağlıklı işleyen ve özgün bir sistem geliştirilir. Bu şekilde ülkemize uygun kurumsal yapılanma

yaklaşımı belirlendikten sonra hukuki ve teknik boyutta bazı iyileştirmeler de yapılabilir.

Yapılan çalışmalar neticesinde ülkemiz için kurumsal açıdan iyi işleyen bir değerlendirme sisteminin kurulabilmesi için öncelikle;

- a) Değerleme faaliyetlerinde kullanılması gereken verilerin,
- b) Veri tabanı oluşturma ve organizasyonunun,
- c) Verilerin hangi kurumlarca üretilip/sağlanıp sürdürülebilir olacağıının,
- d) Bu verilerin paylaşımının nasıl olacağıının,
- e) Sistem ürünleri ve
- f) Değerleme faaliyetlerinin hangi kurumların organizasyon ve yönetiminde yapılacağıının

net bir şekilde belirlenmiş olması gerekmektedir (Erdem ve Çete, 2013).

28 Şubat- 3 Mart 2017 tarihleri arasında İzmir'de gerçekleştirilen Gayrimenkul Değerleme Çalıştay'ında TKGM bünyesinde oluşturulan Taşınmaz Değerleme Daire Başkanlığı çalışanlarınca sunulan İdari Gereksinimler Çalışma Grubu Raporuna göre (URL_1);

- Ülkemizdeki gayrimenkul değerlendirme sistemi yeniden yapılandırılmalı ve ülkemiz özelinde uyumlu ve taşınmaz değer hareketlerini iyi yansıtabilecek bir uygulama geliştirilmelidir. Bu sistem, uluslararası kabul görmüş başarılı uygulamaların bilgi ve birikimlerinden faydalanılarak tasarlanmalıdır.
- Gayrimenkul değerlendirme sistemi, standartları belirli, izlenebilir ve adil bir yapıda olmalıdır. Bunu oluşturabilecek kamu idaresinin TKGM'den bağımsız olması düşünülemez. Bu nedenle oluşturulacak yeni kamusal yapının TKGM ile güçlü bir iş birliği içerisinde olmalı, özel sektör ve kamu kurumları ile belli standartlarda karşılıklı veri akışı sağlamalıdır.
- Bu kamusal yapı, standartlar ve paydaşlar belirlendikten sonra düzenleme ve denetleme yapabilen bir üst kurum/kurula dönüştürülebilir.
- Bu şekilde düzenleyici ve denetleyici olan kurum/kurulun görev ve yetki alanları için;
 - o Veri tanımı ve standartlarının oluşturulması,
 - o Değerleme çalışmalarıyla ilgili tüm kapsam, paydaş, usul ve esasların belirlenmesi,

- o Denetlenme ve sonuçlarının kontrol edilmesi gibi tüm değerlendirme çalışmalarının düzenlenmesi,
- o Değer bilgi bankası oluşturulma, yönetme ve güncel olmasının,
- o Değer haritaları üretiminin,
- o Değerleme uzmanlarının akreditasyonu sağlanmalı ve sürecin iyi yönetilmesi,
- o Değerleme sonuçları tüm paydaşlar ve kamuoyu ile şeffaf bir şekilde paylaşılması,
- o Değerleme çalışmaları hususunda AR-GE faaliyetlerinin yürütmek ve/veya desteklenmesi sağlanmalıdır.
- Değerleme faaliyetlerinde görev alacak uzmanların ve kuruluşların tanımı net olarak yapılmalı, bu kişi ve kuruluşların akreditasyonunun, eğitim ve kapasite geliştirme çalışmalarının takibi sağlanmalıdır.
- Alt uzmanlık alanları belirlenmeli ve bir değerlendirme akademisi kurulmalıdır.
- Değerleme sisteminin yeniden yapılandırma çalışmaları için TKGM'nin bu konudaki tecrübe ve bilgi birikimi dikkate alınmalıdır. TKGM'nin önderliğinde ve koordinasyonunda yeni bir yapı kurulmalıdır. Önerilen bu yapı *Arazi İdaresi Üst Kurulu* şeklinde olabilir.
- Değerleme kuruluşunun görev alanına; denetleme ve eğitim sisteminin kurulması ve örgütlenmesi gibi konular da eklenmelidir

KAYNAKLAR

- Açlar, A., Çağdaş, V., 2008. Taşınmaz (Gayrimenkul) Değerlemesi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, ISBN 975-395-551-0, Ankara, 500 s.
- Açlar, A., Demir, H., Çağdaş, V., 2003. Taşınmaz değerlendirme uzmanlığı ve jeodezi ve fotogrametri (harita) mühendisliği, HKMO Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, Sayı: 88, Sayfa: 15-20.
- Açlar, A., Demir, H., Çağdaş, V., 2003a. Taşınmaz Değerleme Uzmanlığı ve Jeodezi ve Fotogrametri (Harita) Mühendisliği, HKMO Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, Sayı: 88, Sayfa: 15-20.
- Açlar, A., Demirel, Z., Demir, H., Çağdaş, V., Gür, M., Kurt, V., 2003b, Taşınmaz Değerlemesi Sistem Tasarımı, 9. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 31.03.2003- 04.04.2003 (Bilkent Hotel- Sakarya Salonu- Ankara).
- Candaş, E., 2012. Taşınmaz Değerlemesi İçin Mevzuat Altyapısının Modellenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 131 s.
- Cesur, M., 2010, “Tapu Sicil Müdürlükleri Sorunların Kaynağı Değil, Çözümlerin Anahtarıdır”, Toprak Mülkiyeti-Sempozyum Bildirileri, Memleket Yayınları, 5, Ankara, Haziran 2010, s. 584-591, ISBN: 978-9944-5435-2-1.
- Çağatay, U., 2008. AB Sürecinde Türkiye’de Bilgi Yönetimi ve Konumsal Bilgi Sistemleri İle Taşınmaz Piyasalarının Analizine İlişkin Bir Model Tasarımı, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 327 s.
- Çağdaş, V., 2007. Türkiye İçin Bir Emlak Vergi Sistemi Tasarım Modeli Önerisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 226 s.
- Çağdaş, V., Gür, M., 2003. Sürdürülebilir kalkınma ve kadastroda evrim, HKMO, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, Sayı: 89, Sayfa: 42-48.
- Çete, M., 2008. Türkiye İçin Bir Arazi İdare Sistemi Yaklaşımı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 243 s.
- Çete, M., 2014. Kadastro 2014’ün ve Türkiye kadastrounun geleceği, www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/883ddd784c6d398_ek.pdf, (E.T: Ekim 2015).
- Çete, M., Yomralıoğlu, T., 2009. Türkiye için bir arazi idare sistemi yaklaşımı, HKMO, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, Sayı:100, ISSN1300/3534.

- Değirmenciler, E., 2008. Kentsel Gelişim Sürecinde Türkiye’de Gayrimenkul Değerleme Sorunları ve Çözüm Önerileri, Kocaeli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 103 s.
- Demir, H., 2006, Kadastronun Mali Boyutu (Bileşeni), TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Kadastro Kongresi-2006, 22-24 Mayıs 2006, Ankara.
- Demir, H., 2008, Taşınmaz Değerlemesi Kadastro İlişkileri, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, II. Türkiye Kadastro Kongresi-2008, 21-23 Mayıs 2008, Ankara,
- Erdem, N., 2016. Türkiye İçin Bir Taşınmaz Değerleme Sistemi Yaklaşımı, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- EU, 2004. European Union Land Policy Guidelines, Guidelines for Support to Land Policy Design and Land Policy Reform Processes in Developing Countries, EU Task Force on Land Tenure.
- Hacıköylü, C., 2009. Emlak Vergisinde Değerleme Sorunu ve Değer Tespitine İlişkin Öneriler, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir, 211 s.
- HKMO, 2003, http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/5BCV_3e8fc83b3e886a0_ek.doc?tipi (26.02.2003) Erişim Tarihi: 08.01.2017
- HKMO, 2012. Sempozyum Bildiriler Kitabı, Arazi Yönetiminde Taşınmaz Değerleme ve Kadastro Sempozyumu, ATO Uluslararası Kongre ve Sergi Sarayı, HKMO&TKGM, 22-23 Mayıs, Ankara, 240 s.
- Kılıç, M., B., 2015, <http://www.ekspermedia.com/tasinmaz-degerleme-konununun-gerekligi/> Erişim Tarihi: 10.01.2017
- Köktürk, E., 2009, Taşınmaz Değerleme: Durum Saptaması ve Yönelimler, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 11-15 Mayıs 2009, Ankara.
- Köktürk, E., Köktürk, E., 2015. Taşınmaz Değerlemesi, Taşınmaz Hukuku – İmar Hukuku – Değerleme Yöntemleri, Seçkin Yayıncılık, 2. Baskı, Ankara, ISBN 978-975-02-312, 1304 s.
- Müller, A., 2000. Property Taxes and Valuation in Denmark, OECD Seminar about Property Tax Reforms and Valuation, Vienna, Austria.
- Nişancı, R., 2005. CBS ile Nominal Değerleme Yöntemine Dayalı Piksel Tabanlı Kentsel Taşınmaz Değer Haritalarının Üretilmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 230 s.
- Rissi S., B., 2013. İsviçre ve Almanya’da kentsel dönüşüme yönelik taşınmaz değerlemeleri, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odasının düzenlediği 1. Uluslararası Kentsel Dönüşüm Sempozyumu, 7-8 Ekim, Ankara.

- Rissi, S. B., 2012. Seçilmiş Avrupa Ülkelerinde Taşınmaz Değerlemesi, Arazi Yönetiminde Taşınmaz Değerleme ve Kadastro Sempozyum Bildiriler Kitabı, ATO Uluslararası Kongre ve Sergi Sarayı, HKMO & TKGM, 22-23 Mayıs, Ankara.
- Stubkjaer, E., 2012. Professional Rules and Regulations- National Issues in an International Context, Arazi Yönetiminde Taşınmaz Değerleme ve Kadastro Sempozyum Bildiriler Kitabı, ATO Uluslararası Kongre ve Sergi Sarayı, HKMO & TKGM, 22-23 Mayıs, Ankara.
- URL_1: Gayrimenkul Değerleme Çalıştayı (28 Şubat- 3 Mart 2017- İzmir) İdari Gereksinimler Çalışma Grubu Raporu, <https://tkgm.gov.tr/tasinmazddb/raporlar> (Erişim Tarihi: 07.05.2023)
- Uzer, E., 2009. Türkiye İçin Taşınmaz Değerleme Kurumu Oluşturulmasına Yönelik Bir Model Önerisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 75 s.
- Yalprı, Ş., 2007. Bulanık Mantık Metodolojisi İle Taşınmaz Değerleme Modelinin Geliştirilmesi ve Uygulaması: Konya Örneği, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, 248 s.
- Yıldız, Ü., 2014. Gayrimenkul Birimlerinde Kitlesele Değerleme Uygulamaları ve Türkiye İçin Model Önerisi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 227 s.
- Yomralıoğlu, T., 2009. TTDS: Türkiye Taşınmaz Değerleme Sistemi, Çalışma Raporu, İstanbul.
- Yomralıoğlu, T., Nişancı, R., (2006). Türkiye’de Harita Mühendisliğinin Taşınmaz Değerlemesindeki Yeri ve Rolü, Rapor 1.0, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mart, Trabzon.
- Yomralıoğlu, T., Nişancı, R., Çete, M., Candaş, E., 2011. Dünya’da ve Türkiye’de taşınmaz değerlendirilmesi, Türkiye’de Sürdürülebilir Arazi Yönetimi Çalıştayı, 26-27 Mayıs, Okan Üniversitesi, İstanbul.

Bitkisel Bazlı Diyetler: Yenilikçi Uygulamalar & Karşılaşılan Zorluklar

Zeynep KILCI¹

1. GİRİŞ

Vejetaryenlik, veganlık ve bitki bazlı bir diyetin benimsenmesi, Batı ülkelerinde artan trendlerdir. Bitki bazlı diyetler genellikle vejeteryan diyetlerle eş tutulsa da, aslında farklı beslenme modellerinden oluşmaktadırlar. Bitkisel temelli beslenme öncelikle bitkilerden (meyve, sebze, kabuklu yemişler, yağ, kepekli tahıllar ve baklagiller) elde edilen gıdaların tüketimine odaklanmakla birlikte düşük miktarlarda süt, yumurta, et ve balık tüketimini de içerebilmektedir (Corrin ve Papadopoulos, 2017). Bitkisel bazlı diyet uygulamak isteyen kişiler hayvansal kökenli gıdaları kati ve kalıcı bir şekilde kısıtlamaktan ziyade bu gıdaları bitkisel gıdalarla ikame etme yolunu tercih edebilirler. Bu duruma örnek olarak bazı diyetisyen ve yazarların Akdeniz diyetinin esas olarak bitki bazlı bir diyet olduğunu beyan etmelerini gösterebiliriz (Trichopoulou ve ark., 2014).

Bitki bazlı bir diyet besin ve gıda içeriği açısından literatürde yeterince tanımlanmamış olsa da, genel olarak bitkisel gıdaların daha yüksek alımını vurgulayan ve hayvansal ürünlerin miktarlarının daha düşük olduğu veya hiç bulunmadığı çeşitli diyet modellerini ifade eder (McEvoy ve ark., 2012). Bu diyetler, sadece kırmızı etten tamamen kaçınmaktan hayvansal ürünlerden tamamen kaçınmaya kadar kısıtlayıcılık seviyelerine göre değişim göstermektedir (Clarys ve ark., 2014). Bitkisel bazlı bir diyeti uyguladığını beyan eden popülasyonların oranı günden güne artmaya devam ederken gelişmiş ülkelerde nüfusun yaklaşık %10 kadarı çeşitli bitkisel diyetler uyguladığını bildirmektedir (Nebl ve ark., 2019). Yaygın bitki bazlı diyetlere genel bir bakış Tablo 1'de sunulmaktadır.

1 Öğr. Gör., Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi Susurluk Tarım ve Orman Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Balıkesir, Türkiye, znale@bandirma.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1700-8597,

Sağlık, çevresel kaygılar, hayvan refahı, et tüketiminin kişisel sebepler kaynaklı reddi ve dini inançlar bitkisel bazlı diyet takibinin belirlenmiş nedenleri arasında öne çıkmaktadır (Fox ve Ward, 2008). Geviş getiren hayvanlardan elde edilen et ve bu etlerden üretilen et ürünlerinin meyve ve sebzelere kıyasla daha yüksek olumsuz çevresel etkiye sahip olduğunu gösteren çeşitli raporlar bulunmaktadır (Fresán ve ark., 2019; Clune ve ark., 2017). Bitki bazlı diyetleri seçme olasılığı olan popülasyon alt grupları açısından, genç yetişkinlerin ve kadınların et tüketimini azaltmaya veya bundan kaçınmaya daha az dirençli olduğunun belirlendiği çalışmalar bulunmaktadır (Sanchez-Sabate ve Sabaté, 2019; Siegrist ve Hartmann, 2019).

Hepçil beslenme yerine bitkisel bazlı diyet takip etmek için pek çok gerekçe ifade edilebilir. Ortak motivasyonlar arasında çoğunlukla dini uygulamalar, bitkisel ağırlıklı beslenmeyle ilişkilendirilen sağlık yararları (kardiyovasküler rahatsızlıklar, tip 2 diyabet, obezite, hipertansiyon gibi bazı kronik hastalıklar ve bazı kanser çeşitlerinin görülme riskinin ve sıklığının azaltılması), hayvan refahı ve tedavisine yönelik ilgi etik ve ahlaki kaygılar ile çevresel kaygılar (sera gazı emisyonunun daha düşük olması, bitkisel üretimlerde hayvan çiftçiliklerine kıyasla daha az toprak, su ve enerji kullanımı) yer almaktadır (Kim ve ark. 2018, 2019).

Tablo 1 : Diyet modellerinin sınıflandırılması (Turner-McGrievy ve ark., 2017)

Diyet Tipi	Açıklama	Hayvan Eti	Balık	Süt Ürünleri	Yumurta
Vejeteryan Olmayan Diyet					
Omnivor	Tüm hayvan fletö etleri ile süt ürünleri, yumurta, bal gibi bütün hayvansal kökenli ürünleri tüketirler	✓	✓	✓	✓
Vejeteryan Diyet / Bitkisel Bazlı Diyet					
Pesketeryan	Süt ve süt ürünleri, yumurta ile balık tüketirken kırmızı et, kanatlı ve domuz eti tüketmezler	×	✓	✓	✓
Lakto-Ovo Vejeteryan	Süt ve süt ürünleri ile yumurta tüketirken hayvansal kökenli fletö etleri tüketmezler	×	×	✓	✓
Lakto-Vejeteryan	Süt ve süt ürünleri tüketirken hayvan kökenli fletö etler ile yumurta tüketmezler	×	×	✓	×
Ovo-Vejeteryan	Hayvansal kökenli fletö etler ile süt ve süt ürünleri tüketmezken hayvansal kökenli olarak yumurta tüketirler	×	×	×	✓
Vegan	Hayvansal kökenli hiçbir ürünü tüketmezler	×	×	×	×

Süt ürünlerinin bitkisel bazlı diyetlere dahil edilmesi genellikle optimal insan sağlığı ve performansı için gereken hemen hemen tüm besin maddelerinin yeterli bir şekilde tedarik edilmesini sağlarken, diğer hayvansal ürünlerden yoksun bir diyetle sadece sağlık için değil aynı zamanda atletik performans için de çok önemli mikro besinler olan kalsiyum, B12 vitamini ve omega-3 gibi önemli yağ asitleri hala eksik olabilir. (Kreider ve diğerleri 2010). Bu nedenle yaşamın tüm evrelerinde sağlıklı bir birey olmanın yanı sıra zindelik hedeflerine ulaşılabilmesi için de beslenme gereksinimlerini tam olarak karşılayacak uygun bir beslenme planı takip edilmelidir. (Nebl ve ark. 2019).

2. TÜKETİCİ VE PAZAR EĞİLİMLERİ

Farklı vegan topluluklarına ve danışmanlık şirketlerine göre, bitki bazlı diyetleri uygulayan insan sayısı muazzam bir şekilde artmaktadır. Sadece Amerika'da 2014'te yaklaşık dört milyon kişi kadar olan vegan birey sayısı

2017'de 19,6 milyona çıkararak %500 artış göstermiştir. 2018'de 1000 kişinin katılım sağladığı bir ankette katılımcıların üçte ikisinin son üç yılda et tüketimini azalttığını ortaya koymuştur (Neff ve ark., 2018; Aschemann-Witzel ve ark., 2021). Birleşik Krallık'ta, nüfusun %21'i kendilerini esnek (ara sıra hayvansal kökenli gıdalar tüketen) olarak ifade ederken 8'de 1'i vejeteryan veya vegan olduğunu beyan etmiştir. Almanya'da ise 2005 yılında nüfusun yaklaşık %1'ine tekabül eden vejeteryan nüfusun 2018 yılına gelindiğinde %7'lere kadar yükseldiği belirtilmektedir. İtalya'da ise et tüketmeyen nüfus 2011'den 2016'ya kadar %94.4 artarken İspanya'da iki yıl içerisinde %25 artmıştır (The Vegan Society Statistics, 2023). 2019 yılında küresel ölçekte yapılan bir araştırmada tüketicilerin %40'ının hayvansal protein tüketimini azaltmaya çalıştığı, %10'unun ise kırmızı etten tamamen kaçındığı ifade edilmiştir (Aschemann-Witzel ve ark., 2021).

2019 yılında yaklaşık 1,6 milyar dolar olan bitkisel bazlı et alternatifleri küresel pazarının 2026 yılına gelindiğinde 3,5 milyar dolara çıkacağı tahmin edilmektedir. ABD'de et satışlarının 2015 yılından 2019 yılına kadar yaklaşık %5 oranında azaldığına yönelik veriler bulunmaktadır (Markets and Markets, 2023). Bitkisel bazlı süt alternatiflerine yönelik Pazar hacminin de son yıllarda önemli oranda genişlediği söylenebilir. 2009'dan 2015'e kadar dünya çapındaki satışların ikiye katlanarak 21 milyar ABD dolarına ulaştığı belirtilmektedir (Silva ve ark., 2020). İnek sütü satışlarının 2013'te 19 milyar dolar iken 2018 yılına geldiğinde 16 milyarın altına düştüğü görülmektedir (Mintel Reports, 2023). Bu durumun tam aksi olacak şekilde Bitki Bazlı Gıdalar Derneği'nin yayınladığı rapor, bitkisel bazlı yoğurtların %55, bitkisel bazlı peynirlerin %43 ve bitkisel bazlı kremaların satışlarının %131 arttığı şeklindedir (Plant-Based News, 2023).

3. BİTKİSEL BAZLI GELENEKSEL VE YENİLİKÇİ BAZI GIDA ÜRÜNLERİ

Kendilerini vejeteryan olarak tanımlayan tüketiciler her türlü bitkisel bazlı gıdayı tüketirken hayvansal kökenli gıdaları tüketmeyi reddeder. Vejeteryen diyeti yumurta, süt ve bal içerebilirken, vegan diyeti hayvansal kaynaklı herhangi bir yiyecek, içecek veya türevini içermez. Vejeteryan ve vegan diyetlerinde geniş çapta kabul gören çeşitli et ve süt alternatifleri mevcut olup peynir, yumurta ve balık ikameleri gibi diğer ürünler ise geliştirilme aşamasındadır. Bu alternatiflerin avantaj ve dezavantajlarına yönelik bilgilendirme Tablo-2'de sunulmuştur.

Tablo 2 : Vegan ve vejeteryan tüketiciler için gıda ürünleri (Kumar ve ark., 2017; Finnigan, 2011; Chriki ve Hocquette, 2020; Sethi ve ark., 2016; Bachmann, 2001; Söderberg, 2013; Caporgno ve Mathys, 2018; Koyande ve ark., 2019)

Ürün	Ürünle Yönelik Açıklama ve Kaynak Önerileri	Avantajlar	Dezavantajlar
Bitkisel Bazlı Protein Ürünleri	<p>Bitkisel gıdalardan elde edilen protein bakımından zengin ürünler:</p> <ul style="list-style-type: none"> □ soya (tofu, tempeh, tekstüre soya proteini); □ buğday gluteni (seitan); □ baklagiller (bezelye, mercimek, acı bakla, nohut); □ tohumlar (kolza tohumu, kanola). 	<p>Etten daha sağlıklı ve sürdürülebilir olma algısı, İşlenmiş ete (hamburger, sosis, nuggets) benzetildiklerinde daha fazla kabul görme, Tüm et alternatifleri arasında en düşük çevresel etki,</p>	<p>Et tüketimi kültürde oldukça yerleşmiştir; et tüketimini durdurma veya azaltma isteği düşüktür, Tat, doku ve görünüm genellikle et tüketicileri için çekici değildir, Market erişimi kısıtlı ve fiyatlar yüksektir</p>
Mikoprotein	<p><i>Schizophyllum commune</i> ve <i>Fusarium venenatum</i> gibi mantar türlerinin fermantasyonundan elde edilen ürün.</p>	<p>Arazi kullanımı, geleneksel et üretimi için kullanılanlardan önemli ölçüde daha düşüktür</p>	<p>Tahmini küresel ısınma etkisi tavuk eti ve soya bazlı alternatiflerden daha yüksektir</p>
Bitkisel Bazlı Süt Alternatifleri	<p>Parçalanmış ve suda ekstrakte edilmiş bitki materyalinden elde edilen suda çözünür ekstraktlar:</p> <ul style="list-style-type: none"> □ baklagiller (nohut, soya fasulyesi), □ tahıllar (yulaf, pirinç), □ sözde tahıllar (kinoa, teff, amaranth), □ kabuklu kuruyemişler (badem, kaju fıstığı, fındık, ceviz, hindistancevizi), □ tohumlar (susam, ayçiçeği). 	<p>Daha sürdürülebilir olma algısı, Tatlandırıldığında olumlu tat algısı, Besinsel biyoyararlanım ve duyuşal özelliklerin fermantasyon yolu ile iyileştirilebilmesi, İnek sütünden daha sürdürülebilir olması (badem sütü hariç)</p>	<p>Eklenen şekerler ve yapay tatlandırıcılar ile ilgili endişeler, Tatlandırıcı eklenmediğinde olumsuz tat algısı, Badem sütünün çevreye olumsuz etkisi (sulama sebebiyle) görece yüksektir</p>

Peynir Alternatifleri	<p>Kısmen veya tamamen bitkisel proteinler (yer fıstığı veya soya fasulyesi proteini gibi) ve bitkisel katı ve/veya sıvı yağlar (soya fasulyesi, hurma vb. gibi kısmen hidrojene bitkisel yağlar) ile değiştirilen süt proteini ve süt yağından elde edilen ürünler:</p> <ul style="list-style-type: none"> □ soya, fındık, hindistancevizi, tapyoka 	<p>Bitkisel kaynak olarak soya kullanıldığında yüksek kaliteli proteinli ürün eldesi, Lipit profilini değiştirme ve doymuş yağ içeriğini azaltma imkanı, Daha ucuz alternatifler kullanılmasıyla birlikte gıda üreticileri için maliyet düşüşü, Daha uzun raf ömrü</p>	<p>Bazı bitkisel alternatifler besinsel olarak eşdeğer olmadıklarından ilgili bileşenlerle ilgili yoksunluk riski, Hurma yağı gibi bazı alternatifler, sürdürülebilir olmayan kaynaklardan temin edilebilir, Yine hurma yağı ve hindistancevizi gibi bileşenler yüksek doymuş yağ içeriğine sahiptir</p>
Yumurta Alternatifleri	<p>Yumurta yerine kullanılan ürünler, içerikler veya içerik karışımları:</p> <ul style="list-style-type: none"> □ ksantan, guar, arap zamkları, □ soya, ayçiçeği, bezelye, domates tohumu, buğday, beyaz acı bakla ve bakladan elde edilen proteinler, □ elma püresi, aquafaba, keten tohumu, tofu, olgun muz ve tapyoka nişastası 	<p>Yumurta proteininin fonksiyonel özelliklerinin (çözünürlük, emülsifikasyon, köpürme, jelleşme gibi) taklit edilmesi, Kolesterol içeriği daha düşük ürünlerin hazırlanması</p>	<p>Yumurta ikamesi olarak kullanılan soya ve bezelye, nihai ürüne hoş olmayan bir tat verebilir</p>
Balık Alternatifleri	<p>Balık ve deniz ürünlerinin yerini almak için kullanılan ürünler, içerikler veya içerik karışımları:</p> <ul style="list-style-type: none"> □ soya ve buğday, gluten, algler, mantarlar, sebzeler 	<p>Aşırı avlanma faaliyetlerinin önüne geçilmesine yardımcı olur</p>	<p>Çoğu alternatif, beslenme açısından protein ve esansiyel yağ asitleri olan EPA⁺ ve DHA⁺ açısından yetersizdir</p>

Mikroalgler	Protein, karbonhidratlar, lipitler ve diğer biyoaktif bileşikler açısından zengin mikroskopik algler, bileşenler veya ürünler:	Hayvan çiftliklerine kıyasla daha az arazi kullanımı,	Eklenildiği gıdanın bileşimini iyileştirmek için GDO ⁺⁺ lu mikroalgler
	<input type="checkbox"/> <i>Chlorella sp.</i>	O ₂ -CO ₂ dengesinin düzeltilmesine yardımcı olunması,	kullanılıyorsa bazı yasal düzenleme sıkıntıları-eksiklikleri
	<input type="checkbox"/> <i>Arthrospira sp.</i>	Esansiyel yağ asitleri olan EPA ve DHA açısından iyi bir kaynak olması	Yosunumsu lezzetinden dolayı tüketici kabülünün düşük olması
	<input type="checkbox"/> <i>Schizochytrium sp.</i>		

*: EPA; Eikosa Pentaenoik Asit, DHA; Dokosa Heksaenoik Asit

**GDO; Genetiği Değiştirilmiş Organizma

Et alternatifleri, duyuşal özellikleri bakımından ete benzeyen ancak hayvanlardan gelmeyen protein kaynaklarından yapılan ürünlerdir. Bitki bazı proteinler, et alternatiflerini hazırlamak için kullanılan en yaygın bileşenlerdir. Soya, buğday gluteni ve mantar bu alanda kullanılan ana maddeler olarak rahatlıkla belirtilebilir. Soya, yüksek besin kalitesi nedeniyle soya peynirinin pıhtılaştırılmasından ve kompakt bir blok halinde preslenmesinden elde edilen tofu gibi protein bakımından zengin ürünleri hazırlamak için yaygın olarak kullanılır. Soya unu en az işlenmiş soya ürünüdür ve hem soya tekstüre bitkisel protein hem de soya protein konsantresi (%70 protein) ve izolat (%90 protein) hazırlanmasında kullanılır. Tekstüre bitkisel protein gibi soya eti alternatifleri, genellikle ürünün farklı şekil ve boyutlarına izin veren bir ekstrüzyon işlemiyle hazırlanır (Lin ve ark., 2000). Seitan olarak da adlandırılan buğday gluteni, nişastanın buğday unundan izolasyonu sırasında elde edilmekte olup bağlama, hamur oluşturma ve mayalanma özelliği için kullanılır. Yapışkan ve çignenebilir kalitesi, buğday gluteni ile hazırlanan ürünlere et benzeri bir doku verir (Hoek ve ark., 2004). Et alternatiflerinin formülasyonunda bezelye, mercimek, acı bakla veya nohuttan izole edilmiş baklagil proteinleri de kullanılmıştır. Bunlar arasında bezelye bazı protein en umut verici olanıdır. Kolza tohumu ve kanoladan elde edilen yağlı tohum proteinleri, ısıtıldığında et benzeri dokuları teşvik ederek yapılandırıcı maddeler olarak kullanılabilir nitelikte değerlendirilmiştir (Riazi ve ark., 2023).

Mikoprotein insan tüketimi için işlenebilen, fermantasyon sırasında *Schizophyllum commune* veya *Fusarium venenatum* gibi mantar türlerinin büyümesiyle üretilen miselyumdan elde edilen protein açısından zengin

bir üründür. Yüksek protein ve düşük yağ içeriği ile karakterize edilen mikoproteinler et alternatifi olarak kullanılan bir besindir (Finnigan, 2011). Mikoprotein, mantarların özel olarak yetiştirildiği bir fermantasyon süreci ile elde edilir. İlk adımda, uygun mantar türleri besin ortamlarında yetiştirilir. Daha sonra, mantarlar özel bir biyokütle oluşturmak üzere büyütülür ve besin ortamına enjekte edilir. Mantarlar, besin ortamında bulunan karbonhidratları kullanarak hızla çoğalır. Büyüme sürecinde protein sentezlenir ve mikoprotein oluşur. Mikoprotein, sonraki işlemlerle şekil verilerek çeşitli et alternatifleri haline getirilebilir. Genellikle kıyılmış et, tavuk benzeri ürünler, burger köfteleri, nuggetlar ve dilimler gibi farklı şekillerde tüketilebilir. Mikoprotein, az miktarda yumurta akı, biraz kavrulmuş arpa maltı ekstraktı ve malt yerine su veya doğal bir aroma ile karıştırılarak lezzetli bir karakter verir. Mikoproteinin iplikli yapısı, bu ürüne et benzeri dokuyu veren şeydir. Ancak, mikoprotein bazı kişilerde alerjik reaksiyonlara neden olabilir. Ayrıca, üretim sürecinde kullanılan besin ortamının bazen gluten içerebileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle, mikoprotein içeren ürünleri tüketmeden önce etiketleri dikkatlice okumak ve özel besin gereksinimlerine veya alerjilere dikkat etmek önemlidir (Finnigan ve ark., 2017).

Bitki bazlı süt alternatifleri dünya genelinde fonksiyonel ve özel içeceklerin yeni gıda ürünü geliştirme kategorisinde hızla büyüyen segmentler arasındadır. Günümüzde inek sütü alerjisi, laktoz intoleransı, kalori kaygısı ve hiperkolesteroleminin yaygınlığı, vegan beslenmenin daha fazla tercih edilmesi tüketicileri inek sütü alternatiflerini tercih etmeye yöneltmiştir. Bitki bazlı süt alternatifleri yükselen bir trend olup, gelişmekte olan ve alt ekonomik gruptaki inek sütünün yetersiz olduğu bölgelerde ucuz bir alternatif olarak hizmet edebilir. Bitkisel bazlı süt ürünleri temel olarak ve özetle suda ekstrakte edilmiş baklagiller (nohut, soya fasulyesi), tahıllar (yulaf, pirinç), sözde tahıllar (kinoa, teff, amaranth), sert kabuklu yemişler (badem, kaju fıstığı, fındık, ceviz, hindistancevizi), tohumlar (susam, ayçiçeği) şeklinde ifade edilebilir. (Bevilacqua ve ark., 2018). Bu süt alternatiflerinin çoğu inek sütü ile karşılaştırıldığında besinsel açıdan dengeli bir bileşimden yoksundur, ancak sağlık üzerine olumlu etkilere sahip biyoaktif bileşenler içermeleri sebebiyle tüketicileri cezbetmektedir. Baklagil bazlı süt alternatifleri söz konusu olduğunda ise tüm bahsedilenlere ek olarak duyuusal kabul edilebilirliğin önemli bir sınırlayıcı faktör olduğu muhakkak belirtilmelidir (Sethi ve ark., 2016).

Mikroalgler, mikroskopik boyutta olan tek hücreli alglerdir. Su ortamlarında bulunurlar ve güneş enerjisini kullanarak fotosentez esnasında besinlerini üretebilirler. Mikroalgler, genellikle yüksek miktarlarda protein, karbonhidrat, yağ asitleri, vitaminler, mineraller ve biyoaktif bileşenler

içerirler (Pulz ve Gross, 2004). Mikroalg türevli proteinler, eksiksiz esansiyel amino asit profillerine sahiptir ve protein içerikleri, et, kümes hayvanları ve süt ürünleri gibi geleneksel kaynaklardan daha yüksektir. Ek olarak, çoklu doymamış yağ asitleri açısından da iyi kaynaklardır. Bu nedenle, mikroalgler ve mikroalg türevli bileşikler son zamanlarda diyet takviyeleri ve kaynakları olarak kullanılmaktadır. *Spirulina spp.* ve *Chlorella spp.* gibi mikroalgler tabletler, kapsüller veya toz formunda gıda takviyeleri olarak halihazırda tüketilen ticari mikroalglere örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca, mikroalgler son zamanlarda 130 ulusal bilim ve tıp akademisi tarafından yakın gelecekte insan sağlığına ve iklime fayda sağlayabilecek yenilikçi gıdalardan biri olarak belirtilmiştir (Sathasivam ve ark., 2019).

4. UYGULAMADA KARŞILAŞILAN BAZI ZORLUKLAR

4.1. Müşteri Açısından Yaşanan Zorluklar

Et, zamanın başlangıcından beri beslenmemizde yer almış güçlü bir kültürel ve gastronomik öneme sahiptir. Pek çok kişinin etin hem kültürel hem de vazgeçilmez bir besin kaynağı olarak yemeğin önemli bir parçası olduğunu düşünmesi şaşırtıcı değildir (Allen ve Hung, 2003). İnsanların et yemek için öne sürdükleri gerekçelerin çoğu etin doğal, normal, gerekli ve güzel (*natural, normal, necessary and nice - 4Ns Theory*) olması olarak belirtilmektedir (Piazza ve ark., 2015). Et, restoran yemekleri veya iş yemekleri gibi resmi yemeklerle de ilişkilendirilmiştir ve bu durumlarda et alternatiflerine kıyasla daha kabul edilebilir gıda bileşeni olarak değerlendirilir (Biermann ve Rau, 2020).

Vejetaryen ve vegan diyetlere yönelik içeriklerin kolaylıkla bulunur olmayışı, pişirilmesi veya hazırlanması zor ürünler olarak bilinirliğinin yüksek olması tüketiciler tarafından sıklıkla şikayet unsuru olarak belirtilmektedir (Chin ve ark., 2002). Etobur beslenme tarzını benimseyen kişiler daha fazla sebze tüketmenin ve sebze diyetlerine geçmenin faydalarının farkında olsalar da vejeteryanlığı ve veganlığı pahalı ve eğlencesiz bulmaları sebebiyle çevre ve sağlık yararları konusunda bir farkındalığa sahip olsalar dahi bu ürünlerin satın alınmasına ve tüketilmesine yönelik önyarıları olduğu beyan edilmektedir (Poore ve Nemecek, 2018).

Tüketiciler alışkın oldukları geleneksel gıdalardan farklı, alışkın olmadıkları, işlenmiş veya farklı ürünlerle karşılaştıklarında daha kolay tetiklenmektedir. Gıda neofobisi, yeni veya alışılmadık gıdaları tüketme konusundaki isteksizlik ile karakterize edilir ve bitki bazlı alternatifleri ilk kez deneyen tüketicilerde yaygın olarak görülür (Cooke ve ark., 2007). Çocukluk dönemindeki erken alıştırma, gıda neofobisini azaltırken çeşitli geleneksel ve

yeni gıda maddelerinin beslenme alışkanlıklarını geliştirmek için belirleyici olabilmektedir. Soya, baklagiller ve tahıllardan elde edilen et ikameleri, daha alışılmadık alternatiflere kıyasla reddedilme ve şüphe duygularını tetikleme olasılıkları daha düşük olduğundan, tüketicileri bitki bazlı diyetlerle tanıştırmak için iyi bir seçenek olabilir (Tarrega ve ark., 2020).

Bitki bazlı et alternatiflerinde yaşanan en büyük zorluk et ürünlerinin görünümünü, dokusunu, lezzetini ve ağız hissini yeniden yaratmaktır. Vejetaryen ve vegan tüketicilerin ete benzer duyuşal özellikleri olmayan bitki bazlı alternatifleri kabul etme olasılığı daha yüksekken, hepçil ve “*flexitarian*” tüketicilerin mümkün olduğunca ete benzeyen alternatifleri tercih ettiği belirtilmektedir. “*Flexitarian*” terimi, “esnek” (flexible) ve “vejetaryen” (vegetarian) kelimelerinin birleşimiyle oluşturulmuştur. Bu kavram, bitkisel beslenme ve geleneksel et tüketimi arasında bir denge kurmayı amaçlayan bir diyet veya beslenme yaklaşımını ifade eder. *Flexitarianlar*, genellikle bitkisel bazlı yiyecekleri tercih ederken zaman zaman et veya diğer hayvansal ürünleri de tüketen kişilerdir. Esas olarak bitkisel beslenme ilkesini benimserler, ancak esneklikle zaman zaman hayvansal ürünleri de içeren bir beslenme tarzını benimserler (Derbyshire, 2017). Tüketicilerin farklı protein alternatiflerini satın almak noktasında en çok “tat” kriterine dikkat ettiği belirlenmiştir. Etin tat kriteri başta olmak üzere duyuşal özelliklerini taklit etmek için bitki proteinleri çok fazla işlemden ve manipülasyondan geçirilmektedir. Protein alternatiflerinin satışında tam da bu konuyla ilişkili olarak “fazla işlenmiş”, “yüksek sodyumlu”, “çok fazla katkı maddesi içermesi” gibi önyargılara karşılaşıldığı ifade edilmiştir (Clune ve ark., 2017).

Süt alternatiflerinin de, özellikle düzenli inek sütü tüketicileri arasında üstesinden gelinmesi gereken benzer duyuşal zorlukları vardır. Gerek düzenli olarak soya tüketen gerek tüketmeyen bireylerde ortak kanı soyanın tat ve aromasının karar vermede en önemli faktör olduğudur. Hem yetişkin hem de çocuk çalışmalarında karşılaştırmalı duyuşal testlerde soya bazlı alternatiflere göre inek sütünün defalarca tercih edildiğini gösteren çalışmalar mevcuttur (Deshpande ve ark., 2008; Terhaag ve ark., 2013; Tripathi ve ark., 2015). Bunun yanı sıra tüketiciler doğal olarak tatlandırılmış veya şeker ilavesiz içeceklerle karşı günümüzde artan bir eğilim de göstermektedir. Bitki bazlı içeceklerde şeker içeriğinin tercih edilmede en önemli kriter olduğunu, inek sütü tüketicileri içinse tercih etmeme noktasında belirttiği en önemli kriterin yağ içeriği olduğunu rahatlıkla söyleyebiliriz. Dolayısıyla inek sütüne ilişkin olumsuz algıların tam yağlı sütün yüksek kolesterol, yağ ve enerji içeriği ile ilişkili olması beklenen bir sonuçtur (Fuentes ve Fuentes, 2017; Harwood ve Drake, 2018).

4.2. Sürdürülebilirlik Açısından Yaşanan Zorluklar

Mevcut tarım ve gıda sistemleri nüfus artışı, doğal kaynaklar için rekabet, iklim değişikliği, çatışmalar, krizler ve gıda kayıpları ve israfı gibi bugünün ve geleceğin acil sorunları tarafından tehdit edilmektedir. Bu koşullar altında, tarımsal peyzajın daha sürdürülebilir gıda üretim sistemlerine ve ürünlerine geçişe ihtiyacı vardır. Gıda sistemlerini iyileştirmeye yönelik çözümler bulmak, 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi tarafından açıklanan ve 2015 yılında tüm Birleşmiş Milletler Üye Devletleri tarafından kabul edilen insanlık ve gezegen için barış ve refahı sağlamak adına Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine doğru ilerlenilmesine yardımcı olacaktır (Birleşmiş Milletler, 2015)

Et alternatifleri ve diğer bitki bazlı ürünler (Örneğin; fermente edilmiş içecekler) çevreye daha az zararlı olarak takdim edilmiş olsalar dahi, bu ürünlerden elde edilen sürdürülebilirlik kazanımları halen bir tartışma ve çalışma konusudur. Baklagil üretiminin daha düşük çevresel ayak izine ilişkin kanıtlar açıktır ancak baklagillerin sera gazı emisyonlarını azaltmadaki etkisi aynı zamanda kullanılan tarımsal ekosistemin yönetimine de bağlıdır. Ayrıca hasat sonrası işleme faktörü sürdürülebilirlik konusunda önemli rol oynayabilir (Carranca ve ark., 2015; Clune ve ark., 2017).

Laboratuvar eti, sentetik et veya in vitro et olarak da adlandırılan kültürlü et, henüz gelişiminin ilk aşamalarında olması sebebiyle büyük ölçekli üretimlerdeki muhtemel çevresel etkisi hala tam olarak belirlenememiştir. Arazi kullanımının önemli ölçüde daha düşük olmasına rağmen mikoproteinin tavuk ve domuz etinden daha yüksek bir küresel ısınma etkisine sahip olduğu bulunmuştur. Farklı et alternatifleri karşılaştırılacak olursa; en yüksek çevresel etki kültürlü etler ve mikoproteinlerde, orta etki tavuk etinde (yerel yem), süt ürünlerinde ve gluten bazlı alternatiflerde, en düşük çevresel etki böcekler ile soya bazlı alternatiflerde gözlenmektedir (Katajajuuri ve ark., 2008; Finnigan ve ark., 2010).

Algler, domuz eti için 47-64 m², tavuk için 42-52 m² ve sığır eti için 144-258 m² ile karşılaştırıldığında yaklaşık 2,5 m²/kg protein üretimi için duydukları alan ihtiyacı ile protein üretimi bakımından hayvansal kaynaklara göre daha az alan gerektirdiklerini objektif olarak ispatlamıştır. Ayrıca, mikroalgler çok verimli CO₂ sabitleyici maddelerdir. Mikroalgler, karasal bitkilere kıyasla çok yüksek olan yaklaşık %90 CO₂ fiksasyon verimliliği ile ekolojik olarak büyük fayda ve potansiyel öneme sahiptir. Genetiği değiştirilmiş mikroalgler kullanılarak istenen metabolitlerin üretimini arttırma imkanları mikroalglere yönelik dikkat çeken başka bir özelliktir

ancak bu konuda çevresel risklerin ve sağlık etkilerinin tümüyle ve yeterince değerlendirildiğinden emin olunmalıdır (Van der Spiegel ve ark., 2013).

Et alternatiflerinin sürdürülebilirliği ile ilgili olarak kanıtlar daha düşük işleme gereksinimleri ile daha düşük çevresel etki arasında açık bir ilişki göstermektedir. Kapsamlı işleme veya teknolojiye elde edilen önemli miktarda enerji girdisi gerektiren alternatiflerin çevresel ayak izlerinin arttığı görülmektedir (Tuomisto ve Teixeira de Mattos, 2011).

Süt üretiminin genel olarak süt ikamelerine kıyasla önemli bir çevresel etkiye sahip olduğu değerlendirilmektedir. Ancak bitki bazlı sütler arasında badem sütü sulama ihtiyacı, çinko gübresi kullanımı ve perakende mağazaya nakliyesi nedeniyle önemli bir etkiye sahiptir. Peynir alternatifleri üretilirken ise, çoğu palm yağının sürdürülebilirlik standartlarına (*“Roundtable on Sustainable Palm Oil” Belgelendirme Standardı*) uygun olarak üretilmediği için peynir alternatifleri üretirken üreticiler palm yağının çevresel maliyetlerinin farkında olmalıdır (Behrens ve ark., 2017).

Halk arasında et üretimi ve tüketimin çevresel yüküne ilişkin farkındalığın hala düşük olması da yine önemli bir zorluktur (De Backer ve Hudders, 2015). Bazı tüketicilerde de soya ürünlerinin et ve et ürünlerine benzer bir çevresel etkiye sahip olduğu düşüncesi yerleşmiştir. Bu fikrin oluşmasında özellikle Brezilya’da hayvan yemine kullanılmak üzere üretilen soya neticesinde meydana gelen yüksek ormansızlaşmanın insan tüketimine yönelik soya üretimi ile karıştırılması öne çıkmaktadır. Ancak son yıllarda kamu kuruluşlarının, çeşitli kurumların ve STK’ların et ve hayvansal ürünlerin çevresel etkileri konusunda farkındalık yaratmaya yönelik tutarlı çabalarının bir sonucu olarak kamuoyunun muhtemelen olumlu yönde değiştiği yorumlanmaktadır (Niederle ve Schubert, 2020).

Beslenme ve Diyetetik Akademisi’nin vejeteryan diyetlerine ilişkin “... vegan dahil olmak üzere *uygun şekilde planlanmış* vejeteryan diyetler sağlıklıdır, beslenme açısından yeterlidir ve bazı hastalıkların önlenmesi ve tedavisi için sağlık yararları sağlayabilir. Bu diyetler, hamilelik, emzirme, bebeklik, çocukluk, ergenlik, ileri yetişkinlik dahil olmak üzere yaşam döngüsünün tüm aşamaları için ve sporcular için uygundur. Bitki bazlı diyetler, daha az doğal kaynak kullandıkları ve çok daha az çevresel zararlar ilişkilendirildikleri için hayvansal ürünler açısından zengin diyetlere kıyasla çevresel açıdan daha sürdürülebilirdir.” şeklinde bir açıklaması bulunmaktadır (Melina ve ark., 2016).

Bu bağlamda, halkın katılımı farklı şekillerde teşvik edilmektedir. EAT-Lancet Gıda, Gezegen, Sağlık Komisyonu gıda sistemleri için güvenli bir çalışma alanı sınırları içinde büyüyen küresel nüfusun besinsel ihtiyaçlarını

karşılayabilmek için bitki temelli bir diyet olan “Gezegensel Sağlık Diyeti”ni önermiştir (The EAT-ancet Commission, 2023). Ayrıca et tüketimini azaltmaya yönelik “Etsiz Pazartesiler” girişimi de son yıllarda büyük ilgi görmüştür ve çocukların yeme alışkanlıklarını iyileştirmek amacıyla bazı devlet okulları tarafından benimsenmiştir (The Monday Campaigns, 2023).

5. SONUÇ

Hayvansal kaynaklı gıda alımını azaltan tüketicilerin sayısı küresel olarak artmaktadır ve bu durum günden güne büyüyen bir bitki bazlı ürün pazarına yol açmaktadır. Tüketiciler üreticilerden sürdürülebilir, lezzetli, güvenli, besleyici, bulunabilir ve uygun fiyatlı ürünler talep etmektedir. Yeni kaynaklar ve bileşenler planlanırken dikkate alınması gereken birçok konu vardır. Bu bağlamda, kültürlü et gibi et alternatiflerin üretimi büyük bir potansiyele sahiptir ancak yine de optimizasyona ihtiyaç duymaktadır. Mikroalg kültürleri kullanılarak gerçekleştirilen fermantasyon süreçleri veya B12 vitamini üretme yeteneğine sahip mikroorganizmaların fermantasyon ortamına eklenmesi gibi diğer biyoteknoloji süreçleri de büyük bir potansiyele sahiptir. Hayvansal kaynaklı gıdalarda bulunan bileşiklere karşı alerjik reaksiyon gösteren tüketiciler açısından bu tarz bitki kökenli ürünler ayrı bir öneme sahipken gezegeni koruma bilincinde olup sağlıklı bir gezegenin daha sağlıklı bir insanla uyumlu olması gerektiğini savunan bireyler için de sağlıklı alternatifler olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

- Allen, M. W., & Hung Ng, S. (2003). Human values, utilitarian benefits and identification: The case of meat. *European Journal of Social Psychology*, 33(1), 37-56.
- Aschemann-Witzel, J., Gantriis, R. F., Fraga, P., & Perez-Cueto, F. J. (2021). Plant-based food and protein trend from a business perspective: Markets, consumers, and the challenges and opportunities in the future. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(18), 3119-3128.
- Bachmann, H. P. (2001). Cheese analogues: a review. *International dairy journal*, 11(4-7), 505-515.
- Behrens, P., Kiefte-de Jong, J. C., Bosker, T., Rodrigues, J. F., De Koning, A., & Tukker, A. (2017). Evaluating the environmental impacts of dietary recommendations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(51), 13412-13417.
- Bevilacqua, A., Petruzzi, L., Perricone, M., Speranza, B., Campaniello, D., Sinigaglia, M., & Corbo, M. R. (2018). Nonthermal technologies for fruit and vegetable juices and beverages: Overview and advances. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(1), 2-62.
- Biermann, G., & Rau, H. (2020). The meaning of meat:(Un) sustainable eating practices at home and out of home. *Appetite*, 153, 104730.
- Caporgno, M. P., & Mathys, A. (2018). Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits. *Frontiers in nutrition*, 5, 58.
- Carranca, C., Torres, M. O., & Madeira, M. (2015). Underestimated role of legume roots for soil N fertility. *Agronomy for Sustainable development*, 35, 1095-1102.
- Chin, M. G., Fisak Jr, B., & Sims, V. K. (2002). Development of the attitudes toward vegetarians scale. *Anthrozoös*, 15(4), 332-342.
- Chriki, S., & Hocquette, J. F. (2020). The myth of cultured meat: a review. *Frontiers in nutrition*, 7.
- Clarys, P., Deliens, T., Huybrechts, I., Deriemaeker, P., Vanaelst, B., De Keyzer, W., ... & Mullie, P. (2014). Comparison of nutritional quality of the vegan, vegetarian, semi-vegetarian, pesco-vegetarian and omnivorous diet. *Nutrients*, 6(3), 1318-1332.
- Clune, S., Crossin, E., & Verghese, K. (2017). Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal of Cleaner Production*, 140, 766-783.
- Clune, S., Crossin, E., & Verghese, K. (2017). Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal of Cleaner Production*, 140, 766-783.

- Clune, S., Crossin, E., & Verghese, K. (2017). Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal of Cleaner Production*, 140, 766-783.
- Cooke, L. J., Haworth, C. M., & Wardle, J. (2007). Genetic and environmental influences on children's food neophobia. *The American journal of clinical nutrition*, 86(2), 428-433.
- Corrin, T., & Papadopoulos, A. (2017). Understanding the attitudes and perceptions of vegetarian and plant-based diets to shape future health promotion programs. *Appetite*, 109, 40-47.
- De Backer, C. J., & Hudders, L. (2015). Meat morals: relationship between meat consumption consumer attitudes towards human and animal welfare and moral behavior. *Meat science*, 99, 68-74.
- Derbyshire, E. J. (2017). Flexitarian diets and health: a review of the evidence-based literature. *Frontiers in nutrition*, 3, 55.
- Deshpande, R. P., Chinnan, M. S., & McWatters, K. H. (2008). Optimization of a chocolate-flavored, peanut-soy beverage using response surface methodology (RSM) as applied to consumer acceptability data. *LWT-Food Science and technology*, 41(8), 1485-1492.
- EAT. The EAT-Lancet Commission on Food, Planet, Health. Available online: <https://eatforum.org/eat-lancet-commission/> (Erişim Tarihi 22 Mayıs 2023).
- Finnigan, T. J. A. (2011). Mycoprotein: origins, production and properties. *Handbook of food proteins*, 335-352.
- Finnigan, T. J. A. (2011). Mycoprotein: origins, production and properties. *Handbook of food proteins*, 335-352.
- Finnigan, T., Lemon, M., Allan, B., & Paton, I. (2010). Mycoprotein, Life cycle Analysis and the food 2030 challenge. *Aspects of Applied Biology*, (102), 81-90.
- Finnigan, T., Needham, L., & Abbott, C. (2017). Mycoprotein: a healthy new protein with a low environmental impact. In *Sustainable protein sources* (pp. 305-325). Academic Press.
- Fox, N., & Ward, K. (2008). Health, ethics and environment: A qualitative study of vegetarian motivations. *Appetite*, 50(2-3), 422-429.
- Fresán, U., Martínez-González, M. A., Sabaté, J., & Bes-Rastrollo, M. (2019). Global sustainability (health, environment and monetary costs) of three dietary patterns: results from a Spanish cohort (the SUN project). *BMJ open*, 9(2), e021541.
- Fuentes, C., & Fuentes, M. (2017). Making a market for alternatives: Marketing devices and the qualification of a vegan milk substitute. *Journal of Marketing Management*, 33(7-8), 529-555.

- Harwood, W. S., & Drake, M. A. (2018). Identification and characterization of fluid milk consumer groups. *Journal of dairy science*, *101*(10), 8860-8874.
- Hoek, A. C., Luning, P. A., Stafleu, A., & de Graaf, C. (2004). Food-related lifestyle and health attitudes of Dutch vegetarians, non-vegetarian consumers of meat substitutes, and meat consumers. *Appetite*, *42*(3), 265-272.
- Katajajuuri, J. M., Grönroos, J., & Usva, K. (2008). Environmental impacts and related options for improving the chicken meat supply chain. In *6th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector. Zurich*.
- Kim, H., Caulfield, L. E., & Rebholz, C. M. (2018). Healthy plant-based diets are associated with lower risk of all-cause mortality in US adults. *The Journal of nutrition*, *148*(4), 624-631.
- Koyande, A. K., Chew, K. W., Rambabu, K., Tao, Y., Chu, D. T., & Show, P. L. (2019). Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. *Food Science and Human Wellness*, *8*(1), 16-24.
- Kreider, R. B., Wilborn, C. D., Taylor, L., Campbell, B., Almada, A. L., Collins, R., ... & Antonio, J. (2010). ISSN exercise & sport nutrition review: research & recommendations. *Journal of the international society of sports nutrition*, *7*(1), 7.
- Kumar, P., Chatli, M. K., Mehta, N., Singh, P., Malay, O. P., & Verma, A. K. (2017). Meat analogues: Health promising sustainable meat substitutes. *Critical reviews in food science and nutrition*, *57*(5), 923-932.
- Lin, S., Huff, H. E., & Hsieh, F. (2000). Texture and chemical characteristics of soy protein meat analog extruded at high moisture. *Journal of Food Science*, *65*(2), 264-269.
- Markets and Markets. Meat Substitutes Market by Source (Soy Protein, Wheat Protein, Pea Protein), Type (Concentrates, Isolates, and Textured), Product (Tofu, Tempeh, Seitan, and Quorn), Form (Solid and Liquid), and Region—Global Forecast to 2026. Available online: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/meat-substitutes-market-979.html> (Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2023).
- McEvoy, C. T., Temple, N., & Woodside, J. V. (2012). Vegetarian diets, low-meat diets and health: a review. *Public health nutrition*, *15*(12), 2287-2294.
- Melina, V., Craig, W., & Levin, S. (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: vegetarian diets. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, *116*(12), 1970-1980.
- Mintel Reports. Dairy and Non-Dairy Milk—US—September 2018. Available online: <https://reports.mintel.com/display/860659/> (Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2023).
- Nebl, J., Schuchardt, J. P., Wasserfurth, P., Haufe, S., Eigendorf, J., Tegtbur, U., & Hahn, A. (2019). Characterization, dietary habits and nutritional

- intake of omnivorous, lacto-ovo vegetarian and vegan runners—a pilot study. *BMC nutrition*, 5(1), 1-14.
- Niederle, P., & Schubert, M. N. (2020). HOW does veganism contribute to shape sustainable food systems? Practices, meanings and identities of vegan restaurants in Porto Alegre, Brazil. *Journal of Rural studies*, 78, 304-313.
- Piazza, J., Ruby, M. B., Loughnan, S., Luong, M., Kulik, J., Watkins, H. M., & Seigerman, M. (2015). Rationalizing meat consumption. The 4Ns. *Appetite*, 91, 114-128.
- Plant-Based News. Sales of Vegan Food Skyrocket to \$3.3 Billion in One Year. Available online: <https://plantbasednews.org/news/sales-of-vegan-food-skyrocket-3-3-billion/> (Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2023).
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992.
- Pulz, O., & Gross, W. (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied microbiology and biotechnology*, 65, 635-648.
- Riazi, F., Tehrani, M. M., Lammers, V., Heinz, V., & Savadkoobi, S. (2023). Unexpected morphological modifications in high moisture extruded pea-flaxseed proteins: Part I, topological and conformational characteristics, textural attributes, and viscoelastic phenomena. *Food Hydrocolloids*, 136, 108304.
- Sanchez-Sabate, R., & Sabaté, J. (2019). Consumer attitudes towards environmental concerns of meat consumption: A systematic review. *International journal of environmental research and public health*, 16(7), 1220.
- Sathasivam, R., Radhakrishnan, R., Hashem, A., & Abd_Allah, E. F. (2019). Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine. *Saudi journal of biological sciences*, 26(4), 709-722.
- Sethi, S., Tyagi, S. K., & Anurag, R. K. (2016). Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *Journal of food science and technology*, 53, 3408-3423.
- Sethi, S., Tyagi, S. K., & Anurag, R. K. (2016). Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *Journal of food science and technology*, 53, 3408-3423.
- Siegrist, M., & Hartmann, C. (2019). Impact of sustainability perception on consumption of organic meat and meat substitutes. *Appetite*, 132, 196-202.
- Silva, A. R., Silva, M. M., & Ribeiro, B. D. (2020). Health issues and technological aspects of plant-based alternative milk. *Food Research International*, 131, 108972.

- Söderberg, J. (2013). Functional properties of legume proteins compared to egg proteins and their potential as egg replacers in vegan food.
- Tarrega, A., Rizo, A., Murciano, A., Laguna, L., & Fiszman, S. (2020). Are mixed meat and vegetable protein products good alternatives for reducing meat consumption? A case study with burgers. *Current research in food science*, 3, 30-40.
- Terhaag, M. M., Almeida, M. B., & Benassi, M. D. T. (2013). Soymilk plain beverages: correlation between acceptability and physical and chemical characteristics. *Food Science and Technology*, 33, 387-394.
- The Monday Campaigns. NYC Expands Meatless Monday to all Schools. Available online: <https://www.mondaycampaigns.org/meatless-monday/news/nyc-expands-meatless-monday-schools> (Erişim Tarihi 22 Mayıs 2023).
- The Vegan Society Statistics. Available online: <https://www.vegansociety.com/news/media/statistics> (Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2023).
- Trichopoulou, A., Martínez-González, M. A., Tong, T. Y., Forouhi, N. G., Khandelwal, S., Prabhakaran, D., Mozaffarian, D., & De Lorgeril, M. (2014). Definitions and potential health benefits of the Mediterranean diet: views from experts around the world. *BMC medicine*, 12(1), 1-16.
- Tripathi, M. K., Mangaraj, S., Kumar, M., Sinha, L. K., Giri, S. K., & Ali, N. (2015). Effect of processing condition on the quality and beany flavour of soymilk.
- Tuomisto, H. L., & Teixeira de Mattos, M. J. (2011). Environmental impacts of cultured meat production. *Environmental science & technology*, 45(14), 6117-6123.
- Turner-McGrievy, G., Mandes, T., & Crimarco, A. (2017). A plant-based diet for overweight and obesity prevention and treatment. *Journal of geriatric cardiology: JGC*, 14(5), 369.
- United Nations Sustainable Development Goals. The 17 Goals. Available online: <https://sdgs.un.org/goals> (Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2023).
- Van der Spiegel, M., Noordam, M. Y., & Van der Fels-Klerx, H. J. (2013). Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 12(6), 662-678.

Akciğer Kanserinin Teşhisinde Farklı Makine Öğrenme Algoritmalarının Başarımının Karşılaştırılması

Rukiye UZUN ARSLAN¹

Ceren KAYA²

GİRİŞ

Kanser, hasta ve çevresinin yaşam koşullarında değişiklik yapmasını gerektirebilen, uzun süreli yorucu bir hastalıktır. Kanserın dünya genelinde görülme sıklığı ve ölüm oranları giderek artmaktadır (Pavlopoulou vd., 2015; Siegel vd., 2016). Dünya Sağlık Örgütü'nün 2020 yılında yayınladığı rapora göre; en yaygın görülen kanser türleri arasında birinci sırada meme kanseri, ikinci sırada ise akciğer kanseri gelmektedir. Aynı raporda kanser kaynaklı ölüm vakalarında ilk sırada akciğer kanserinin (yaklaşık %36'lık bir oranla) geldiği belirtilmiştir ("WHO", 2023). Akciğer kanseri, akciğerlerde başlayan ve buradaki hücrelerin kontrolsüz bir şekilde büyümesiyle (çoğalmasıyla) karakterize edilen bir kanser türüdür. Öncelikle kendi ortamında çoğalan bu hücreler, ilerleyen evrelerde yakınında veya uzağında bulunan organlara metastaz yapabilmektedirler. Akciğer kanserine yakalanmada tütün ve tütün ürün kullanımı başta olmak üzere, pasif içicilik, genetik faktörler, hava kirliliği, radyasyon, kronik akciğer hastalıkları, yaşam kalitesi ve beslenme alışkanlıkları gibi birçok risk faktörü bulunmaktadır ("THSK", 2023). Akciğer kanserinin erken ve doğru teşhisi insanların hayatta kalma şansını arttırdığı yapılan birçok çalışmayla ortaya konulmuştur (Gant vd., 2001; Lisboa and Taktak, 2006). Bu nedenle erken ve doğru teşhis, birçok hastalık

1 Doç. Dr., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye, e-mail: rukiyeuzun67@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2082-8695.

2 Dr. Öğr. Üyesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye, e-mail: ceren.kaya@beun.edu.tr, crnkaya@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-1970-2833.

türünün tedavisinde olduğu gibi akciğer kanseri hastalığının tedavisinde de önemli bir yere sahiptir. Ancak akciğerdeki bazı lezyonlar boyutlarının küçük olması nedeniyle sağlık uzmanları tarafından fark edilememekte, dolayısıyla da doğru bir tanı ve tedavi planı uygulanamamaktadır. Bu yüzden akciğer kanseri gibi karmaşık bir hastalığın teşhis ve tedavisinde sağlık alanında popülaritesi giderek artan karar destek sistemlerinden yararlanılmaktadır. Bu sistemler, akciğer kanseri yönetiminde (teşhis ve tedavi sürecinde) sağlık uzmanlarına objektif veriler sunarak, karar verme sürecini destekleyebilmektedir. Ancak, bu sistemlerin kullanımı sağlık uzmanlarının klinik deneyim ve uzmanlığıyla birleştirilmeli ve nihai kararlar her zaman uzmanlar tarafından verilmelidir.

Literatürdeki akciğer kanserinin tespitinde ve sınıflandırılmasında sağlık uzmanlarına yardımcı olmak adına geliştirilen karar destek sistemlerinin birçoğunda geleneksel makine öğrenme algoritmalarından yararlanılmıştır. Örneğin; 2010 yılında klinik tanıdaki demografik verilerden akciğer kanserini teşhis etmek amacıyla yapay sinir ağlarından (YSA) yararlanılmıştır (Ganesan vd., 2010). 2012 yılında bilgisayarlı tomografi görüntülerinden akciğer kanseri lezyonlarını saptamak amacıyla YSA temelli bir karar destek sistemi önerilmiştir (Ashwin vd., 2012). 2015 yılında akciğer kanser türleri rastgele orman (RO) ve destek vektör makineleri (DVM) algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmıştır (Cai vd., 2015). 2014 yılında yapılan bir çalışmada akciğer lezyonlarını erken evrelerde iyi huylu ve kötü huylu olacak şekilde ayırt edebilen yapay sinir ağları tabanlı (YSA) bir karar destek sistemi önerilmiştir (Dandil vd., 2014). 2016 yılında yapılan bir çalışmada temel bileşenler analizi ve lineer diskriminant analizi tekniklerine dayalı kullanıcı dostu bir akciğer kanseri öngörü modeli geliştirilmiştir (Chauhan ve Jaiswal, 2016). 2018 yılında açık erişime sahip olan bir veri seti kullanılarak akciğer kanseri tespitinde birçok farklı makine öğrenmesi algoritmasının başarımları kıyaslanmıştır (Faisal vd., 2018). 2019 yılında akciğer kanserini tespit etmek için sarı parmaklar, kaygı, kronik hastalık, yorgunluk, alerji, hırıltı, öksürük, nefes darlığı, yutkunma güçlüğü ve göğüs ağrısı gibi birçok semptom kullanılarak YSA temelli bir model önerilmiştir (Nasser and Abu-Naser, 2019). Başka bir çalışmada, BT tarama görüntülerinden yararlanarak akciğer kanserinin saptanması ve sınıflandırılması için etkili bir yaklaşım geliştirilmiştir. Çalışmada DVM, RO, karar ağacı, saf Bayes, k-en yakın komşu (k-NN), stokastik gradyan iniş ve çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) gibi yedi sınıflandırma modeli kullanılmıştır. 2020 yılında akciğer kanseri olan bir bireyi erken evrede belirlemede k-NN, DVM, RO, YSA ve hibrit bir model olan oylama sınıflandırıcı gibi çeşitli sınıflandırma ve topluluk modellerinin performansları doğrulukları açısından değerlendirilmiştir (Thallam vd., 2020). Bir başka çalışmada üç farklı makine öğrenmesi algoritmasının

(DVM, RO ve lojistik regresyon) bireyin akciğer kanseri olup olmadığını tespit etmedeki başarımı araştırılmıştır (Selvi ve Pazar 2020). 2022 yılında makine öğrenimini kullanarak akciğer kanseri seviyeleri için risk faktörlerine dayalı bir tahmin modeli önerilmiştir (Huhu-Huy and Hung, 2022). Başka bir çalışmada makine öğrenimi ve görüntü işleme ile sağlanan teknolojiyi kullanarak akciğer kanserinin doğru bir şekilde sınıflandırılması ve tahmini gerçekleştirilmiştir (Nageswaran vd. 2022). Bir diğer çalışmada akciğer kanserine yakalanma açısından yüksek riskli bireyleri belirlemeye yönelik etkili modeller oluşturmak ve böylece uzun vadeli komplikasyonları önlemek için daha erken müdahaleler yapmak üzere makine öğrenimi yöntemleri kullanılmıştır (Dritas and Trigka, 2022). Farklı bir çalışmada DVM'lerine dayalı bir makine öğrenim modeli kullanarak akciğer kanseri veri kümesindeki saptama sürecini optimize edilmeye çalışılmıştır (Anil Kumar vd., 2022). Diğer bir çalışmada, akciğer kanseri tahmini için çeşitli makine öğrenimi tabanlı algoritmalar karşılaştırılmıştır (Çelik vd. 2022). 2023 yılında yapılan bir çalışmada, akciğer kanseri insidans hızı ile hastaların semptomları arasındaki ilişkiyi araştırmak ve bulmak için internette akciğer kanseri ile ilgili 15 farklı semptom içeren bir veri setine erişilerek ve veriler makine öğrenmesi ile öğrenilerek ve tahmin edilmiştir. Böylelikle hangi özelliklerin akciğer kanseri tanısında daha büyük etkisi olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır (Wan, 2023).

Bu çalışmada, risk faktörlerine dayalı olarak akciğer kanserinin tespit edilmesinde farklı makine öğrenme algoritmalarının başarımları araştırılmıştır. Bu bağlamda rastgele orman (RO), doğrusal destek vektör makineleri ve Gauss Naive Bayes (GNB) sınıflandırıcı algoritmaları kullanılmıştır. Önerilen sistemin akciğer kanserinin tespitinde ve sınıflandırılmasında sağlık uzmanlarına yardımcı olacağı düşünülmektedir. Çalışmada, Bölüm 2'de veri seti ve kullanılan makine öğrenme algoritmaları hakkında bilgiler verilirken, Bölüm 3'te elde edilen sonuçlar sunulurken kullanılan algoritmaların akciğer kanseri teşhisindeki başarımları karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Veri Seti

Çalışmada akciğer kanserine yakalanma risk faktörlerini bulduran 1000 kişiye dayalı veri seti ("Lung Cancer Prediction Dataset"), açık kaynak erişimine sahip Kaggle veri platformundan alınmıştır (The Devastator, 2023). İlgili veri seti; yaş, cinsiyet, hava kirliliğine maruz kalma, alkol kullanımı, toz alerjisi, mesleki tehlikeler, genetik risk, kronik akciğer hastalığı, dengeli

beslenme, obezite, sigara içme, pasif içicilik, ggs ağrısı, kanlı öksürük, yorgunluk, kilo kaybı, kuru öksürük, sık nezle olma, nefes darlığı, hırıltılı solunum, yutma güçlüğü, tırnaklarda çomaklaşma ve horlama (23 öznelik) dahil olmak üzere akciğer kanseri hastaları hakkında bilgiler içermektedir. Tablo 1’de akciğer kanserine yakalanma riski veri setinin giriş parametreleri (znelikler) açıklamalarıyla verilmiştir.

Tablo 1. *Akciğer kanserine yakalanma riski veri seti giriş parametreleri*

Giriş Parametreleri	Açıklama
Yaş	<i>Hastanın yaşı</i>
Cinsiyet	<i>Hastanın cinsiyeti</i>
Hava Kirliliği	<i>Hastanın hava kirliliğine maruz kalma düzeyi</i>
Alkol Kullanımı	<i>Hastanın alkol kullanım düzeyi</i>
Toz Alerjisi	<i>Hastanın toz alerjisi düzeyi</i>
Mesleki Tehlikeler	<i>Hastanın mesleki tehlikelerinin düzeyi</i>
Genetik Risk	<i>Hastanın genetik risk düzeyi</i>
Kronik Akciğer Hastalığı	<i>Hastanın kronik akciğer hastalığı düzeyi</i>
Dengeli Beslenme	<i>Hastanın dengeli beslenme düzeyi</i>
Obezite	<i>Hastanın obezite düzeyi</i>
Sigara İçmek	<i>Hastanın sigara içme düzeyi</i>
Pasif Sigara İçen	<i>Hastanın pasif içici olma düzeyi</i>
Ggs Ağrısı	<i>Hastanın ggs ağrısının düzeyi</i>
Kanlı ksrk	<i>Hastanın kan öksürme düzeyi</i>
Yorgunluk	<i>Hastanın yorgunluk düzeyi</i>
Kilo Kaybı	<i>Hastanın kilo kaybı seviyesi.</i>
Nefes Darlığı	<i>Hastanın nefes darlığı seviyesi</i>
Hırıltılı Solunum	<i>Hastanın hırıltılı solunum düzeyi</i>
Yutma Güçlüğü	<i>Hastanın yutkunma güçlüğü düzeyi</i>
Sık Nezle Olma	<i>Hastanın sık nezle olma düzeyi</i>
Kuru ksrk	<i>Hastanın kuru öksürme düzeyi</i>
Horlama	<i>Hastanın horlama düzeyi</i>
Parmak Tırnaklarının omaklaşması	<i>Hastanın parmak tırnaklarının çomaklaşma derecesi</i>

2.2 Makine Öğrenme Algoritmaları

Destek vektör makineleri (DVM); Cortes ve Vapnik tarafından geliştirilen, temeli istatistiksel öğrenmeye dayanan, sınıflandırma ve/veya regresyon problemlerini çözmek amacıyla kullanılabilen güçlü bir gözetimli makine öğrenmesi algoritmasıdır (Uzun, Isler and Mualla, 2018; Cortes and Vapnik, 1995). Hem doğrusal hem de doğrusal olmayan verilere uygulanabilen DVM, iki sınıf arasında bir ayırım yapmakta ve bu ayırımı yaparken de sınıflar arasındaki en geniş marjini (hiper düzelemi, mesafeyi) bulmaya çalışmaktadır. DVM'nin çalışma prensibi, yüksek boyutlu bir uzayda temsil edilen örnekleri vektörler haline dönüştürerek, bu vektörleri kullanarak sınıfların ayırımını sağlayacak bir hiperdüzlem bulmaktır. Bu hiperdüzlem, iki sınıf arasındaki en yakın örneklerin mesafesini maksimize etmektedir. Daha sonra DVM bu hiperdüzlemi kullanarak yeni gelen örnekleri sınıflandırabilmektedir.

Rastgele orman (RO) algoritması, Breiman tarafından geliştirilen, sınıflandırma ve/veya regresyon problemlerini çözmek için kullanılan denetimli bir topluluk öğrenme yöntemidir (Breiman, 2001). Makine öğrenmesi alanındaki kullanımı çok geniş olan bu algoritma, birçok karar ağacının bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Klasik makine öğrenmesi yöntemlerinden karar ağacı algoritmasının en büyük dezavantajı aşırı öğrenme nedeniyle veriyi ezberlenmesidir. RO algoritması, bunun üstesinden gelmek amacıyla hem veri setini hem de özniteliklerini rastgele çok sayıda alt kümeye ayırarak, bunları eğitmekte ve her bir alt kümenin karar ağacıyla oluşturulan cevaplarının ortalamasını alarak genel bir karara varmaktadır (Selvi, 2019).

Naive Bayes (NB), sınıflandırma ve örüntü tanıma problemlerinde kullanılan olasılık tabanlı bir algoritmadır. Bu algoritma, Bayes teoremine dayanmakta ve sınıf etiketlerinin tahmininde özniteliklerin istatistiksel olarak birbirinden bağımsız olduğunu varsaymaktadır. Bu algoritma, bir veri noktasını belirli bir sınıfa sınıflandırmak için olasılık hesaplamalarından yararlanmaktadır. Yapılan olasılık hesaplamaları, sınıf etiketiyle kayıt edilen özniteliklerin kombinasyonunu değerlendirmektedir (Wood, Shpilrain, Najarian and Kahrobaei, 2019). Bu yöntemde başlangıçta modele belirli bir sayıda sınıf etiketine sahip öğretilmiş veri sunulmaktadır. Bu veri setiyle yapılan olasılık hesaplamalarına dayanarak, modele yeni girilen test verilerinin değerlendirilmesi yapılarak, sınıf etiketleri tespit edilmektedir (Uzun, Isler and Toksan, 2018).

2.3. Performans Metrikleri

Akciğer kanserine yakalanma risk seviyesini sınıflandırmak için kullanılan makine öğrenme algoritmalarının performansı, karmaşıklık matrisi kullanılarak hesaplanan kriterlere göre değerlendirilmiştir. Bu bağlamda doğruluk, özgüllük, duyarlılık, kesinlik ve F-skor ölçütleri kullanılmıştır. Bu ölçütlere ait matematiksel eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+DN+YP+YN} \quad (1)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP+YP} \quad (2)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (3)$$

$$\text{Özgüllük} = \frac{DN}{DN+YP} \quad (4)$$

$$\text{F - Skor} = \frac{2 * \text{Kesinlik} * \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (5)$$

Burada doğru pozitif (DP), doğru negatif (DN), yanlış pozitif (YP) ve yanlış negatif (YN) değerleri sırasıyla; beklenen cevap doğruyken doğru olarak etiketlenenlerin sayısını, beklenen cevap yanlışken yanlış olarak etiketlenenlerin sayısını, beklenen cevap yanlışken doğru olarak etiketlenenlerin sayısını, beklenen cevap doğruyken yanlış olarak etiketlenenlerin sayısını göstermektedir (Narin, Kaya and Pamuk, 2021). Yapay zekâ uygulamalarında kullanılan modellerin sonuçlarının istatikselden açıdan performans analizi yapılırken birçok parametreden yararlanılmaktadır (Gültepe, 2019). Yapılan çalışmada, tahmin edilen ile gerçek çıkış değerleri arasındaki istatikselden ilişki oranını hesaplayabilmek amacıyla ortalama mutlak hata, kök ortalama kare hatası ve belirleme katsayısı (R^2) değerleri aşağıdaki verilen eşitliklere göre hesaplanmıştır:

$$\text{Kök Ortalama Kare Hatası} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{\zeta=1}^N (t_{\zeta} - g_{\zeta})^2} \quad (6)$$

$$\text{Ortalama Mutlak Hata} = \frac{1}{N} \sum_{\zeta=1}^N |t_{\zeta} - g_{\zeta}| \quad (7)$$

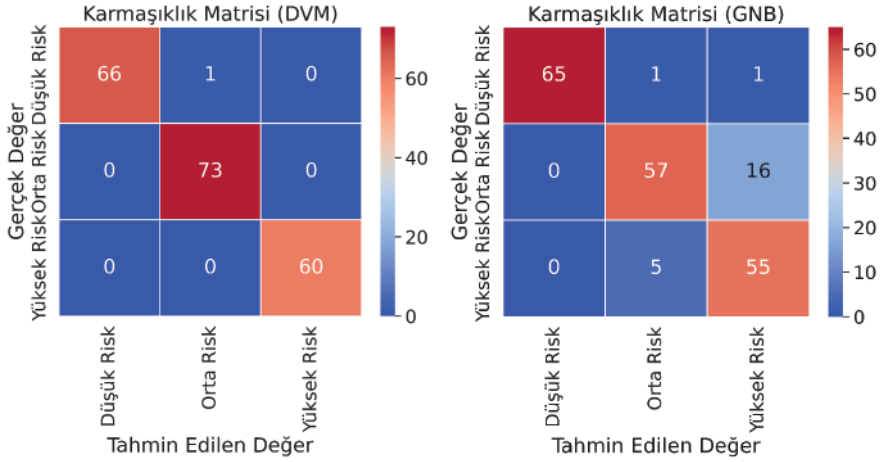
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{\zeta=1}^N (t_{\zeta} - g_{\zeta})^2}{\sum_{\zeta=1}^N g_{\zeta}^2} \quad (8)$$

Burada N örnek sayısını, t_{ζ} ve g_{ζ} ise sırasıyla tahmin edilen ve gerçek (beklenen) algoritma çıkışını temsil etmektedir.

3. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

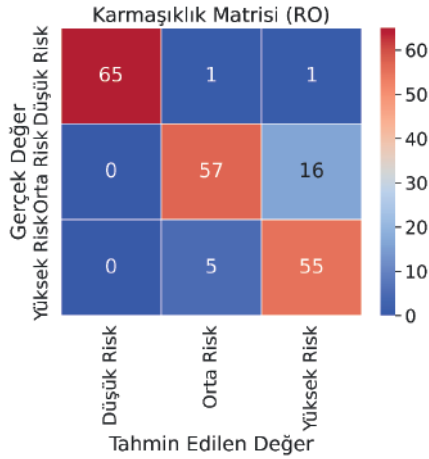
Bu çalışmada, doğrusal destek vektör makinesi (DVM), gauss naive bayes (GNB) ve rastgele orman (RO) makine öğrenme algoritmalarını kullanarak akciğer kanserine yakalanma risk seviyesinin sınıflandırılması Python programında gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de verilen tüm özniteliklerin çalışmaya dahil edildiği veri seti, sınama (hold-out) çapraz doğrulama yöntemi ile %80 (eğitim)-%20 (test) oranında rastgele ayrılmıştır. Daha sonra, ayrılan bu veri setlerinin standart ölçeklendirme yöntemi kullanılarak normalizasyonu yapılmıştır (Hassan, Mollick and Yasmin, 2022). Standart ölçeklendirme veri setini, dağılımın ortalama değeri 0 ve standart sapma 1 olacak şekilde değiştirmiştir. DVM algoritmasında çekirdek (kernel) doğrusal ve RO algoritmasında ise inşa edilecek ağaç sayısı ($n_estimators$) 100 olarak seçilmiştir.

Şekil 1 ve Şekil 2'de sırasıyla DVM, GNB ve RO algoritmalarından elde edilen karmaşıklık matrisleri ve işlem karakteristiği eğrileri (ROC) sunulmuştur. Şekiller incelendiğinde, karmaşıklık matrisleri ile ROC eğrilerinden elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu açıkça görülmektedir.



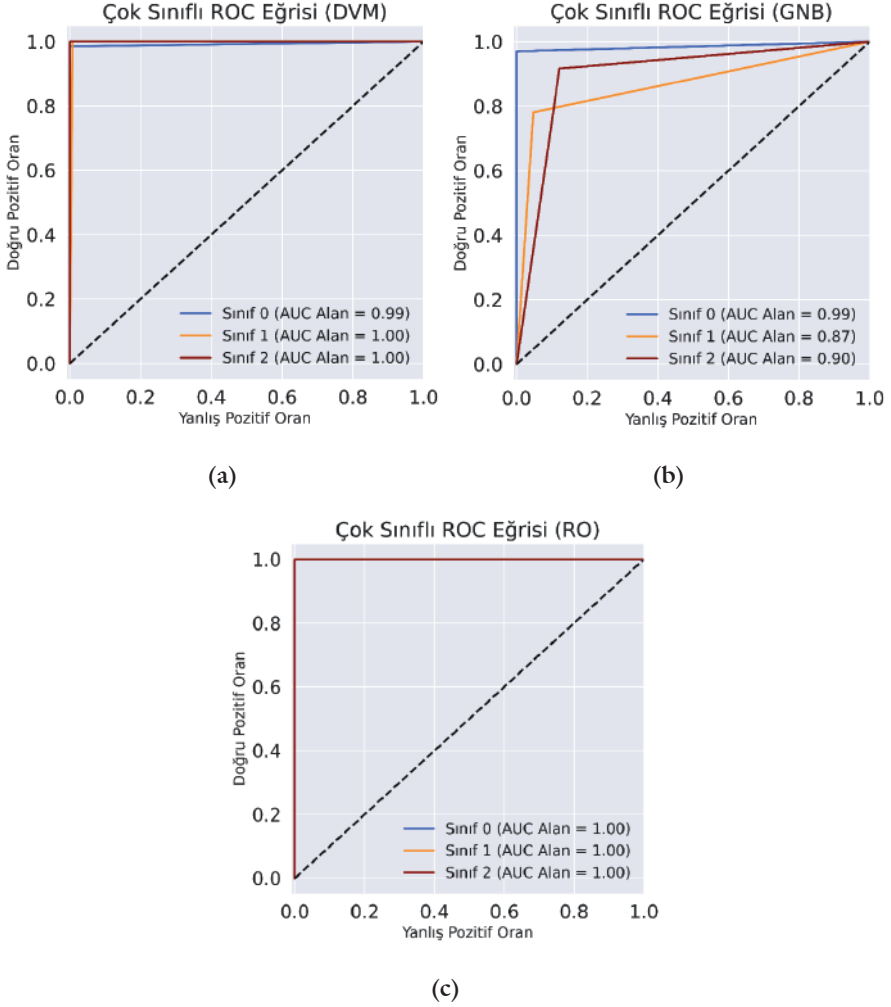
(a)

(b)



(c)

Şekil 1. Makine öğrenmesi algoritmalarından elde edilen karmaşıklık matrisleri (a) DVM (b) GNM (c) RO.



Şekil 2. Makine öğrenmesi algoritmalarından elde edilen işlem karakteristiği eğrileri (ROC) (a) DVM (b) GNM (c) RO.

Şekil 1’de verilen karmaşıklık matrislerinden, kullanılan DVM, GNB ve RO algoritmaları için beş adet sınıflandırma performans metriği (doğruluk, özgüllük, duyarlılık, kesinlik ve F-skor) hesaplanmıştır. İlgili modellerden 3 sınıf için elde edilen sınıflandırma performans sonuçları ayrıntılı olarak sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 2. Üç makine öğrenme algoritmasının performans metrikleri

Makine Öğrenme Algoritmaları	Sınıflar	Özgüllük (%)	Duyarlılık (%)	Kesinlik (%)	F-Skor (%)
DVM	Düşük Risk	100	98,51	100	99,25
	Orta Risk	99,21	100	98,65	99,32
	Yüksek Risk	100	100	100	100
	Ortalama	99,736	99,503	99,55	99,523
GNB	Düşük Risk	100	97,01	100	98,48
	Orta Risk	95,28	78,08	90,48	83,82
	Yüksek Risk	87,86	91,67	76,39	83,33
	Ortalama	94,38	88,92	88,956	88,543
RO	Düşük Risk	100	100	100	100
	Orta Risk	100	100	100	100
	Yüksek Risk	100	100	100	100
	Ortalama	100	100	100	100

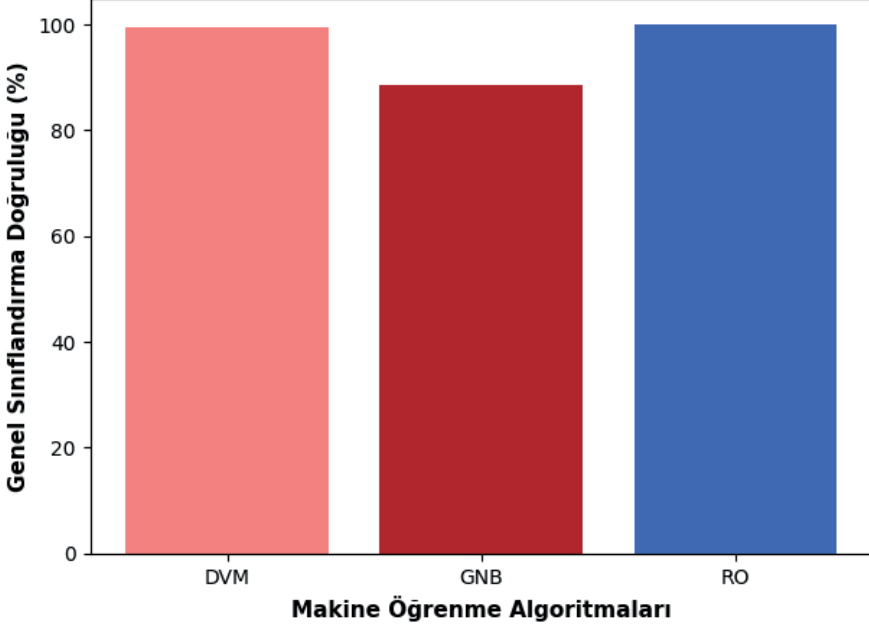
Tablo 3. Test veri setinde üç makine öğrenme algoritmasının performans karşılaştırması

Makine Öğrenme Algoritmaları	Genel Sınıflandırma Doğruluğu (%)	Ortalama Mutlak Hata (OMH)	Kök Ortalama Kare Hatası (KOKH)	Belirleme Katsayısı (R ²)
DVM	99,5	0,005	0,0707	0,9921
GNB	88,5	0,12	0,3605	0,7949
RO	100	0	0	1

Tablo 2 incelendiğinde; RO algoritmasının ortalama sınıflandırma doğruluğunun (%100), özgüllük değerinin (%100), duyarlılık değerinin (%100), kesinlik değerinin (%100) ve F1-skorunun (%100) diğer algoritmalarından elde edilen değerlere göre daha yüksek sınıflandırma başarımı gösterdiği açıkça görülmektedir. Bunun yanı sıra, DVM algoritmasının GNB algoritmasına göre daha yüksek sınıflandırma başarımı gösterdiği de tespit edilmiştir.

Elde edilen bu bulgular ışığında, Tablo 3'te verilen istatistiksel performans analizi sonuçları ve genel sınıflandırma doğruluk değerlerine bakıldığında Tablo 2 ile tutarlı olduğu net bir şekilde görülmektedir. En düşük ortalama

mutlak hata ($OMH=0$), en düşük kök ortalama kare hatası ($KOKH=0$) ve en yüksek belirleme katsayısı ($R2=1$) değeri RO algoritmasından elde edilmiştir. Kullanılan üç makine öğrenme algoritmasından elde edilen genel sınıflandırma doğrulukları çubuk (bar) grafiği ile Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Kullanılan üç makine öğrenme algoritmasının genel sınıflandırma doğrulukları.

KAYNAKÇA

- Anil Kumar, C., Harish, S., Ravi, P., Svn, M., Kumar, B. P., Mohanavel, V., ... & Asfaw, A. K. (2022). Lung cancer prediction from text datasets using machine learning. *BioMed Research International*, 2022.
- Ashwin, S., Ramesh, J., Kumar, S. A., & Gunavathi, K. (2012, December). Efficient and reliable lung nodule detection using a neural network based computer aided diagnosis system. In *2012 International Conference on Emerging Trends in Electrical Engineering and Energy Management (ICETEEEM)* (pp. 135-142). IEEE.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45, 5-32.
- Cai, Z., Xu, D., Zhang, Q., Zhang, J., Ngai, S. M., & Shao, J. (2015). Classification of lung cancer using ensemble-based feature selection and machine learning methods. *Molecular BioSystems*, 11(3), 791-800.
- Celik, A. E., Rasheed, J., & Yahyaoui, A. (2022, September). Machine Learning Approaches for Lung Cancer Prediction. In *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)* (pp. 540-543). IEEE.
- Chauhan, D. & Jaiswal, V. (2016, October). An efficient data mining classification approach for detecting lung cancer disease. In *2016 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)* (pp. 1-8). IEEE.
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks, *machine learning* 20 (3): 273–297 [https://doi.org/10.1007.BF00994018](https://doi.org/10.1007/BF00994018).
- Dandil, E., Çakiroğlu, M., Ekşi, Z., Özkan, M., Kurt, Ö. K., & Canan, A. (2014, August). Artificial neural network-based classification system for lung nodules on computed tomography scans. In *2014 6th International conference of soft computing and pattern recognition (SoCPaR)* (pp. 382-386). IEEE.
- Dritsas, E., & Trigka, M. (2022). Lung Cancer Risk Prediction with Machine Learning Models. *Big Data and Cognitive Computing*, 6(4), 139.
- Faisal, M. I., Bashir, S., Khan, Z. S. & Khan, F. H. (2018, December). An evaluation of machine learning classifiers and ensembles for early stage prediction of lung cancer. In *2018 3rd international conference on emerging trends in engineering, sciences and technology (ICEEST)* (pp. 1-4). IEEE.
- Feng, F., Wu, Y., Wu, Y., Nie, G., & Ni, R. (2012). The effect of artificial neural network model combined with six tumor markers in auxiliary diagnosis of lung cancer. *Journal of medical systems*, 36, 2973-2980.
- Ganesan, N., Venkatesh, K., Rama, M. A., & Palani, A. M. (2010). Application of neural networks in diagnosing cancer disease using demographic data. *International Journal of Computer Applications*, 1(26), 76-85.

- Gant, V., Rodway, S., & Wyatt, J. (2001). Artificial neural networks: practical considerations for clinical applications. *Clinical applications of artificial neural networks*, 329-356.
- Gültepe, Y. (2019). Makine öğrenmesi algoritmaları ile hava kirliliği tahmini üzerine karşılaştırmalı bir değerlendirme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 8-15.
- Hassan, M. M., Mollick, S., & Yasmin, F. (2022). An unsupervised cluster-based feature grouping model for early diabetes detection. *Healthcare Analytics*, 2, 100112.
- Huu-Huy, N. & Hung, L. L. (2022). A Prediction Model for Lung Cancer Levels Based on Machine Learning. *International Journal of Open Information Technologies*, 10(5), 21-29.
- Kaya, U., Yılmaz, A., & Şaykol, E. (2018). Designing a neural network model using k-means clustering for risk analysis of lung cancer disease. *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 11(2), 107-118.
- Lisboa, P. J., & Taktak, A. F. (2006). The use of artificial neural networks in decision support in cancer: a systematic review. *Neural networks*, 19(4), 408-415.
- Nageswaran, S., Arunkumar, G., Bisht, A. K., Mewada, S., Kumar, J. N. V. R., Jawarneh, M., & Asenso, E. (2022). Lung cancer classification and prediction using machine learning and image processing. *BioMed Research International*, 2022.
- Narin, A., Kaya, C. & Pamuk, Z. (2021). Automatic detection of coronavirus disease (covid-19) using X-ray images and deep convolutional neural networks, *Pattern Analysis and Applications*, 24, 1207-1220. doi:10.1007/s10044-021-00984-y.
- Nasser, I. M., & Abu-Naser, S. S. (2019). Lung cancer detection using artificial neural network. *International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS)*, 3(3), 17-23.
- Pavlopoulou, A., Spandidos, D. A., & Michalopoulos, I. (2015). Human cancer databases. *Oncology reports*, 33(1), 3-18.
- Sevli, O. (2019). Göğüs kanseri teşhisinde farklı makine öğrenmesi tekniklerinin performans karşılaştırması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 176-185.
- Sevli, Ö. Ü. O., & Pazar, m. E. Akciğer kanseri verilerinin farklı makine öğrenmesi teknikleri ile sınıflandırılması classification of lung cancer data with different machine learning techniques.
- Siegel, R. L., Miller, K. D., & Jemal, A. (2016). Cancer statistics. *Ca: a cancer Journal for clinicians*. 70(1): 7-30.

- Singh, G. A. P., & Gupta, P. K. (2019). Performance analysis of various machine learning-based approaches for detection and classification of lung cancer in humans. *Neural Computing and Applications*, 31, 6863-6877.
- T.C. Sağlık Bakanlığı Türkiye Halk Sağlığı Kurumu (THSK), Akciğer Kanseri. (2023, May 26). Erişim adresi: <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/kanser-turleri/kanser-turleri/akci%C4%9Fer-kanseri.html>.
- Thallam, C., Peruboyina, A., Raju, S. S. T., & Sampath, N. (2020, November). Early stage lung cancer prediction using various machine learning techniques. In *2020 4th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)* (pp. 1285-1292). IEEE.
- The Devastator. (2023). Lung Cancer Prediction Dataset. (2023, May 10). Retrived from: <https://www.kaggle.com/datasets/thedevastator/cancer-patients-and-air-pollution-a-new-link>.
- Uzun, R., Isler, Y., & Toksan, M. (2018, October). Use of support vector machines to predict the success of wart treatment methods. In *2018 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)* (pp. 1-4). IEEE.
- Wan, Z. (2023). Prediction and Visualization Analysis of Lung Cancer Risk by Machine Learning. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 39, 221-229.
- Wood, A., Shpilrain, V., Najarian, K., & Kahrobaei, D. (2019). Private naive bayes classification of personal biomedical data: *Application in cancer data analysis*. *Computers in biology and medicine*, 105, 144-150.
- World Health Organization (WHO), Cancer. (2023, May 29). Retrived from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>.

Anne Sağlık Durumu Riskinin Makine Öğrenmesi Yöntemleri İle Belirlenmesi¹

Mahmut TOKMAK²

GİRİŞ

Anne sağlığı hamilelik, doğum ve doğumu takip eden dönemde kadınların sağlığını ifade eden bir kavram olarak tanımlanmaktadır. Anne sağlığı sorunları da hamilelik, doğum ve doğum sonrası dönemde ortaya çıkmaktadır. Hamilelik döneminde kadınlar, birçok durumda düşük ve ölüme yol açabilecek sağlık komplikasyonları açısından yüksek risk altındadır. Tüm hamilelikler risk taşısa da, yüksek riskli bir hamilelik ekstra bakım gerektirebilir. Bebeklerin ve kadınların sağlığını korumak için hamilelik aşamasında gözlem altında olmalıdır. Anne ve bebek sağlığını korumak ve ölümleri azaltmak için hamileliğin farklı aşamalarında tıbbi eylemler gereklidir. Doğum sonrası dönemde de hem annenin hem de bebeğin sağlığını izlemek çok önemlidir çünkü her ikisi de ilk dönemde daha yüksek ölüm riski altındadır. Doğum sonrasında yapılan sağlık izlemeleri de semptomların erken tespit edilip tedavi edilmesi açısından önemlidir ve bu da ölüm riskini azaltabilir (Finlayson, Crossland, Bonet, & Downe, 2020; Macrohon, Villavicencio, Inbaraj, & Jeng, 2022; Raza et al., 2022; Turban, King, Kobe, Reisner, & Keuroghlian, 2022).

Gelişen modern dünyada, hamilelik süresince ortaya çıkan komplikasyonların tamamı olmasa da çoğu tedavi edilebilir, hatta önlenabilir niteliktedir. Bununla birlikte, Dünya Sağlık Örgütü'nün raporuna göre 2017 yılında hamilelik sürecinde, doğum sırasında ve doğum sonrasında yaklaşık 295.000 kadın ölmüştür. Bu da her gün yaklaşık 810 kadının

1 Bu çalışma, 2nd International Cumhuriyet Artificial Intelligence Applications Conference'2022'de özet bildiri olarak sunulmuştur.

2 Dr. Öğr. Üyesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Zeliha Tolunay Uygulamalı Teknoloji ve İşletmecilik Yüksekokulu, Yönetim Bilişim Sistemleri, mahmuttokmak@mehmetakif.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0632-4308

hamilelik ve doğumla ilgili önlenemez nedenlerden dolayı hayatını kaybettiği anlamına gelmektedir. Bu ölümlerin %94'ü, düşük ve orta gelirli ülkelerde yaşayan ergenlik çağındaki gençlerde veya yirmi yaşından küçük ergenlerde gerçekleşmiştir (Macrohon et al., 2022; Raza et al., 2022; 'WHO', 2019). Hamile kadınlardaki yaş, yüksek veya düşük kan basıncı, kan şekeri seviyeleri, vücut ısısı ve kalp hızı gibi sağlık faktörleri, gebelik sırasında yüksek düzeyde sağlık sorunlarına neden olabilir ve bu da hem kadının hem bebeğin kaybına yol açabilir. Bu sağlık faktörlerinin, tıp uzmanı tarafından özel ilaçlarla kontrol edilmesi gerekir. Bu nedenle, bu tür sağlık risklerinin erken teşhisi, tıp uzmanlarının bu durumu hafifletmek için uygun önlemleri olarak potansiyel ölüm olasılığının önlenmesinde önemli derecede rol oynamaktadır (Macrohon et al., 2022; Raza et al., 2022).

Dünya sağlık örgütü tarafından paylaşılan rakamlara bakıldığında bu ölümlerin kabul edilemez derecede yüksek olduğu belirtilmektedir. Yaşanan anne ölümlerinin çoğu, sağlık çalışanları tarafından zamanında müdahale ile önlenemez niteliktedir. Önlenemez anne ölümlerinin sona erdirilmesi dünya çapında önem verilmesi gereken bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda anne ölümü riski oluşturabilecek durumların tespiti de oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, anne sağlık durumu riskinin makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. Navie Bayes, Karar Ağaçları, Rastgele Ormanlar (RO), Destek Vektör Makinesi (DVM), XGBoost ve Derin Sinir Ağları (DSA) makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak analizler yapılmış ve performansı karşılaştırılmıştır. Makine öğrenmesi yöntemlerinin performansı Doğruluk, F1-Skor, Kesinlik ve Duyarlılık metrikleri ile değerlendirilip sonuçları ortaya konmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kansızlıktan COVID-19'a kadar birçok hastalık türünü tahmin etmek için farklı makine öğrenimi algoritmaları ve yöntemleri kullanılmıştır. Anne sağlığının önemli olması nedeniyle, birçok araştırmacı makine öğrenimi tekniklerini kullanarak hamilelik sırasındaki sağlık risklerinin tahmin edilmesi için modeller ve yaklaşımlar geliştirmeye yönelmişlerdir. Aynı zamanda makine öğrenimi teknikleri, hamilelik risklerinin tahmininin yanı sıra bebek sağlığını tahmin etme konusunda da kullanılmıştır (Akbulut, Ertugrul, & Topcu, 2018; Metlek & Kayaalp, 2020; Raza et al., 2022).

Tıbbi teşhis ve tahminde makine öğrenimi üzerine yapılan önceki araştırmalara bakıldığında; C4.5 Karar Ağacı, Naive Bayes algoritmaları ile hamilelik risklerini ve hamileliğin normal veya anormal evrelerini

tahmin etmek üzere çalışmalar yapılmıştır (Lakshmi, Indumathi, & Ravi, 2015). Ahmet vd. Bangladeş'te yaptıkları çalışmada bulut tabanlı makine öğrenimi teknikleri kullanılarak hamile kadınların sağlık risk seviyeleri tahmin etmişlerdir (Ahmed, Kashem, Rahman, & Khatun, 2020). Hamile kadınların sağlık durumlarını analiz ederek anne sağlığı risk durumlarını belirlemişlerdir. Giyilebilir algılama cihazları kullanılarak çok sayıda kaynaktan toplam 1014 örnek toplamışlar ve bu örnekleri "Maternal Health Risk Data Set" (MHRDS) adı altında paylaşmışlardır. Kullandıkları yöntemleri gerçekleştirmek için Python ve WEKA kullanmışlardır. Anne sağlığı risk seviyelerini, tıp uzmanlarının yardımıyla düşük riskli, orta riskli ve yüksek riskli olarak ayırmışlardır. Yaş, kan basıncı ve kan şekeri gibi sağlık faktörlerini, risk seviyesini belirlemek için anahtar faktörler olarak tanımlamışlardır (Ahmed & Kashem, 2020). Diamantoulaki vd. MHRDS veri kümesini kullanmışlar ve anne sağlığı riskini belirlemede, beş risk faktörünü dikkate almışlardır. Vücut sıcaklığı (BodyTemp) özneliğinin ExtraTreesClassifier kullanarak yaptıkları analizde risk faktörleri açısından öznelik öneminin diğer özneliklere göre çok düşük olduğundan bu özneliği deneysel çalışmalarında kullanmamışlardır. Çalışmalarında federe öğrenme yöntemi ile tahminleme yapmışlardır (Diamantoulaki, Diamantoulakis, Bouzinis, Sarigiannidis, & Karagiannidis, 2022). Raza vd. çalışmalarında, öznelik seçimi Karar Ağacı, çift yönlü uzun kısa süreli bellek (Bidirectional long short term memory (BiLSTM) ve geçici evrimsel sinir ağları (temporal convolutional network (TCN)) tabanlı öznelik seçimi önermişlerdir. Çalışmalarında sınıf dengesizliğini gidermek için SMOTE sentetik veri artırma yöntemini kullanmışlardır. Önerilen DT-BiLTCN öznelik seçimi yapıldıktan sonra Karar Ağacı, Lojistik Regresyon, Ekstra Ağaç, K- En Yakın Komşu, RO ve DVM yöntemleri ile kullanarak deneyler yapmışlardır (Raza et al., 2022).

3. MATERYAL VE METOT

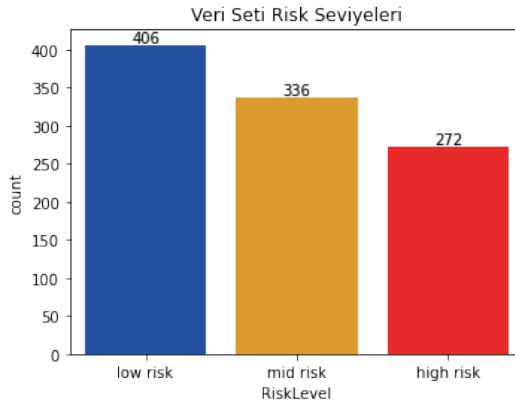
Çalışmada UCI Machine Learning'den alınan «Maternal Health Risk» veri seti kullanılmıştır (Dua, Dheeru & Graff, Casey, 2017). Bu veri seti Ahmet vd. Bangladeş'te yaptıkları bir çalışma sonucunda yayınlanmıştır. Veri seti birden fazla kaynaktan toplanan 1014 örnekten ve 6 öznelikten oluşmaktadır. Anne sağlığı risk seviyeleri, tıp uzmanlarının yardımıyla düşük riskli, orta riskli ve yüksek riskli olarak ayrılmıştır.

Tablo 1. Öznelikler ve istatistiksel veriler

	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
Age	1014	29.9	13.5	10.0	19.0	26.0	39.0	70.0
SystolicBP	1014	113.2	18.4	70.0	100.0	120.0	120.0	160.0
DiastolicBP	1014	76.5	13.9	49.0	65.0	80.0	90.0	100.0
BS	1014	8.7	3.3	6.0	6.9	7.5	8.0	19.0
BodyTemp	1014	98.7	1.4	98.0	98.0	98.0	98.0	103.0
HeartRate	1014	74.3	8.1	7.0	70.0	76.0	80.0	90.0

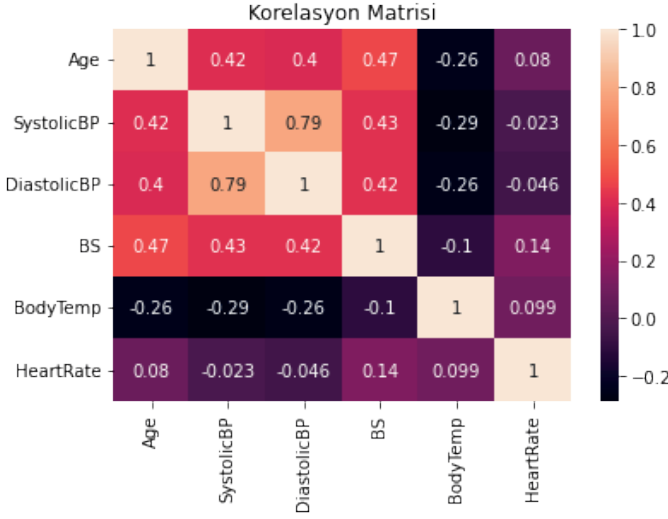
Tablo 1’de verilen özneliklerin açıklaması aşağıda verilmiştir.

- Age: Yaş.
- Systolik BP: Kan Basıncının mmHg cinsinden üst değeri.
- DiastolicBP: Düşük Kan Basıncı değeri.
- BS: Kan şekeri seviyeleri
- BodyTemp: Vücut sıcaklığı
- HeartRate: Kalp Atış Hızı



Şekil 1. Veri seti risk seviyeleri ve sayıları

Veri seti içinde anne sağlık durumu risk seviyeleri Şekil 1’de gösterildiği üzere yüksek risk, düşük risk ve orta risk olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır.



Şekil 2. Korelasyon matrisi

Veri seti içinde anne sağlık durumu risk seviyeleri Şekil 1’de gösterildiği üzere yüksek risk, düşük risk ve orta risk olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır.

Tahmin özneliklerinin Şekil 2’de gösterilen korelasyonlarına bakılıp, korelasyonu düşük olan değişkenler veri setinden çıkarılarak yapılan analizlerden sonra, “HeartRate” özneliğinin hamile kadınların sağlık risklerini belirlemede daha az yardımcı olduğu sonucuna varıldı. Bu nedenle, bu öznelik veri setinden kaldırılarak sınıflandırmalar yapılmıştır. Veri seti için SMOTE-ENN metodu kullanılarak veri seti dengesizliği giderilmiştir.

Çalışmada kullanılan algoritmalar ve deneysel analizlerde kullanılan parametreler aşağıda özetlenmiştir.

Naive Bayes sınıflandırma Bayes teoremine dayanan bir yöntemdir. Algoritma tahmin edilecek sınıf elemanı için her durumun olasılığını hesaplar ve olasılığı en yüksek çıkan değeri seçerek sınıflandırma işlemini yerine getirir (Berrar, 2018).

Karar ağaçları, niteliklerin temsil edildiği düğümler, dal ve yapraklardan oluşmaktadır. Karar ağaçları ile sınıflandırmada en üst yapı kök düğüm ile başlar. En son yapı ise yapraklardan oluşur. Kök ile yapraklar arasında kalan yapılar ise dal olarak adlandırılmaktadır. Niteliklerin değerine göre düğümler alt dallara ayrılır, bu süreç yaprak elde edilinceye kadar devam eder. Burada düğümler; test işlemine tabi tutulan nitelikleri gösterir, dallar ise teste tabi

tutulan düğümlerin sonuçlarını gösterir. Yapraklar ise veri setindeki bir karar sınıfını temsil etmektedir (Diler, 2016).

DSA, yapay sinir ağları alanında önemli bir yer tutan ve son yıllarda büyük ilgi gören bir makine öğrenimi yöntemidir. DSA, biyolojik sinir sistemlerinden esinlenerek, yapay sinir ağları modelinin çok katmanlı ve karmaşık versiyonlarıdır. DSA, çok katmanlı yapılara sahiptir. Bu katmanlar giriş katmanı (input layer), gizli katmanlar (hidden layers) ve çıkış katmanı (output layer) olarak adlandırılır. Her bir katman, bir veya daha fazla yapay sinir hücresinden oluşur. Bu hücreler, gelen verileri işleyerek ağırlıklı toplamı hesaplar ve ardından bir aktivasyon fonksiyonu uygular. DSA'nın öğrenme süreci, genellikle iki aşamadan oluşur: ileri yayılım (forward propagation) ve geri yayılım (backpropagation). İleri yayılım, verinin ağa girişinden başlayarak, her katmandan geçerek çıkış katmanına kadar ilerlemesini sağlar. Bu süreçte, her katmanda hesaplanan çıktılar, bir sonraki katmana aktarılır. Geri yayılım, ağırlık çıkışında elde edilen tahminlerin gerçek değerlerle karşılaştırılmasıyla başlar. Bu karşılaştırma sonucunda bir hata (loss) değeri elde edilir. Ardından, hata değeri, geriye doğru katmanlara yayılır ve her bir katmanda ağırlık güncellemeleri yapılır. Bu güncellemeler, gradyan iniş (gradient descent) yöntemiyle gerçekleştirilir ve hata değerini minimize etmeyi hedefler. DSA'nın her katmanında ele alınan problemle ilgili çıkarılan öznitelikler öğrenilmekte ve söz konusu katmanda öğrenilen öznitelikler, kendisinden sonra gelen katman için girdi değerlerini oluşturmaktadır. Böylece ilk katmandan başlayarak son katmana doğru özniteliklerin öğrenilerek devam edildiği bir ağ yapısı oluşturulmuş olmaktadır (Kemaloğlu, Aydoğan, & Küçüksille, 2021; LeCun, Bengio, & Hinton, 2015; Schmidhuber, 2015).

RO algoritması topluluk öğrenme algoritmalarından biridir. Topluluk öğrenme metotları, farklı modelleri birleştirerek sonuçları iyileştirmeyi amaçlar. RO orman algoritması birden fazla karar ağaçlarının birleşiminden elde edilmektedir. Algoritmanın ilk adımında, veri seti rastgele alt kümeler (örneklemeler) oluşturmak için bootstrap örnekleme yöntemiyle bölünür. Her alt küme, bir karar ağacının eğitimi için kullanılır. Karar ağaçları, özellikle karar düğümlerindeki özelliklerin rastgele seçimleriyle birlikte büyütülür. Bu, her bir ağacın farklı bir özellik seti üzerinde eğitilmesini sağlar. Tahmin yapılırken, her bir ağacın çıktıları bir araya getirilir. Sınıflandırma problemlerinde, RO genellikle çoğunluk oyu yöntemiyle tahmin yapar. Yani, tüm ağaçların tahminleri arasında en çok oy alan sınıfı tahmin olarak seçer. Regresyon problemlerinde ise ağaçların tahminleri ortalama değer alınarak birleştirilir (Biau, Devroye, & Lugosi, 2008).

DVM sınıflandırma ve regresyon problemlerinde etkili bir şekilde kullanılan bir makine öğrenimi algoritmasıdır. DVM, veri noktalarını hiper uzaylarda ayıran bir hiper düzlemi bulma amacıyla çalışır. Bu hiper düzlem, veri noktalarını sınıflara ayırmak ve yeni örnekleri doğru bir şekilde sınıflandırmak için kullanılır. DVM'nin çalışma prensibi, iki sınıf arasında en geniş marjini (margin) olan bir hiper düzlemi bulmaktır. Marj, sınıflar arasındaki en yakın veri noktalarının uzaklığını ifade eder. SVM, bu marjini maksimize etmek için optimal bir hiper düzlemi bulur. Buna "maksimum marjinli sınıflandırma" denir. Ancak, bazı veri setleri doğrusal olarak ayrılabilir. Bu durumda, DVM, kernel fonksiyonları kullanarak veri noktalarını daha yüksek boyutlu uzaylara dönüştürür. Bu, veri setinin doğrusal olarak ayrılabilir hale gelmesini sağlar. Örneğin, veri seti iki boyutlu iken, DVM bir kernel fonksiyonu yardımıyla veri noktalarını üç boyuta veya daha yüksek boyutlara taşıyabilir ve bu yeni uzayda doğrusal olarak ayrılabilir bir hiper düzlem bulabilir (Nagendra, Gude, Sampath, Corns, & Long, 2017; Özkan, 2008; Piser & Schnyer, 2020).

XGBoost, Chen ve Guestrin tarafından geliştirilen bir topluluk ağacı algoritmasıdır (Chen & Guestrin, 2016). Friedman'ın gradyan artırma algoritmasına dayalı olarak geliştirilmiştir (Friedman, 2001; Zhou, Qiu, Khandelwal, Zhu, & Zhang, 2021). XGBoost, tahmin performansı tek başına kullanılan bireysel tekniklerden daha iyi olan, birleştirilmiş bir model üretmek için karar ağaçlarının verimli bir şekilde uygulanmasından oluşan kolektif bir modeldir.

Makine öğrenme yöntemleri ile sınıflandırma için kurulan modellerin tasarımı Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan algoritmaların eğitilmesi ve test edilmesi işlemleri için Google Colaboratory ya da kısaca Colab bulut platformu kullanılmıştır. ('Google Colaboratory', 2022). Model üzerinde yapılan deneylerde veri setinin %80'i eğitim, %20'si test için ayrılmıştır. XGBoost sınıflandırıcı için Python xgboost kütüphanesi ve "default" parametreler kullanılmıştır. Naive Bayes, DVM algoritmaları için Python sklearn kütüphanesi kullanılmıştır. DSA sınıflandırıcı için Python Keras kütüphanesi kullanılmıştır. Kurulan DSA modeli 5 düğümden oluşan 1 giriş katmanı, 2 adet 20 düğümden oluşan gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu olarak Rectifier Lienar Units (RELU) kullanılmıştır. Çıkış katmanında kullanılan aktivasyon fonksiyonu ise softmax'tır. Loss parametresi categorical_crossentropy, optimizer parametresi adam, batch_size 16, epoch parametresi ise 1000 olarak ayarlanmıştır. RO algoritmasında n_estimators 50, criterion "gini" olarak ayarlanmıştır. DVM algoritmasında çekirdek fonksiyonu rbf (Radial

basis function) kullanılmıştır. Diğer algoritmalarda “default” parametreler kullanılmıştır.

Yapılan literatür araştırmasında sınıflandırma için Doğruluk, Kesinlik, F1-Skoru ve Duyarlılık ölçütlerinin kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu nedenle çalışmada literatürde yaygın olarak kullanılan Denklem 1-4 arasında verilen performans ölçütleri kullanılmıştır (Metlek, 2021; Metlek & Kayaalp, 2021).

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP+TN}{TP+FN+FP+TN} \quad (1)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

$$\text{F1-Skor} = 2 \times \frac{\text{kesinlik} \times \text{duyarlılık}}{\text{kesinlik} + \text{duyarlılık}} \quad (4)$$

Denklem 1-3 arasında kullanılan;

TP (True Possitive) kısaltması, sistemin üretmiş olduğu sınıf bilgisinin ve gerçekteki sınıf bilgisinin de doğru olarak ifade edildiği durumu gösterir.

TN (True Negatif) kısaltması; Sistemin ve gerçek değerın yanlış sınıf bilgisini gösterdiği durumu ifade eder.

FP (False Pozitif) kısaltması; Sistemin doğru sınıf bilgisini üretmesine rağmen gerçekte yanlış olan sınıf bilgisini ifade eder.

FN (False Negatif) kısaltması; Sistemin yanlış sınıf bilgisi üretmesine rağmen gerçekte doğru olan sınıf bilgisini ifade eder.

Tablo 2. Sınıflandırma performans ölçütleri

Algoritmalar	Doğruluk	Kesinlik	f1-Skoru	Duyarlılık
Naïve Bayes	0.6875	0.68711	0.662239	0.668899
DVM	0.81875	0.786692	0.790552	0.799046
RO	0.91875	0.902022	0.902167	0.903001
DSA	0.93750	0.923259	0.927410	0.933214
XGBoost	0.93751	0.925714	0.928586	0.932174
Karar Ağacı	0.96875	0.962963	0.966253	0.97231

Yapılan deneysel analizler sonucunda elde edilen performans metrikleri Tablo 2’de gösterilmiştir. Kullanılan algoritmalar içinde en düşük performansı Naive Bayes algoritması gösterirken en yüksek doğruluk değeri Karar Ağacı sınıflandırma yöntemi ile elde edilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada anne sağlık durumu riski makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Karar Ağacı yönteminin diğer makine öğrenmesi yöntemlerine göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Karar Ağaçları ile %96.88 oranında doğruluk değerine ulaşılmıştır.

Makine öğrenme yöntemlerinin bir karar destek sistemi olarak anne sağlık durumu riskinin belirlenmesinde kullanılabileceği kanaati oluşmuştur. Bununla birlikte anne sağlık durumu riskinin belirlenmesinde makine öğrenme modellerinin otomatik ve doğru olarak ilerletilebilmesi ve geliştirilmesi için sağlık uzmanlarının rehberliğinde mevcut verilerin yanı sıra farklı bulgular ve/veya tıbbi görüntüleme cihazlarından alınan veriler ile birleştirildiği yüksek kaliteli veri kümeleri ile çalışmaların yapılması faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Ahmed, M., & Kashem, M. A. (2020). IoT based risk level prediction model for maternal health care in the context of Bangladesh. *2020 2nd International Conference on Sustainable Technologies for Industry 4.0 (STI)*, 1–6. Dhaka, Bangladesh: IEEE.
- Ahmed, M., Kashem, M. A., Rahman, M., & Khatun, S. (2020). Review and analysis of risk factor of maternal health in remote area using the Internet of Things (IoT). In *InECCE2019, LNEE* (Vol. 632, pp. 357–365). Singapore: Springer.
- Akbulut, A., Ertugrul, E., & Topcu, V. (2018). Fetal health status prediction based on maternal clinical history using machine learning techniques. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 163, 87–100.
- Berrar, D. (2018). Bayes' theorem and naive Bayes classifier. *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology: ABC of Bioinformatics*, 403.
- Biau, G., Devroye, L., & Lugosi, G. (2008). Consistency of random forests and other averaging classifiers. *Journal of Machine Learning Research*, 9(9).
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016). Xgboost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd Acm Sigkdd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794. San Francisco California, USA. (San Francisco, California, USA).
- Diamantoulaki, I., Diamantoulakis, P. D., Bouzinis, P. S., Sarigiannidis, P., & Karagiannidis, G. K. (2022). Health Risk Assessment with Federated Learning. *2022 International Balkan Conference on Communications and Networking (BalkanCom)*, 57–61. IEEE.
- Diler, S. (2016). Veri madenciliği süreçleri ve karar ağaçları algoritmaları ile bir uygulama. *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*.
- Dua, Dheeru, & Graff, Casey. (2017). UCI Machine Learning Repository. *University of California, Irvine, School of Information and Computer Sciences*. Retrieved from <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/cardiocography>
- Finlayson, K., Crossland, N., Bonet, M., & Downe, S. (2020). What matters to women in the postnatal period: A meta-synthesis of qualitative studies. *PLOS ONE*, 15(4), e0231415. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231415>
- Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. *Annals of Statistics*, 29(5), 1189–1232.
- Google Colaboratory. (2022). Retrieved 10 August 2022, from Colaboratory website: <https://colab.research.google.com/>
- Kemaloğlu, N., Aydoğan, T., & Küçükşille, E. U. (2021). 3 Deep learning approaches in metastatic breast cancer detection. *Artificial Intelligence for Data-Driven Medical Diagnosis*, 3, 55.

- Lakshmi, B. N., Indumathi, T. S., & Ravi, N. (2015). A comparative study of classification algorithms for predicting gestational risks in pregnant women. *2015 International Conference on Computers, Communications, and Systems (ICCCS)*, 42–46. IEEE.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, *521*(7553), 436–444.
- Macrohon, J. J. E., Villavicencio, C. N., Inbaraj, X. A., & Jeng, J.-H. (2022). A Semi-Supervised Machine Learning Approach in Predicting High-Risk Pregnancies in the Philippines. *Diagnostics*, *12*(11), 2782.
- Metlek, S. (2021). Disease detection from cassava leaf images with deep learning methods in web environment. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, *5*(3), 625–644.
- Metlek, S., & Kayaalp, K. (2020). Otistik Spektrum Bozukluğunun Makine Öğrenme Algoritmaları ile Tespiti. *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications*, *3*(2), 60–68.
- Metlek, S., & Kayaalp, K. (2021). Detection of bee diseases with a hybrid deep learning method. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, *36*(3), 1715–1731.
- Nagendra, V., Gude, H., Sampath, D., Corns, S., & Long, S. (2017). Evaluation of support vector machines and random forest classifiers in a real-time fetal monitoring system based on cardiotocography data. *2017 IEEE Conference on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology (CIBCB)*, 1–6. Manchester, United Kingdom: IEEE. <https://doi.org/10.1109/CIBCB.2017.8058546>
- Özkan, Y. (2008). *Veri madenciliği yöntemleri*. Papatya Yayıncılık Eğitim. Retrieved from <https://books.google.com.tr/books?id=kKsicgAACAAJ>
- Pisner, D. A., & Schnyer, D. M. (2020). Chapter 6—Support vector machine. In A. Mechelli & S. Vieira (Eds.), *Machine Learning* (pp. 101–121). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815739-8.00006-7>
- Raza, A., Siddiqui, H. U. R., Munir, K., Almutairi, M., Rustam, F., & Ashraf, I. (2022). Ensemble learning-based feature engineering to analyze maternal health during pregnancy and health risk prediction. *Plos One*, *17*(11).
- Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*, *61*, 85–117.
- Turban, J. L., King, D., Kobe, J., Reisner, S. L., & Keuroghlian, A. S. (2022). Access to gender-affirming hormones during adolescence and mental health outcomes among transgender adults. *PLOS ONE*, *17*(1), e0261039. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261039>
- WHO. (2019). Retrieved 11 March 2022, from WHO website: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/maternal-mortality>

Zhou, J., Qiu, Y., Khandelwal, M., Zhu, S., & Zhang, X. (2021). Developing a hybrid model of Jaya algorithm-based extreme gradient boosting machine to estimate blast-induced ground vibrations. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 145, 104856. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2021.104856>

Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Hamilelik Risk Tahmini

Tuğba PALABAŞ¹

Ceren KAYA²

GİRİŞ

Doğum süreçleri her yıl dünya çapında milyonlarca anne ve çocuğun sağlığını doğrudan etkilemektedir. Gebelik ve sonraki dönemlerde meydana gelen komplikasyonlar özellikle gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerde başlıca ölüm ve sakatlık nedeni olmaktadır (“UNICEF”, 2023; WHO vd., 2010; Balkaya vd., 2014). Dünya Sağlık Örgütü’nün yayınladığı son rapor, hamile kadınların, annelerin ve bebeklerin erken ölüm oranlarının azaltılmasında 2015 yılından bu yana önemli bir ilerleme sağlanmadığını göstermektedir.

Rapora göre her yıl yaklaşık 290 bin anne ölümü, 1,9 milyon ölü doğum ve 2,3 milyon yeni doğan ölümü gerçekleşmektedir (“UNICEF”, 2023). Bununla birlikte 2015’te Türkiye’de yapılan Ulusal Anne Ölümü araştırmasına göre anne ölüm oranı 100.000 canlı doğumda 14.6, 2018’de 13.6, 2019’da 13.1 olarak belirlenmiştir. Bu kayıpların çoğu gebelik ve öncesindeki süreçte, risk faktörlerinin belirlendiği, komplikasyonların önlenmediği ve devamında uygun bakım sağlandığı takdirde tedavi edilebilir nedenlerden kaynaklanmaktadır (“HSGM, 2023”; Yurtsal vd., 2020). Bu tespitler ışığında, Türkiye Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri kapsamında 2030’a kadar küresel anne ölüm oranının her 100.000 doğumda 70’in altına düşürülmesi amaçlanmaktadır (“SBB”, 2023; Özsezer vd., 2023).

1 Arş. Gör. Dr., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye, e-mail: tugba.palabas@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6985-6494.

2 Dr. Öğr. Üyesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye, e-mail: ceren.kaya@beun.edu.tr, crnkaya@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-1970-2833.

Hamile kadınlarda yaş, vücut sıcaklığı, kalp atım oranı, sistolik kan basıncı, diyastolik kan basıncı, vücut kitle indeksi, kan şekeri seviyesi gibi faktörlerdeki bozukluklar hamilelik sırasında bazı komplikasyonlara neden olabilmektedir. Bu durum hem kadının hem de çocuğun ölümü ile sonuçlanabilmektedir. Ölüm oranlarının düşürülmesi konusunda belirlenen hedeflere ulaşılabilmesi için bu risk faktörlerinin, tıp uzmanları tarafından kontrol edilmesi gerekmektedir. Böylece, olası risklerin erken tahmini, gebelikle ilgili komplikasyon olasılığını ve ölüm oranını azaltmak için uygun önlemlerin alınmasında etkin bir rol oynayabilmektedir (Aydemir vd., 2014; Aydın 2022).

Bu bağlamda, son yıllarda, tahmine dayalı modelleme olarak da adlandırılan makine öğrenmesi (MÖ) algoritmaları hamilelik risk tahmininde sıklıkla kullanılmaktadır (Ahmed vd., 2020. Örneğin Raza vd. “Kaggle” veri tabanındaki “Maternal Health” verisini kullanarak risk tahmini için yapay sinir ağı tabanlı bir sistem önermektedir. Bunun için Karar Ağaçları (KA), Çift Yönlü Uzun Kısa Süreli Bellek (ÇYUKSB) ve Zamansal Evrimsel Ağ (ZEA) yöntemlerini içeren bir model ortaya koymuşlardır ve KA-ÇYUZZEA olarak adlandırdıkları bu yöntem ile %98 doğrulukla sınıflandırma başarımları elde etmişlerdir (Raza vd., 2022). Daha güncel bir veri seti kullanarak Özsezer ve Mermer anne ölümlerini azaltmak için makine öğrenimi algoritmaları ile gebelikte sağlık risklerini tahmin etmek için Lojistik Regresyon (LR), K-en yakın komşu (K-EYK), Destek Vektör Makinesi (DVM), Yapay Sinir Ağları (YSA), Sınıflandırma ve Regresyon Ağacı (SRA), Rastgele Orman (RO), Gradyan Artırma Makinesi (GAM), Aşırı Gradyan Artırma (AGA), Hafif Gradyan Artırma (HGA) ve Kategori Artırma (KA) metodlarını doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-skoru performans metriklerine göre karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir. Yazarlar, HGA ve KA sınıflandırıcıların %88 oranındaki doğrulukla en yüksek tahmin değerini sağladığını göstermişlerdir [9]. Benzer şekilde, Nirmala ve Kamblı de hamile bir kadının risk düzeyini izlemek ve tahmin etmek için anne sağlığına ilişkin “UCI” makine öğrenmesi kitaplığından alınmış verileri 4 farklı sınıflandırma yöntemi ile kullanarak analiz etmişler ve Uyarlanabilir Yükseltme (UY) algoritmasının %96 işlem karakteristiği eğrileri (ROC) değeri ile en iyi performansı sergilediğini ifade etmişlerdir. Ardından aynı veri seti üzerinde 5 farklı sınıflandırma yönteminin başarısını araştırdıklarında RO sınıflandırıcısının %96 doğruluk oranı ile risk tahmininde en etkin model olduğunu göstermişlerdir (Kamblı vd., 2022; Nirmala vd. 2023). İslam vd. ise optimal doğum şeklini tahmin edebilmek ve doğum sürecinde meydana gelebilecek komplikasyonları belirleyebilmek amacıyla makine öğrenimi tekniklerini kullanan mevcut çalışmaların amaçlarını veya odak noktalarını vurgulayan bir derleme ortaya koymuştur

(Islam vd. 2022). Başka bir çalışmada, Rawashdeh vd. 37 haftalık gebelikten önce doğum olarak tanımlanan prematüre doğum riski ile ilgili kronolojinin tanımlanması ve yenidoğan (neonatal) komplikasyonların azaltılması amacıyla KA, RO, K-EYK ve Sinir Ağrı (SA) kullanarak erken doğum riskini tahmin etmişlerdir (Rawashdeh vd., 2020). Benzer şekilde Chen vd. Ulusal Tayvan Üniversitesi'ndeki profesyonel bir araştırma grubu tarafından olası bir gebelik kohortundan toplanmış olan tıbbi verileri kullanarak SA ve C5.0 KA algoritmalarının erken doğumla ilişkili risk faktörlerini tahmin etmedeki performansını araştırmışlardır (Chen vd., 2011). Dahası, Lakshmi vd. de gebelik döneminde ortaya çıkan komplikasyonların önlenmesi, anne ve bebek ölümlerinin büyük ölçüde azaltılmasına yardımcı olan tıbbi teşhis alanında yapılacak teknolojik müdahalelere katkı sağlamak amacıyla C4.5 KA algoritmasına dayalı bir sınıflandırma yöntemi önermişlerdir (Lakshmi vd., 2016).

Yukarıda ifade edilen tüm çalışmaların ortak amacı hamilelik sırasında meydana gelebilecek sağlık risklerinin tespit edilmesini ve tedavi sürecinin hızlı bir şekilde başlatılmasını sağlamaktır. Aynı motivasyon ile bu çalışmada da farklı MÖ yöntemlerinin performansları analiz edilmiş ve en yüksek doğruluk oranını sağlayan bir yöntem önerilmiştir. Bunu yapmak için ilk olarak Naive Bayes (NB), K-EYK, C4.5 KA ve RO olmak üzere 4 farklı sınıflandırıcının başarımı doğruluk, kappa katsayısı, kök ortalama kare hatası (KOKH) ve ROC performans kriterlerine göre analiz edilmiştir. Ardından daha az zaman ve bellek ihtiyacı ile başarıyı daha da artırmak için korelasyon tabanlı öznelik seçme yöntemi (CFS) algoritması uygulanmıştır. Buna göre veri setinden “Hasta Kimliği” ve “Hasta İsmi” öznelikleri çıkarılarak elde edilen indirgenmiş veriler kullanıldığında tüm sınıflandırıcı performansları 10 kat çapraz doğrulama yöntemine dayalı olarak yeniden elde edilmiş ve RO sınıflandırıcısı ile %99,16’lık en iyi sınıflandırma başarımı elde edilmiştir.

Önerilen yöntemin hamilelik sürecinde meydana gelebilecek risk seviyelerinin tespit edilmesinde sağlık uzmanlarına yardımcı olabileceği düşünülmektedir. Çalışmada, Bölüm 2’de veri seti ve kullanılan MÖ algoritmaları hakkında detaylı bilgiler verilirken, Bölüm 3’te elde edilen bulgular sunulmuştur. Son olarak, Bölüm 4’te ise kullanılan tüm MÖ algoritmalarının hamilelik sürecinde meydana gelebilecek risk seviyelerini sınıflandırmadaki başarımları kıyaslanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Veri Seti

Bu çalışmada hamilelik riskini tahmin etmek için, makine öğrenmesi (MÖ) yöntemlerine dayalı bir sınıflandırma modeli önerilmektedir. Bunun için “Kaggle” veritabanından alınmış olan 11 öznitelige sahip ve 6103 örnek içeren “Pregnancy Risk Prediction” veri seti kullanılmaktadır (Mohammad Mobarak Hossain, 2023). Hamilelik risk faktörlerini dikkate alarak oluşturulmuş bu veri setinde, düşük risk, orta risk ve yüksek risk, olarak belirlenmiş üç risk kategorisi vardır. Risk faktörleri ve ilgili özniteligin değer tipi Tablo 1’de gösterilmiştir. Çalışmada yapılan analizler “Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA)” MÖ yazılımı ve “Python” programlama dili kullanılarak elde edilmiştir.

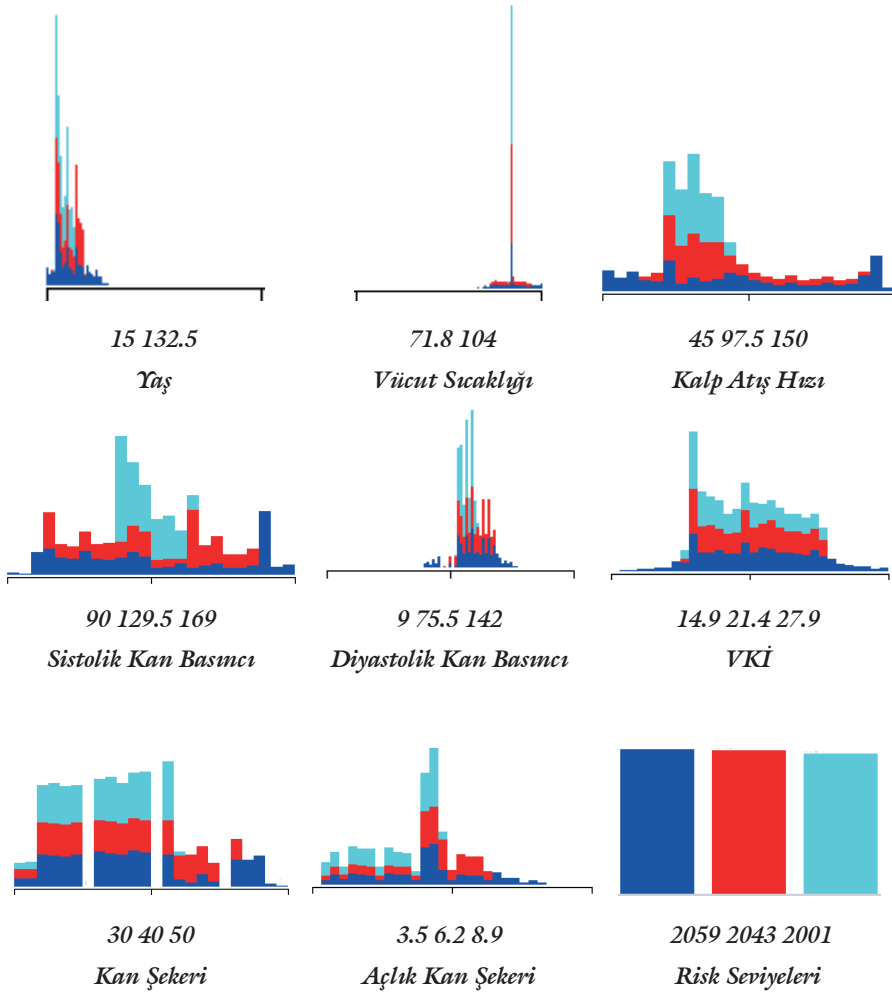
Tablo 1. “Pregnancy risk prediction” veri seti için tanımlanan öznitelikler ve veri tipleri

Öznitelikler	Veri Tipi
Hasta Kimliği	Sayısal
Hasta İsmi	Kategorik
Hastanın Yaşı	Sayısal
Vücut Sıcaklığı (°F)	Sayısal
Kalp Atış Hızı (bpm)	Sayısal
Sistolik Kan Basıncı (mm Hg)	Sayısal
Diyastolik Kan Basıncı (mm Hg)	Sayısal
Vücut Kitle İndeksi (kg/m ²)	Sayısal
Kan Şekeri (HbA1c)	Sayısal
Açlık Kan Şekeri (mg/dl)	Sayısal
Risk Seviyeleri (Düşük/Orta/Yüksek Risk)	Kategorik

Tablo 1’de verilen “Hasta Kimliği”, her hasta için belirlenen sembolik bir numara ve “Hastanın Yaşı” kadının hamile kaldığındaki yaş bilgisidir. “Vücut Sıcaklığı” istirahat halinde iken ağız ya da koltuk altından ölçülebilen Fahrenheit cinsinden vücut sıcaklığı derecesidir. “Kalp Atış Hızı”, kalbin bir dakikadaki atım sayısıdır. Diğer iki öznitelik “Sistolik ve Diyastolik Kan Basıncı”, sırasıyla mmHg cinsinden kan basıncının en yüksek ve en düşük değeridir. “Vücut Kitle İndeksi (VKİ)” kişinin sahip olduğu yağ miktarını

tahmin etmek için boyun kiloya oranını ifade eden tıbbi bir tarama aracıdır. “Kan Şekeri” (HbA1c) Tip 1 ve Tip 2 diyabetini teşhis etmek için, “Açlık Kan Şekeri” aç iken ölçülen kandaki glikoz seviyesini belirlemek için kullanılan risk parametreleridir.

Şekil 1’de her bir sayısal değer içeren öznitelik için dağılım grafiği gösterilmiştir. Burada turkuaz düşük seviye, kırmızı orta seviye, mavi yüksek seviye riski temsil etmektedir. Buna göre 15-132.5 aralığındaki yaş histogram grafiğinden küçük yaşlarda risk oranının düşük olduğu ancak 30 yaşından itibaren orta seviye risk oranının, 35 yaşından itibaren de yüksek seviye risk oranının arttığı anlaşılmaktadır. 71,8-104°F aralığındaki vücut sıcaklığı grafiğinde örnek değerlerinin 98,83°F yani 37,12°C etrafında yoğunlaştığı ve risk oranının bu seviyelerde daha düşük olduğu ancak 85-101°F aralığı dışında risk oranının arttığı görülmektedir. Hamilelik risk faktörünün tespit edilmesinde bir diğer önemli öznitelik olan kalp atış hızı grafiği 66-97 aralığının düşük risk taşıdığını, 45’e azalan ve 150’ye yükselen değerlerde yüksek risk oranının arttığını ifade etmektedir. 129 civarında sistolik, 82 civarında diyastolik kan basıncı değerlerinde düşük risk olarak etiketlenen veriler maksimum seviyelerdedir. Bununla birlikte daha düşük ve daha yüksek kan basıncı değerlerinde orta ve yüksek risk olasılığı artmaktadır. VKİ 18.15-25.056 aralığında olduğunda düşük, orta, yüksek riskli örnekler bulunmakla birlikte düşük risk olasılığı fazladır; bu aralık dışındaki değerler ise yüksek risk olasılığı taşımaktadır. Kan şekeri 42.5 ve Açlık Kan Şekeri 6.11 seviyesi altında düşük risk anlamına gelmektedir. Son olarak risk seviyeleri grafiğinden 6103 örneğin 2059’unun yüksek, 2043’ünün orta, 2001’inin düşük risk taşıdığı anlaşılmaktadır.



Şekil 1. "Pregnancy risk prediction" veri setindeki örneklerin dağılımı. Turkuaz düşük seviye, kırmızı orta seviye, mavi yüksek seviye riski temsil etmektedir.

Şekilde görüldüğü gibi tüm grafikler, ilgili özneliğin hamilelik risk tahmininde belirli oranda bir etkiye sahip olduğunu, herhangi bir özneliğin değişen değerleri ile risk olasılığının düşük, orta, yüksek olarak değişebileceğini açıkça göstermektedir.

2.2 Öznelik Seçimi

Hamilelik risk tahminine yönelik 6103 hastadan elde edilmiş olan 11 öznelik içeren orijinal veri setini en iyi temsil eden alt kümeyi belirlemek

için Korelasyon tabanlı bir öznitelik seçimi yöntemi olan CFS kullanılmıştır. CFS ilgili risk faktörlerini içeren alt kümeleri korelasyona dayalı olarak sezgisel değerlendirme yaparak sıralayan basit bir filtreleme algoritmasıdır. Buna göre k alt küme öznitelik sayısı, \bar{r}_{cc} sınıf değişkeni ile ilgili öznitelik arasındaki ortalama korelasyon, \bar{r}_{cf} özniteliklerin birbiri arasındaki ortalama iç korelasyonu olmak üzere (sınıfla yüksek ve diğer özniteliklerle düşük korelasyon sağlayan) S alt kümesi Eşitlik (1) kullanılarak belirlenmektedir. (Marano vd., 2007; Budak 2015).

$$S = \frac{k\bar{r}_{cc}}{\sqrt{k+k(k-1)\bar{r}_{cf}}} \quad (1)$$

Bu çalışmada NB, K-EYK, C4.5 KA ve RO olmak üzere 4 farklı sınıflandırma algoritmasının hamilelik risk tahminindeki performansları ayrı ayrı analiz edilmiştir. Ayrıca, CFS yöntemi kullanılarak elde edilmiş olan indirgenmiş veri setinde de aynı algoritma başarımları yeniden değerlendirilmiştir.

2.3 Makine Öğrenmesi (MÖ) Algoritmaları

Bayes teoremine dayalı istatistiksel bir sınıflandırma yöntemi olan Naive Bayes (NB) sınıflandırıcısı, özniteliklerin birbirinden bağımsız olduğunu varsayarak örneklerin ait olduğu sınıfı bulmaktadır. Bunu yapmak için, Eşitlik (2)'yi kullanarak verilen bir Y olayı için C olayının koşullu olasılığını belirler (Tsymbal vd., 2003):

$$P(C_i|Y) = \frac{P(Y|C_i)P(C_i)}{P(Y)} \quad (2)$$

Örnek tabanlı bir metot olan K-En Yakın Komşu (K-EYK) sınıflandırıcısı Öklid, Manhattan, Minkowski gibi yöntemlerle p -boyutlu bir uzayda i . örneğin sınıfını belirlemek için ilgili örneğin eğitim setindeki j . örneğe uzaklığını (d) hesaplar. Daha sonra en küçük d değerine sahip k örnek arasından en çok örneğe sahip sınıf hedef sınıf olarak belirlenir. Bu çalışmada Eşitlik (3)'te gösterilen Öklid Mesafesi yöntemi kullanılmıştır (Hemmatian vd., 2019; Alharbi vd., 2021).

$$d(i, j) = \sqrt{|x_{i1} - x_{j1}|^2 + |x_{i2} - x_{j2}|^2 + \dots + |x_{ip} - x_{jp}|^2} \quad (3)$$

C4.5 Karar Ağacı (C4.5 KA) algoritmalarında, eğitim seti bazı kriterlere göre kökten yapraklara doğru tekrarlı olarak alt kümelere bölünür. Bu ağaç yapısında, yaprak seviyeleri sınıf etiketlerini temsil eder. Bununla birlikte en önemli sorun öncelikle kök düğümünün ardından yapraklara dallanma sırasının

belirlenmesidir. Bu bağlamda, kök düğümünden yapraklara bölünme kriteri entropiye bağlı bilgi kazancı hesabı yapılarak Eşitlik (4)'teki gibi tespit edilebilir (Kavzaoğlu vd., 2010; Altaş vd., 2012; Sangeorzan vd., 2019).

$$H(X) = -k \sum_{i=1}^n (p_i) \log_2(p_i) \quad (4)$$

Burada k pozitif bir sabit olmak üzere, Shannon Entropisi (H) olarak bilinen terim, tüm i durumlarına ait p_i olasılıklarına bağlı bir değerdir. Bu değer sonuçla ilgili belirsizliğin ya da kararsızlığın ölçüsüdür. Daha açık bir ifade ile küçük entropi değeri sonuca dair belirsizliğin küçük olduğunu, tam tersi büyük entropi değeri de belirsizliğin büyük olduğunu gösterir (Chen 2020).

Birden fazla karar ağacı oluşturarak daha doğru ve kararlı bir tahmin elde edebilen Rastgele orman (RO) algoritması sınıflandırma ve regresyon problemlerini çözmek için kullanılabilen bir MÖ yöntemidir. Bu yöntemde bölünme kriteri Eşitlik (5)'te gösterilen Gini indeksine göre belirlenir (Tangirala 2020).

$$Gini = 1 - \sum_j p_j^2 \quad (5)$$

3. ELDE EDİLEN BULGULAR

Çalışmada, ilk olarak 11 özneteliği içeren orijinal veri seti kullanılarak dört temel sınıflandırıcının (NB, K-EYK, C4.5 KA ve RO) performansı Tablo 2'de gösterilen Doğruluk, Kappa, kök ortalama kare hatası (KOKH), ROC istatistiksel performans kriterleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Tablo 2. NB, K-EYK, C4.5 KA ve RO sınıflandırıcılarının istatistiksel performansları

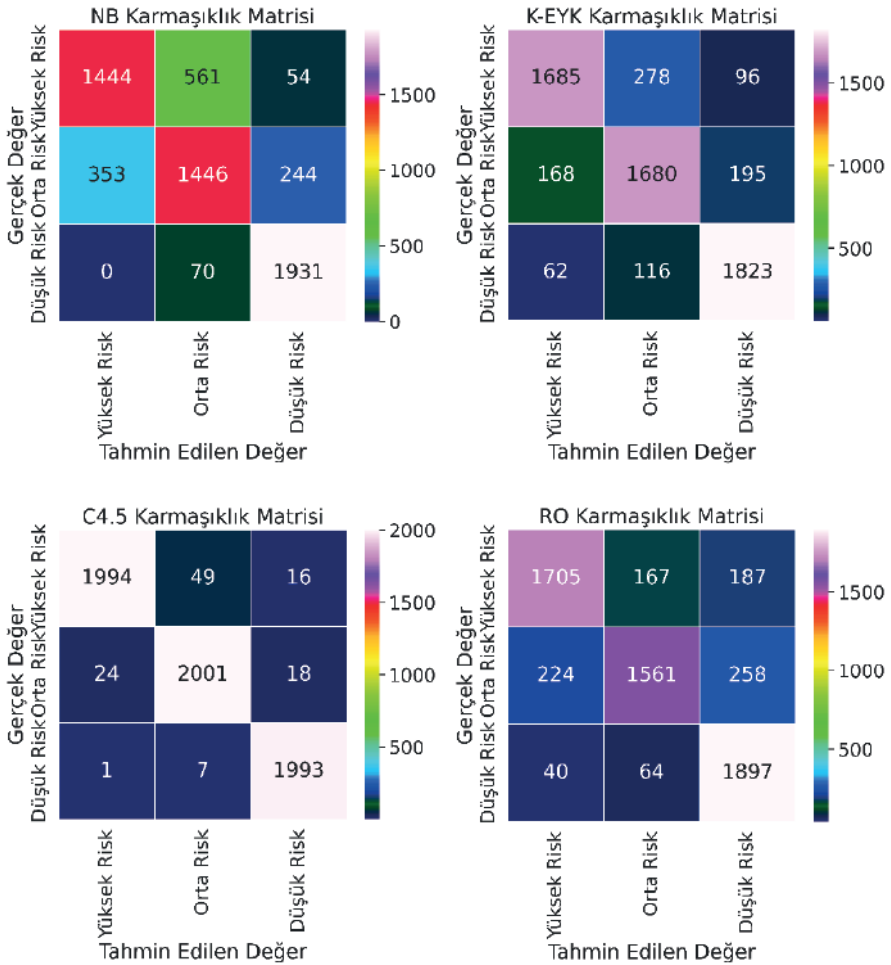
MÖ Algoritmaları	Doğruluk Oranı (%)	Kappa	KOKH	ROC
NB	78.99	0.685	0.309	0.929
K-EYK	85.00	0.775	0.316	0.882
C4.5 KA	98.12	0.971	0.110	0.986
RO	84.59	0.769	0.393	0.923

Tablo 2'de belirtilen, Doğruluk oranı sınıflandırma sonrasında oluşan sınıfların doğruluklarını belirlemek için Eşitlik (6)'daki gibi hesaplanmaktadır (Zhu vd., 2010).

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+DN+YP+YN} \quad (6)$$

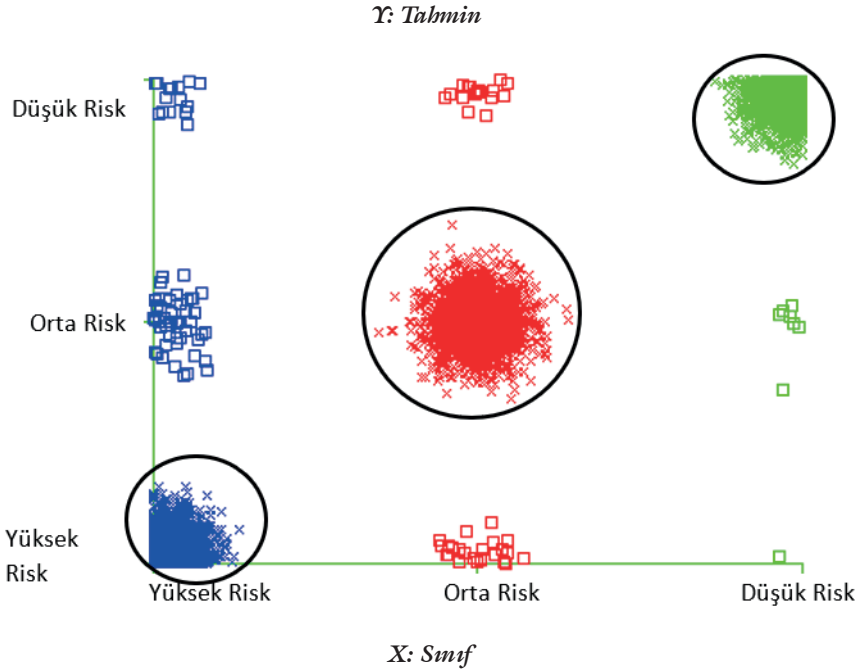
Yukarıdaki eşitlikte gösterilen YP, YN, DP ve DN sırası ile yanlış pozitif, yanlış negatif, doğru pozitif ve doğru negatiflerin sayısıdır. Eşitlik (6) kullanılarak Tablo 2'de görüldüğü gibi C4.5 algoritması ile %98,12 doğrulukla en yüksek sınıflandırma başarımı elde edilmiştir.

Modelin doğruluğu Python programlama dili kullanılarak aşağıdaki gibi bir karmaşıklık matrislerinde de gösterilebilir. Karmaşıklık matrisleri, belirli bir veri kümesindeki etiket sayısını gösterir. Ayrıca her satır gerçek değeri ve her sütun tahmin değerini temsil eder. Burada doğru sınıflandırma performansını gösteren köşegen değerlerine dikkat edilirse C4.5 KA, RO, K-EYK ve NB şeklinde bir başarımların sıralaması olduğu anlaşılabilir.



Şekil 2. NB, K-EYK, C4.5 KA ve RO sınıflandırıcılarının karmaşıklık matrisleri. Burada yüksek, orta ve düşük risk olarak etiketlenmiş olan örneklerin doğru ve yanlış tahmin sayıları gösterilmektedir.

Şekil 2’de görüldüğü gibi en yüksek doğruluğa sahip C4.5 KA sınıflandırıcısı 2059 adet yüksek risk verisinin 1994 tanesini yüksek risk olarak, 2043 adet orta risk verisinin 2001 tanesini orta risk olarak ve 2001 adet düşük risk verisinin 1993 tanesini düşük risk olarak etiketlemiştir. Bu algoritmanın sınıflandırma başarımını daha detaylı incelemek için tahmin doğruluğunu şematize eden dağılım grafiği Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. C4.5 KA algoritmasının doğru sınıflandırma performansını gösteren saçılım grafiği. Burada yüksek, orta ve düşük risk kategorisindeki örnek veriler ifade edilmektedir.

Şekil 3’te siyah halkaların içinde gösterilen kümelerin diğer kümelere göre çok fazla örnek içermesi yüksek (mavi), orta (kırmızı) ve düşük (yeşil) riske sahip verilerin büyük oranda doğru tahmin edildiğini ifade etmektedir. Diğer bir ifade ile 6103 örnekten yalnızca 115 tanesini yanlış sınıflandıran ve %98,12 doğruluk performansı gösteren C4.5 KA algoritmasının çalışmada analiz edilen 4 sınıflandırıcı içerisinde en iyi başarıma sahip yöntem olduğu söylenebilir. Ancak yöntemin sınıflandırma başarımından söz etmek için doğruluk kriteri tek başına yeterli değildir.

Bu bağlamda diğer bir performans kriteri olan ve $[0,1]$ aralığında değerlere sahip olan Kappa katsayısı (κ) sınıflandırma doğruluğunu ağırlıklı olarak hesaplamak için kullanılmaktadır. $\text{Pr}(a)$ gerçek gözlenen uyum, $\text{Pr}(e)$

ise bu uyumun tesadüfen meydana gelme olasılığı olmak üzere κ değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır ve κ 'nın "1" olması mükemmel uyumu, "0" olması ise zayıf uyumu göstermektedir (Wan vd., 2015, Rwanga vd. 2017).

$$\kappa = \frac{Pr(a) + Pr(e)}{1 - Pr(e)} \quad (7)$$

Üçüncü performans kriteri ise Eşitlik (8)'deki gibi hesaplanan KOKH'dir. Tahmin değeri ve gerçek değer arasındaki farkın karesinin örnek sayısına bölünmesi ile elde edilen ortalama kare hatasının (OKH) kareköküne eşittir. Bu değer gerçek değerden sapmalar ile ilgilidir. Yani KOKH'nin düşük olması tahminin daha iyi olduğunu ifade eder ve "0" mükemmel bir uyumun göstergesidir (Wilmot vd., 2005; Wang vd. 2018).

$$KOKH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Tahmin_i - Gerçek_i)^2}{N}} \quad (8)$$

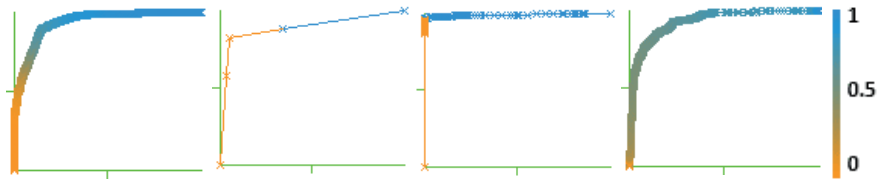
Son olarak farklı kesme noktaları için gerçek pozitif oran (duyarlılık) ve yanlış pozitif oranın (özgüllük) bir fonksiyonu olarak çizilen ROC eğrisi altındaki alan hesaplanarak modelin ayırt etme gücü belirlenebilir (Florkowski, 2008; Kumar vd., 2011; Hoo vd., 2017).

$$Duyarlılık = \frac{DP}{DP + YN} \quad (9)$$

$$Özgüllük = \frac{DN}{DN + YP} \quad (10)$$

ROC alanı değeri $[0,1]$ aralığındadır ve "0", model tahminlerinin %100 yanlış olduğunu, "1" ise model tahminlerinin %100 doğru olduğunu gösterir. Aşağıda 4 farklı sınıflandırıcı ile elde edilen ROC eğrileri gösterilmiştir. Sol üst köşeye çok yakın olarak ortaya çıkan üçüncü paneldeki ROC eğrisinden açıkça anlaşıldığı gibi C4.5 KA algoritması en iyi ayrımın elde edildiği dağılıma sahiptir. Daha sonra NB ile elde edilen birinci sütundaki ROC eğrisi ve dördüncü sütundaki RO ile elde edilen ROC eğrisi en iyi ayrımı sağlamıştır. Eğrinin sol tarafa en uzak olduğu grafik ise K-EYK ile elde edilmiştir ve ikinci sütunda gösterilmiştir.

Y: Doğru Pozitif Oranı



X: Yanlış Pozitif Oranı

Şekil 4. NB, K-EYK, C4.5 KA ve RO sınıflandırıcıları ile elde edilen ROC eğrileri. Tüm grafikler için Y eksenini doğru pozitif oranını (Duyarlılık) ve X eksenini yanlış pozitif oranını (Özgüllük) göstermektedir.

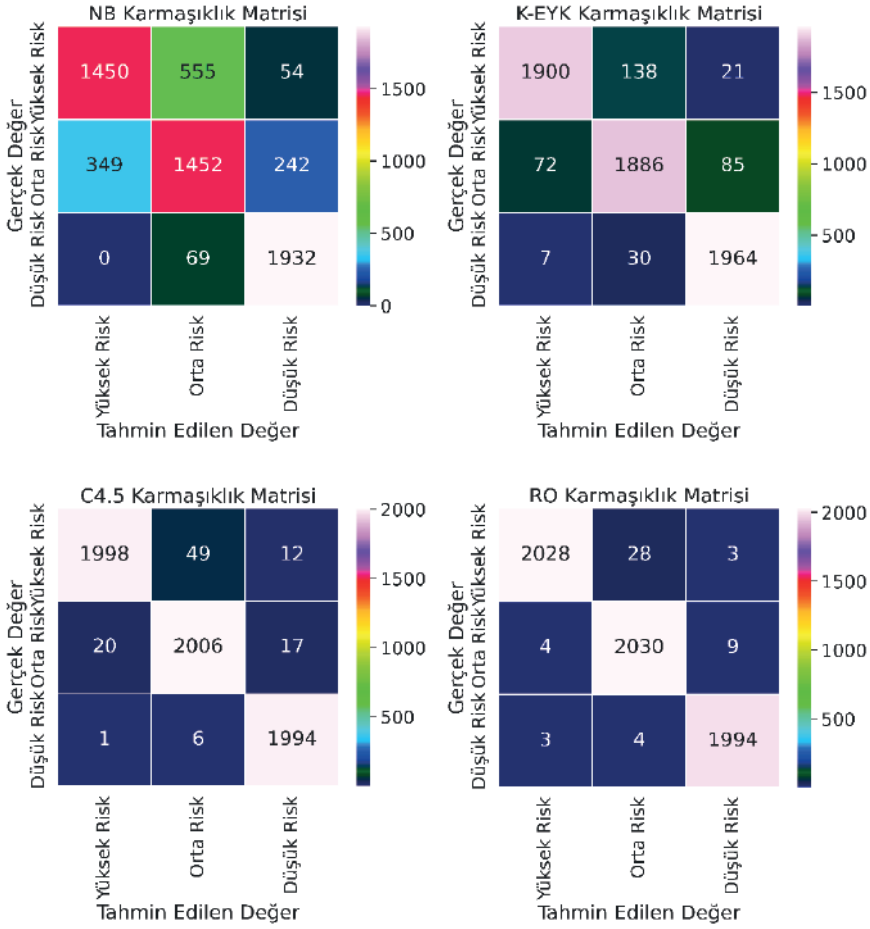
İkinci adımda Weka programında yer alan “Greedy Stepwise search” metodu ile “CFS Subset Evaluator” öznelik seçimi algoritması uygulandığında “Hasta Kimliği” ve “Hasta İsmi” ilişkisiz öznelikler olarak belirlenmiştir ve kullanılan veri setinden çıkarılmıştır.

Hastanın Yaşı, Vücut Sıcaklığı, Kalp Atış Hızı, Sistolik Kan Basıncı, Diyastolik Kan Basıncı, Vücut Kitle İndeksi, Kan Şekeri ve Açlık Kan Şekeri olmak üzere 8 öznelik içeren indirgenmiş veri seti ile sınıflandırıcıların başarımı yeniden değerlendirilmiştir ve CFS öznelik seçimi algoritması sayesinde daha az giriş özneliği kullanan sınıflandırma algoritmalarının performanslarında artış gözlemlenmiştir.

Tablo 3. CFS öznelik seçimi algoritmasına dayalı olarak indirgenmiş veri seti kullanılarak elde edilen NB, K-EYK, C4.5 KA ve RO sınıflandırıcılarının performans ölçütleri

MÖ Algoritmaları	Doğruluk Oranı (%)	Kappa	KOKH	ROC
NB	79.20	0.688	0.308	0.930
K-EYK	94.21	0.913	0.196	0.953
C4.5 KA	98.27	0.974	0.105	0.989
RO	99.16	0.987	0.078	0.999

Tablo 2 ve Tablo 3 kıyaslandığında başarımları NB için %78,99’dan %79,20’ye, K-EYK için %85,00’den %94,21’e, C4.5 KA için %98,12’den %98,27’ye ve son olarak RO için %84,59’dan %99,16’ya yükseldiği açıkça görülmektedir. RO yöntemi karşılaştırılan dört yöntem arasında en iyi sınıflandırıcı olmuştur ve Şekil 5’te gösterilen karmaşıklık matrisleri de bu sonucu doğrulamıştır.



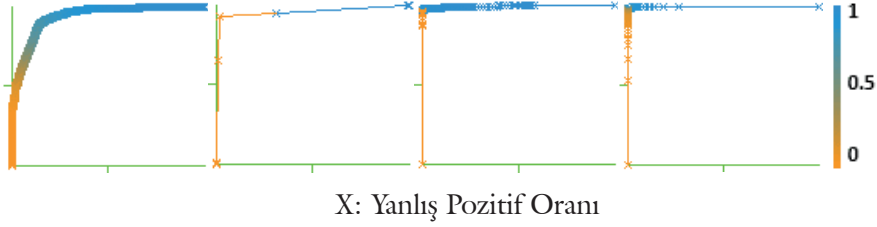
Şekil 5. CFS öznelik seçimi algoritmasına dayalı olarak indirgenmiş veri seti kullanılarak elde edilen NB, K-EYK, C4.5 KA ve RO sınıflandırıcılarının karmaşıklık matrisleri. Burada etiketlenmiş olan örneklerin doğru ve yanlış tahmin sayıları gösterilmektedir. Etiketler yüksek, orta ve düşük risk şeklindedir.

Şekil 5’te görüldüğü gibi RO yöntemi ile 6103 örnekten yalnızca 51 tanesi yanlış sınıflandırılmıştır. Öte yandan NB ise 1269 ile en çok yanlış etiketlenmiş örnek içeren yöntem olmuştur.

Bununla birlikte diğer performans kriterleri incelendiğinde; özellikle K-EYK, C4.5 KA, RO için 1’e yaklaşan Kappa katsayı değeri ve ROC, 0’a yaklaşan KOKH değerleri dikkat çekmektedir. Burada en yüksek doğruluk oranına sahip RO algoritmasının neredeyse mükemmel uyum olarak ifade edilebilecek 0.987 Kappa, 0.078 KOKH ve 0.999 ROC değeri ile sonuçlandığı görülmektedir. Şekil 6’nın dördüncü panelinde RO algoritması

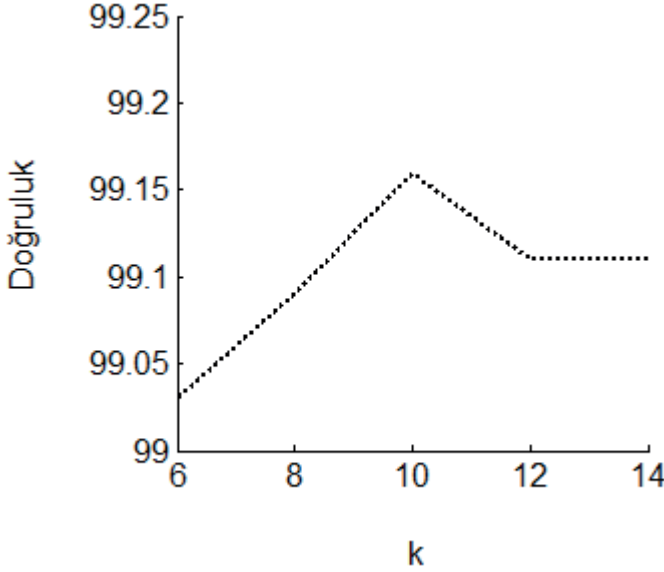
ile tamamen sola yaslanmış ve doğrusal bir şekilde konumlanmış doğru ve yanlış pozitif oranlarına sahip ROC eğrisi de bu mükemmel uyumu açıklamaktadır. Üçüncü paneldeki C4.5 KA ve ikinci paneldeki K-EYK sınıflandırıcılara ait ROC eğrileri de RO'dan sonra en büyük alana sahiptir. Y eksenine en uzak olan ve dolayısı ile en küçük alan değerinin elde edildiği NB ise en düşük performansı sergilemiştir.

Y: Doğru Pozitif Oranı



Şekil 6. İndirgenmiş veri seti kullanıldığında NB, K-EYK, C4.5 KA ve RO sınıflandırıcıları ile elde edilen ROC eğrileri. Tüm grafikler için Y eksenini doğru pozitif oranını (Duyarlılık) ve X eksenini yanlış pozitif oranını (Özgüllük) göstermektedir.

Şimdiye kadar yapılan tüm analizlerde model başarımının ölçüm sürecinde, model geçerliliğinin test edilmesi için 10 katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Böylece her bir yöntem 10 kez, 10 farklı eğitim ve test kümesinde çalıştırılmıştır ve toplanan performans değerleri 10'a bölünerek ortalama hata ve başarımları hakkında ilgili sonuçlar gösterilmiştir. Bu yöntemde birden fazla yapılan eğitim ve test verisi bölme işlemi daha yüksek doğruluğu garantilerken bir taraftan da daha fazla hesaplama gücü gerektirir. Bu bağlamda optimum k değerinin belirlenmesi önemlidir. Bunun için öncelikle literatürde genel olarak tercih edilen k=10 değeri referans alınmıştır. Daha sonra en yüksek başarıma sahip RO yöntemi için daha küçük ve daha yüksek k değerlerinde başarımları yeniden elde edilmiştir. Şekil 7'de k'ya göre değişen sınıflandırma doğruluğu oranları gösterilmektedir.



Şekil 7. Farklı k değerleri için k -kat çapraz doğrulama kullanan RO'nun doğruluk oranı performans kriterinin değişimi.

4. TARTIŞMA

Hamilelik risk tespiti, doğum öncesi ve sonrası dönemlerde meydana gelebilecek komplikasyonların olasılığını azaltmak için oldukça önemlidir. Bu çalışma, hamilelikle ilişkili risklerin otomatik olarak tahmin edilmesi için NB, K-EYK, C4.5 KA ve RO olmak üzere 4 farklı MÖ algoritmasının performansını analiz etmektedir. Bu bağlamda, orijinal veri seti kullanılarak elde edilen Doğruluk, Kappa, KOKH ve ROC başarımları kriterleri incelendiğinde C4.5 yönteminin en yüksek tahmin doğruluğu sağladığı görülmüştür. Ardından sınıflandırıcı modellerinin etkili eğitimi için öznitelik kümesini en iyi temsil eden alt kümenin elde edilmesini sağlayan korelasyon tabanlı öznitelik seçme yöntemi (CFS) algoritması uygulanmıştır. Anne sağlığı kişisel veri analizi ile ilgili olarak, hamile kadınların yaş, vücut sıcaklığı, kalp atış hızı, sistolik kan basıncı, diyastolik kan basıncı, vücut kitle indeksi, kan şekeri ve açlık kan şekeri seviyesi değerlerinin hamilelik sırasında yüksek risk seviyelerine neden olabilecek temel sağlık faktörleri olarak bulunmuştur. Böylece ilişkisiz olarak belirlenen 2 öznitelik (“Hasta Kimliği” ve “Hasta İsmi”) öznitelik kümesinden çıkarılmıştır ve indirgenmiş veri seti kullanılarak 4 sınıflandırıcı performansı aynı başarımları kriterleri dikkate alınarak yeniden değerlendirilmiştir. Kullanılan modellerden RO,

anne sağlığı risklerinin düşük, orta ve yüksek risk kategorileri için %99,16'lık mükemmel bir doğruluk oranı göstermiştir.

Bu çalışmanın bulgularının anne sağlığı uzmanlarına hamilelik sürecinde meydana gelen anne ölümleriyle ilişkili risk faktörlerini ön görmede yardımcı olacağına ve bu tür sonuçları ortadan kaldırmak veya hafifletmek için kullanılabilceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Ahmed, M., Kashem, M. A., Rahman, M., & Khatun, S. (2020). Review and analysis of risk factor of maternal health in remote area using the internet of things (IoT). In *InECCE2019: Proceedings of the 5th International Conference on Electrical, Control & Computer Engineering, Kuantan, Pahang, Malaysia, 29th July 2019* (pp. 357-365). Springer Singapore.
- Alharbi Y, Alferaidi A, Yadav K, Dhiman G, Kautish S. Denial-of-service attack detection over IPv6 network based on KNN algorithm. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 1-6, 2021.
- Altaş D, Gülpınar V. Karar Ağaçları ve Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırma Performanslarının Karşılaştırılması: AB Örneği, *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(1):1-22, 2012.
- Aydemir, H., & Hazar, H. U. (2014). Düşük riskli, riskli, yüksek riskli gebelik ve ebenin rolü. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 3(2), 815-833.
- Aydın, Ö. C. A. L. (Ed.). (2022). *Gebelikte Maternal Sistemik Hastalıklar*. Akademisyen Kitabevi.
- Balkaya, N. A., Vural, G., & Eroğlu, K. (2014). Gebelikte belirlenen risk faktörlerinin anne ve bebek sağlığı açısından ortaya çıkardığı sorunlar. *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 6-16.
- Budak H, 2015, Özellik Seçim Yöntemleri ve Yeni Bir Yaklaşım, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 125s, İstanbul.
- Chen, H. Y., Chuang, C. H., Yang, Y. J., & Wu, T. P. (2011). Exploring the risk factors of preterm birth using data mining. *Expert systems with applications*, 38(5), 5384-5387.
- Chen C. H. A novel multi-criteria decision-making model for building material supplier selection based on entropy-AHP weighted TOPSIS. *Entropy*, 22(2), 259, 2020.
- Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü (HSGM). Türkiye Anne Ölümleri Raporu (2015-2019) (2023, May 26) https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/Yayinlarimiz/Raporlar/Turkiye_Anne_Olumleri_Raporu_2015-2019.pdf.
- Hemmatian F, Sohrabi MK. A survey on classification techniques for opinion mining and sentiment analysis. *Artificial intelligence review*, 52(3), 1495-1545, 2019.
- Hoo, Z. H., Candlish, J., & Teare, D. (2017). What is an ROC curve?. *Emergency Medicine Journal*, 34(6), 357-359.
- Islam, M. N., Mustafina, S. N., Mahmud, T., & Khan, N. I. (2022). Machine learning to predict pregnancy outcomes: a systematic review,

- synthesizing framework and future research agenda. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 22(1), 1-19.
- Kumar, R., & Indrayan, A. (2011). Receiver operating characteristic (ROC) curve for medical researchers. *Indian pediatrics*, 48, 277-287.
- Florkowski, C. M. (2008). Sensitivity, specificity, receiver-operating characteristic (ROC) curves and likelihood ratios: communicating the performance of diagnostic tests. *The Clinical Biochemist Reviews*, 29(Suppl 1), S83.
- Kambli R. S., Nimala, (2022) Model for Predicting Risk Levels in Maternal Healthcare, *IJARIIIE8(6)*, 1633-1637.
- Kavzoğlu T, Çölkesen İ. Karar Ağaçları İle Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılması: Kocaeli Örneği, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(1):36-45, 2010.
- Lakshmi, B. N., Indumathi, T. S., & Ravi, N. (2016). A study on C. 5 decision tree classification algorithm for risk predictions during pregnancy. *Procedia Technology*, 24, 1542-1549.
- Mohammad Mobarak Hossam. (2023). Pregnancy Risk Factor Data. (2023, May 08). Retrived from: <https://www.kaggle.com/datasets/mmhossain/pregnancy-risk-factor-data>.
- Marono N S, Beletansoz A A, Sanroman M T, 2007, Filter Methods for Feature Selection a Comparative Study, *Intelligent Data Engineering and Automated Learning*, 178– 187.
- Nimala, Kambli R. S.(2023) Maternal Risk Level Prediction Using Ensemble Model. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 11(3), a916-a920.
- Özsezer, G., & Mermer, G. Prevention of Maternal Mortality: Prediction of Health Risks of Pregnancy with Machine Learning Models. *Available at SSRN 4355295*.
- Rawashdeh, H., Awawdeh, S., Shannag, F., Henawi, E., Faris, H., Obeid, N., & Hyett, J. (2020). Intelligent system based on data mining techniques for prediction of preterm birth for women with cervical cerclage. *Computational biology and chemistry*, 85, 107233.
- Raza, A., Siddiqui, H. U. R., Munir, K., Almutairi, M., Rustam, F., & Ashraf, I. (2022). Ensemble learning-based feature engineering to analyze maternal health during pregnancy and health risk prediction. *Plos one*, 17(11), e0276525.
- Sangeorzan L. Effectiveness analysis of ZeroR and J48 classifiers using WEKA toolkit. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series III: Mathematics and Computer Science*, 481-486, 2019.
- Strateji ve Bütçe Başkanlığı (SBB) Sağlıklı ve Kaliteli Yaşamı Her Yaşta Güvence Altına Almak. (2023, May 26). <http://www.surdurulebilirlikalkinma.gov.tr/amaclari/saglik-ve-refah/>.

- Rwanga, S. S., & Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8(04), 611.
- Tangirala, S. (2020). Evaluating the impact of GINI index and information gain on classification using decision tree classifier algorithm. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(2), 612-619.
- Tsymbal A, Puuronen S, Patterson DW. Ensemble feature selection with the simple Bayesian classification. *Information fusion*, 4(2), 87-100, 2003.
- United Nations International Children's Emergency Fund (UNICEF). BM raporu: Günümüzde öncesine göre daha fazla kadın ve çocuk hayatta kalıyor. (2023, May 26). <https://www.unicef.org/turkiye/bas%C4%B1n-b%C3%BCltenleri/bm-raporu-g%C3%BCn%C3%BCm%C3%BCzde-%C3%B6ncesine-g%C3%B6re-daha-fazla-kad%C4%B1n-ve-%C3%A7ocuk-hayatta-kal%C4%B1yor>.
- Wan, T. A. N. G., Jun, H. U., Zhang, H., Pan, W. U., & Hua, H. E. (2015). Kappa coefficient: a popular measure of rater agreement. *Shanghai archives of psychiatry*, 27(1), 62.
- Wang, W., & Lu, Y. (2018, March). Analysis of the mean absolute error (MAE) and the root mean square error (RMSE) in assessing rounding model. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 324, No. 1, p. 012049). IOP Publishing.
- Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate research*, 30(1), 79-82.
- World Health Organization (WHO). (2010). Trends in maternal mortality: 1990 to 2008, UNICEF, WHO, THE WORLD BANK, ISBN: 978 92 4 150026 5, 54.
- Yurtsal, Z., & Eroğlu, V. (2020). Gebelerin Dünya Sağlık Örgütü'nün pozitif gebelik deneyimi için tavsiye ettiği rutin doğum öncesi bakımı alma durumlarının değerlendirilmesi. *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, 29(3), 197-206.
- Zhu, W., Zeng, N., & Wang, N. (2010). Sensitivity, specificity, accuracy, associated confidence interval and ROC analysis with practical SAS implementations. *NESUG proceedings: health care and life sciences, Baltimore, Maryland*, 19, 67.

Derin Öğrenme Yaklaşımları ile Metin Üretme ve Analiz

Ulanbek TOKTOGULOV¹

Yılmaz ATAY²

1. GİRİŞ

Doğal Dil İşleme (NLP) alanının alt dalı olan dil modeli, bilgisayar destekli olarak otomatik metin üretimi için kullanılan dil bilimi ve yapay zeka (AI) disiplinlerinin ortak bir çalışma alanıdır. Dil bilimsel ve anlamsal olarak doğru sentetik metin üretme sürecidir. Bu süreç, girdi verilerini alan, girdiden bağlamı öğrenen ve girdi verilerinin alanıyla ilgili yeni metin üreten bir modelin eğitimini içermektedir. Oluşturulan metin, temel dil yapısını karşılamalı ve istenen mesajı iletmelidir [1]. Metin üretimi ve değerlendirmesi açık uçlu olduğu için gramer, anlam ve sentetik olarak doğru metin oluşturmak ve değerlendirmek zordur. Bu nedenle, bu çalışmada sonraki bölümde Literatür Taramasında, metin oluşturma ile ilgili modelin araştırma yönü tartışılmaktadır. Bunlar, metin üretimi için derin öğrenme yaklaşımlarını, üretilen metni değerlendirmek için kalite metriklerini, alanda kullanılan eğitim veri setlerini, metin üretiminin gerçekleştirildiği dilleri ve metin üretimi için uygulama alanlarını içermektedir. Metin üretiminde; karakter, kelime ve cümle bazında gerçekleştirebilmektedir [2]. Cümle düzeyinde metin oluşturma, tüm metni ince taneli olarak incelemeyi ve cümle ile bağlamı arasındaki ilişkiyi öğrenmeyi amaçlanmaktadır. Bu arada, kelime tabanlı metin oluşturma, bir dizinin yapısını keşfetmeye ve belirli bir metindeki bir sonraki kelimenin olasılığını tahmin etmeye çalışılmaktadır. Benzer şekilde model, karakter düzeyinde metin oluşturmada belgenin

1 Gazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Ankara Türkiye, Email: ulanbek.toktogulov@gmail.com, ORCID: 0009-0001-2487-2933

2 Gazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Ankara Türkiye, Email: yilmazatay@gazi.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3298-3334

tamamı yerine karakteri tanımlanmaktadır. Bu çalışmada karakter bazında metin oluşturması için modeller eğitilmiş ve test edilmiştir.

Teknolojideki son gelişmeler ve Derin Öğrenme (*Deep Learning- DL*) tekniklerindeki ilerleme sayesinde bilgisayar tabanlı otomatik metin üretimi mümkün olabilmektedir. Makine Öğrenme (*Machine Learning*) alt dalı olan Derin Öğrenme, Yapay Sinir Ağları (*Artificial Neural Network*) ve Temsili öğrenme (*Representation Learning*) alanı kullanılmaktadır. Metin oluşturma yaklaşımı, aşağıda verildiği gibi genel olarak üç tür derin öğrenme modeli içerir:

1) Vektör-Dizi Modeli – Girdi sabit boyutlu bir vektörken, çıktı değişebilir. Örneğin, bu model görüntülerin altyazı üretimi için kullanılabilir [3].

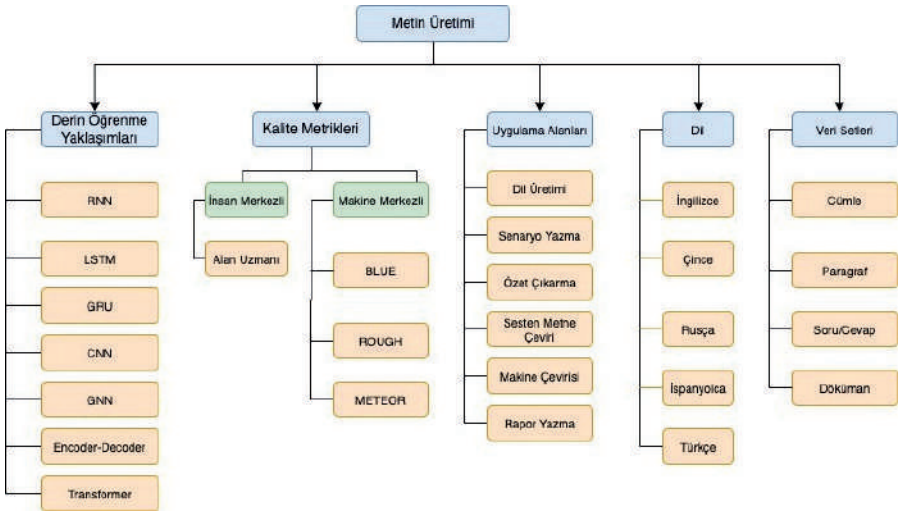
2) Sekans-Vektör Modeli- Girdi değişken boyuttadır ve çıktı sabit boyutlu bir vektördür. Sınıflandırma bu modele bir örnektir [4].

3) Diziden Diziye Model- Bu model tipinde girdi ve çıktı değişken boyutlardadır. Metin oluşturma modellerinin en yaygın kullanılan çeşididir. Dil çevirisi bu tür metin oluşturma modeline aittir [5].

Öncelikle yapay zeka alt dalında çalışan bir konu olan doğal dil üretiminin farklı yönlerine göre veri kümesi dengeleme [6] ve buna benzer çeşitli görevlerde soru yanıtlama sistemindeki sorulara göre yanıtların üretilmesi, sohbet robotlarının [7] tasarımı, makine öğrenmesi çevirisi [8], metin özetleme [9], metin sınıflandırma [10], konu modelleme için metin oluşturma [11], diyalog nesil [12], duygu analizi [13], şiir yazımı [14], filmler için senaryo yazımı [15] ve diğer alanlarda çalışmalar yapılmaktadır. Bu tür sistemlerde oluşturulan metnin kalitesinin değerlendirilmesi, modelin performansını yönetir ve oluşturulan ile orijinal metnin çeşitliliğini ölçeyebilir. Kalite ölçütleri, değerlendirme yöntemleri olarak da bilinmektedir. Oluşturulan metnin kalitesini değerlendirmenin iki yolu vardır: insan merkezli (HC) ve makine merkezli (MC) [16]. İnsan merkezli değerlendirme yöntemi, oluşturulan metni değerlendiren dil ve alan uzmanlarını içermektedir. Hem zaman hem de maliyet açısından pahalıdır ve insan hatalarına açılabilir. Öte yandan, nesnel kalite değerlendirmesi olarak bilinen makine merkezli değerlendirme yöntemi, literatürde yaygın olarak benimsenmekte ve yer alabilmektedir. Çeşitli değerlendirme metriklerini içeren bazı kısımları: Açık sıralama ile çevirinin değerlendirilmesi için ölçü (METEOR), iki dilli değerlendirme alt çalışması (BLEU), özet değerlendirme için hatırlama odaklı yedek çalışma (ROUGE), fikir birliğine dayalı görüntü tanımlama değerlendirmesi (CIDeR), Ulusal standartlar enstitüsü ve teknoloji (NIST), kelime hata oranı (WER), Kelime Şaşkınlığı ve BERTScore. Makine

merkezli yöntem zamandan ve maliyetten tasarruf sağlamakta, ancak objektif bir değerlendirme metriğinin kalitesi büyük ölçüde dile özgüdür.

Bu çalışmada Türkçe metin önileme yapılarak derlem (corpus) [46] oluşturmuştur. Derin Öğrenme yaklaşımları ile birlikte dil modeli geliştirmiştir. Model olarak RNN ve Encoder-Decoder (kodlayıcı-çözücü) yöntemi uygulanmıştır. Uygulanan modeller BLEU, ROUGE ve METEOR metrikleri ile test edilmiştir. GNN yöntemi literatür araştırmasından alınarak diğer modeller ile kıyaslama yapılarak kapsamlı analiz edilmiştir. Fatima ve ark. ile bu çalışmanın çıktısı eklenmiş ve Şekil 1’de metin üretmesi taksonomisi gösterilmiştir [17]. Burada derin öğrenme yaklaşımları metrikler, kullanılan alan, dil ve veri seti ile yansıtılmıştır. Bu çalışmada taksonomi üzerinden daha iyi açıklanabilir. Sonraki bölümde kapsamlı literatür taraması yapılmıştır. Yöntem ve Uygulamalar kısmında girişteki belirtilen konular daha detaylı vurgulanmıştır. Analiz kısmında ise ilgili çalışmalar kapsamında testler sunulmuştur.



Şekil 1. Metin üretiminin taksonomisi

1.1. Literatür Taraması

Köbis ve Ark çalışmasında algoritma üzerinde yazılan metin ile insan tarafından oluşturulan metinler arasında kıyaslama yapılmıştır. Son teknoloji olarak da Doğal Dil Oluşturma algoritması (GPT-2) birlikte davranışsal tepkileri değerlendiren iki deney yapılmıştır. GPT-2 algoritması kullanarak insan şiirlerini aynı başlangıç satırlarını kullanarak şiir üretilmiş. Üretilen şiirler ile insanların yazdığı şiirler eşleştirilmiştir. Kullanılan algoritmada

Turing Testinde şiir güvenilir şekilde tespit edilememiştir. Ancak Human-Out-of-the-loop tedavisinde başarılı olmuşlardır [18].

Fu ve Ark. makalesinde tekrarlama problemi için teorik analiz için yeni bir çerçeve önerilmiştir. Çalışmada daha çok analiz üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Tekrar problemi karakterize etmek için Average Repetition Probablity (ARP) tanımlanmış. Sonrasında Markov Generation Modelinin kapsamlı analizini yürütmüşler ve sezgisel anlayışla ARP birkaç üst sınırı elde etmişler. Nedenlerinin biri aynı kelimeleri yüksek olasılıkla tahmin eden çok fazla kelimenin bulunmasıdır. Çalışmanın sonucu olarak, teorik üst sınırlarına dayanarak yüksek giriş problemini hafifletmek yeniden dengelemiş kodlama yaklaşımı önermektedir. Deneysel olarak teorik çerçevede genel nesil uygulanabilir olduğunu hem çeviri hem de dil modellemede tekrar problemi önemli ölçüde azalttığını gösterilmiştir [19].

Zhang ve Ark. çalışmalar Önceden Eğitilmiş Dil Modeli BERT, GPT-2, GPT-3 ve T5 gibi Doğal Dil Oluşturmada ilk sıralarındadır. Çalışmalarla ilgili de Retrieval-Augmented Language, Dense Retrieval ve Grounded Generation modeller kullanılmıştır. Yöntemler olarak da Document Retriever, Joint Training, Multi-document Decoding ve Knowledge-Grounded Text Generator yansıtılmıştır. Sonuç olarak metin üretimini uçtan uca bir şekilde optimize etmek için ortak bir eğitim çerçevesi sunulmuştur. Alt bileşeni optimize etmek için LM sinyallerini mümkün kılar ve üretim sırasında daha bilgilendirici metin çıkaracağını gösterilmiştir. Çıkarmış olduğu algoritma kod çözme süreci boyunca birden fazla aldığı belgelerden yararlanır ve tüm referanslardan topladığı bilgilerden seçici olarak özetleyerek ve birleştirerek metin üretilmiştir [20].

Lebret ve Ark çalışmasında öncelikle dil modelinden bahsedilmiştir. Dil modeli, doğal dil işleme projelerinin temelini oluşturmuştur. Dil modelinin amacı kelimelerin dağılım istatistiğini tutmak, bu sayede hangi kelimelerin birbiri ile alakalı olduğunu çözerek art arda gelecek kelimeleri seçmede yardımcı olmuştur. Dil modeli oluştururken kullanılan en yaygın model olan n-gram yönteminde eğitim sırasında kullanılan yazılardaki kelimelerin yazılarda geçme sayılarından faydalanılmıştır. Dil modeli tasarlarırken RNN kullanılmış ve bunlardan en yaygını da LSTM'dir. RNN'de geçmişe yönelik veri de kullanıldığı için dil modelinde token serisinden öğrenebilmiştir. Metin üretimi için, girdiden gelen yazı için bir sonraki kelime tahmin edilmiştir ve bu istenen uzunluğa erişene kadar sürekli tekrarlanmıştır. Bunun için kullanılan stratejilerden 3 tanesi bu çalışmada incelenmiştir: Örnekleme (Sampling), Greedy ve Beam Search. Sampling stratejisinde seçilecek kelimeler olasılıklarına göre seçilme ihtimalleri varken, Greedy

stratejisinde en yüksek skora sahip kelime seçilmiştir. Sinirsel makine çevirisi encoder RNN ve decoder RNN olmak üzere iki modelin birleşiminden oluşturulmuştur. Bu çalışmada örnek olarak, resimlerden yazı üreten bir model de tasarlanmıştır. Bunun için CNN ile resim hakkında özellikler çıkarılmış ve RNN ile bu özelliklere göre bir yazı üretilmiştir [21].

Guo ve Ark. araştırmasında yeni bir metod olarak LeakGAN geliştirilmiştir. GAN kullanılarak üretilen metinlerin uzadıkça performansı düşülmüştür. Yaklaşık olarak 20 kelime üzerinde iyi performans gösterilmemiştir. LeakGAN ile uzun metinlerin üretimi amaçlanmıştır. Mimarisinde discriminator (CNN olarak) ve generator (LSTM olarak) kullanılmıştır. Generator içinde ise manager ve worker isimli iki parça kullanılmıştır. Burada manager modülü, eldeki güncel yazıdan özellik çıkarımı yaparak bunları worker modülüne girdi olarak verilmiştir. Worker modülü de bu girdiye göre yeni kelimeyi tahmin edilmiştir. Burada manager, istenen özellikleri discriminator'den alınmıştır. LeakGAN, turing testlerinde GAN mimarisine göre uzun metin üretiminde başarılı sonuçlar elde edilmiştir [22].

2. YÖNTEM VE UYGULAMALAR

2.1. Derin Öğrenme Yöntemleri

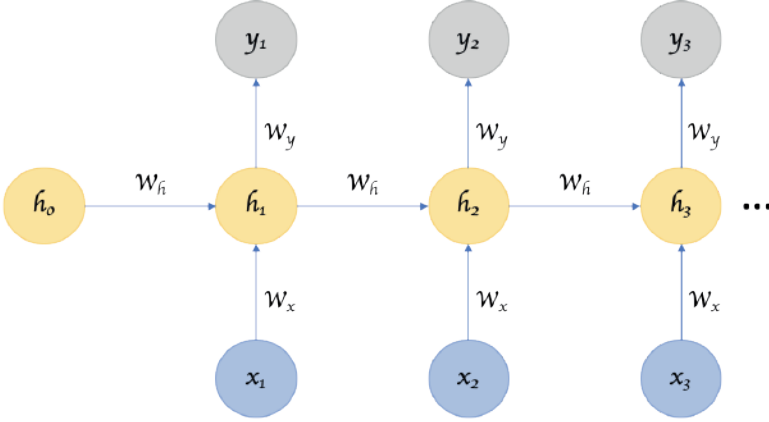
Dil modeli geliştirilmesinde derin öğrenme yaklaşımları kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda ilgili yaklaşımlarla ilgili literatür taraması sunulmuştur. Burada RNN, GNN ve Encoder-Decoder modeli araştırılmış ve uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Örnekleme yöntemi ve ilgili metrikler bu bölümde vurgulanmıştır.

2.2. Recurrent Neural Networks (RNN)

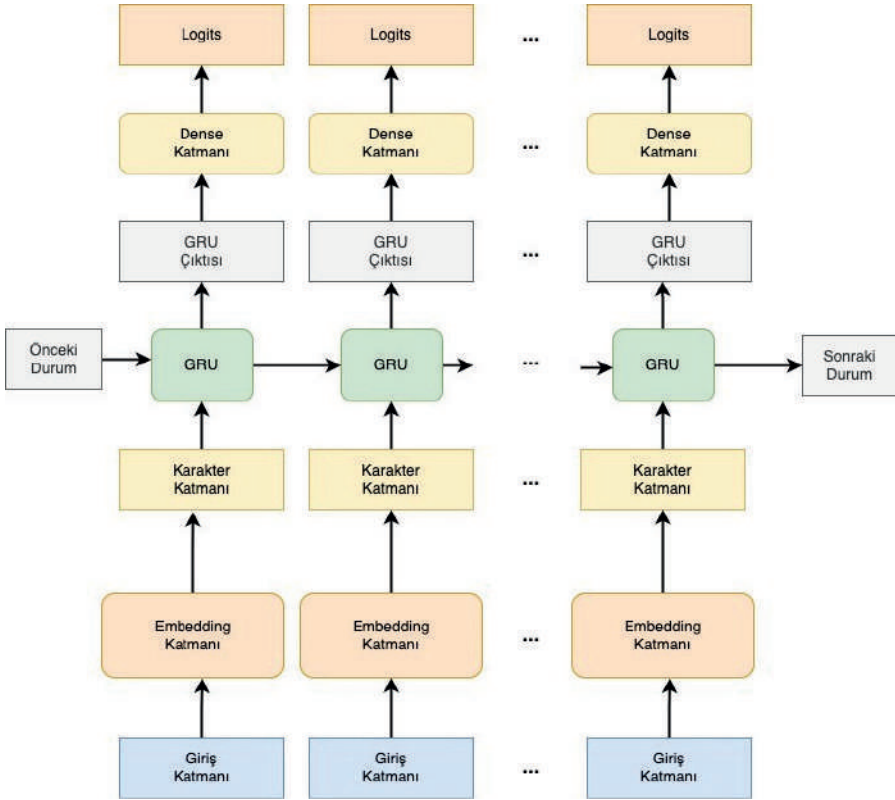
Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN'ler), özellikle sıralı verileri modellerken NL problemleri için en güçlü algoritmadır. RNN'ler, dizi modelleme görevlerini çok daha kolay hale getiren mevcut girdinin yanı sıra önceki girdiyi de hatırlayabildiği için dahili bellek içerdiğinden [23] herhangi bir zaman adımındaki çıktı yalnızca mevcut girdiye değil, aynı zamanda önceki zaman adımlarında üretilen çıktıya da bağlıdır. Bu da onu dil oluşturma, dil çevirisi, duygu analizi vb. YSA'larda tüm girdiler birbirinden bağımsızdır, ancak RNN'lerde girdiler arasında bağımlılık vardır. Şekil 2'de sarılmamış RNN'leri gösterilmiştir, belirli bir zaman adımındaki h_t çıkışı "t" denklemlerle verilir

$$h_t = \sum_{t=0}^T X_t W_t + U h_{t-1} + b \quad (1)$$

h_t Önceki çıktıdır ve H_t mevcut girdidir ve W_t zaman adımıdaki ağırlığı temsil eder, ayrıca U h_{t-1} çıkışıyla ilişkili ağırlığı temsil eder ve b sapma terimini temsil eder.



Şekil 2. Tekrarlayan sinir ağının (RNN) mimarisi



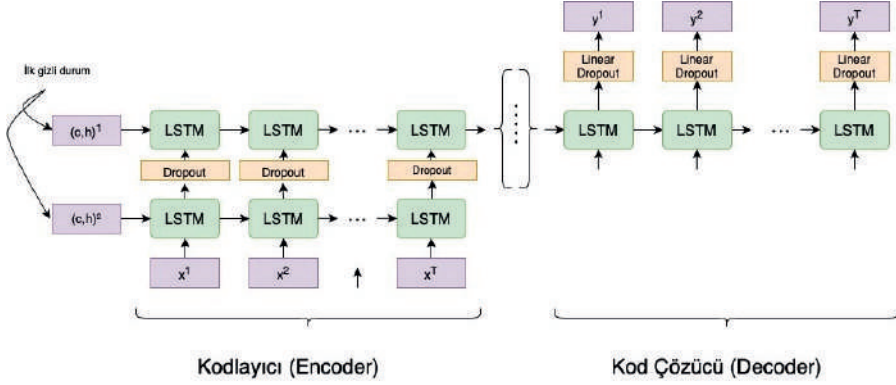
Şekil 3. Karakter bazında eğitilen RNN modeli

Her t yinlemesinde, X_t girişi, h_t 'nin önceki h_{t-1} çıkışına göre hesaplandığı ağı beslenir. RNN'ler, dizi modelleme yeteneği nedeniyle metin üretimi için kullanılmaktadır. RNN'lerin sıralı görevleri modelleme yeteneği, yüksek boyutlu gizli durumunda ve doğrusal olmayan dinamiklerinde yatmaktadır. Ancak, RNN'lerin eğitiminin çok zor olduğu görülmüştür, bu da birçok NLP görevinde kullanımını engellenmektedir [24][25]. Bu nedenle, sıralı modelleme kabiliyetine rağmen, son 20 yılda bu alanda çok az araştırma görülmektedir [26]. RNN'lerle ilgili eğitim sorunları, uzun vadeli bağımlılıkları modellenmektedir: patlayan/kaybolan gradyan, patlayan gradyan; bu, algoritmanın ağırlıklara yüksek sonuçlar atadığı ve modelin yok olan gradyanda benzer şekilde hiçbir şey öğrenmemesine neden olduğu zamandır; gradyan değerlerinin çok küçük olduğu ve modelin öğrenmeyi durdurduğu yer. Bu tür sorunları çözmek için son zamanlarda RNN'lerde varyantlar ve ilerlemeler yapılmıştır.

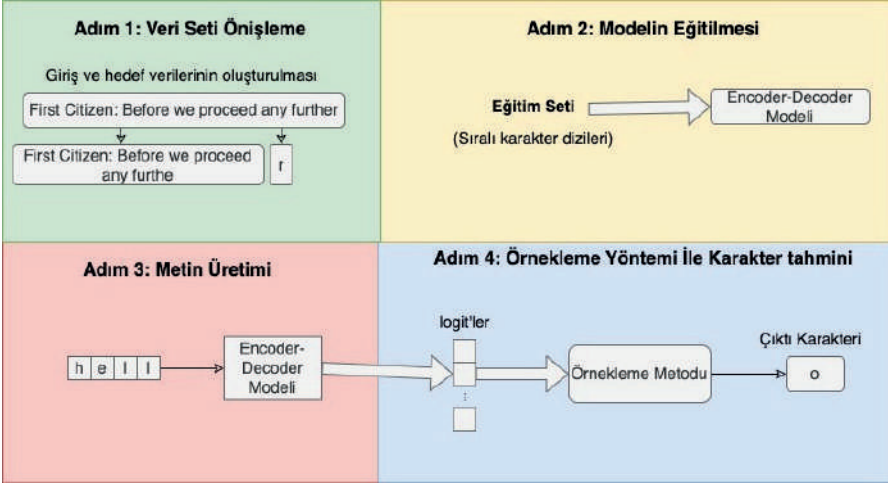
Geliştirilen RNN modeli ile ilgili Şekil 3'te karakter bazında çalışma yapılmıştır. Her bir giriş katmanı Embedding katmanını arar ve karakter katmanına geçer. GRU ise girdi katmanı olarak çalışır. Sonrasında Dense katmanına geçilir ve logitler üzerinde tahminlere geçilir. Böylece önceki durum sonraki durum için tekrarlama yapılarak uygun bir sinir ağı oluşturulmaktadır.

2.3. Encoder-Decoder Modeli

Bilgisayar bilimi ve mühendisliği gibi alanlarda, tekrarlayan sinir ağına dayalı Encoder-Decoder (Kodlayıcı-Kod Çözücü) modeli, zaman serisi tahmin görevlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [27]. Son zamanlarda, ana akım kirlenici konsantrasyonu tahmin modeli, geçmiş verilerin zamanlama özelliklerini çıkarmak için Kodlayıcı olarak bir LSTM kullanan ve daha sonra zaman serisi tahmini için Kod Çözücü olarak başka bir LSTM kullanan LSTM Kodlayıcı-Kod Çözücüye dayanılmaktadır [28]. Modelin genel mimarisi Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 4. LSTM ile Encoder-Decoder modeli



Şekil 5. Encoder-Decoder modelinin işlem adımları

Kodlayıcı-kod çözücü modelindeki kodlayıcı kısmı, tüm giriş dizisindeki bilgileri LSTM gizli durumlarının dizisinden üretilen bir vektöre sıkıştırılır. Girdi dizisinin sabit boyutlu temsili, Şekil 4'te gösterildiği gibi kodlama bölümünün son gizli durumu tarafından verilmektedir. Kod çözme bölümü, çıkış dizisini tahmin etmek için bir LSTM katmanına sahiptir. Ayrıca, global ağırlıklı bir öznitelik vektörü elde etmek için Kodlayıcı tarafından her seferinde gizli vektör çıkışı üzerinde dikkat işlemleri gerçekleştirilebilir [29]. Bununla birlikte, tüm bu görevler, LSTM'nin kendisinin özellik çıkarma işlemine dikkat edilmeden veya değiştirilmeden, LSTM'nin kendisinin özelliklerine veya buna dayalı yardımcı özellik işleme işlemlerinin eklenmesine dayanılmaktadır. Aşağıdaki çalışmada, kirletici konsantrasyonunun zaman serisi tahmini için

Kodlayıcı-Kod Çözücü modelini kullanmaya devam edilecektir, ancak LSTM yapısal dönüşümüne ve özellik çıkarma performansına odaklanacaktır.

Şekil 5'te kullandığımız Kodlayıcı-Kod Çözücü Modeli için ilk olarak veri seti üzerinde ön işleme gerçekleştirilmiştir. Bunun için tek parça metin halinde olan veri setini eşit uzunluktaki parçalara bölünmüştür. Burada karakter seviyesinde eğitim yapılacağı için eşit karakter uzunluklarına bölünmüştür. Burada eşit karakter uzunluğundaki veri parçalarından son karakter hariç kısmını girdi olarak kullanıldı ve son karakteri de hedef çıktısı olarak kullanıldı. Eğitim veri seti ile eğittiğimiz dil modelini daha sonra kullanırken bir ön metin verildi ve her adımda bir sonraki karakteri tahmin etmesi için çalıştırıldı. Modelin ürettiği karakter tahmin dağılımını 4. adımda örnekleme metotlarından birisine gönderildi ve karakter tahminini gerçekleştirildi. Tahmin edilen karakter girdi metnine eklenerek yeni metin üretildi ve bu tekrar modele gönderildi. Yeterli uzunluğa ulaşılan kadar bu adım tekrarlandı ve metin üretimi gerçekleştirildi.

2.4. GNN (Graph Neural Networks)

Grafik sinir ağlarının (GNN'ler) arkasındaki ana fikir, sinir ağları aracılığıyla düğümün yerel komşularından özellik bilgilerini toplamaktır [30]-[32]. Son zamanlarda giderek daha fazla sayıda araştırmacı GNN'lerin NLP görevindeki etkinliğini kanıtlamıştır. Metin sınıflandırması için [33], sözcük birlikteliğine ve belge sözcük ilişkilerine dayalı bir grafik üzerinde hem sözcüklerin hem de belgelerin yerleşimlerini öğrenmek için bir Metin Grafiği Konvolüsyon Ağı (Metin-GCN) kullanılır. Soru cevaplama için [34], DAG'lere kıyasla daha karmaşık grafikler oluşturan kanıt entegrasyonu gerçekleştirir ve sorunu [35], varlıkların sözlerinin bu grafiğin düğümleri olduğu, kenarların ise farklı sözlerin arasındaki ilişkileri kodladığı bir grafik üzerinde bir çıkarım sorunu olarak çerçevelenmekte. Bilgi çıkarma için [36], grafiklerle geliştirilmiş ikili dikkat ağı (GEDA) aracılığıyla cümleler ve potansiyel ilişki örnekleri arasındaki karmaşık etkileşimi karakterize etmektedir. Son çalışma için GNN-LM, bir girdi bağlamı ile onun eğitim derleminden seçilen anlamsal olarak ilişkili komşuları arasında yönlendirilmemiş heterojen bir grafik oluşturulmaktadır [37], GNN'ler, belirtecin kodunu çözmek için benzer bağlamlardan gelen bilgileri toplamak için grafik üzerine oluşturulmaktadır.

2.5. Örnekleme (Sampling) Yöntemi

Örnekleme, dil modelinden çıkarılan koşullu kelime olasılık dağılımına göre bir sonraki kelimeyi rastgele seçmek anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, bu kod çözme yöntemiyle metin üretimi deterministik değildir.

Doğrudan dil modellerinden çıkarılan olasılıkları kullanmak genellikle tutarsız metne yol açılmaktadır. İşin püf noktası, olasılık dağılımına bir softmax uygulayarak ve sıcaklık parametresini değiştirerek daha keskin veya pürüzsüz hale getirerek olasılık dağılımını daha keskin hale getirilmektedir (yüksek olasılıklı kelimelerin olasılığını artırma ve düşük olasılıklı kelimelerin olasılığını azaltmada olduğu gibi). Bu hile ile çıktı genellikle daha tutarlıdır [45].

Greedy search, bir sonraki kelime olarak en yüksek olasılıkla belirteci seçilmektedir. Ancak, her zaman en olası kelimeyi örnek alırsak, standart dil modeli eğitim hedefi, aşağıdaki gibi döngülere takılmamıza neden olur [39]:

“Bilmiyorum. Bilmiyorum. Bilmiyorum.”

Temperature sampling, yüksek sıcaklığın düşük enerji durumlarıyla karşılaşma olasılığının daha yüksek olduğu istatistiksel termodinamikten esinlenmiştir. Olasılık modellerinde, logitler enerjinin rolünü oynar ve logitleri softmax'a beslemeden ve örnekleme olasılıklarımızı elde etmeden önce sıcaklığa bölerek sıcaklık örneklemesini uygulanabilir [39]. *Top-K* örneklemesinde, K büyük olasılıkla bir sonraki kelime filtrelenir ve ardından bir sonraki tahmin edilen kelime yalnızca bu K kelime arasından örneklenir. Üretilen metin, şimdiye kadar görülen diğer yöntemlerle üretilen metinden genellikle daha insancıldır. Top-K örneklemesiyle ilgili bir endişe, K sabit olduğu için bir sonraki sözcük olasılık dağılımından filtrelenen sözcük sayısını dinamik olarak uyarlanmamasıdır. Sonuç olarak, bir sonraki kelime olasılık dağılımı çok keskinse, bu K kelime arasından çok olası olmayan kelimeler seçilebilir [39].

2.6. Değerlendirme Metrikleri

Literatürde metin üretilmesine yönelik çalışmaların başarısını değerlendirmek için kullanılan çeşitli otomatik değerlendirme kriterleri bulunmaktadır. BLUE, ROUGE, METEOR ve CIDER, görüntülerden metin üretilmesi için en çok kullanılan değerlendirme kriterleridir. Bu kriterlerin değerleri 0-1 arasında değişmektedir. 1'e yakın değerler yapay zekanın insan çevirisi kadar başarılı olduğunu, 0'a yakın değerler ise başarı oranının çok düşük olduğunu gösterilmektedir. Metin üretme için otomatik metrikler üzerine kapsamlı bir araştırma yapılmıştır [40]. Bu çalışmada kullanılan kriterler BLUE, METEOR ve ROUGE'dir.

BLEU Metin üretimi için en yaygın kullanılan metriktir. Başlangıçta BLEU [41] makine tarafından çevrilmiş metnin kalitesini değerlendirmek için kullanılan bir ölçüdür. Koşulsuz metin oluşturmada, test setindeki tüm cümleler referans seti olarak kabul edilir ve oluşturulan cümleler bu referans

seti üzerinden ortalama BLEU puanı hesaplanarak değerlendirilir. Sınırlı bir referans seti (her koşul için) içeren makine çevirisi gibi koşullu metin oluşturma görevlerinde, oluşturulan metin ile referans setinin benzerliğini hesaplamak mantıklı olabilir. Bununla birlikte, koşulsuz metin oluşturma görevi için referans seti mevcut tüm cümlelerdir ve BLEU gibi ölçümler, metin oluşturma modeli tarafından referans cümlelerin ne kadarının kapsanabileceğini ölçmeden sadece oluşturulan cümlelerin geçerliliğini dikkate alır. Öte yandan, GAN tabanlı metin oluşturma modelleri, oldukça sınırlı bir cümle dizisi oluşturabilir ve çeşitliliği feda edebilir (mod çökmesi sorunu nedeniyle). Bu nedenle, bu modellerin BLEU puanı kullanılarak değerlendirilmesi, kapsamı dikkate alınmadan sadece çıktılarının geçerliliğini gösterilir.

METEOR, makine çevirisi değerlendirmesi için başka bir ölçümdür ve insan muhakemesi ile daha iyi bir korelasyona sahip olduğunu iddia edilmektedir. BLEU ile ilgili sorun şu ki, BP değeri tüm derlemde ortalaması alınan uzunlukları kullandığından, bireysel cümlelerin puanları isabet alınmaktadır. Bu sorunu çözmek için *METEOR*, hassasiyet ve geri çağırma hesaplamalarını değiştirilir, bunların yerine eşleme unigramlarına dayalı ağırlıklı bir F-skoru ve yanlış kelime sırası için bir ceza işlevi koyulmaktadır. Bir çeviriyi, çeviri ile referans çeviri arasındaki açık kelimedenden kelimeye eşleşmelere dayalı bir puan hesaplayarak değerlendirmektedir. Birden fazla referans çeviri mevcutsa, verilen çeviri her bir referansa karşı bağımsız olarak puanlanır ve en iyi puan raporlanmaktadır [42]. *ROUGE* yalnızca hatırlamaya dayalıdır ve çoğunlukla özet değerlendirme için kullanılmaktadır. Geri çağırmayı hesaplamak için kullanılan özelliğe bağlı olarak, *ROUGE*, *ROUGE-N*, *ROUGE-L*, *ROUGE-W* ve *ROUGE-S* olmak üzere birçok türde olabilir [43].

3. TEST SONUÇLARI VE ANALİZ

Bu bölümde, RNN, Encoder-Decoder ve GNN'in çeşitli görevler üzerindeki deney sonuçlarını sunulmaktadır. Önerilen yeni modelin üstünlüğünü ve grafik bilgileri sunmanın etkinliğini göstermek için güçlü temel modellerle karşılaştırmayı da gösterilmektedir. Li ve ark. çalışmasında GNN üzerinde KG (Knowledge Graph) encoding modelini geliştirdiler [44]. Geliştirmesinde 3 farklı veri seti üzerinde kelime seviyesinde model eğitilmiştir. Bu çalışmanın kendi modelimizi kıyaslamak amacıyla WebNLG veri seti koyuldu [47]. Bu kısımda RNN ve Encoder-Decoder modelimizi İngilizce metni karakter bazında eğitildi. Buradaki çalışmalar iki farklı araştırma ve bizim geliştirdiğimiz yöntem kapsamında metrikler çıktısı alınmıştır. Tablo 1'de Li ve ark çalışmasında GNN-based KG encoder

yöntemi ile BLEU ve METEOR değerler elde edilmiştir [44]. Diğer Chen ve ark çalışmasında Transformer ve HGNN geliştiren model test çıktılarını Tablo 1'den gösterilmiştir [46]. Buradaki çalışmalar İngilizce metin kapsamında çalışma olup, buradaki modelimiz de İngilizce karşılığında model eğitilmiştir. Sonuçlar eğitilen modele göre farklı çıktıları ortaya koyulmuştur. Türkçe metin üretme çalışmasında Kaggle üzerinden birkaç veri seti kullanarak RNN ve Encoder-Decoder modeli oluşturulmuştur [24][28]. Oluşturulan modelde BLEU, ROUGE ve METEOR metrikler üzerinde testler yapılmıştır [42].

Tablo 1. Test amaçlı karşılaştırma için metrik değerlerinin karşılaştırılması

Yöntem	BLEU	ROUGE (Precision)	METEOR	Kaynak
GNN-based KG encoder	48.46	-	65.65	[44]
Transformer	17.06	31.16	14.37	[46]
HGNN	24.42	39.91	19.48	[46]
RNN (İngilizce veri seti)	99.31	85	61.03	-
Encoder-Decoder (İngilizce veri seti)	98.18	86.95	59.69	-

Bu çalışmada RNN ve Encoder-Decoder modelinin sonuçları bulunmaktadır. Bu modeller Greedy Search, Temperature ve Top-K sampling üzerinde çıktıları alınmıştır. Bu çıktılar BLEU, ROUGE_1, ROUGE_2, ROUGE_L, ROUGE_SUM ve METEOR metrik yöntemi uygulanmıştır [43]. Tablo 2'de bu metriklerin farklı çıktılarını gösterilmiştir. Eğitim sürecinde duygu analizi kapsamında data seti alınmıştır ve üzerinde ön işleme yapılmıştır. Kaggle'dan alınmış 2 farklı veri setinde sonuçlar farklı gösterilmektedir. Bunun sebebi de Türkçe ön işlenmiş veri seti olmaması ve çalışma azınlığındandır. Eğitilen modelin çıktısı Tablo 3'te gösterilmiştir. Bu çıktılarda eğittiğimiz dil modelin 3 farklı sampling'te gösterilmektedir. Gösterilen çıktılar her bir sampling için farklı cümleler kurmaktadır. Metrik ile kıyaslama yapıldığında çıktı yazılar da denk gelmektedir. Bu çalışma Encoder-Decoder model kapsamında uygulanmıştır.

Tablo 2. Farklı örnekleme yöntemlerine göre Encoder-Decoder modelinin kesinlik sonuçları

Yöntem	BLEU	ROUGE_1 (Precision)	ROUGE_2 (Precision)	ROUGE_L (Precision)	ROUGE_ SUM (Precision)	METEOR
Greedy Search	1.0	1.0	0.87	1.0	1.0	0.72
Temp (t=0.2)	1.0	0.95	0.83	0.95	0.95	0.62
Temp (t=0.5)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.62
Temp (t=1.0)	0.96	0.76	0.3	0.76	0.76	0.59
Temp (t=1.2)	0.97	0.76	0.3	0.71	0.71	0.59
Top-K (k=2)	0.97	0.70	0.27	0.70	0.70	0.57
Top-K (k=3)	0.96	0.55	0.11	0.55	0.55	0.58
Top-K (k=4)	0.96	0.56	0.27	0.56	0.56	0.60
Top-K (k=5)	0.91	0.52	0.20	0.52	0.52	0.58

Tablo 3. Duygu analizi veri seti üzerinde eğitilmiş dil modelinin çıktısı

Yazı girdisi:	Güzel paketlenmiş
Greedy Search Sampling:	güzel paketlenmiş bir ürün alın gerek yok beklentileri kaliteli bir ürün alın almayın bence değil ama kullanıyorum
Temperature Sampling:	güzel paketlenmiş bir ürün alın olduğu için aldım ama ben bir makinalı kalitesi bir ürün bir sere değil ama daha
Top-K Sampling:	güzel paketlenmişten yok kesin veriyor bekliyor ana sayar kargo derediğim içindi temin süperli olması gerek

Derin Öğrenme yaklaşımlarının RNN modelinde farklı veri seti kullanılmıştır. Türkçe veri seti kullanılmaktadır ve üzerinde önışleme yapılarak derlem (corpus) hazırlanmıştır. Bu çalışmada üretilen modeli test etmek için BLEU, ROUGE_1, ROUGE_2, ROUGE_L, ROUGE_SUM ve METEOR metrikleri kullanılmıştır. Tablo 4'te deney çıktıları ve kullanılan metrikleri sunmaktadır. Bu deney 20 döngü (epoch) olarak tanımlanmaktadır. Deneyin çıktıları alınan veri sete, önışlemeye, kullanılan yöntemlere ve eğitim sırasında verildiği döngü sayısına göre metrik çıktıları değişebilmektedir.

Tablo 4. Türkçe metin için eğitilen RNN deney çıktısı

Metrikler	Score	Precision	Recall	F-measure
BLEU	1.0	-	-	-
ROUGE_1	-	1	5.94	0.0001
ROUGE_2	-	0.85	4.91	9.83
ROUGE_L	-	0.96	5.73	0.0001
ROUGE_SUM	-	0.96	5.73	0.0001,
METEOR	0.55	-	-	-

4. SONUÇ VE ÖNERİ

Bu araştırmada Derin Öğrenme yaklaşımları kullanılmıştır. Doğal Dil İşleme (NLP) kapsamında Dil Modeli gerçekleştirilmiştir. Bu modelde Türkçe Metinler üzerinde Önışleme yapılmıştır. Veri seti mağaza yorumları Duygu Analizi-Kaggle sitesinden faydalanmıştır. Ayrıca Türkçe dilbilgisi disiplinine göre derlem (corpus) yapılarak model geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, derin öğrenme modelleri kullanılarak Türkçe dilinde otomatik metin üretimi gerçekleştirebilen modeller elde etmek ve Türkçe doğal dil işleme araştırmacılarına kaynak oluşturmaktır. Bölümün son kısmında yapılan uygulamada verilen çıktıların daha da geliştirilmesi için çalışmalar yapılacaktır.

Derin öğrenme tekniklerinin de geliştirilmesi ile birlikte doğal dil işleme alanında elde edilen ilerlemelerle bilgisayar tabanlı otomatik metin üretimi mümkün olmaya başlanmıştır. Eğitilen modellerin genellikle çıktılarının kullanılan veri seti ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bu yüzden modellerin daha çeşitli veri setleri ile eğitilmesi, üreteceği metinlerin çeşitliliğini de artıracığı tahmin edilmektedir. Encoder-decoder modelinde kullanılan örnekleme yöntemlerinin farklı puanlar aldığı ve birbirlerine göre avantajları/dezavantajları olduğu gözlemlenmiştir. Greedy Sampling yönteminde çıktılar kendisini tekrara düşürmektedir, Top-K Sampling yönteminde ise anlamlı metinler oluşturmak zordur. Temperature Sampling Yönteminde ise sıcaklık (temperature) değerini çok fazla artırdığımızda anlamlı metinler üretmediği gözlemlenmiştir. Sıcaklık değeri düşük tutulursa daha tutarlı çalışmaktadır. RNN modelinin genellikle anlamlı çıktılar ürettiği gözlemlenmiştir. Bilindiği üzere RNN modeli sıralı veriler için başarılı olmaktadır ve metin üretimi de sıralı karakterlerden oluşmaktadır. RNN modeli ve Temperature Sampling kullanan Encoder-Decoder modeli anlamlı metinler üretebilmiştir.

KAYNAKÇA

1. H. Jin, Y. Cao, T. Wang, X. Xing, and X. Wan, “Recent advances of neural text generation: Core tasks, datasets, models and challenges,” *Sci. China Technol. Sci.*, vol. 63, no. 10, pp. 1–21, 2020.
2. D. Paper, “Automated text generation,” in *TensorFlow 2.x in the Colaboratory Cloud*. Berkeley, CA, USA: Apress, 2021, doi: 10.1007/978-1-4842-6649-6_8.
3. M. Toshevska, F. Stojanovska, E. Zdravevski, P. Lameski, and S. Gievska, “Explorations into deep learning text architectures for dense image captioning,” in *Proc. Federated Conf. Comput. Sci. Inf. Syst.*, Sep. 2020, pp. 129–136.
4. O. Abdelwahab and A. Elmaghraby, “Deep learning based vs. Markov chain based text generation for cross domain adaptation for sentiment classification,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Inf. Reuse Integr. (IRI)*, Jul. 2018, pp. 252–255.
5. O. Dusek, J. Novikova, and V. Rieser, “Evaluating the state-of-the-art of end-to-end natural language generation: The E2E NLG challenge,” *Comput. Speech Lang.*, vol. 59, pp. 123–156, Jan. 2020.
6. G. Tommi, “Natural language processing in adversarial settings and beyond: Benefits and risks of text classification, transformation, and representation,” 2021.
7. J. Lee, B. Liang, and H. Fong, “Restatement and question generation for counsellor chatbot,” in *Proc. 1st Workshop NLP Positive Impact*. Association for Computational Linguistics, 2021, pp. 1–7.
8. B. Feng, D. Liu, and Y. Sun, “Evolving transformer architecture for neural machine translation,” in *Proc. Genetic Evol. Comput. Conf. Companion*, Jul. 2021, pp. 273–274.
9. J. Li, T. Tang, G. He, J. Jiang, X. Hu, P. Xie, Z. Chen, Z. Yu, W. X. Zhao, and J.-R. Wen, “TextBox: A unified, modularized, and extensible framework for text generation,” 2021, arXiv:2101.02046.
10. J. Li, T. Tang, W. X. Zhao, Z. Wei, N. J. Yuan, and J.-R. Wen, “Few-shot knowledge Graph-to-Text generation with pretrained language models,” 2021, arXiv:2106.01623.
11. O. Shatalov and N. Ryabova, “Towards Russian text generation problem using OpenAI’s GPT-2,” *CEUR-WS.org, Aachen, Germany, Tech. Rep.*, 2021.
12. M. Song, Y. Zhao, and S. Wang, “Exploiting different word clusterings for class-based RNN language modeling in speech recognition,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech Signal Process. (ICASSP)*, Mar. 2017, pp. 5735–5739.

13. Z. Kastrati, A. S. Imran, and A. Kurti, “Weakly supervised framework for aspect-based sentiment analysis on Students’ reviews of MOOCs,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 106799–106810, 2020.
14. H. D. Hejazi et al., “Arabic text generation: Deep learning for poetry synthesis,” in *Advanced Machine Learning Technologies and Applications*, vol. 1339, no. 1339. Egypt: Springer, 2021, pp. 104–116.
15. N. Tintarev, E. Reiter, R. Black, A. Waller, and J. Reddington, “Personal storytelling: Using natural language generation for children with complex communication needs, in the wild,” *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, vols. 92–93, pp. 1–16, Aug. 2016.
16. J. Gu, Q. Wu, and Z. Yu, “Perception score, a learned metric for opened text generation evaluation,” in *Proc. AAAI Conf. Artif. Intell.*, vol. 35, no. 14, 2021, pp. 12902–12910.
17. Fatima N. et al. A Systematic Literature Review on Text Generation Using Deep Neural Network Models //IEEE Access. – 2022.
18. Köbis, N., & Mossink, L. D. (2021). Artificial intelligence versus Maya Angelou: Experimental evidence that people cannot differentiate AI-generated from human-written poetry. *Computers in Human Behavior*, 114, Article 106553.
19. Fu, Z., Lam, W., So, A. M. C., & Shi, B. (2021, May). A theoretical analysis of the repetition problem in text generation. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence* (Vol. 35, No. 14, pp. 12848-12856).
20. Zhang, Y., Sun, S., Gao, X., Fang, Y., Brockett, C., Galley, M., ... & Dolan, B. (2022). RetGen: A Joint framework for Retrieval and Grounded Text Generation Modeling.
21. Lebet, R., Grangier, D., & Auli, M. (2016). Neural text generation from structured data with application to the biography domain. *arXiv preprint arXiv:1603.07771*.
22. Guo, J., Lu, S., Cai, H., Zhang, W., Yu, Y., & Wang, J. (2018, April). Long text generation via adversarial training with leaked information. In *Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence* (Vol. 32, No. 1).
23. Sherstinsky, A., 2018. Fundamentals of recurrent neural network (RNN) and long short-term memory (LSTM) network. *CoRR*, vol. abs/1808.03314, 2018. [Online]. Available: URL: <http://arxiv.org/abs/1808.03314>.
24. Bengio, S., Vinyals, O., Jaitly, N., Shazeer, N., 2015. Scheduled sampling for sequence prediction with recurrent neural networks. *CoRR*, vol. abs/1506.03099, 2015. [Online]. Available: URL: <http://arxiv.org/abs/1506.03099>.
25. Pascanu, R., Mikolov, T., Bengio, Y., 2013. On the difficulty of training recurrent neural networks. In: *International conference on machine learning*, pp. 1310– 1318.

26. Sutskever, I., Martens, J., Hinton, G.E., 2011. Generating text with recurrent neural networks. In: Proceedings of the 28th International Conference on Machine Learning (ICML-11), pp. 1017–1024.
27. Bui, T. C., Le, V. D., Cha, S. K., “A Deep Learning Approach for Air Pollution Forecasting in South Korea Using Encoder-Decoder Networks & LSTM,” in arXiv preprint arXiv: 1804.07891, 2018.
28. Lyu, P., Chen, N., Mao, S., Li, M., 2020. LSTM based encoder-decoder for short-term predictions of gas concentration using multi-sensor fusion. *Process Saf. Environ. Prot.* 137, 93–105.
29. Gangopadhyay, T., Tan, S.Y., Huang, G., Sarkar, S., 2018. Temporal attention and stacked LSTMs for multivariate time series prediction. 32nd Conference on Neural Information Processing Systems.
30. Liyuan Liu, Jingbo Shang, Xiang Ren, Frank Xu, Huan Gui, Jian Peng, and Jiawei Han. 2018a. Empower sequence labeling with task-aware neural language model. In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, volume 32.
31. Petar Velickovi^c, Guillem Cucurull, Arantxa Casanova, Adriana Romero, Pietro Lio, and Yoshua Bengio. 2017. Graph attention networks. arXiv preprint arXiv:1710.10903.
32. Will Hamilton, Zhitao Ying, and Jure Leskovec. 2017. Inductive representation learning on large graphs. *Advances in neural information processing systems*, 30.
33. Liang Yao, Chengsheng Mao, and Yuan Luo. 2019. Graph convolutional networks for text classification. 33(01):7370–7377.
34. Linfeng Song, Zhiguo Wang, Mo Yu, Yue Zhang, Radu Florian, and Daniel Gildea. 2018. Exploring graph-structured passage representation for multihop reading comprehension with graph neural networks. arXiv preprint arXiv:1809.02040.
35. Nicola De Cao, Wilker Aziz, and Ivan Titov. 2018. Question answering by reasoning across documents with graph convolutional networks. arXiv preprint arXiv:1808.09920.
36. Jerry Chun-Wei Lin, Yinan Shao, Youcef Djenouri, and Unil Yun. 2021. Asrnn: a recurrent neural network with an attention model for sequence labeling. *Knowledge-Based Systems*, 212:106548.
37. Yuxian Meng, Xiaoya Li, Xiayu Zheng, Fei Wu, Xiaofei Sun, Tianwei Zhang, and Jiwei Li. 2021a. Fast nearest neighbor machine translation. arXiv preprint arXiv:2105.14528.
38. Wang, S., Meng, Y., Ouyang, R., Li, J., Zhang, T., Lyu, L., & Wang, G. (2022). GNN-SL: Sequence Labeling Based on Nearest Examples via GNN. *arXiv preprint arXiv:2212.02017*.

39. Holtzman, A., Buys, J., Du, L., Forbes, M., & Choi, Y. (2020). The Curious Case of Neural Text Degeneration. In *International Conference on Learning Representations*.
40. E. Battini Sonmez, T. Yildiz, B. D. Yilmaz, and A. E. Demir, “Türkçe dilinde görüntü altyazısı: veritabanı ve model,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Jul. 2020, doi: 10.17341/gazimmfd.597089.
41. Kishore Papineni, Salim Roukos, Todd Ward, and WeiJing Zhu. 2002. Bleu: a method for automatic evaluation of machine translation. In Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, July 6-12, 2002, Philadelphia, PA, USA., pages 311–318. ACL.
42. Banerjee, S. and Lavie, A. (2005) “METEOR: An Automatic Metric for MT Evaluation with Improved Correlation with Human Judgments” in Proceedings of Workshop on Intrinsic and Extrinsic Evaluation Measures for MT and/or Zeynep KARACA, Bihter DAŞ 837 Summarization at the 43rd Annual Meeting of the Association of Computational Linguistics (ACL-2005), Ann Arbor, Michigan, June 2005
43. D. Raj, “Metrics for NLG evaluation,” *Explorations in Language and Learning*, Sep. 16, 2017. <https://medium.com/explorations-in-language-and-learning/metrics-for-nlg-evaluation-c89b6a781054> (Erişim tarihi: 4 Ocak, 2023).
44. Li, J., Tang, T., Zhao, W. X., Wei, Z., Yuan, N. J., & Wen, J. R. (2021). Few-shot knowledge graph-to-text generation with pretrained language models. *arXiv preprint arXiv:2106.01623*.
45. Y. Bengio and J.-S. Senecal, “Adaptive Importance Sampling to Accelerate Training of a Neural Probabilistic Language Model,” in *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 19, no. 4, pp. 713-722, April 2008, doi: 10.1109/TNN.2007.912312.
46. Liu, S., Chen, Y., Xie, X., Siow, J., & Liu, Y. (2020). Retrieval-augmented generation for code summarization via hybrid gnn. *arXiv preprint arXiv:2006.05405*.
47. Leonardo F. R. Ribeiro, Yue Zhang, Claire Gardent, and Iryna Gurevych. 2020a. Modeling global and local node contexts for text generation from knowledge graphs. *Trans. Assoc. Comput. Linguistics*, 8:589–604

Statistical Methods Used In Engineering

Mehmet Emin DEMİR¹

1. INTRODUCTION

Statistical analysis is essential for scientific research, business decision-making, policy formulation, and many other fields where data-driven insights are crucial. It allows researchers and analysts to uncover meaningful patterns, make informed decisions, and draw reliable conclusions based on empirical evidence. Overall, statistical approaches provide engineers with powerful tools for data analysis, decision making, process improvement, reliability assessment, validation, and optimization. By leveraging statistical techniques, engineers can enhance efficiency, reliability, quality, and performance in various engineering applications.

Statistical analysis can be performed using a variety of software tools, including R, Minitab, Python, SAS, and SPSS. Performing successful statistical analysis necessitates cautious planning, meticulous attention to detail, and a thorough comprehension of statistical theory and methodologies. In recent years, there have been numerous studies conducted in the field of engineering utilizing statistical methods [1-3]. Following the most recent articles examples that are used statistical methods: Syed Altaf Hussain utilized the Response Surface Methodology (RSM) to predict the mechanical properties of coconut fiber-reinforced composite. He concluded that increasing the number of parameters improves the accuracy of the developed model [4]. Samuel et al. aimed to determine the effects of fiber volume fraction and fiber length of both pineapple leaf and glass fiber reinforcements on the flexural strength of a composite material. They employed experimental data and utilized general regression and Taguchi methods to identify the optimal reinforcement ratios and fiber lengths.[5]. Torres et al. conducted a statistical analysis to investigate the modulus of

1 Dr. Öğr. Üyesi, Batman Üniversitesi, Beşiri Organize Sanayi Bölgesi Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, memin.demir@batman.edu.tr, 0000-0001-9630-6378

elasticity, strength, and failure strain values of composites produced using various fiber types and weave types. They employed different statistical methods to analyze the data and determine the most suitable distribution for each property. The authors found that the modulus of elasticity followed a normal distribution, indicating that it can be adequately described by this distribution. On the other hand, the strength and failure strain exhibited a better fit with the Weibull distribution [6]. Hiwa et al. employed the Taguchi experimental design method to investigate the experimental results of composite materials produced with different fiber parameters, such as fiber orientation angle and fiber weight fraction. They utilized ANOVA to interpret the data. The ANOVA analysis revealed that the most influential parameter on tensile strength was the fiber form [7].

Statistical approaches are widely used in engineering applications for several reasons such as data analysis, data cleaning and preparation and visualization.

Data Analysis

Engineering projects generate large amounts of data, and statistical techniques provide a systematic framework for analyzing and interpreting this data. Utilizing statistical methods, engineers can specify patterns, trends, and correlations within the data, enabling them to make well-informed decisions and derive significant insights.

Data cleaning and preparation

Data cleaning and preparation are essential components of statistical analysis since the accuracy and reliability of the results are directly influenced by the quality of the data. Before conducting any statistical analysis, it is important to ensure that the data is clean, consistent, and properly prepared.

Visualization

Visualization is a powerful tool in statistical analysis that involves representing data and statistical results visually through charts, graphs, plots, and diagrams. It helps in understanding patterns, trends, and relationships within the data, and facilitates effective communication of findings to a wider audience.

2. STATISTICAL METHODS USED IN ENGINEERING

2.1. Experimental Design

Experimental design is a crucial aspect of engineering research and development, aiming to systematically investigate and optimize various

factors and their interactions to achieve desired outcomes. It involves carefully planning and conducting experiments to gather meaningful data and draw reliable conclusions. Experimental design helps engineers understand the relationship between variables, evaluate the effectiveness of different design choices, and make informed decisions for product development and process improvement. One commonly used approach in experimental design is the “Design of Experiments” (DOE) methodology. DOE provides a structured framework for systematically varying and controlling input factors or variables to observe their impact on the response or output of interest. This approach allows engineers to efficiently explore a wide range of factors and their interactions within a limited number of experiments.

DOE typically involves the following steps:

Problem definition: Clearly defining the research problem, objectives, and desired outcomes.

Selection of factors: Identifying the key factors or variables that may influence the response. These can include design parameters, material properties, process conditions, or environmental factors.

Experimental design selection: Choosing an appropriate experimental design that suits the research objectives and constraints. Common designs consist of response surface designs, factorial designs and Taguchi designs.

Determining levels and ranges: Specifying the levels or values at which each factor will be varied during the experiment. The ranges should cover the expected operating conditions or values of interest.

Conducting experiments: Carrying out the planned experiments, carefully controlling the factors, and collecting relevant data.

Data analysis: Analyzing the collected data using statistical methods to identify significant factors, assess their impact, and model their relationship with the response variable.

Drawing conclusions: Interpreting the results and drawing meaningful conclusions regarding the effects of the factors on the response. This information can guide further optimization or decision-making processes. [8,9]

Key Elements of DOE:

DOE involves several key elements to ensure a well-designed experiment:

Factors: These are the variables or inputs that are intentionally manipulated during the experiment. They can be quantitative (e.g., temperature, pressure) or qualitative (e.g., material type, operator).

Levels: Each factor is defined at specific levels or values that represent different settings or conditions. The range and selection of levels depend on the factors' expected influence and operating conditions.

Response variable: This is the outcome or output of interest that is measured or observed during the experiment. It can be a physical measurement, quality characteristic, process performance metric, or customer response.

Experimental design: The choice of an appropriate experimental design is crucial in DOE. Common designs include factorial designs (full factorial or fractional factorial), response surface designs, and Taguchi designs. These designs determine the arrangement and combinations of factor levels to be tested.

Replication: Replication involves repeating the experiment with the same factor settings to assess the variability and reliability of the results. Replication helps account for random variation and enhances the precision of the estimates. [8,9]

Applications of Experimental Design in Engineering:

Experimental design is widely used in various engineering fields, including manufacturing, product development, process optimization, and quality control. Some specific applications include:

- Designing and improving manufacturing processes to increase efficiency, reduce defects, and optimize product quality.
- Assessing the performance of new materials, components, or systems under different conditions.
- Evaluating the effects of process parameters on product performance or characteristics.
- Studying the impact of design factors on the structural integrity or durability of engineering systems.
- Optimizing parameters in computer simulations or mathematical models to accurately represent real-world phenomena.
- Investigating the effects of environmental factors on the performance of structures or systems.

2.2. Analysis of variance (ANOVA)

ANOVA is a parametric statistical method that assesses whether there are significant differences in means between two or more groups. It is particularly useful when analyzing experimental or observational data with

categorical independent variables and a continuous dependent variable. The key aspects of ANOVA in engineering include:

Variability Analysis: ANOVA decomposes the total variability in the data into different components: the variability between groups and the variability within groups. By analyzing these elements, engineers can comprehend the origins of variation and ascertain the statistical significance of the disparities between groups.

Hypothesis Testing: ANOVA involves testing the null hypothesis that there is no significant difference in means between the groups. If the observed differences are larger than what would be expected by chance, the null hypothesis is rejected, indicating that at least one group differs significantly from the others.

F-Test: ANOVA utilizes the F-statistic, which represents the ratio of the variance between groups to the variance within groups. The F-statistic follows an F-distribution, and its significance level is used to determine the statistical significance of the observed differences.

Types of ANOVA:

There are several types of ANOVA that can be applied based on the research design and specific requirements:

One-Way ANOVA: Used when comparing means across multiple independent groups or conditions.

Two-Way ANOVA: Examines the impact of two independent variables on dependent variable.

Factorial ANOVA: Similar to two-way ANOVA but can involve more than two independent variables (factors).

Repeated Measures ANOVA: Appropriate when measuring the same subjects or units under different conditions or time points. [10]

2.3. Taguchi Method

The Taguchi method is a widely used approach in engineering for robust design and quality improvement. It emphasizes the importance of reducing variation in product or process performance by identifying and optimizing the key control factors that have a important effect on the output.

The key principles of the Taguchi method include the following:

Systematic Design of Experiments: The Taguchi method emphasizes the use of carefully designed experiments to efficiently explore the design

space and identify the significant factors affecting the quality of a product or process. It employs orthogonal arrays, which are structured matrices that allow for a systematic exploration of factor combinations with a minimum number of experimental runs.

Signal-to-Noise Ratio: Instead of focusing solely on means and variances, the Taguchi method introduces the concept of signal-to-noise ratio (SNR) to evaluate the quality characteristics. SNR represents the ratio of the desired signal (the deviation from the target value) to the undesired noise (the variability caused by uncontrollable factors). By optimizing the SNR, the Taguchi method aims to minimize the effects of noise factors and enhance product robustness.

Parameter Design and Tolerance Analysis: Taguchi distinguishes between tolerance design and parameter design. Parameter design focuses on selecting the optimal levels of control factors to improve the average performance and minimize sensitivity to noise factors. Tolerance design, on the other hand, aims to determine appropriate tolerances for the control factors to ensure product robustness in the presence of unavoidable variations.

Taguchi Loss Function: The Taguchi method introduces the concept of a loss function, which quantifies the cost or loss incurred by deviations from the target value or desired quality characteristic. By minimizing the loss function, the Taguchi method seeks to optimize the overall quality performance. [11,12]

2.4. Response Surface Methodology (RSM)

RSM is a statistical method widely used in engineering and scientific research to optimize and improve processes, products, and systems. RSM allows for the study of complex relationships between multiple input variables and the response (output) variable by fitting a mathematical model to experimental data.

The key features of Response Surface Methodology include:

Experimental Design: RSM employs a carefully designed set of experiments to explore the design space and collect data on the response variable at various levels of the input variables. Box-Behnken Design and Central Composite Design are commonly used experimental designs in RSM.

Model Fitting: RSM fits a mathematical model, typically a polynomial regression model, to the experimental data. The model captures the relationship between the input variables and the response variable, enabling

prediction and optimization of the response for any combination of input values.

Optimization: RSM aims to find the optimal input settings that maximize or minimize the response variable. Optimization techniques, such as desirability function approach or numerical optimization algorithms, are applied to find the optimal combination of input variables that satisfy the desired response criteria.

Validation: After obtaining the optimal input settings, the model predictions are validated by conducting additional experiments or testing. This ensures the reliability and accuracy of the model in practical applications.

2.5. Modeling and Regression Analysis

Regression analysis is utilized to investigate the correlation between a dependent variable and one or more independent variables. It helps to understand the effect of predictors on the outcome and make predictions or forecasts. Other modeling techniques, such as logistic regression, time series analysis, and multivariate analysis, may also be employed depending on the research question and data structure.

Modeling and regression analysis are essential components of statistical analysis that involve building mathematical models to understand and quantify the relations between variables. Regression analysis, in particular, is a widely used method for examining the influence of independent variables on a dependent variable. Modeling is the process of creating a mathematical or statistical representation of a real-world system or phenomenon. It involves formulating a set of assumptions, selecting appropriate variables, and specifying the functional form of the model. Examination of the relationship between a dependent variable and independent variables is done by regression analysis. It aims to estimate the effects of the independent variables on the dependent variable and understand the nature of the relationship (e.g., positive, negative, linear, nonlinear). Regression analysis helps to make predictions, infer causality, and assess the significance of the relationships. There are various types of regression models such as Multiple Linear Regression, Simple Linear Regression, Nonlinear Regression, Polynomial Regression, Logistic Regression, Time Series Regression.

Regression analysis is widely used in engineering for various purposes, such as:

Prediction: Regression models enable the prediction of dependent variable values based on the independent variable values. This predictive capability

is valuable in engineering applications, such as forecasting future behavior, estimating performance, or determining optimal operating conditions.

Relationship Analysis: Regression analysis helps identify and quantify the relationships between variables. It can reveal the strength, direction, and statistical significance of the relationships, providing insights into the underlying mechanisms and factors influencing the system or process.

Optimization: Regression models can be utilized to optimize engineering processes by identifying the optimal settings of independent variables that lead to the desired outcome. Optimization techniques, such as response surface methodology or constrained regression, can be applied to find the optimal solutions.

Modeling and regression analysis find extensive applications in various engineering disciplines, including:

- **Process Optimization:** Regression models are used to optimize manufacturing processes, such as controlling process parameters to achieve desired product quality or minimizing waste and energy consumption.
- **System Design:** Models and regression analysis aid in system design by analyzing the relationships between system components and identifying critical factors affecting system performance.
- **Risk Assessment:** Regression models can be employed to assess and mitigate risks in engineering projects, such as predicting failure probabilities, estimating safety margins, or evaluating the impact of design changes.
- **Reliability Analysis:** Regression analysis is used to analyze reliability data, determining relationships between component lifetimes, environmental factors, and failure rates [13,14].

2.6. Statistical Process Control (SPC)

SPC is a powerful methodology employed in engineering to monitor and control processes to ensure they operate within desired quality standards. SPC provides tools and techniques to measure, analyze, and improve process performance by identifying and reducing variations that can lead to defects or inefficiencies. The primary goal of SPC is to maintain process stability and ensure that processes operate within specified limits. By monitoring process variations, engineers can identify special causes of variation (non-random or assignable causes) and take corrective actions to eliminate or

reduce them. SPC helps in achieving consistent quality, reducing defects, improving productivity, and enhancing customer satisfaction. SPC can be used to assess process capability, which measures the capability of a process to generate data within specified limits. Process ability indices, including C_p , C_{pk} , P_p , and P_{pk} , offer numerical indicators of the extent to which a process satisfies customer demands. Process capability analysis helps engineers understand if the process is capable of producing products that meet the desired specifications and whether adjustments or improvements are necessary. Implementing SPC involves several steps, including selecting appropriate control charts, defining process measures and data collection procedures, establishing control limits, training personnel on data collection and interpretation, and regularly analyzing control charts. SPC is often integrated into an overall quality management system to ensure continuous monitoring and improvement of processes [15].

SPC offers several benefits in engineering applications, including:

Early detection of process deviations and non-conformities, enabling timely corrective actions.

- Reduction in process variations, leading to improved product quality and consistency.
- Increased process efficiency and productivity by eliminating waste and rework.
- Improved customer satisfaction through the delivery of high-quality products or services.
- Data-driven decision making based on objective analysis of process performance.
- Cost savings by minimizing defects, scrap, and rework, and optimizing process parameters.

SPC is widely used in various industries, including manufacturing, healthcare, service sectors, and engineering disciplines, to monitor and control processes, improve quality, and drive continuous improvement. It helps organizations achieve stable and predictable processes, resulting in improved product performance, reduced costs, and increased customer satisfaction.

2.7. Reliability analysis

Reliability analysis is a statistical method employed to assess the reliability and performance of systems, components, or processes over time. It involves

analyzing data on failures, repairs, or other relevant events to estimate key reliability metrics, make predictions, and inform decision-making. Reliability analysis technique can be classified as;

Reliability Metrics: Reliability analysis aims to quantify the reliability characteristics of a system or component. Key reliability metrics include:

- **Failure Rate (λ):** The failure rate denotes the frequency of failures transpiring in a system or component, typically quantified as the number of failures transpiring within a given time period.
- **Mean Time Between Failures (MTBF):** MTBF is the average time elapsed between consecutive failures. It provides an estimate of the system's expected operational time before a failure occurs.
- **Probability of Failure:** The probability of failure at a specific time represents the likelihood that a system or component will experience a failure before or at given time.
- **Reliability Function (Survival Function):** The reliability function characterizes the likelihood that a system or component will operate without failure within a defined timeframe, representing the probability of proper functioning over the specified duration.
- **Availability:** Availability measures the probability that a system or component is functioning and available for use at a given time. [16]

Reliability Distributions: Reliability analysis often involves fitting data to specific probability distributions to model the failure times or durations between failures. Commonly used distributions include exponential distribution, Weibull distribution, log-normal distribution and normal distribution. Each distribution has its own shape and parameters that affect the estimation and prediction of reliability metrics.

Life Data Analysis: Life data analysis is a method utilized in reliability analysis to analyze failure time data and estimate reliability metrics. It involves collecting data on failure times or durations and applying statistical methods to estimate parameters of the reliability distribution. Techniques such as maximum likelihood estimation, least squares estimation, and graphical methods (e.g., Kaplan-Meier plots) are commonly used in life data analysis.

Reliability Prediction: Reliability estimation is the process of predicting the reliability of a system or component before it is put into operation. It involves analyzing the design, components, and environmental factors to make predictions about the expected reliability performance. Reliability

prediction methods, such as MIL-HDBK-217, Telcordia (formerly Bellcore) standards, and FIDES, provide guidelines and models to estimate reliability metrics based on component-level failure rates and stress factors.

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): is a structured methodology employed to systematically identify and prioritize potential failure modes of a system, component, or process, as well as evaluate their potential consequences and impacts. It involves evaluating the severity, occurrence, and detectability of each failure mode to prioritize improvement actions and allocate resources effectively. FMEA helps in proactively identifying and mitigating potential failures before they occur.

Reliability Testing: Reliability testing involves subjecting a system, component, or product to controlled conditions to observe its performance and failure characteristics. Reliability tests can be performed under various stress levels, environmental conditions, or usage scenarios to assess the product's reliability and validate the predicted reliability metrics. Accelerated life testing is a technique used to simulate and predict product reliability by subjecting it to accelerated conditions to induce failures more rapidly.

Reliability Growth Analysis: Reliability growth analysis is used to assess the improvement in reliability over time during the development or operational phase of a system or product. It involves tracking failures, analyzing the data, and applying statistical models to quantify the improvement in reliability as the result of corrective actions or design changes. Reliability growth analysis helps in evaluating the effectiveness of reliability improvement efforts and making data-driven decisions for further improvements.

Maintainability Analysis: Maintainability analysis focuses on the capability of a component or system to be repaired or restored to its operational state within a specified time frame. It involves analyzing data on repair times, maintenance activities, and other relevant factors to estimate maintainability metrics such as mean time to repair (MTTR) and availability.

2.8. Statistical simulation

Statistical simulation, also known as Monte Carlo simulation, is a powerful technique used in statistical analysis to model and analyze complex systems or processes. It involves generating multiple random samples from probability distributions to simulate the behavior and outcomes of the system or process of interest. Simulation is extensively used in engineering fields to model and analyze complex systems, such as manufacturing processes, transportation systems, and structural designs.

The simulation process typically involves the following steps:

- Define the problem: Clearly define the system, process, or phenomenon to be simulated and identify the objectives and variables of interest.
- Develop a model: Create a mathematical or statistical model that represents the behavior and relationships of the system or process. This model can be based on theoretical principles, historical data, or expert knowledge.
- Define input distributions: Specify the probability distributions and parameters that represent the uncertainties or variability in the input variables of the model. These input variables can include factors such as demand, arrival times, processing times, or other relevant parameters.
- Generate random samples: Randomly generate values from the specified input distributions for each input variable. The number of samples generated depends on the desired level of precision and statistical significance.
- Run the simulation: Use the generated random samples as inputs to the model and simulate the behavior of the system or process. This involves applying the model's equations, rules, or algorithms to calculate the corresponding output variables.
- Analyze the results: Analyze the output variables obtained from the simulation to draw conclusions, make predictions, and evaluate the performance of the system or process.
- Validate and refine the model: Compare the simulated results with real-world data or other reliable sources to validate the model's accuracy. If discrepancies exist, the model may need refinement or adjustments to better represent the system or process. [17,18]

Advantages of Statistical Simulation can be listed as:

- Flexibility: Simulation allows for the modeling of complex systems or processes that may involve various interdependencies and nonlinear relationships.
- Uncertainty analysis: By incorporating probabilistic distributions for input variables, simulation enables the assessment of uncertainty and variability in the output variables, providing a more comprehensive understanding of the system's behavior.
- Decision support: Simulation provides a platform for exploring different scenarios and evaluating the impact of potential changes or interventions on system performance, facilitating decision-making.

- Risk assessment: Simulation can be used to assess and manage risks by identifying potential sources of failure or poor performance and quantifying their likelihood and consequences.
- Cost-effectiveness: Simulation allows for the evaluation of alternative strategies or configurations without the need for costly and time-consuming real-world experiments or trials.

2.9. Data Mining

Data Mining and Machine Learning are two interconnected fields that involve extracting knowledge and insights from large datasets. While they share similarities, they have distinct approaches and objectives. Data mining refers to the process of discovering patterns, relationships, and valuable information from large datasets. It involves applying various techniques, such as statistical analysis, machine learning, and pattern recognition, to uncover hidden patterns or structures within the data. The goal of data mining is to extract useful knowledge and make estimations on the samples identified in data.

Various data mining techniques are employed in engineering, including:

a. Classification: Classifying data into predefined categories or classes based on known examples. This can be used for tasks such as fault detection, quality control, or pattern recognition.

b. Regression Analysis: Modeling the relationship between variables to predict or estimate continuous numerical values. It is commonly used for tasks such as forecasting, optimization, or system modeling.

c. Clustering: Grouping similar data points based on their characteristics or behavior. Clustering can help in identifying natural groupings, anomaly detection, or customer segmentation.

d. Association Rule Mining: Discovering relationships, dependencies, and associations among variables or items in a dataset. This is useful for tasks like market basket analysis or recommendation systems.

e. Anomaly Detection: Identifying unusual or abnormal patterns in data that deviate from expected behavior. It is employed in areas such as fault detection, fraud detection, or anomaly monitoring. [19,20]

Data mining finds numerous applications in engineering domains, including:

- Manufacturing and Process Optimization: Analyzing sensor data and production records to identify process inefficiencies, optimize parameters, and improve quality control.

- **Predictive Maintenance:** Using historical data and sensor readings to predict equipment failures, optimize maintenance schedules, and reduce downtime.
- **Supply Chain Management:** Analyzing demand patterns, inventory data, and transportation networks to optimize inventory levels, streamline logistics, and improve delivery efficiency.
- **Energy Management:** Analyzing energy consumption patterns, identifying energy-saving opportunities, and optimizing energy usage in buildings or industrial processes.
- **Structural Health Monitoring:** Analyzing sensor data from infrastructure systems to assess structural integrity, detect anomalies, and optimize maintenance strategies.

Machine learning encompasses the creation of algorithms and models that empower computers to acquire knowledge from data and make precise forecasts or choices without explicit programming. In engineering, machine learning is used to analyze complex datasets, identify patterns, and develop predictive models for various applications. Machine learning (ML) has become increasingly prevalent in engineering applications, offering powerful tools for data analysis, prediction, optimization, and automation. [21,22]

Applications in Engineering: Machine learning finds wide-ranging applications in engineering domains, including:

- a. **Predictive Maintenance:** Using ML algorithms to analyze sensor data and identify patterns indicative of equipment failures, enabling proactive maintenance and minimizing downtime.
- b. **Quality Control:** ML models can analyze production data to detect defects, classify product quality, and optimize quality control processes.
- c. **Image and Signal Processing:** ML techniques, such as deep learning, are employed for image recognition, object detection, signal processing, and analysis of sensor data.
- d. **Energy Optimization:** ML algorithms can optimize energy consumption in buildings, manufacturing processes, or power grids by analyzing historical data, identifying patterns, and making energy-saving recommendations.
- e. **Structural Analysis:** ML models can analyze structural data, such as sensor readings or finite element analysis results, to assess structural health, predict remaining life, and optimize maintenance strategies.

Types of Machine Learning:

a. **Supervised Learning:** In this learning, the ML algorithm learns from labeled training data to generate estimations or classify new, unseen data. It includes mapping input features to corresponding output labels based on example pairs.[23]

b. **Unsupervised Learning:** It incorporates training models on unlabeled data, allowing them to discover hidden patterns or structures in the data without predefined output labels. It involves tasks such as clustering, dimensionality reduction, and anomaly detection. Clustering and dimensionality reduction are common unsupervised learning techniques. [23]

c. **Reinforcement Learning:** Reinforcement learning encompasses an agent's interaction with its surroundings, enabling it to acquire skills in order to maximize a reward signal. Agent learns through trial and error, receiving feedback on the consequences of its actions and adjusting its behavior accordingly [24].

Machine Learning Process:

Data Collection and Preparation: Gathering and preprocessing the data, including cleaning, transforming, and splitting it into training and testing sets.[25]

Model Selection and Training: Choosing an appropriate machine learning algorithm and training the model on the training data.

Model Evaluation: Assessing the model's performance on the testing data, using evaluation metrics specific to the task, such as accuracy, precision, recall, or mean squared error.

Model Tuning and Optimization: Fine-tuning the model parameters or architecture to improve its performance or address overfitting or underfitting issues [26].

Deployment and Prediction: Applying the trained model to new, unseen data to make estimations or classifications.

The areas of machine learning can be listed as follows; Natural language processing, image and speech recognition, predictive analytics, recommendation systems, autonomous vehicles, fraud detection and personalized medicine.

Data mining and machine learning techniques are often combined in practice, where data mining is used to discover patterns and insights from

large datasets, and machine learning is employed to develop models which is able to automatically make predictions or decisions based on the discovered knowledge. These fields play a vital role in leveraging the abundance of data available today and unlocking valuable insights and predictions that can drive innovation, efficiency, and informed decision-making in various domains.

3. Conclusion

In conclusion, statistical analysis plays a pivotal role in engineering by providing a powerful set of tools and techniques for extracting valuable insights from data, making informed decisions, and ensuring the reliability and performance of systems and components. It encompasses various statistical methods, such as hypothesis testing, regression analysis, analysis of variance (ANOVA), reliability analysis, and simulation, which are applied to diverse engineering applications. Through statistical analysis, engineers can identify patterns, trends, and relationships in data, validate hypotheses, optimize processes, evaluate performance, and make data-driven decisions. Moreover, statistical analysis facilitates quality control, risk assessment, experimental design, and optimization, enabling engineers to address challenges, improve efficiency, and enhance the overall success of engineering projects. By harnessing the power of statistical analysis, engineers can continuously innovate, drive progress, and contribute to the advancement of engineering knowledge and practice.

References

- 1- Mbuya, B., and Bafubiandi, A. F. M. (2023). Predicting Optimized Dissolution of Selected African Copperbelt Copper - cobalt - bearing Ores by Means of Neural Network Prediction and Response Surface Methodology Modeling. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 583–597. <https://doi.org/10.1007/s41660-023-00312-3>
- 2- Ashish, S., Karanam, K., Rathinam, R., Mouria, P. K., Alguno, A. C., Campangangan, R. Y., Achamyelah, T., Luis, J., Gonzales, A., Sharma, V. K., and Livingston, T. S. (2023). Optimizing the Parameters of Spark Plasma Sintering to Enhance the Hardness of MgO / TiC Composites. 2023.
- 3- Arul, M., Sasikumar, K. S. K., & Sambathkumar, M. (2023). Enhancement of Fracture Toughness Characteristics of Woven Jute Fabric Mat Reinforced Epoxy Composites with SiC Fillers. *Journal of Natural Fibers*, 20(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2144979>
- 4- Hussain, S. A. (2011). Mechanical Properties Of Green Coconut Fiber Reinforced Hdpe Polymer. 3(11), 7942–7952.
- 5- Samuel, B. O., Sumaila, M., and Dan, B. (2022). Manufacturing of a natural fiber / glass fiber hybrid reinforced polymer composite (PxGyEz) for high flexural strength : an optimization approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2077–2088.
- 6- Torres, J. P., Vandi, L., Veidt, M., and Heitzmann, M. T. (2017). Composites : Part A The mechanical properties of natural fibre composite laminates : A statistical study. *Composites Part A*, 98, 99–104. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2017.03.010>
- 7- Hiwa, B., Ahmed, Y. M., and Rostam, S. (2023). Results in Engineering Evaluation of tensile properties of Meriz fiber reinforced epoxy composites using Taguchi method. *Results in Engineering*, 18, 101037. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101037>
- 8- Box, G. E. P., Hunter, W. G., and Hunter, J. S. (2005). *Statistics for experimenters: Design, innovation, and discovery* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- 9- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & Sons.
- 10- Myers, R. H., Montgomery, D. C., and Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- 11- Taguchi, G., and Konishi, S. (1987). *Taguchi methods: Orthogonal arrays and linear graphs for quality engineering*. American Supplier Institute.
- 12- Roy, R. K. (2001). *Design of experiments using the Taguchi approach: 16 steps to product and process improvement*. John Wiley & Sons.

- 13- Draper, N. R., and Smith, H. (2014). Applied regression analysis (4th ed.). John Wiley & Sons.
- 14- Montgomery, D. C., Peck, E. A., and Vining, G. G. (2012). Introduction to linear regression analysis (5th ed.). John Wiley & Sons.
- 15- Montgomery, D. C. (2012). Introduction to statistical quality control. John Wiley & Sons.
- 16- O'Connor, P. D., and Kleyner, A. (2012). Practical reliability engineering. John Wiley & Sons.
- 17- Law, A. M., and Kelton, W. D. (1991). Simulation modeling and analysis. McGraw-Hill Education.
- 18- Robinson, S. (2004). Simulation: The practice of model development and use. John Wiley & Sons.
- 19- Witten, I. H., Frank, E., and Hall, M. A. (2011). Data mining: practical machine learning tools and techniques. Morgan Kaufmann.
- 20- Aggarwal, C. C. (2015). Data mining: the textbook. Springer.
- 21- Zhang, W., Gu, X., Hong, L., Han, L., & Wang, L. (2023). Comprehensive review of machine learning in geotechnical reliability analysis : Algorithms , applications and further challenges. Applied Soft Computing, 136, 110066. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110066>
- 22- James, G., Witten, D., Hastie, T., and Tibshirani, R. (2013). An introduction to statistical learning. Springer.
- 23- Hastie, T., Tibshirani, R., and Friedman, J. (2009). The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction. Springer.
- 24- Kober, J., Bagnell, J. A., & Peters, J. (2013). Reinforcement learning in robotics: A survey. The International Journal of Robotics Research, 32(11), 1238-1274.
- 25- Guyon, I., and Elisseeff, A. (2003). An introduction to variable and feature selection. Journal of Machine Learning Research, 3, 1157-1182.
- 26- Bergstra, J., and Bengio, Y. (2012). Random search for hyper-parameter optimization. Journal of Machine Learning Research, 13, 281-305.

Groundwater Level Time Series Prediction Using Group Method of Data Handling and Deep Convolutional Neural Network With Recurrent Neural Networks

Okan Mert KATIPOĞLU¹

Kadir GEZİCİ²

Mehdi, KEBLOUTİ³

Selim ŞENGÜL⁴

INTRODUCTION

Water is an essential source for all living creatures as one of their basic components. Both life and environmental activities rely on water quality and quantity. Rapid population growth has led to decreased water resources and increased water pollution (Yücel et al., 2022). In particular, groundwater, which is clean, high-quality, and suitable for use in many areas, suffers from the abovementioned situation. Groundwater is an important resource for people living in developing countries or rural areas to carry out daily activities (Carrard et al., 2019). However, GWL monitoring and assessment studies are insufficient in these regions due to both financial inadequacies and lack of awareness (Ruybal et al., 2019). It is necessary for

-
- 1 Assistant professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Erzincan Binali Yıldırım University, Erzincan, Turkey, Email: okatipoğlu@erzincan.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-6421-6087
 - 2 Research assistant, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Atatürk University, Erzurum 25100, Turkey, Email: kadirgezici@atauni.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-6349-8262
 - 3 Research professor, Department of Civil Engineering and hydraulic, Institute of Sciences and Technology, Abdelhafid Boussouf University Center, Mila, Algeria Email: m.keblouti@centre-univ-mila.dz, Orcid ID: 0000-0001-6901-4097
 - 4 Associate professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Atatürk University, Erzurum, Turkey, Email: ssengul@atauni.edu.tr, Orcid ID:0000-0002-0041-1454

regional development that decision-makers and local governments develop strategies by considering the existing regions' supply-demand relations by continuously monitoring GWL and evaluating water quality. Considering the importance of the subject, there are many statistical, mathematical and physics-based conventional prediction model studies for GWL prediction (Henriksen et al., 2008; Dalkılıç and Gharehbaghi, 2021). However, this traditional approach's major disadvantage is its reliance on a large amount of physical data and the difficulty of predicting the comprehensive mechanism (Kovács et al., 2015). For this reason, with the developing computer algorithms, data-driven models require less data and provide faster, more efficient and more precise solutions, as well as time-saving. Artificial intelligence approaches have been used by many researchers, especially in hydrological studies, due to their high predictive capacity with available data on non-linear and chaotic time series, independent of the main mechanism of physical processes (Gezici and Şengül, 2023; Başakın et al., 2021). Bisht et al. (2009) stated that computer-based machine learning models such as fuzzy logic rule-based and ANFIS produced more successful results than traditional methods in predicting groundwater levels, with adaptive-network-based fuzzy inference systems (ANFIS) having the most successful predictive ability. Mohanty et al. (2013) compared the artificial neural network (ANN) algorithm and MODFLOW-based numerical models for GWL forecasting. As a result of the study, ANN is more suitable for short-time-interval forecasts and numerical models are more suitable for long-term forecasts and emphasized that the type of problem is critical in selecting the method to be applied. Bowes et al. (2019) evaluated two different neural network models, namely Recurrent Neural Network (RNN) and long-short-term memory (LSTM), to investigate hourly variations in groundwater levels during storms in coastal regions. The authors highlighted that LSTM provides more accurate prediction results compared to RNN. Moosavi vd. (2021) created hybrid models by combining the group method of data handling (GMDH) with various signal decomposition models (ensemble empirical mode decomposition (EEMD), wavelet transform (WT) and wavelet packet transform (WPT) in two different basins to monitor monthly groundwater level changes. The results show that all signal decomposition methods improve the prediction capacity and EEMD-GMDH is the most successful model. Kardan Moghaddam et al. (2021) evaluated three machine learning algorithms, namely GMDH, BN and ANN, for ten scenarios for GWL estimation in eastern Iraq. The results showed that the GMDH method with rainfall, GWL in the previous month and aquifer exploitation as input parameters produced the most

successful results. Vadiati et al. (2022) evaluated ANN, SVM, ANFIS and FL algorithms for monitoring the GWL change in the Tehran-Karaj plain and used monthly precipitation, temperature, evapotranspiration, river discharge and maximum of three-time delays for groundwater data as input. Although the prediction capacity of all models is high, the most successful model is ANFIS. Ali et al. (2022) established convolutional neural network (CNN) - bidirectional LSTM model as a hybrid neural network model to monitor the hourly change of GWL. As a result of the model, they found that the prediction performance was successful in both training and testing phases and proposed Bayesian optimization for the most suitable model. Samani et al. (2022) evaluated the forecasting performance of 5 different data-driven methods, namely ANN, FL, ANFIS, GMDH and LSSVM, depending on the basic meteorological parameters of precipitation, temperature and ET. While satisfactory results were obtained in all models, LSSVM was proposed as the most successful model. Considering the existence of a number of machine learning algorithms, the hybrid operation of these methods with optimization techniques and signal decomposition methods, and the large number of different input parameters, the number of data-driven GWL estimation studies has been quite high, especially in the last 10 years (Rajaei et al., 2019; Tao et al., 2022).

This study used a Deep learning algorithm consisting of a combination of CNN-RNN and GMDH techniques to estimate GWL values. The modeling was carried out according to the time series approach.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Study Area and Data

Modeling of the groundwater level, which acts as a security in arid and semi-arid regions, is critical in agricultural production and utility water. Within the scope of this study it is aimed to model the groundwater level in Erzurum, which is in an important position in terms of agricultural production. Figure 1 presents the geographic coordinates of the study area and the digital elevation model. Accordingly, due to the high altitude of the study areas, snowfall is generally dominant. Therefore, it can be thought that the effect of meteorological parameters in GWL modeling is low. In this respect, the time series approach has been tried to estimate the working GWL values.

Table 1. Characteristics of groundwater wells used in the study area

Well Name	Well No	Ground Level	Coordinate in decimal degrees		Well Depth (m)	Province	Village / Neighborhood
			X (D)	Y (K)			
University	1353	1801	39.92	41.23	149.55	Erzurum	University
Şih village	15820	1800	39.94	41.28	159.20	Erzurum	Şih village

Table 1 presents the topographic and geographical features of the groundwater wells used in the study area. Accordingly, groundwater data were measured from wells at 1800 m elevation. The water level in the wells was taken relative to the ground reference plane.

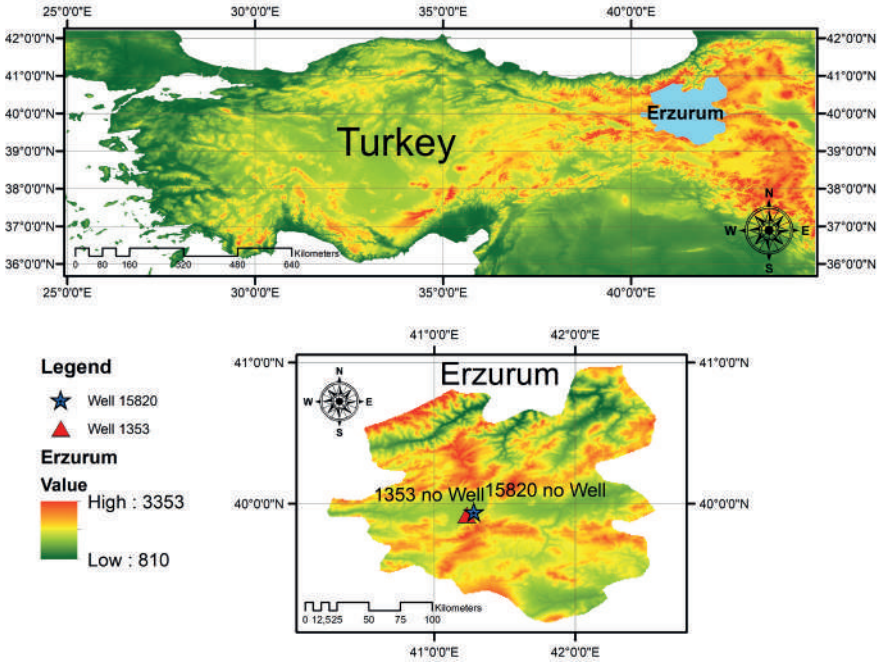


Figure 1. Location map of the study area

2.2. Group Method of Data Handling

Ivashshenko suggested this method in the 70s of the last century, and it is distinguished by its hierarchical structure, where models are trained and refined at each hierarchical level. This characteristic allows it to solve complex scientific problems in several fields, such as engineering, economics, etc.

The GMDH is characterized by many advantages, including its ability to deal with complex non-linear data (Akbarizadeh et al., 2013; Atashrouz et al., 2014), as well as flexibility concerning the functional form of relationships, as it does not require prior assumptions, in addition, and to avoid overflow pitfalls the GDMH model separates the assembly and control kits, also for model validation, it may use the objective function. Finally, complex interactions are captured through the iterative process of adding variables and combining them.

2.3. Convolutional Neural Network

CNNs are a special kind of neural network that derive their work from the biological processes present in the visual section of the human brain. The main component of CNNs is the convolutional layers; their task is to find the important features in the image (He et al., 2016; Krizhevsky et al., 2012). CNN's model consists of four essential layers; we find that the first layer is convolutional and its task is to extract features and apply filters; the second layer collects important features and reduces dimensions; the third layer is called a flattening whose task is to convert the vital information taken from the second layer into a one-dimensional data matrix. Finally, we find the whole connection layer. The latter is building all the connectors in the hidden network.

2.4. Recurrent Neural Networks

RNNs are a type of deep learning proposed by (Rumelhart et al., 1986; Werbos, 1988), containing loops within their networks that use previous information to estimate the following values. These networks greatly benefit from recognizing the subsequent sequencing of certain data as they retain some important features of the sequential data. In theory, RNN should hold information for a long time; however, it is challenging to publish all this information when the time step is too long. When the network contains many deep layers, it becomes untrainable. This problem is called the vanishing gradient problem. It is known that the neural network updates the weight using an algorithm of gradient ratios. Gradients grow as the network progresses to the lower layers. If the gradient remains constant, there is no room for improvement. The model can detect changes in the gradient that affect the network's output. But if the gradient difference is too small, the network's learning process will be adversely affected. To overcome this problem of the vanishing gradient problem faced by RNN, The researchers (Hochreiter et al. 2001) improved RNNs with an architecture called LSTM. The latter provides to the network with past information relevant to

a more recent time, and the network uses a better architecture to locate and transfer information to a later time.

2.5. Performance Metrics

2.5.1. Root Mean Square Error (RMSE)

Among the model validation indicators, which are characterized by ease of calculation, we find the RMSE, This last is an indicator that makes it possible to check the accuracy of the models, and this is done by studying the deviations between the observed values and the predicted values.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2} \quad (1)$$

The value given by RMSE is always positive, the closer it is to zero, the more accurate the model (Katipoğlu, 2023a, b).

Correlation coefficient (R)

To study the correlation between two or more variables, it is necessary to study the strength of the relationship between them. The connection sought is a relation whose graphical representation is a straight line. The value of this correlation is obtained numerically by the calculation of the correlation coefficient based on the following equation:

$$r_p = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

RESULTS

This study used a Deep learning algorithm consisting of a combination of CNN-RNN and the GMDH technique to estimate groundwater level values. The modeling was carried out according to the time series approach. For this purpose, measurement data were used from two wells (University-WELL ID 1353; Şih village- WELL ID 15820) in Erzurum province in northeastern Turkey. Monthly, 70% of the available data is allocated for training and 30% for testing. Partial autocorrelation plots are presented in Figure 2 for both wells as a measure that controls for the effect of autocorrelation in time series data at a given lag, excluding other lags. When Figure 2 is analyzed, GWL_{t-1} and GWL_{t-2} were selected as input in the University well for the GMDH model, while GWL_{t-1} , GWL_{t-5} , GWL_{t-9} , and GWL_{t-11} monthly lags were

selected for the Şih village well. For the GMDH model in GWL estimation, a structure with five layers and 25 neurons in each layer was created.

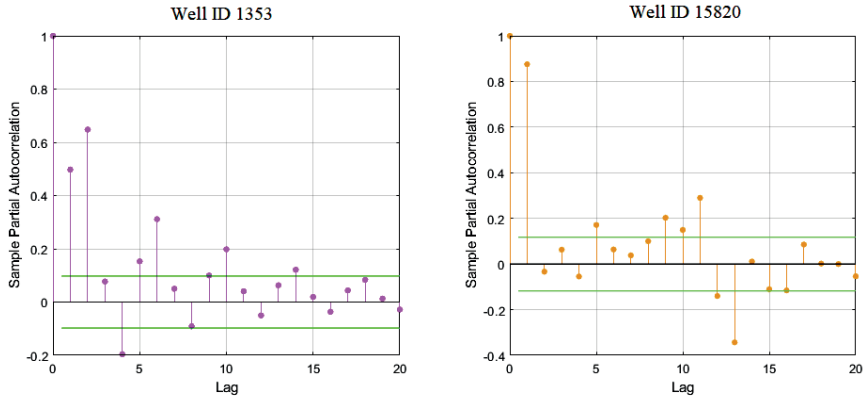


Figure 2. Partial autocorrelation (PACF) for monthly GWL prediction

GMDH model results for test data for both wells are presented in Figure 3. Since the test data consists of data that a model does not see, it is critical to evaluate its predictive capacity. The error values and histogram for both wells are also presented in Figure 3. While the coefficient of determination of the test data for the GWL estimation of the University well is $R^2=0.935$, this value for Şih village is $R^2=0.731$. In particular, very successful prediction results were obtained for the University well, while relatively unsuccessful results were obtained for the Şih village well. Figure 4 shows the observation and prediction data of both training and test data in a scatter plot. The production of successful prediction results for both test and training data in both wells shows that the GMDH model will be suitable for predicting the monthly groundwater level.

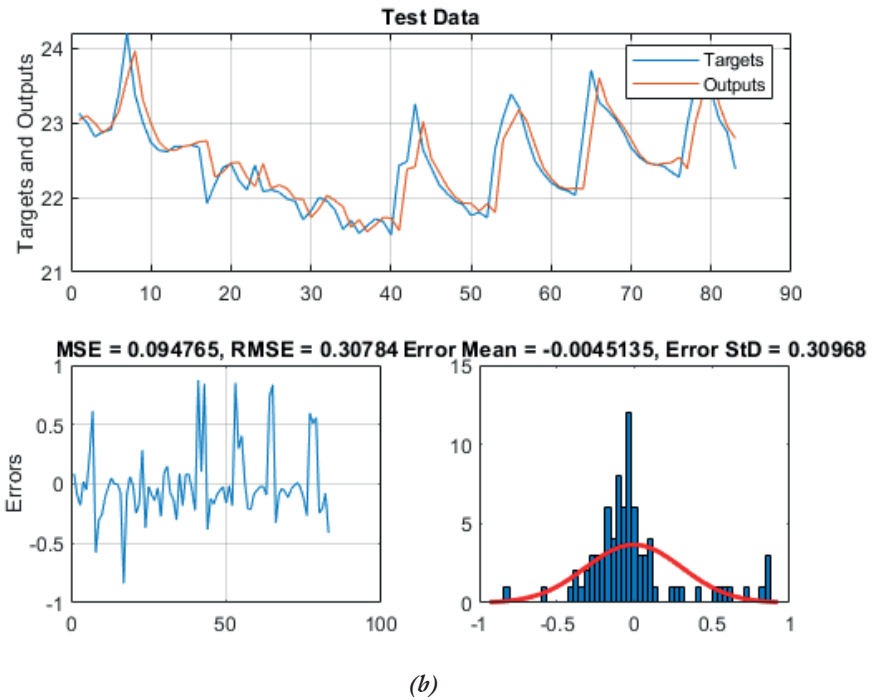
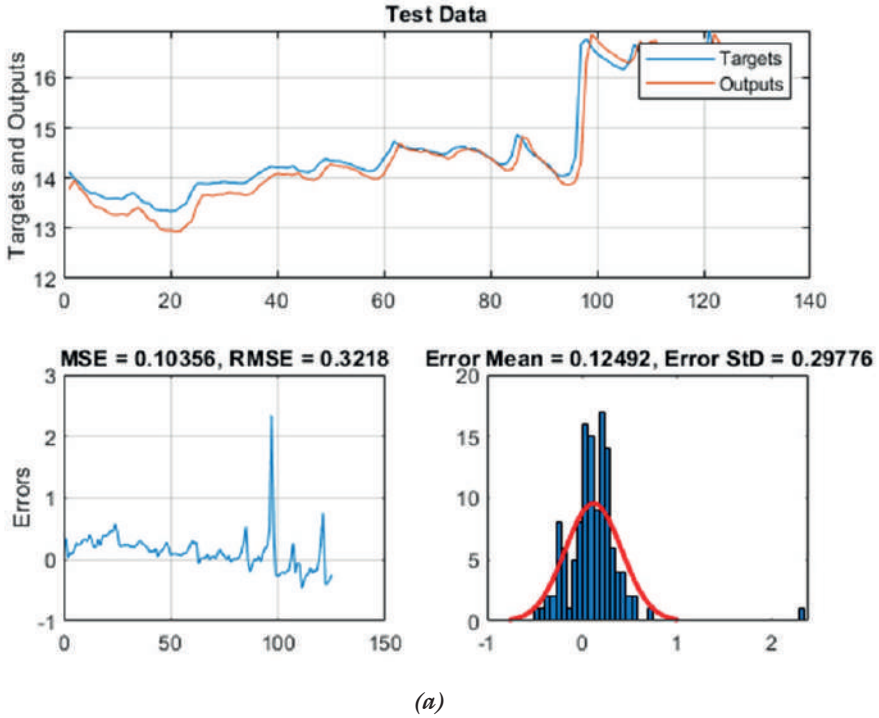
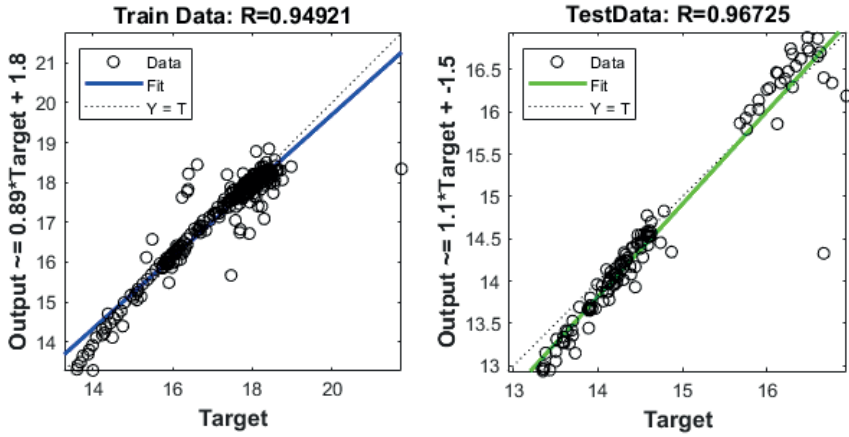
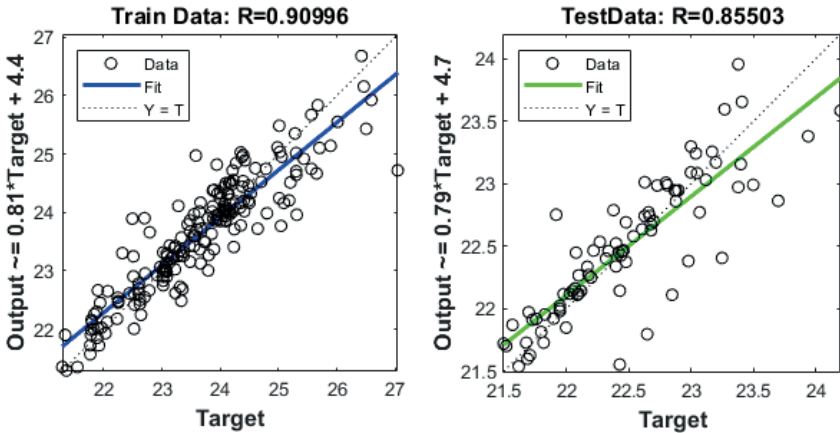


Figure 3. Test data results of the GMDH model. (a) University Well, (b) Şah Village Well



(a)

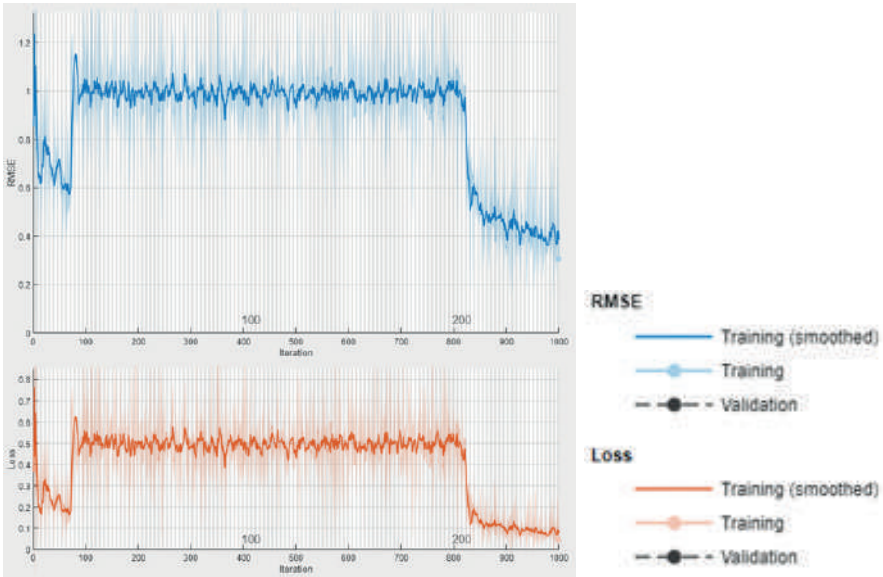


(b)

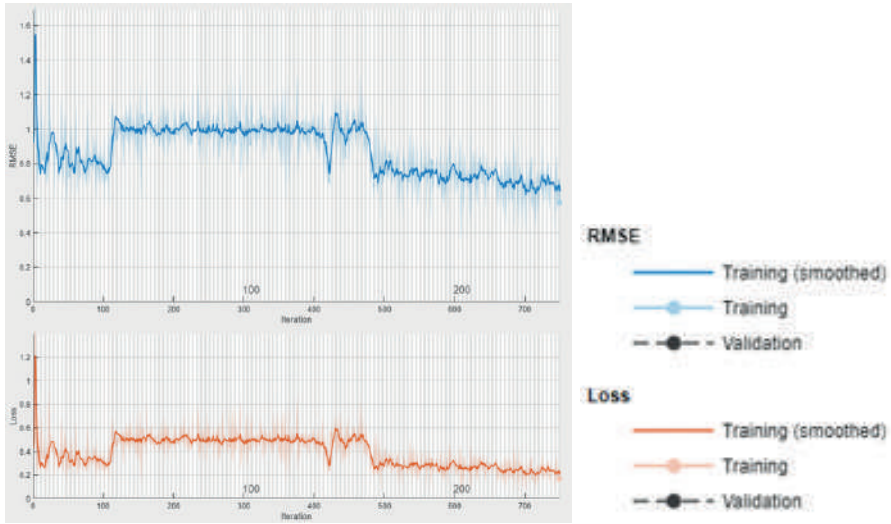
Figure 4. Scatter plot for training and test data results of the GMDH model. (a) University Well, (b) Şıh village Well

In this study, a CNN-RNN hybrid model was also used for groundwater level prediction and a graph showing the loss in the training process is given in Figure 5. In Figure 5a, for the University well, we observe how the loss changes depending on the number of iterations of the model. At first, the model learned quickly and reduced the loss rapidly, but then there was a point where the loss quickly increased. This point may indicate that the model encountered some difficulties in the training process or showed

signs of overfitting. Then, the loss value remained almost constant for a long iteration, indicating that the model improved less with more iterations. Finally, it is observed that the loss decreases again rapidly and the model continues to improve. This graph visualizes the training process of the CNN-RNN hybrid model for groundwater level prediction, showing that the model initially learns quickly, encounters some difficulties and then improves. After 1000 iterations, it is observed that the loss is considerably reduced. When Figure 5b is analyzed, while the loss decreased rapidly at the beginning of the training process, an increase in the loss value was observed at a certain point. Afterward, the loss value remained constant, and the model showed a stable performance during the training process. Then, around the middle stages, there was a decrease, indicating that the model was adapting better and started to make more accurate predictions. In the next iterations, the loss value remained almost constant and the training process was terminated. Based on these observations, it can be concluded that the model learns quickly, optimizes, and does not make significant progress in the final iterations.



(a)



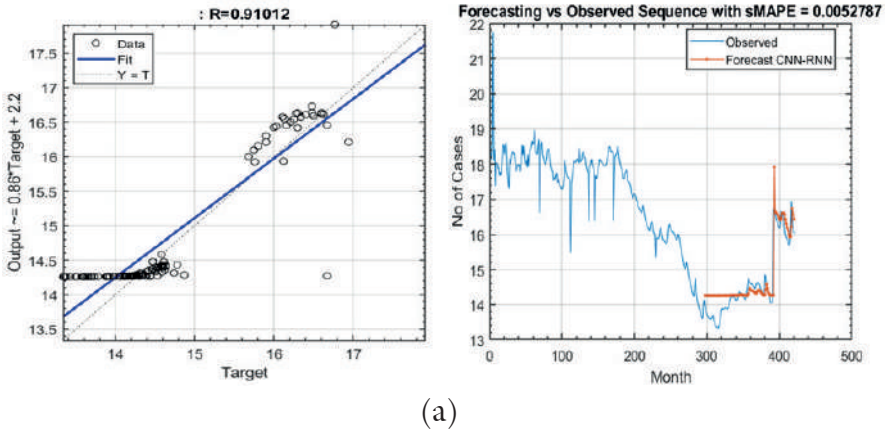
(b)

Figure 5. Training process in monthly GWL estimation for CNN-RNN model. a) University well, b) Şih village well

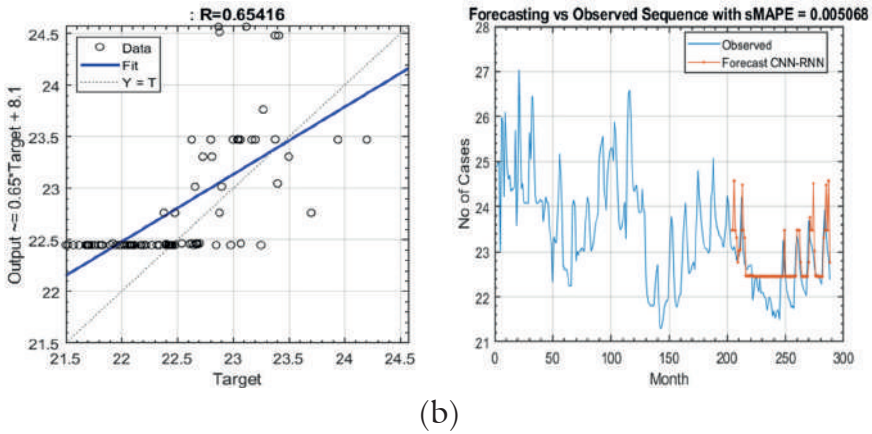
Figure 6 shows the observed and predicted monthly GWL estimates. Figure 6a indicates that the coefficient of determination $R^2 = 0.828$. It is seen that the model is particularly successful in capturing the dynamic change of groundwater over time and sudden ups and downs. In addition, the model's success in predicting high GWL values is also quite high. It is seen that the data predicted by the CNN-RNN model for the University well are higher than the observation data. However, it was observed that higher predictions were realised with small deviations. When Figure 6b is analyzed, the coefficient of determination $R^2 = 0.44$. The appearance of large scatter in the prediction data and the failure of the CNN-RNN model in predicting the continuously increasing and decreasing change trend in the relevant well. The production of quite different model results for two different wells shows that the dynamic characteristics of the aquifer and the well are highly effective in GWL estimation studies. It is seen that the CNN-RNN model produces successful results for relatively stationary time series where GWL fluctuations occur less for time. Still, the model success decreases in time series where GWL is highly variable and extremum values appear in short periods.

In the present study, two different approaches, GMDH and CNN-RNN, were tested for GWL prediction success for two different wells in the northeast of Turkey. It was observed that both models produced more

successful results, especially for the University well. GMDH method has higher accuracy values in estimating continuous and non-stationary GWL time series for both wells. It was observed that the GMDH method produced lower predictions with small deviations from the observed values, whereas the CNN-RNN method produced higher predictions. When the prediction success of the same models for different wells is evaluated, it can be emphasized that the well's utilization status and the aquifer's physical properties may be an essential factor affecting the prediction success.



(a)



(b)

Figure 6. Monthly GWL values observed and predicted by the CNN-RNN model. a) University Well, b) Şah Village Well

4. DISCUSSION

In this study, various machine learning and deep learning algorithms are compared to predict groundwater time series. As a result of the study, promising results were obtained. Although many time series studies have been carried out with the GMDH model in the literature, groundwater-level forecasting studies are limited. Barzegar et al. (2017) used the wavelet signal decomposition method with two different algorithms, the wavelet-group method of data handling (WA-GMDH) and wavelet-extreme learning machine (WA-ELM), to predict GWL in 1, 2 and 3 months. It is emphasized that the WA-ELM method produces results with higher accuracy. Moosavi et al. (2021) used three different signal decomposition methods, namely EEMD, WT and WPT, and created hybrid models with GMDH to predict the GWL in 1 month. They emphasized that all signal decomposition methods increase the forecasting capacity and the WPT-GMDH hybrid model is the most successful. However, considering the high computational cost of this model, the EEMD-GMDH model is more suitable for GWL forecasting studies. Amiri-Doumari et al. (2022) created a groundwater potential map using 3 different optimization algorithms (GMDH-PSO, GMDH-GWO, GMDH-ACO and GMDH), including particle swarm optimization (PSO), grey wolf optimizer (GWO), and ant colony optimization (ACO) and single GMDH. As a result of the study, it was emphasized that precipitation, topography and land cover are critical parameters regarding GWL potential. He suggested that the GMDH-PSO algorithm is the most successful model. When the studies are analyzed, it is seen that GMDH is influential in determining groundwater level and potential. However, it is emphasized that the estimation capacity increases with various optimization algorithms and signal decomposition methods.

Akhshandehroo et al. (2012) investigated the prediction of monthly GWL in Shiraz Plain using different neural network models (RNN, FNN, RBF and Generalized regression). The input data included precipitation, GWL, temperature, evaporation, and runoff. The FNN and RNN networks exhibited the most successful results among the models tested. Bowes et al. (2019) used two machine learning methods, Long Short-term Memory (LSTM) and RNN, to forecast GWL in a coastal area in Norfolk, Virginia. Compared to RNN, LSTM produced more successful forecasting results both in the whole time series and in the time series cases only during storm periods. Ali et al. (2022) analyzed hourly GWL changes using the CNN-BiLSTM hybrid model. As a result, they obtained a high $R^2 = 0.917$ in the training phase and a lower $R^2 = 0.632$ in the testing phase. Especially in deep learning studies, the high number of data causes the model performance to

increase in the training phase. Considering that the models used in the studies produce successful results in GWL time series forecasting, the creation of hybrid models by considering the machine learning methods, which have been increasing and successful in recent years, can increase the success rate. In particular, the success of models built with signal decomposition methods or optimization algorithms in forecasting dynamic and continuous time series should be considered.

5. CONCLUSION

This study compared the performances of the GDMH and CNN-RNN algorithms for modeling the underground levels in 2 Erzurum wells. For model input combinations, lagged values exceeding 95% were selected from the PACF charts. According to the analysis results, the GDMH model performed more effectively in both wells. As a result of the analysis, both models produce promising results in GWL time series estimation. The study's outputs are essential for effective water management for water resource managers, decision-makers, and planners.

Acknowledgment We thank the General Directorate of State Hydraulic Works (DSI) for providing the GWL data.

REFERENCES

- Akbarizadeh, M. Daghbandan, A. Yaghoobi, M. (2013). Modeling and optimization of poly electrolyte dosage in water treatment process by GMDH Type-NN and MOGA. *International Journal of Chemoinformatics and Chemical Engineering (IJCCE)*, 3(2), 94-106.
- Ali, A. S. A., Ebrahimi, S., Ashiq, M. M., Alasta, M. S., & Azari, B. (2022). CNN-Bi LSTM neural network for simulating groundwater level. *Environ. Eng.*, 8, 1-7.
- Amiri-Doumari, S., Karimipour, A., Nayeypour, S. N., Hatamiafkoueich, J. (2022). Integration of group method of data handling (GMDH) algorithm and population-based metaheuristic algorithms for spatial prediction of potential groundwater. *Environmental Earth Sciences*, 81(20), 485.
- Atashrouz, S., Pazuki, G., Alimoradi, Y. (2014). Estimation of the viscosity of nine nanofluids using a hybrid GMDH-type neural network system. *Fluid Phase Equilibria*, 372, 43-48.
- Barzegar, R., Fijani, E., Moghaddam, A. A., Tziritis, E. (2017). Forecasting of groundwater level fluctuations using ensemble hybrid multi-wavelet neural network-based models. *Science of the Total Environment*, 599, 20-31.
- Başakın, E. E., Ekmekcioğlu, Ö., Özger, M. (2021). Drought prediction using hybrid soft-computing methods for semi-arid region. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7, 2363-2371.
- Bisht, D. C. S., Raju, M., Joshi, M. (2009). Simulation of water table elevation fluctuation using fuzzy-logic and ANFIS. *Computer Modelling and New Technologies*, 13(2), 16–23.
- Bowes, B. D., Sadler, J. M., Morsy, M. M., Behl, M., Goodall, J. L. (2019). Forecasting groundwater table in a flood prone coastal city with long short-term memory and recurrent neural networks. *Water*, 11(5), 1098.
- Carrard, N., Foster, T., Willetts, J. (2019). Groundwater as a source of drinking water in southeast Asia and the Pacific: A multi-country review of current reliance and resource concerns. *Water*, 11(8), 1605.
- Dalkilic, H. Y., Gharehbaghi, A. (2021). Numerical modeling of groundwater flow based on explicit and fully implicit schemes of finite volume method. *Journal of Engineering Research*, 9(4B), 535–566. <https://doi.org/10.36909/jer.9253>.
- Egbueri, J. C., Agbasi, J. C. (2022). Combining data-intelligent algorithms for the assessment and predictive modeling of groundwater resources quality in parts of southeastern Nigeria. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(38), 57147-57171.
- Gezici, K., Şengül, S. (2023). Estimation and analysis of missing temperature data in high altitude and snow-dominated regions using various machine

- learning methods. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(4), 1-19.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778).
- Henriksen, H. J., Troldborg, L., Højberg, A. L., Refsgaard, J. C. (2008). Assessment of exploitable groundwater resources of Denmark by use of ensemble resource indicators and a numerical groundwater–surface water model. *Journal of Hydrology*, 348(1-2), 224–240. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.09.056>
- Hochreiter, S.; Bengio, Y.; Frasconi, P.; Schmidhuber, J.; et al., 2001. Gradient flow in recurrent nets: the difficulty of learning long-term dependencies.
- Kardan Moghaddam, H., Ghordoyee Milan, S., Kayhomayoon, Z., Rahimzadeh kivi, Z., & Arya Azar, N. (2021). The prediction of aquifer groundwater level based on spatial clustering approach using machine learning. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1-20.
- Katipoğlu, O. M. (2023a). Monthly streamflow prediction in Amasya, Türkiye, using an integrated approach of a feedforward backpropagation neural network and discrete wavelet transform. *Modeling Earth Systems and Environment*, 9(2), 2463-2475.
- Katipoğlu, O. M. (2023b). Prediction of streamflow drought index for short-term hydrological drought in the semi-arid Yesilirmak Basin using Wavelet transform and artificial intelligence techniques. *Sustainability*, 15(2), 1109.
- Kovács, J., Márkus, L., Szalai, J., Kovács, I. S. (2015). Detection and evaluation of changes induced by the diversion of River Danube in the territorial appearance of latent effects governing shallow-groundwater fluctuations. *Journal of Hydrology*, 520, 314–325. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.052>.
- Krizhevsky, B. A., Sutskever, I., Hinton, G. E. (2012). Cnn 实际训练的. *Commun. ACM*, 60(6), 84-90.
- Mohanty, S., Jha, M. K., Kumar, A., Panda, D. K. (2013). Comparative evaluation of numerical model and artificial neural network for simulating groundwater flow in Kathajodi–Surua Inter-basin of Odisha, India. *Journal of Hydrology*, 495, 38-51.
- Moosavi, V., Mahjoobi, J., Hayatzadeh, M. (2021). Combining group method of data handling with signal processing approaches to improve accuracy of groundwater level modeling. *Natural Resources Research*, 30, 1735-1754.
- Rajae, T., Ebrahimi, H., Nourani, V. (2019). A review of the artificial intelligence methods in groundwater level modeling. *Journal of hydrology*, 572, 336-351.

- Rakhshandehroo, G. R., Vaghefi, M., Aghbolaghi, M. A. (2012). Forecasting groundwater level in Shiraz plain using artificial neural networks. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 37, 1871-1883.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., Williams, R. J., (1986). Learning representations by backpropagating errors. *Nature*, 323(6088), 533-536.
- Ruybal, C. J., Hogue, T. S., McCray, J. E. (2019). Evaluation of groundwater levels in the Arapahoe aquifer using spatiotemporal regression kriging. *Water Resour. Res.* 55, 2820–2837. <https://doi.org/10.1029/2018WR023437>
- Samani, S., Vadiati, M., Azizi, F., Zamani, E., Kisi, O. (2022). Groundwater level simulation using soft computing methods with emphasis on major meteorological components. *Water Resources Management*, 36(10), 3627-3647.
- Tao, H., Hameed, M. M., Marhoon, H. A., Zounemat-Kermani, M., Heddami, S., Kim, S., ... Yaseen, Z. M. (2022). Groundwater level prediction using machine learning models: A comprehensive review. *Neurocomputing*, 489, 271-308.
- Vadiati, M., Rajabi Yami, Z., Eskandari, E., Nakhaei, M., Kisi, O. (2022). Application of artificial intelligence models for prediction of groundwater level fluctuations: Case study (Tehran-Karaj alluvial aquifer). *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(9), 619.
- Werbos, P. J., 1988. Generalization of backpropagation with application to a recurrent gas market model. *Neural Networks*, 1(4), 339-356.
- Yücel, A., Markovic, M., Atılgan, A., Rollbiecki, R., Ertop, H., Jagosz, B., ... Jakubowski, T. (2022). Investigation of Annual Lake Water Levels and Water Volumes with Şen Innovation and Mann-Kendall Rank Correlation Trend Tests: Example of Lake Eğirdir, Turkey. *Water*, 14(15), 2374.

Comparative Analysis of Seasonal Groundwater Distribution Mapping Via Empirical Bayesian Kriging and Local Polynomial Interpolation Techniques

Okan Mert KATIPOĞLU¹

Kadir GEZİCİ²

Selim ŞENGÜL³

INTRODUCTION

Water is vital for all living organisms. Groundwater is a vital resource used in agriculture and industry. (Islam and Biswas, 2019). However, as a result of the rapidly increasing population, both urbanisation and water consumption are increasing, and considering the increase in agricultural and industrial activities and unconscious consumption due to the increasing population, a rapid decrease in groundwater resources and an increase in pollution load is inevitable (Ruybal et al., 2019). Groundwater levels should be regularly checked, especially in dry and semi-arid regions, for effective protection, improvement and sustainable policies. It is often too costly and not widely known to monitor groundwater levels in large areas. Establishing a sustainable management approach requires monitoring groundwater in time and space. For this reason, evaluations are often made as a result of interpolation methods applied by taking into account the existing well data. Spatial interpolation of the nearest neighbouring data can be estimated

-
- 1 Assistant professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Erzincan Binali Yıldırım University, Erzincan, Turkey, Email: okatipoğlu@erzincan.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-6421-6087
 - 2 Research assistant, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Atatürk University, Erzurum 25100, Turkey, Email: kadirgezici@atauni.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-6349-8262
 - 3 Associate professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Atatürk University, Erzurum, Turkey, Email: ssengul@atauni.edu.tr, Orcid ID:0000-0002-0041-1454

geostatistically or deterministically. Deterministic interpolation methods allow data to be combined through a specific model or function using mathematical modelling (Katipoğlu, 2022a). When interpolating, these methods take into account the relationships between the data and use these relationships to calculate the values of missing or unknown points. The statistical characteristics of the observed points serve as the foundation for geostatistical regionalization approaches, such as kriging. Geostatistical approaches consider the geographic layout of nearby sample points (Goovaerts 1997). The development of Geographic Information System (GIS) has enabled geostatistical spatial analyses to be created and evaluated more easily, quickly and in detail (Gong et al., 2014). Gundoğdu and Guney (2007) emphasised that the rational quadratic empirical semivariogram model, which has the least error, is the most successful, but other models (spherical, circular, tetraspherical, pentaspherical) produce very close results. Ahmadi and Sedghamiz (2008) emphasised the spatial variation of groundwater depth under different climatic conditions using Kriging and Cokriging methods from geostatistical methods and emphasised that although both methods are successful, the cokriging method produces more accurate results. Sun et al. (2009) conducted a GWL estimation study in Northwest China using different methods (inverse distance weighting (IDW), radial basis function (RBF), ordinary kriging (OK), simple kriging (SK), and universal kriging (UK)) which are both deterministic and geostatistical. The results were evaluated according to Cross-validation and statistical evaluation criteria and it was determined that Simple kriging was the most appropriate method.

Xiao et al. (2016) conducted groundwater level estimation studies on the Beijing plateau in China using 7 different interpolation methods. Among all methods (IDW, GPI, LPI, spline, OK, SK and UK interpolation), simple kriging model is the most appropriate model and emphasised that landuse and hydrogeology are important factors in groundwater change. It was stated that GWL decreases rapidly due to high population and industrial activities in areas close to residential areas, but the change in GWL is more reasonable in areas where agricultural activities are decreasing and technologically economical water consumption in agricultural terms. Izady et al. (2017) investigated IDW, spline, ordinary kriging and Empirical Bayesian kriging (EBK) methods for the redesign and reorganisation of groundwater monitoring networks. The results emphasised that EBK was highly successful. Rasel et al. (2019) analysed the distribution of GWL in Bangladesh, which is under water stress due to crop cultivation, using Ordinary Kriging method with 3 different variograms, Exponential,

Gaussian and Spherical, considering 23 well measurements over a 10-year period. The exponential variogram was determined as the most successful and emphasised that mapping GWL for sensitive areas is vital for sustainable groundwater management. Kazemi et al. (2021) examined the change in GWL in the Harvey River basin in Australia using the regression kriging method and found that the method was successful in regions with scarce data and also obtained high correlation between GWL change and rainfall series with short time lags.

Within the scope of this study, seasonal variation of GWL was evaluated by using 5-year values of 12 different wells of Erzurum province, which is located in the northeast of Turkey, mountainous and snow-covered most of the year, with Empirical Bayesian Kriging and Local Polynomial Interpolation Techniques. Thus, both temporal and spatial distribution of GWL for the relevant study area will be determined and will help decision makers and policy makers for an effective sustainable groundwater management approach.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Study area and Dataset

Erzurum, located in northeastern Turkey, is characterised by a mountainous basin covered with snow most of the year. The study area is semi-arid according to DeMartonne and Thornthwaite climate classes (Gezici and Şengül, 2023). Erzurum is especially critical in terms of water resources management due to the fact that it is the source of transboundary waters (Çoruh, Aras, and Euphrates Basins), livestock and agricultural activities, and relatively high population in the region. For this reason, within the scope of the research field, the seasonal spatial variation of groundwater levels was evaluated for the relevant region.

Within the scope of the study, 12 well observation data within the borders of Erzurum province were used. The data were modelled as seasonal average values for a 5-year period between 2018-2022 (Fig. 1). The characteristics and statistical values of the wells are given in Table 1.

Table 1. Station information and statistical parameters of GWL for 2018-2022

Station (ID)	Location	Statistical Parameters			
		x_{mean}	x_{min}	x_{maks}	σ (SD)
Üniversite (9409)	39.917N-41.21E	17.27	16.86	17.9	0.267
Üniversite (1353)	39.924N-41.234E	15.32	14.05	16.94	0.948
Şıhköyü (15820)	39.938N-41.275E	22.39	21.5	23.94	0.597
Dadaşkent (21510)	39.907N-41.2E	8.32	8.02	8.58	0.123
Yarımca (60652)	39.89N-41.168E	5.96	5.35	6.37	0.276
Şekerli (63622)	40.34N-41.91E	7.72	5.77	9.4	0.762
Araköy (63623)	40.372N-41.928E	8.32	7.95	9.16	2.235
Pasinler (9714)	39.958N-41.685E	8.72	7.25	14.02	1.553
Esendere (63625)	39.988N-41.768E	2.95	1.42	4.41	0.888
Ebsemce (63626)	39.98N-41.768E	6.08	5.12	10.28	0.766
Ağcalar Yolu (63627)	39.933N-41.526E	32.85	31.63	35.48	0.875
Bulkasım yolu (63628)	39.934N-41.651E	23.53	22.62	26.3	0.869

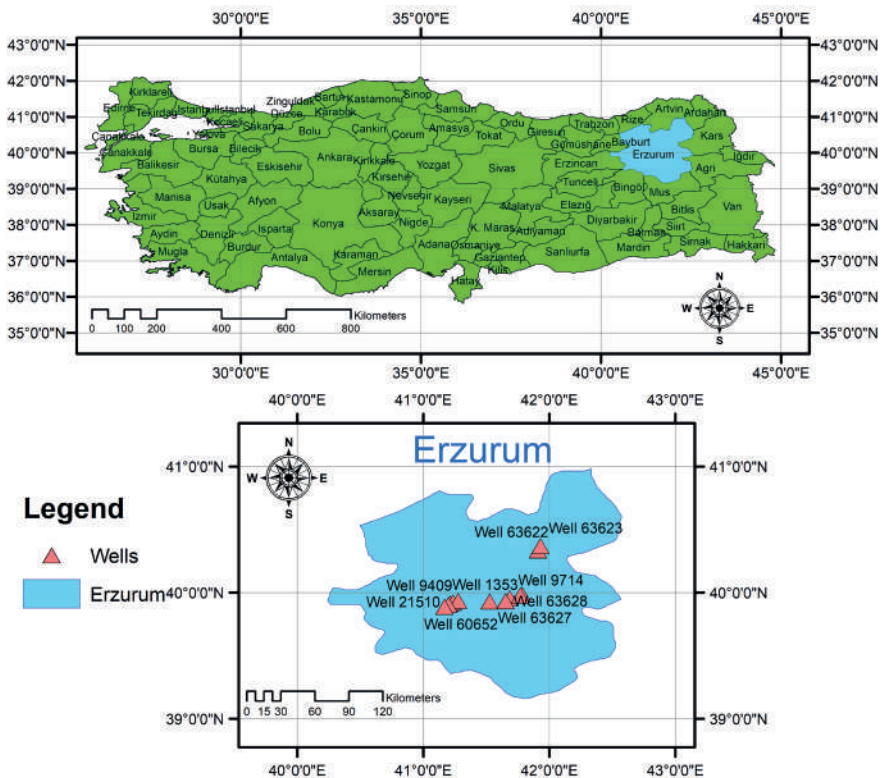


Figure 1. Location map of the study area

2.2. Empirical Bayesian Kriging

EBK is one of the geostatistical interpolation methods and its most important advantage is that it automatically evaluates parameters that are manually set in other kriging methods using subsetting and simulation processes (Mirzaei and Sakizadeh, 2016). Unlike traditional kriging, EBK estimates several semivariograms instead of using a single semivariogram. In the first stage, the data are subdivided into subsets and a semivariogram is obtained with these data and new data are simulated. The semivariogram is created again using the new data obtained and this process continues until all subsets are evaluated (Krivoruchko, 2012).

As some important advantages of EBK (Krivoruchko and Gribov, 2019), it has the property of allowing a moderate lack of local and large stationarity in the data. This allows to obtain successful results even in cases where the spatial variability in the data set is constantly changing. It is also the ability to adapt to changing measurement errors. This feature ensures reliable results even when there are different levels of error between observation points. EBK has the ability to locally transform the data into a spatial Gaussian distribution using a Normal Score process when necessary. Thanks to this feature, it can obtain consistent results even when the data set does not fulfil the assumption of normal distribution. However, as with any model, it also has some disadvantages. Estimation of variogram parameters in EBK, which is slower than kriging methods for large datasets and imposes limitations, is performed using limited maximum likelihood (Basu, 2016; Katipoğlu, 2022b).

2.3. Local Polynomial Interpolation

Local Polynomial Interpolation (LPI) has important differences compared to General Polynomial Interpolation (GPI), which fits only one polynomial using many different polynomials. LPI has the ability to identify the maximum and minimum number of points, the choice of shape and configuration (Ali et al., 2012). It also provides a slider to determine the weights of nearby sampling points, a power parameter that decreases with distance, and the width of nearby locations. This allows the creation of maps that take into consideration the localised variations mentioned in the work of Johnston et al. (2001).

Unlike GPI, LPI is fit to a local polynomial using only the points within the specified neighbourhood, it does not use all the data (Antal et al., 2021).

The surface value in the neighborhood's center is then regarded as the expected value and the neighbourhoods may overlap. While LPI can

provide surfaces that capture short-range fluctuation, GPI is excellent for spotting long-term patterns in the dataset (Wang et al., 2014). The shape of the neighborhood, the maximum and lowest number of points, and the sector arrangement are all factors that might affect local polynomial interpolation, which builds a surface from several formulae, each optimized for a neighborhood. Local polynomial interpolation can create surfaces that better reflect local variation since the neighborhood can be weighted in accordance with how far away from the projected location each point is. LPI also offers estimations and estimated standard errors in the presence of impediments, among other benefits. LPI is a crucial tool for researchers who favor the local polynomial interpolation approach since it is quick and effective for data correction in a variety of geostatistical models (Gribov and Krivoruchko, 2011).

The polynomial is positioned in a local subset that is described by a window, and that window is the simplest moving window with radius R , which is a circle. The weight w_i is defined as (Eq 1), where d_i is the distance between a grid point (x_i, y_i) and a data point (x, y) inside the circle (Ali et al., 2012).

$$w_i = \left(1 - \frac{d_i}{R}\right)^p \quad (1)$$

2.4. Cross-validation

The cross-validation technique is commonly used to predict the semivariogram parameters and to compare the simulated values with the observed values (Isaaks and Srivastava 1989). In this process, the value at any position is temporarily ignored and the estimation is performed, and this step is continuously applied to all data sets.

Cross-validation means that the model is accepted in terms of the prediction of unknown values. To remove an item from the cross-validation of all points, its value is then measured against all other values, and the measured and predicted values are then compared (Katipoğlu and Acar, 2022). The primary purpose of cross-validation is to select the best model to make the more appropriate predictive informative decision.

3. RESULTS

Within the scope of this study, Geostatistics EBK and deterministic LPI techniques were used to model the spatial distribution of seasonal average GWL values in Erzurum province. Accordingly, various models'

parameters were tested and GWL estimation maps were created according to the most appropriate parameters. The parameters of the established models are presented in Table 2. Accordingly, all parameters were tested by trial and error and optimum results for EBK were generally obtained with Log-Emprical, K-Bessel Semivariogram, Standard Circular Neighbourhood, while for LPI with 1st Order polynomial, Exponential Kernel function and Standard Neighbourhood.

Table 2. Selected parameters of the installed interpolation models

	Spring	Summer	Autumn	Winter
Parameters	EBK			
Subset size	100	100	100	100
Overlap factor	1	1	1	1
Simulation number	100	100	100	100
Transformastion	Log-Emprical	Log-Emprical	Emprical	Log-Emprical
Semivariogram type	K-Bessel	K-Bessel	K-Bessel	K-Bessel
Neighborhood type	Standart Circular	Standart Circular	Standart Circular	Standart Circular
Max. Neighborhood	15	15	15	15
Min. Neighborhood	10	10	10	10
	LPI			
Order of polinomial	1	1	1	1
Kernel function	Exponential	Exponential	Exponential	Exponential
Neighborhood	Standart	Standart	Standart	Standart

Figure 2 shows the distribution of the semivariogram function that best fits the EBK models. Accordingly, it was determined that the K-Bessel semivariogram showed the best fit in all seasons. The EBK generates several semivariograms for each dataset. In addition, the distribution of these semivariograms indicates that the darker the blue color, the more semivariograms pass through that region. Table 3 shows the cross-validation test results of EBK and LPI interpolation techniques for GWL estimation. According to this, it is seen that the technique that gives the lowest error in all seasons is EBK. Accordingly, it has been deduced that the geostatistical EBK method can generate a reasonably accurate GWL estimation from the deterministic LPI technique.

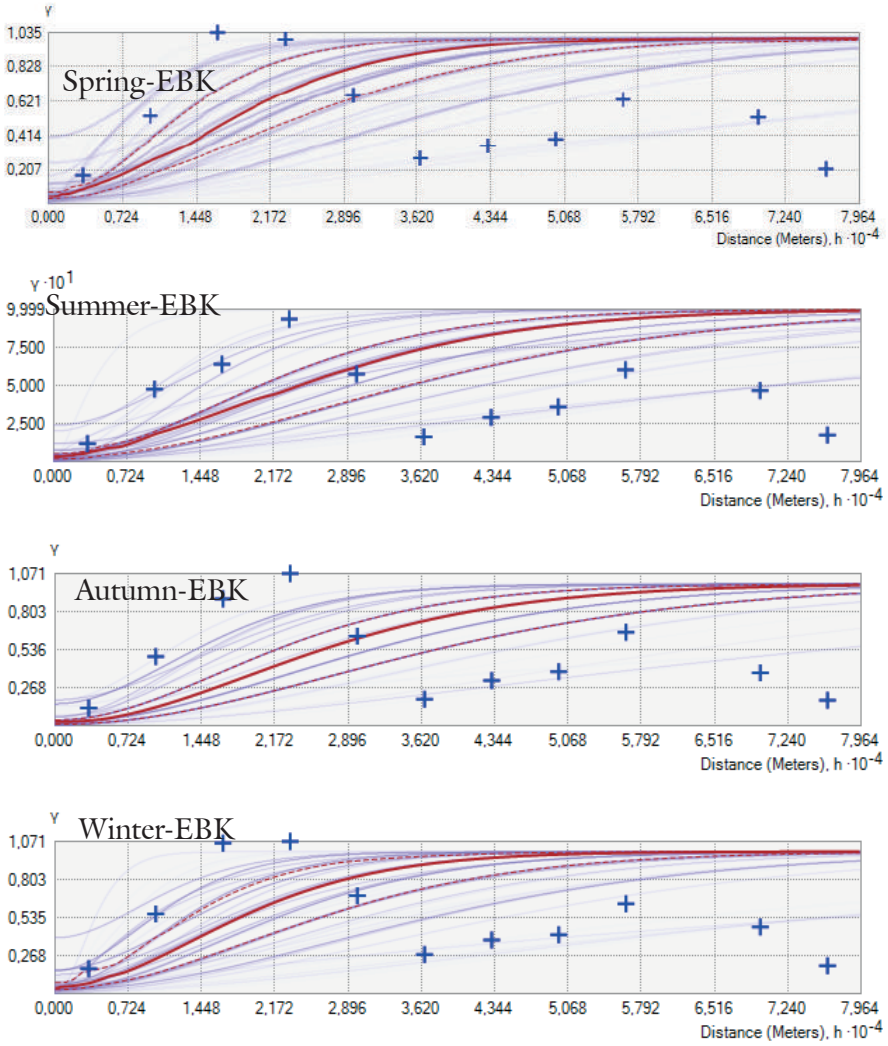


Figure 2. Semi-variogram functions of EBK models

Table 3 Performance evaluation of techniques used in GWL estimation

	RMSE (M)			
	Spring	Summer	Autumn	Winter
EBK	4.41	3.74	3.96	4.37
LPI	5.93	5.57	5.83	5.93

Figure 3 shows bar plots of errors in seasonal GWL estimation of EBK and LPI techniques. Accordingly, the obtained errors were evaluated by taking the differences between the actual data and the estimated data. Accordingly, it has been deduced that the EBK technique produces more accurate GWL estimations since it has very low errors compared to LPI.

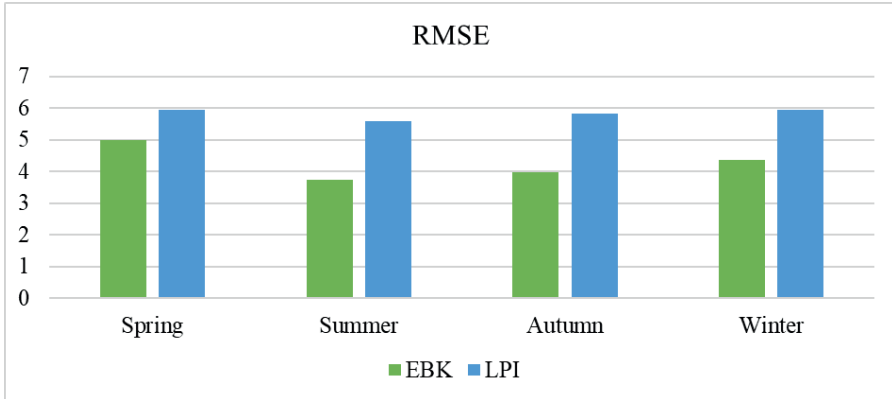


Figure 3. Bar plots of interpolation errors

In Figure 4, scatter plots are presented to evaluate the estimation accuracy of GWL values in the spring and summer seasons. These charts effectively assess the relationship between actual and predicted values. Aggregation of the data around the 1:1 regression line indicates the success of the estimation. Accordingly, when the actual and interpolation and estimated GWL values were compared, it was concluded that the EBK technique produced significantly accurate predictions in spring and summer compared to LPI.

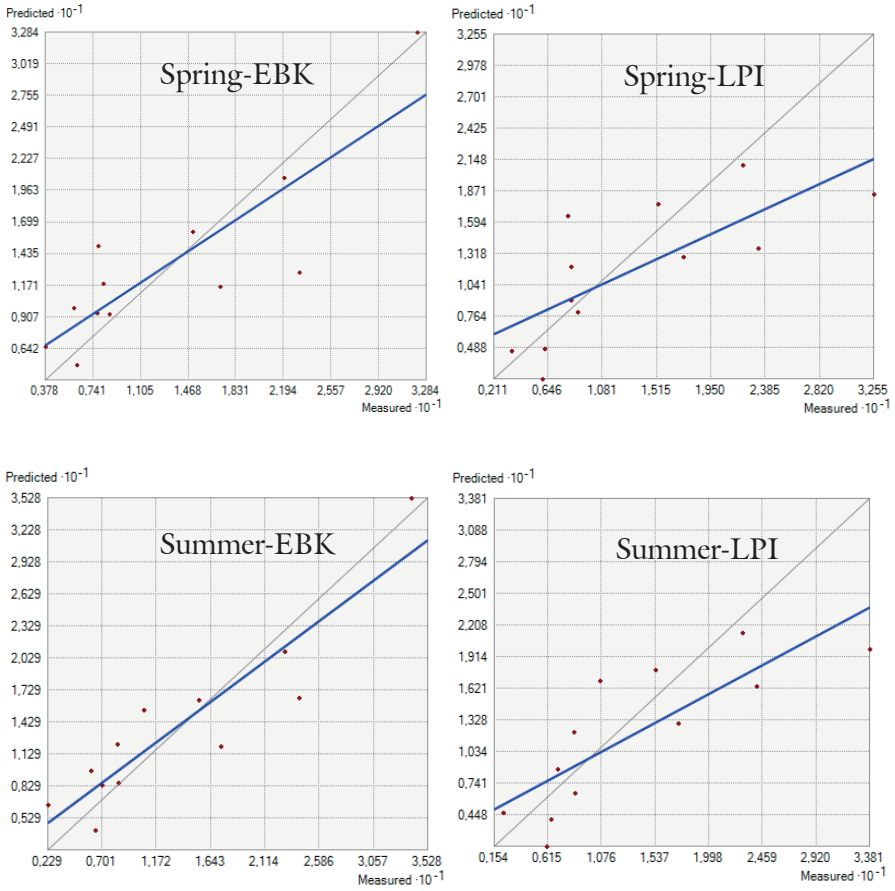


Figure 4. Scatter plots of GWL values in spring and summer

In Figure 5, scatter plots are given to evaluate the estimation accuracy of GWL values in autumn and winter. Accordingly, when the actual and interpolation and estimated GWL values were compared, the EBK technique showed a closer distribution to the regression line than LPI in the spring and summer seasons. Accordingly, it is deduced that the EBK technique makes significantly correct predictions from the LPI.

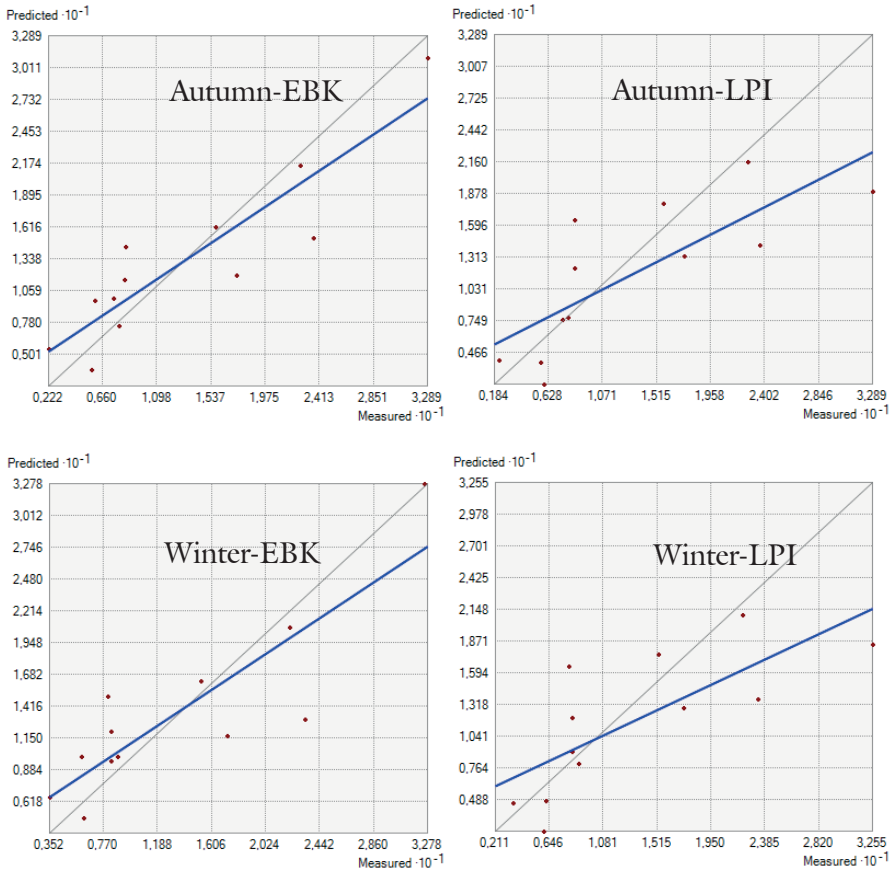


Figure 5. Scatter plots of GWL values in Autumn and Winter

Figure 6-9 shows the maps of GWL values obtained by EBK in the spring, summer, autumn and winter seasons. GWL values are expressed in different colors on the maps. Accordingly, while GWL is low in the Erzurum center in all seasons, it is high in the eastern and western parts of the province. In addition, while the GWL values are around 23 m in the north of the province in spring, it is in the range of 23-25 m in the south. In summer, the value is around 8 m in the north and south of the province. In autumn, the GWL values in the north and south of the province are between 14.69 and 18.30 m. In winter, it takes a value between 22.75 and 25.14 m.

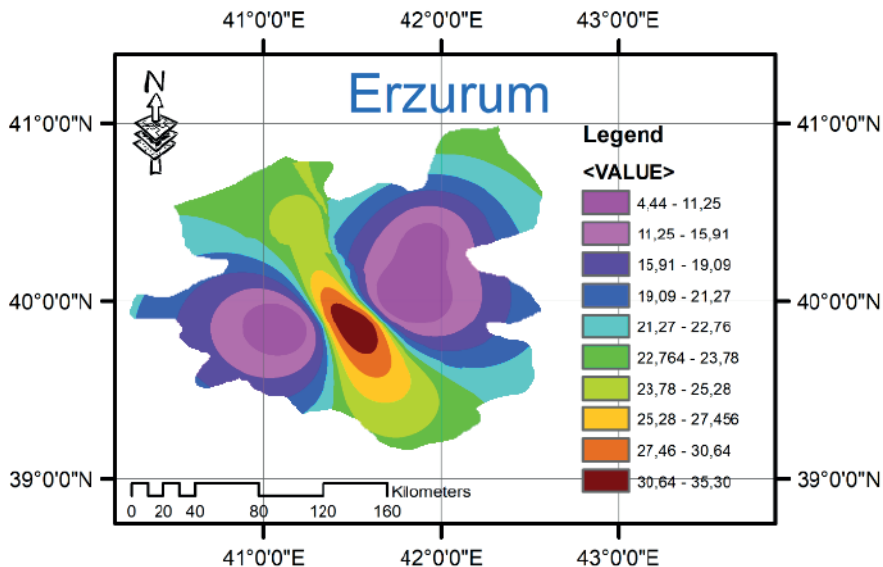


Figure 6. Spatial analysis of GWL values in Spring

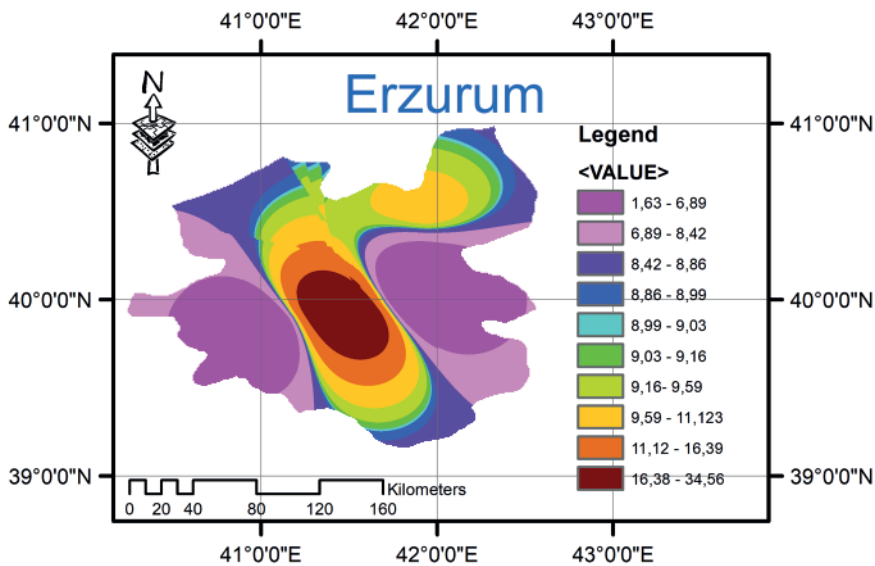


Figure 7. Spatial analysis of Summer GWL values

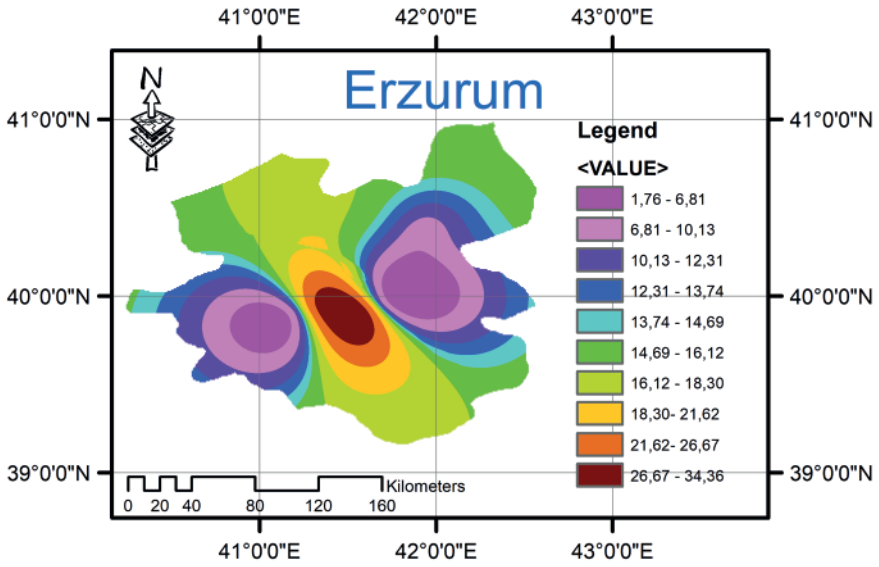


Figure 8. Spatial analysis of GWL values in Autumn

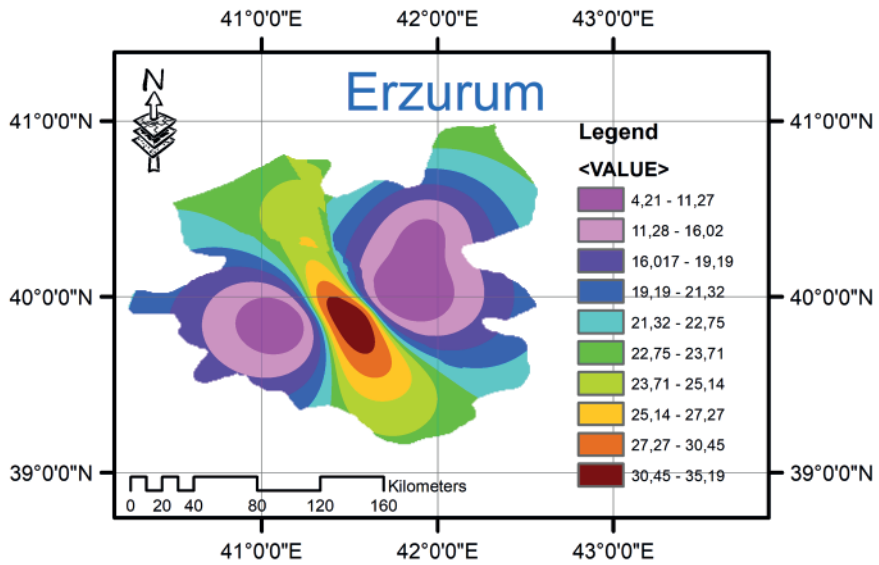


Figure 9. Spatial analysis of GWL values in Winter

4. DISCUSSION

Accurate estimation of GWL maps is a significant challenge and vital to effectively managing and planning groundwater. This study compares various interpolation techniques for the estimation of seasonal GWL values. Model prediction successes were tested according to the cross-validation technique. Accordingly, it has been deduced that the geostatistical EBK method can generate a reasonably accurate GWL estimation from the deterministic LPI technique. Izady et al. (2017); Katipoglu (2022); Bouhout et al. (2022) studies support the study. Izady et al. (2017) compared spline, IDW, normal kriging and EBK methods for the regionalization of monthly GWL values and it was concluded that EBK was the most successful. Katipoğlu (2022a) found that the K-Bessel-based EBK interpolation technique showed successful predictions in the spatial analysis of temperature trends. Bouhout et al. (2022) compared Ordinal kriging and EBK models for the mapping of GWL values, and the superior performance of EBK was revealed.

5. CONCLUSION

This study evaluated the seasonal variation of the GWL by using 5-year values of 12 different wells of Erzurum province, which is located in northeastern Turkey, mountainous and snow-covered most of the year, using EBK and LPI techniques. The most appropriate semivariogram for the EBK models was found to be K-Bessel for all seasons. Within 4 seasons, it was observed that the geostatistical approach EBK produced more successful results compared to the deterministic method LPI. GWL is low in Erzurum centre in all seasons, it is high in the eastern and western parts of the province. The outputs of the study are of crucial importance for water resources managers, decision makers and planners in terms of effective water management.

Acknowledgment We thank the General Directorate of State Hydraulic Works (DSI) for providing the GWL data.

REFERENCES

- Ahmadi, S. H., Sedghamiz, A. (2008). Application and evaluation of kriging and cokriging methods on groundwater depth mapping. *Environmental monitoring and assessment*, 138, 357-368.
- Ali, S. M., Mahdi, A. S., Shaban, A. H. (2012). Wind speed estimation for Iraq using several spatial interpolation methods. *Environ. Prot.*, 1(2).
- Antal, A., Guerreiro, P. M., Cheval, S. (2021). Comparison of spatial interpolation methods for estimating the precipitation distribution in Portugal. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(3-4), 1193-1206.
- Basu, K. (2016). Spatio temporal mapping of tuberculosis using log-empirical Bayesian kriging methods. *Technical Report Indian Statistical Institute/ Applied Statistics Unit*.
- Bouhout, S., Haboubi, K., Zian, A., Elyoubi, M. S., Elabdouni, A. (2022). Evaluation of two linear kriging methods for piezometric levels interpolation and a framework for upgrading groundwater level monitoring network in Ghiss-Nekor plain, north-eastern Morocco. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(10), 1016.
- Gezici, K., Şengül, S. (2023). Estimation and analysis of missing temperature data in high altitude and snow-dominated regions using various machine learning methods. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(4), 1-19.
- Gong, G., Mattevada, S., O'Bryant, S. E. (2014). Comparison of the accuracy of kriging and IDW interpolations in estimating groundwater arsenic concentrations in Texas. *Environmental research*, 130, 59-69.
- Goovaerts P. (1997) Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford University Press, New York
- Gribov, A., & Krivoruchko, K. (2011). Local polynomials for data detrending and interpolation in the presence of barriers. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 25, 1057-1063.
- Gundogdu, K. S., Guney, I. (2007). Spatial analyses of groundwater levels using universal kriging. *Journal of earth system science*, 116, 49-55.
- Isaaks, E., & Srivastava, R. M. (1989). An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press.
- Islam, A., Biswas, H.A., Optimal Planning and Management of Groundwater Level Declination: A Mathematical Model. In Proceedings of the 2nd International Conference on Industrial and Mechanical Engineering and Operations Management, Dhaka, Bangladesh, 12–13 December 2019.
- Izady, A., Abdalla, O., Ahmadi, T., Chen, M. (2017). An efficient methodology to design optimal groundwater level monitoring network in Al-Buraimi region, Oman. *Arabian Journal of Geosciences*, 10, 1-14.

- Katipoğlu, O. M. (2022a). Analysis of spatial variation of temperature trends in the semiarid Euphrates basin using statistical approaches. *Acta Geophysica*, 70(4), 1899-1921.
- Katipoğlu, O. M. (2022b). Spatial analysis of seasonal precipitation using various interpolation methods in the Euphrates basin, Turkey. *Acta Geophysica*, 70(2), 859-878.
- Katipoğlu, O. M., Acar, R. (2022). Space-time variations of hydrological drought severities and trends in the semi-arid Euphrates Basin, Turkey. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 1-24.
- Kazemi, H., Sarukkalgige, R., Shao, Q. (2021). Evaluation of non-uniform groundwater level data using spatiotemporal modeling. *Groundwater for Sustainable Development*, 15, 100659.
- Krivoruchko, K., Gribov, A. (2019). Evaluation of empirical Bayesian kriging. *Spatial Statistics*, 32, 100368.
- Krivoruchko, K., 2012, Empirical bayesian kriging: ArcUser Fall, v. 2012, p. 6-10.
- Mirzaei, R., Sakizadeh, M. (2016). Comparison of interpolation methods for the estimation of groundwater contamination in Andimeshk-Shush Plain, Southwest of Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 2758-2769.
- Rasel, H. M., Alam, S., Hasnat, A., Hossain, I., Hasan, M., Ahsan, A. (2019). Geospatial analysis of groundwater level variations using Kriging Method. *J Eng Appl Sci*, 3(2), 21-34.
- Ruybal, C. J., Hogue, T. S., McCray, J. E. (2019). Evaluation of groundwater levels in the Arapahoe aquifer using spatiotemporal regression kriging. *Water Resour. Res.* 55, 2820–2837. <https://doi.org/10.1029/2018WR023437>.
- Sun Y, Kang S, Li F, Zhang L (2009) Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China. *Environ Model Softw.*, 24(10):1163–1170
- Varouchakis, E. A., Hristopulos, D. T. (2013). Comparison of stochastic and deterministic methods for mapping groundwater level spatial variability in sparsely monitored basins. *Environmental monitoring and assessment*, 185, 1-19.
- Wang, S., Huang, G. H., Lin, Q. G., Li, Z., Zhang, H., Fan, Y. R. (2014). Comparison of interpolation methods for estimating spatial distribution of precipitation in Ontario, Canada. *International Journal of Climatology*, 34(14), 3745-3751.
- Xiao, Y., Gu, X., Yin, S., Shao, J., Cui, Y., Zhang, Q., Niu, Y. (2016). Geostatistical interpolation model selection based on ArcGIS and spatio-temporal variability analysis of groundwater level in piedmont plains, northwest China. *SpringerPlus*, 5(1), 1-15.

Bir Süt Fabrikasının Depolama, Vakum ve Bakım-Onarım Bölümlerinin Risk Değerlendirmesi¹

Murat Salih GEDİKLİ²

Mustafa GÜNAYDIN³

GİRİŞ

Risk analizi bir işyerinin vazgeçilmezi olan iş sağlığı ve güvenliğinin (İSG) temel unsurlarından biridir. Risk analizi yapmadan ve riskleri tespit etmeden alınacak önlemler yetersiz kalacak, bunun sonucunda iş kazaları ve meslek hastalıkları meydana gelecektir. Meydana gelecek iş kazaları ve meslek hastalıkları, maddi ve manevi büyük kayıplara neden olacaktır. Özellikle iş kazaları sonrası meydana gelebilecek kalıcı sakatlanmalar ve tedavisi zor meslek hastalıkları sosyal hayatta da büyük travmalara neden olacaktır. Bir diğer taraftan iş kazalarından ve meslek hastalıklarından meydana gelebilecek can kayıpları telafisi mümkün olmayan acılar meydana getirecektir.

İSG hayatımızı doğrudan etkilediği için ülkemizde ve Dünya’da önemi devamlı olarak artmaktadır. Bun bağlamda gıda sektörü düşünüldüğünde insanların yaşamak için tüketmek zorunda olduğu ürünler görülmektedir; bu durum da sektörün önemini bize göstermektedir.

Gelişen ülkelerde nüfustaki artış ve kişi başına düşen gelir miktarı beslenme noktasında süt ürünleri tüketimi talebini arttırmıştır. Durumun bu şekilde olması sektörün arz talep dengesine göre dikkat çeken bir pazar haline gelmesine neden olmuştur (Terin, 2014). Sütün temel bir hammadde

1 Bu çalışma 2019 yılında Avrasya Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezinden türetilmiştir.

2 Öğr. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Araklı Ali Cevat Özyurt MYO, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, msgedikli@ktu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-5689-6094.

3 Öğr. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Araklı Ali Cevat Özyurt MYO, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, mustafagunaydin@ktu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7753-8541.

olarak düşünüldüğünde gıda sektörü için vazgeçilmez bir öneme sahiptir. İçeriğindeki besin değerleri bakımından da besleyici bir özelliğe sahiptir. Bu bakımdan süt ve ürünlerinden tarih boyunca farklı alanlarda faydalanılmıştır. Durumun bu şekilde olması fabrikalaşmayı meydana getirmiştir. Teknolojik yönetmelerin uygulanması yeni tehlike ve riskleri meydana getirecektir. Dolayısıyla çalışma alanları içerisinde makine, çevre ve insan arasındaki uyumun sağlanması son derece önemlidir (Özkan, 2002: Spellman and Bieber, 2008: Orhan, 2016). Süt üretim faaliyet alanına göre “İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin Tehlike Sınıfları Tebliği’ne” göre faaliyet alanının tehlike sınıfı belirlenmesi gerekir. Yani NACE kod uygulaması yapılması gerekir. Devamında tehlike sınıfına göre risk değerlendirme ve acil durum eylem planlarının şekillenmesi gerekir. NACE kod belirlenmesine göre süt ürünleri imalatı “tehlikeli” sınıf olarak belirlenmiştir (Resmî Gazete Sayısı: 28509, 2012).

İngiltere’de bulunan iş sağlığı ve güvenliği kurumu (Health and Safety Executive)-HSE’nin verilerine göre süt ve süt ürünleri üretiminde meydana gelen iş kazalarının ana nedenleri oluşturmaktadır (HSE, 2018). Bunlar yüklerin elle taşınması, kimyasallara temas, zemin kaynaklı kayarak düşme, yüksekten düşme olarak sayabiliriz. Bununla birlikte meslek hastalıklarının (MH) ortaya çıkması da muhtemel bir durumdur. Bunlarda gürtlüye bağlı oluşan MH, kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları, kimyasallara maruziyetten oluşan rahatsızlıkları örnek olarak verebiliriz.

İSG yasasında işveren tarafından risk değerlendirme çalışmalarını yapması veya dışarıdan destek alarak yaptırması gerekmektedir. Bu sorumluluğu yerine getirilmesi işverenin İSG konularındaki sorumluluklarını etkilemez. Kanuna ek olarak “İSG Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği” düzenlenmiştir (Resmî Gazete Sayısı: 28339, 2012). Yönetmelik kapsamında risk değerlendirme çalışmalarının tüm işletme bünyesine yayılarak işletmeye ait genel ve özel tehlikelerin belirlenip tanımlanması gereklidir. Aynı şekilde tanımlaması yapılan tehlikelerin risk belirlenmesi yapıp işletmeye yönelik uygun risk analizi yöntemi seçilerek dokümanite edilmesi gerekir. Gerekli derecelendirmeler yapılarak aksayan yönler belirlenir ve skor haritasına göre önem sıralaması yapılır. Tüm bu çalışmalar risk değerlendirmesi olarak ifade edilir (Resmî Gazete Sayısı: 28512, 2023).

Risk değerlendirme yöntemlerini iki başlık sınıflandırabiliriz. Bunlar, kantitatif ve kalitatif yöntemlerdir. Kantitatif yöntemler nicel bir risk değerlendirmesi veya nicel bir risk analizidir. Bir varlığın değerini, kayıp olasılığını ve diğer ilgili riskleri belirlemek için ölçülebilir. Nesnel verileri kullanan resmi ve sistematik bir yöntemdir. Bir varlığın ömrü boyunca olası

tüm gelecek senaryoları kapsar ancak bu kapsam, modeller ve risk önlemleri belirlenirken bazı varsayımlar yapılmalıdır. Kantitatif yöntemler tipik olarak riski, statik bir temel risk olarak tanımlayarak zamana ve belirsizliğe dayalı ağırlıklı ortalamalarda rapor eder.

Niteliksel risk analizi, bir projeyi yönetmenize ve programını sürdürmenize yardımcı olan risk yönetimi yürütürken önemli bir adımdır. Bunları hazırlamak, projenin başarılı olmasını sağlamaya yardımcı olan potansiyel olarak maliyetli gecikmelerden veya hatalardan kaçınmanıza yardımcı olabilir. Niteliksel risk analizi yöntemleri, iş ortamındaki potansiyel fırsatları ve tehditleri tanımlar. Bu yöntemler, finansal veya teknik faktörlerden ziyade bir işletmenin farklı unsurlarına odaklanır. Risk olasılığı, sayılar “0’dan 1’e” veya yüzdelere “%0-%100” kullanılarak derecelendirilebilir. Aynı ölçeğin kullanılması, kuruluşların aynı tür projeler ve proje riskleri arasında karşılaştırma yapmasına yardımcı olur. Niteliksel risk analizi, riskleri bir ölçek kullanarak değerlendirmekle kalmaz, aynı zamanda kaynaklarına ve proje hedefleri ve unsurları üzerindeki etkilerine göre gruplandırır (Özkılıç, 2005; Kılıç, 2018).

Kullanılan tüm yöntemler kendi aralarında birlikte olacak şekilde de uygulanabilirler. Bu yöntemler karma yöntemler olarak ifade edilirler. Bu bağlamda şekil 1’de nitel, nicel ve karma yöntemler verilmiştir.

1. **Matris**, (Karma, Yarı nicel-yarı nitel)
2. **Kontrol Listeleri (Check- List)**, (Nitel),
3. **Fine – Kinney**, (Karma),
4. **Hata Modu ve Etkileri Analizi (FMEA)**, (Nicel)
5. **Tehlike ve Çalışılabilirlik Analizi (HAZOP)**, (Nitel)
6. **Hata Ağacı Analizi (FTA)**, (Karma, Nicel-Nitel)
7. **Olay Ağacı Analizi (ETA)**, (Karma-Nicel-Nitel)
8. **Neden – Sonuç Analizi** (Karma-Nicel-Nitel)
9. **Ön Tehlike Analizi (PrHA)** (Nitel)
10. **What If - (Olursa Ne Olur Analizi)**, (Nitel)

Şekil 1. Risk analiz yöntemleri

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmada süt ürünleri üretimi yapan bir fabrikada vakum, depolama ve bakım-onarım alanlarında karşılaşılabilecek tehlikeleri ve sonucunda oluşabilecek riskleri değerlendirmek ve öneriler oluşturmak amacıyla yapılmıştır.

2.2. Çalışmanın Örnekleme

Çalışma örneklemini Trabzon ili Vakfıkebir ilçesinde faaliyet göstermekte olan süt ve süt ürünleri üretimi yapan bir fabrikadan oluşmaktadır.

2.3. Çalışma İzni

Çalışmanın yürütülebilmesi için gerekli kurumdan yetkililerin izinleri alınmıştır.

2.4. Çalışma Verilerinin Toplanması

Süt ürünleri üretimi yapılan fabrikada kırk beş (45) gün süreyle vakum, depolama ve bakım-onarım alanlarında incelemeler yapılmıştır. İlk olarak gözleme dayalı şekilde izlenme yapılmış ve notlar alınmıştır. Devamında tehlikeler belirlenmiş ve tehlike tanımları yapılmıştır. Sonrasında ilgili tehlikelerle risk değerlendirmeleri yapılarak 5x5 L tipi matris yöntemi kullanılarak belgelenmiştir. L tipi matris yöntemini kullanmamızdaki amaç sistem güvenlik program gereksinimlerini karşılamaındaki uygulanabilir olmasıdır. Ayrıca matris diyagramları iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi analiz etmekte kullanılmaktadır. (Koltan ve ark., 2010).

3. BULGULAR

İşletmenin *vakum* bölümünde tehlike belirleme yapılmıştır. Tehlike kaynakları olarak altı adet tehlike tanımlaması yapılmıştır. Tanımlamalar neticesinde riskler belirlenmiş, sonucunda olabilecek durumlar açıklanmış ve mevcut durum ile ilgili kıyaslama yapılmıştır. Tehlike tanımlamalarından beş adet risk önemli kabul edilmiş ve bir adet risk ise tolere edilemez olarak ifade edilmiştir (şekil 2).

Tehlike Kaynağı	Risk	Sonuç	Mevcut Durum
Gürültü	İşitme kaybı	Meslek hastalığı	Çalışanlara kulak tıkacı verilmiştir
Transpalet kullanımı	Kayma, düşme ve yük altında kalma	Yaralanmalar	Yük istifleri sağlam bir şekilde yapılmaktadır
Ağır yük kaldırma	Sırt ve bel rahatsızlıkları	Meslek hastalığı	Transpaletler kullanılmaktadır
Yangın söndürme cihazlarının olmaması	Yangına müdahale edememe	Yaralanma ya da ölüm	Yangın söndürme cihazları bulunmaktadır
Kimyasallar	Kimyasalların solunması ve teması	Yaralanmalar ve zehirlenmeler	Çalışanlara KKD temin edilmiştir
Makine koruyucularının olmaması	El ve kol sıkışmaları	Yaralanma ya da uzuv kaybı	Makine koruyucular mevcuttur

Şekil 2. Vakum bölümü analizi

İşletmenin *depolama* bölümünde tehlike belirlemesi yapılmıştır. Tehlike kaynakları olarak beş adet tehlike tanımlaması yapılmıştır. Bunların dört tanesi önemli risk ve bir tanesi tolere edilemez (yüksek düzeyde) risk olarak tespit edilmiştir. Tolere edilemez (yüksek düzeyde) risk olarak ilgili alan içerisinde ve çevresinde yangın söndürme cihazlarının olmaması ve olası bir yangına karşı mücadele edilememe olarak belirlenmiştir. Önemli risklerde ise rafların dayanım hesaplarının yapılmaması ve sonucunda rafların çatlaması veya kırılması neticesinde yüklerin kişiler üzerine düşmesi, yük asansörlerinin periyodik muayenelerinin olmaması sonucunda çalışanların elle taşıma işlerini yürütmesi durumunda sırt ve bel incinmelerinin ve devam etmesi halinde kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının meydana gelmesi olarak değerlendirme yapılmıştır. Muayene kontrollerinin yapılmaması ilgili yük asansörleri üzerinde mekanik ve halat sistemlerinin bozulmasına bu durumda hem çalışan hem de işveren açısından iş gücü ve günü kaybının oluşması verimliliğin düşmesine neden olacaktır (şekil 3).

Tehlike Kaynağı	Risk	Sonuç	Mevcut Durum
Rafların statik hesaplarının olmaması	Rafların kırılması	Yaralanma ya da ölüm	Rafların statik hesapları yoktur
Yangın söndürme cihazlarının olmaması	Yangına müdahale edememe	Yaralanma ya da ölüm	Yangın söndürme cihazları bulunmaktadır
Yük asansörünü personelin kullanması	Asansör halatının kopması	Yaralanma ya da ölüm	Yük asansörünü personel kullanmaktadır
Yük asansörünün periyodik kontrolünün olmaması	Asansörde oluşabilecek arızalar, halat kopması	Yaralanma ya da ölüm	Periyodik kontroller yapılmaktadır
Ağır yük kaldırma	Sırt ve bel rahatsızlıkları	Meslek hastalığı	Transpaletler kullanılmaktadır

Şekil 3. Depolama bölümü analizi

İşletmenin *bakım-onarım* bölümünde tehlikeler belirlenerek tehlikelere ait tanımlamalar yapılmıştır. Tanımlama neticesinde on üç adet tehlike tanımlaması yapılmıştır. Bunlardan on bir tanesi önemli risk ve iki tanesi de tolere edilemez (yüksek düzeyde) risk olarak değerlendirilmiştir. Tolere edilemez (yüksek düzeyde) riskler mekanik sistemler üzerinde gerekli periyodik kontrollerin ve bakım-onarım faaliyetlerinin yapılmaması, elektrik akımı geçen sistemlerin özelliklerini yitirmiş olması, çatlaması, açıkta kalması, yalıtım özelliklerini kaybetmesi ve neticesinde elektrik akımına kapılma olarak tespit edilmiştir. Önemli risklere baktığımızda kaynak işleminde oluşan zararlı görünen ışınlar, infrared ışınları(kızılötesi) ve ultraviyole (morötesi) kaynak ışınları ve çıkan dumanların insan sağlığına olan olumsuz etkileri, mesleki yeterlilik eğitimlerinin revize edilmemesinden kaynaklanan mesleğin getirdiği yeni tehlike ve riskleri bilmeden bilinçsiz hareket etme, elektrikli el aletlerinin kuralına uygun çalıştırma, bitirme ve kullanma talimatlarının göz ardı edilmesi, spiral kullanımı sırasında kişisel koruyucu ekipmanların kullanılmaması ve spiralin çalışır vaziyette yere bırakılması ve sonucunda oluşabilecek patlamalar, yaralanmalar, tespit edilmiştir. Ayrıca torna tezgâhlarında parça sıçramasına karşın kişisel koruyucu ekipman kullanılmaması, makinelerin döner aksamı kısımlarının talimatlarına, delici ve kesici el aletlerinin uygunsuz kullanımı neticesinde hem çalışana hem de çevresinde bulunanlara zarar vermesi olarak tespit edilmiştir (şekil 4). Saymış olduğumuz tüm durumların değerlendirilmesi neticesinde meydana gelebilecek kazaların veya olumsuz durumların %88'lik gibi bir kısmı çalışanların yapmış olduğu tehlikeli hareketlerden, %10'luk gibi bir kısmın

çalışma ortamından, makinelerden, çevreden oluşabileceği ve %2'lik gibi bir kısmında nedeni belli olmayan ani olarak gelişen ön tespiti yapılamayan durumlar olarak ifade edilir. Dolayısıyla %98'lik gibi bir durumla başa çıkabilmenin en basit ve kolay yolu işletme bünyesinde en alt çalışanlar ile en üst işverenler arasında oluşturulacak etkin bir iş sağlığı ve güvenliği politikası oluşturarak risk değerlendirme çalışmalarının etkin bir şekilde yapılması ve aktif bir şekilde sürekli olarak kontrole tabi tutulmasından geçmektedir.

Tehlike Kaynağı	Risk	Sonuç	Mevcut Durum
Kaynak işleri	Kaynak ışınları ve kaynak dumanı	Meslek hastalığı	Çalışanlara KKD zimmet tutanağı eşliğinde teslim edilmiştir
Kaynak işleri	Bilinçsiz çalışma	Meslek hastalığı	Çelik kaynakçı mesleki yeterlilik belgesi için başvuru yapılmıştır
Mesleki eğitimler	Bilinçsiz çalışma	İş kazaları ve meslek hastalıkları	Mesleki eğitimlerle ilgili eksiklikler vardır
Spiral kullanımı	Spiral taşının patlaması, el kol kesilmeleri	Yaralanma ya da ölüm	Spiral koruyucuları kullanılmamaktadır
Elektrikli el aletleri	Bilinçsiz çalışma	Yaralanmalar	KKD'ler kullanılmaktadır
KKD kullanmama	İş kazaları ve meslek hastalıkları	Yaralanmalar ve meslek hastalıkları	KKD'ler kullanılmaktadır
Torna makinesi	Parça sıçramaları ve döner aksam	Yaralanmalar	KKD'ler kullanılmaktadır
Makinelerin bakım ve onarım faaliyetleri	Elektrik akımına kapılma	Yaralanma ya da ölüm	Elektrik bağlı makinelere bakım ve onarım yapılmamaktadır
Kesik, çatlak ve yalıtım özelliğini kaybetmiş uzatma kabloları	Elektrik akımına kapılma	Yaralanma ya da ölüm	Bu şekilde arızalı kabloların kullanımı engellenmektedir
El merdivenleri	Yanlış ve hasarlı merdiven kullanma	Yaralanmalar	Hasarlı merdivenler kullanılmamaktadır
Kesici ve delici alet kullanımı	Aletlerin dikkatsiz kullanımı ve korunaklı muhafaza edilmemesi	Yaralanmalar ve uzuv kaybı	Bakım onarım personeli alet çantası ya da bel çantası kullanmaktadır
El aleti kullanımı (keser, pense, çekiç, tornavida, falçata, vb.)	Bilinçsiz kullanım sonucu personel kendine ve çevresindekilere zarar verebilir	Yaralanmalar	Personel bu konuda dikkatli bir şekilde çalışmaktadır
Elektrikli el aletleri ve makineler	Elektrik akımına kapılma	Yaralanma ya da ölüm	Yetkisiz personel el aletlerini kullanmamaktadır

Şekil 4. Bakım-onarım bölümü analizi

İşletmenin vakum, depolama ve bakım-onarım bölümlerinde yapılan tehlike belirleme, tanımlama ve risk belirleme işlemlerinden sonra 5x5 L tipi matris yöntemi kullanılarak risk değerlendirme dokümanı hazırlanmıştır.

Tablo 1. Vakum bölümüne ait risk değerlendirme formu

VAKUM BÖLÜMÜ TEHLİKE BELİRLEME VE RİSK DEĞERLENDİRME FORMU										Haz. Tarihi	Rev. Tarihi/Rev. Geçerlilik Tarihi	No			
KISALTMALAR	ŞİDDET	KATSAYI	ŞİDDET	KATSAYI	OLASILIK	ETKİLENERLER	SONUÇ	RİSK	TEHLİKE TEHLİKE KAYNAĞI	MEVCUT DURUM	MEVCUT RİSK PUANLAMALARI			DÜZELTİCİ VE ÖNLEYİCİ KONTROL TEDBİRLERİ	
											OLASILIK	ŞİDDET	RİSK		ÖNCELİK SIRASI
Ş	ŞİDDET	ÇOK HAFİF	İŞGÜCÜ kaybı, yok Biyakta yardım.	1	ÇOK DÜŞÜK	Hiç muhtemel değil (yülda bir)	ÇOK DÜŞÜK	ÇOK HAFİF	1	ÇOK CİDDİ	CİDDİ	ORTA	HAFİF	ÇOK HAFİF	ÖNCELİK SIRASINA GÖRE RİSK TANIMI
O	OLASILIK	1	İşgücü kaybı, yok Biyakta yardım.	1	ÇOK DÜŞÜK	Hiç muhtemel değil (yülda bir)	ÇOK DÜŞÜK	ÇOK HAFİF	1	YÜKSEK	YÜKSEK	YÜKSEK	ORTA	DÜŞÜK	Öncelik Sırası (1) 15,16,20,25
RS	RİSK SKORU	2	Yaralanma rapora yol açan hastalık	2	DÜŞÜK	Çok ender nadiren (üç ayda bir)	DÜŞÜK	HAFİF ZARAR	2	YÜKSEK	YÜKSEK	YÜKSEK	ORTA	DÜŞÜK	KABUL EDİLEMEZ RİSK Bu risklere ilgili hemen çalışma yapılmalı, risk seviyesi düşürülmelidir.
ÖS	ÖNCELİK SIRASI	3	Yaralanma, yanık, burkulma, rapora yol açan hastalık	3	ORTA	Belki olabilir (ayda bir)	ORTA	ORTA ZARAR	3	ORTA	ORTA	ORTA	DÜŞÜK	DÜŞÜK	Öncelik sırası (2) 8,9,10,12
		4	Uzav ve organ kayıbı, büyük kırık, iş görmezlik, zehirlenme, büyük maddi zarar vb.	4	YÜKSEK	Çok muhtemel (haftada bir)	YÜKSEK	YÜKSEK ZARAR	4	DÜŞÜK	ORTA	DÜŞÜK	DÜŞÜK	DÜŞÜK	Öncelik sırası (3) 1,2,3,4,5,6
		5	Ölüm, hastalıklar, çok yüksek maddi zarar vb.	5	ÇOK YÜKSEK	Her zaman (her gün)	ÇOK YÜKSEK	ÇOK YÜKSEK ZARAR	5	C.Düşük	DÜŞÜK	DÜŞÜK	DÜŞÜK	DÜŞÜK	KABUL EDİLEBİLİR RİSK Faaliyetler kontrollü olarak devam etmeli
NO	ORTAM / FAALİYET	TEHLİKE TEHLİKE KAYNAĞI	RİSK	SONUÇ	ETKİLENERLER	MEVCUT DURUM	MEVCUT RİSK PUANLAMALARI			ŞİDDET	DÜZELTİCİ VE ÖNLEYİCİ KONTROL TEDBİRLERİ				
1	VAKUM	GÜRÜLTÜ	İŞTİME KAYBI	MESLEK HASTALIKLARI	ÇALIŞANLAR	ÇALIŞANLARIN KULAK TIKAÇI KULLANDIKLARI GÖZLENMİŞTİR.	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK	ÖNCELİK SIRASI	DÜZELTİCİ VE ÖNLEYİCİ KONTROL TEDBİRLERİ				
							2	4	8	2	GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMÜ NETİGESİNDE 85dB GÜRÜLTÜ OLAN ORTAM ARDA ÇALIŞANLARA KULAK KORUYUCULAR ZARARİ TUTANAGI EŞİĞİNDE TESLİM EDİLMELİ VE KULLANIMLARI SAĞLANMALIDIR.				

Tablo 1'in devamı.

NO	ORTAM / FAALİYET	TEHLİKE TEHLİKE KAYNAĞI	RİSK	SONUÇ	ETKİLENERLER	MEVCUT DURUM	MEVCUT RİSK PUANLAMALARI			ÖNCELİK SIRASI	DÜZELTİCİ VE ÖNLEYİCİ KONTROL TEDBİRLERİ
							OLASILIK	ŞİDDET	RİSK SKORU		
2	İMALAT / VAKUM	TRANSPALET KULLANIMI	KAYMA DÜŞME YÜK ALTINDA KALMA	YARALANMALAR	ÇALIŞANLAR	TRANSPALET ÜZERİNDEKİ YÜK İSTİFLERİ SAĞLANMAMIŞTIR. BİR ŞEKLİDE YAPILMAKTADIR.	3	3	9	2	TRANSPALET ÜZERİNE KOYULAN YÜKLER KONTROL EDİLMELİ YÜKTE BİR DENGE SİZLİK VARSA DENGE YE ALINDIKTAN SONRA KULLANILMALIDIR. EĞİMLİ NOKTALARDA VE KOŞELERDEN DÖNÜŞÜ ERDE YAVAŞ HAREKET EDİLMELİ VE ASLA KOŞULMAMALIDIR.
3	İMALAT / VAKUM	AGIR YÜK KALDIRMA	SIRT VE BEL AGRILARI	MESLEK HASTALIKLARI	ÇALIŞANLAR	YÜKLER GENELİKLE TRANSPALETLE İLE KALDIRILMAKTADIR.	3	3	9	2	25KG ÜZERİNDEKİ YÜKLER BİR KİŞİ TARAFINDAN ASLA KALDIRILMAMALIDIR. BU AĞIRLIKDAKİ YÜKLER KALDIRMA VEYA İLETME AMAÇLARI KULLANILARAK KALDIRILMALI YA DA İKİNCİ BİR KİŞİDEN YARDIM ALINARAK KALDIRILMALIDIR. BU KONUDA ÇALIŞANLAR SÜREKLİ BİLGİLENDİRİLMELİDİR.
4	İMALAT / VAKUM	YANGIN SÖNDÜRÜCÜ OLMAMASI	YANGINA MÜDAHALE EDEMEME	YARALANMA ÖLÜM	ÇALIŞANLAR	BÖLÜM İÇERİSİNDE YANMAYA NEDEN OLAN BULUNMAKTADIR VE İŞARETLENMİŞTİR.	3	5	15	1	YANGIN SÖNDÜRME TÜPLERİ YERDEN 90CM YÜKSEKLİKTE OLMALI VE BULUNDUĞU NOKTA İŞARETLENMELİDİR. TÜM ÇALIŞANLARIN KOLAYLIKLA ULAŞABİLECEĞİ BİR NOKTAYA KOYULMALIDIR.

Tablo 1'in devamı.

NO	ORTAM/ FAALİYET	TEHLİKE TEHLİKE KAYNAĞI	RISK	SONUÇ	ETKİLENERLER	MEVCUT DURUM	MEVCUT RISK PUANLAMALARI			ÖNCELİK SIRASI	DÜZELTİCİ VE ÖNLEYİCİ KONTROL TEDBİRLERİ
							OLASI LİK	ŞİDDET	RISK SKORU		
5	İMALAT / VAKUM	KİMYASALLAR	KİMYASALLARIN SOLUNMASI VE TEMASI	YARALANMALAR VE ZEHLİLENNİMLER	ÇALIŞANLAR	PERSONELE KİŞİSEL KORUYUCU EKİPMANLARI VERİLMİŞ VE KULLANIMI TAKİP EDİLMEKTEDİR.	4	3	12	2	KİMYASALLARIN MALZEME GÜVENLİK BİLGİ FORMLARI BELİRLENEN NOKTALARA ASILMALI, KİMYASAL MADDELERLE İLGİLİ PERSONELE EĞİTİMLER VERİLMELİDİR. KİMYASAL MADDELERLE TEMİZLİK YAPAN PERSONELE ÖNÜK, YÜZ SİPERİ, EL DİVEN VE MASKE VERİLMELİ VE KULLANIMLARI SAĞLANMALIDIR.
6	İMALAT / VAKUM	MAKİNE KORUYUCULARININ OLMAMASI	EL KOI SIKIŞMALAR	YARALANMALAR	ÇALIŞANLAR	MAKİNELERE AİT KORUYUCULAR MEVCUTTUR.	3	4	12	2	DÖNER AKSAMLALI MAKİNELER VE KESİCİ AĞIZLI MAKİNERİN KORUYUCU DONANIMLARI BULUNMALI VE ASLA ÇIKARILMAMALIDIR. PERSONELE BU KONULARDA SÜREKLİ HATIRLATIMLAR YAPILMALI VE EĞİTİMLERİ SAĞLANMALIDIR. KORUYUCU AKSAMLARINDA ARIZA OLAN MAKİNELER ÇALIŞTIRILMAMALIDIR.

Tablo 2'nin devamı.

NO	ORTAM / FAALİYET	TEHLİKE KAYNAĞI	RISK	SONUÇ	ETKİLENEMLER	MEVCUT DURUM	MEVCUT RISK PUANLAMALARI			ÖNCELİK SIRASI	DÜZELTİCİ VE ÖNLEYİCİ KONTROL TEDBİRLERİ
							OLASILIK	ŞİDDET	RISK SKORU		
2	İŞYERİ/DEPO	YANGIN SONDURUCU OLMAMASI	YANGINA MÜDHAHALE EDEMEME	YARALANMA ÖLÜM	ÇALIŞANLAR	BÖLÜM İÇERİSİNDE YANGIN SONDURUCU BULUNMAKTADIR VE İŞARETLENMİŞTİR.	3	5	15	1	YANGIN SONDURMA TÜPLERİ YERDEN 90CM YÜKSEKLİKTE OLMALI VE BULUNDUĞU NOKTA İŞARETLENMELİDİR. TÜM ÇALIŞANLARIN KOLAYLIKLA ULAŞABİLECEĞİ BİR NOKTAYA KOTULMALIDIR.
3	İŞYERİ/DEPO	YÜK ASANSÖRÜNÜN PERSONELİN KULLANMASI	YÜK ASANSÖRÜNÜN HALATLARININ KOPMASI	YARALANMA ÖLÜM	ÇALIŞANLAR	YÜK ASANSÖRÜNÜ PERSONEL KULLANMAKTADIR.	3	4	12	2	YÜK ASANSÖRÜ İNSAN KULLANIMINA KESİNLİKLE YASAKLANMALIDIR.
4	İŞYERİ/DEPO	YÜK ASANSÖRÜNÜN PERİYODİK KONTROLÜNÜN OLMAMASI	YÜK ASANSÖRÜNDE OLUŞABİLECEK AKSAKLIKLAR	YARALANMA ÖLÜM	ÇALIŞANLAR	2017 YILI İÇERİSİNDE PERİYODİK KONTROLÜ YAPILMIŞTIR.	3	4	12	2	YÜK ASANSÖRÜNÜN PERİYODİK KONTROLLERİ YETKİLİ KİŞİ YA DA KURUMLARCA YAPTIRILMALI VE RAPORLARI SAKLANMALIDIR. RAPORLAR NETİCESİNDE VARSA BELİRTİLEN EKSKLİKLER GİDERİLMELİDİR.
5	İMALAT / VAKUM	AĞIR YÜK KALDIRMA	SIRT VE BEL AĞRILARI	MESLEK HASTALIKLARI	ÇALIŞANLAR	YÜKLER GENELİKLE TRANSPALETLERLE KALDIRILMAKTADIR.	3	3	9	2	25KG ÜZERİNDEKİ YÜKLER BİR KİŞİ TARAFINDAN ASLA KALDIRILMAMALIDIR. BU AĞIRLIKDAKİ YÜKLER KALDIRMA VEYA İLETME ARAÇLARI KULLANILARAK KALDIRILMALI YA DA İKİNCİ BİR KİŞİDEN YARDIM ALINARAK KALDIRILMALIDIR. BU KONUDA ÇALIŞANLAR SÜREKLİ BİLGELENDİRİLMELİDİR.

Tablo 3'ün devamı.

NO	ORTA/ FAALİYET	TEHLİKE TEHLİKE KAYNAĞI	RİSK	SONUÇ	ETKİLENERLER	MEVCUT DURUM	MEVCUT RİSK PUANLAMALARI			DÜZELTİCİ VE ÖNLEYİCİ KONTROL TEDBİRLERİ		
							OLASILIK	ŞİDDET	RİSK SKORU		ÖNCELİK SIRASI	
1	İŞYERİ / BAKIM ONARIM	KAYNAK İŞİNİ YAPAN VE KAYNAK DUMANI KAYNAK İŞLEMLERİ	KAYNAK İŞİNİN VE KAYNAK DUMANI	MESLEK HASTALIĞI	ÇALIŞANLAR	ÇALIŞANLARA KİŞİSEL KORUYUCU DONANIMLARI ZİMMET TUTANAKI ESİĞİNDE TESLİM EDİLMİŞTİR.	3	4	12	2	ÇALIŞANLARA KİŞİSEL KORUYUCU DONANIMLARI (KAYNAK MASKESİ, KAYNAKÇI EL DUVENİ, KAYNAK SOLUNUM MASKESİ) EKSIKSİZ OLARAK ZİMMET TUTANAKI ESİĞİNDE TESLİM EDİLMELİ VE KULLANIMLARI SAĞLANMALIDIR.	
2	İŞYERİ / BAKIM ONARIM	MESLEKİ EĞİTİMLER	BİLGİSİZ ÇALIŞMA	MESLEK HASTALIĞI	ÇALIŞANLAR	ÇELİK KAYNAKÇI MESLEKİ YETERLİLİK BELGESİNİN BAYAN YAPILMIŞTIR.	3	4	12	2	KAYNAK PERSONELİNİN KULLANMIŞ OLDUKLARI KAYNAK ÇESİTLERİNİN HER BİRİ İÇİN MESLEKİ YETERLİLİK BELGESİ YA DA ÜSTELİK BELGELERİNİN OLMASI GEREKELİDİR.	
3	İŞYERİ / BAKIM ONARIM	SPİRAL KULLANIMI	SPİRAL TAŞININ PATLAMASI, EL KOL KESİLMELERİ	İŞ KAZALARI VE MESLEK HASTALIKLARI	ÇALIŞANLAR	MELEKİ EĞİTİMLERLE İLGİLİ ESKİKLİKLER VARDIR.	3	4	12	2	ÇALIŞANLARIN YAPMIS OLDUKLARI İŞE UYGUN MESLEKİ EĞİTİMLERİNİN TAMAMLANMASI GEREKMEKTEDİR.	
4	İŞYERİ / BAKIM ONARIM	ELEKTRİK EL ALETLERİ	BİLGİSİZ ÇALIŞMA	YARALANMALAR	ÇALIŞANLAR	ÇALIŞANLAR SPİRAL KULLANIMINDA KİMLERİNDE KULLANIM KAYNAĞI ANCAK SPİRAL KORUYUCULARI KULLANILMAMAKTADIR.	3	4	12	2	SPİRALIN KULLANIM TALİMATINA UYGUN KULLANIMI SAĞLANMALIDIR. HER NE MÜKAMAL OLSUN DA SPİRALIN KULLANIM KAYNAĞI AKSAMI ÇIKARILMAMALI VE TAŞ DEĞİŞİMLERİNDE MAKİNEYE GELEN AKIM KESİLMELİDİR. HERHANGİ BİR ARIZA DURUMUNDA "ARIZALIDIR" DİYE İŞARETLENMELİDİR. SPİRAL KULLANILIRKEN BÖLGESELER GİYİLMEMELİ VE YÜZ SPERİ YA DA TAM KORUMALI GÖZLÜK KULLANIMI SAĞLANMALIDIR.	
5	İŞYERİ / BAKIM ONARIM	KİŞİSEL KORUYUCU DONANIMLARI KULLANMAMA	İŞ KAZALARI VE MESLEK HASTALIKLARI	YARALANMALAR VE MESLEK HASTALIKLARI	ÇALIŞANLAR	KİŞİSEL KORUYUCU DONANIMLARI KULLANILMAMAKTADIR.	3	4	12	2	ELEKTRİK EL ALETLERİ KULLANIM TALİMATLARINA UYGUN OLARAK KULLANILMAMALI VE AMAÇ DIŞINDAKİ İŞLEMLERDE KULLANILMAMALIDIR.	
												YAPILAN İŞİN NİTELİĞİNE GÖRE KİŞİSEL KORUYUCU DONANIMLAR (BARET, İŞ AYAKKABI, EL DUVENİ, PARŞÜT, TİP ENAYET KEMERİ, KULAKLIK, GÖZLÜK, MASKE V.B.) EKSIKSİZ OLARAK KULLANILMALI VE TAKİBİ YAPILMALIDIR.

Tablo 3'ün devamı.

6	İŞYERİ / BAKIM ONARIM	TORNA MAKİNESİ	PARÇA SİCİRALARI VE DONER AKSAM	YARALANMALAR	ÇALIŞANLAR	KİŞİSEL KORUYUCU DONANIMLAR KULLANILMAMAKTADIR.	3	4	12	2	TORNA MAKİNESİNİ USTASINDAN BASKASININ KULLANIMI YASAKLANMALIDIR. TAM KORUMALI İŞ GÖZÜĞÜ YA DA YÜZ SPERİ KULLANILMALIDIR. TORNA MAKİNESİNİ KULLANAN PERSONEL BOL KIYAFETLER GYMEMELİDİR. KOLYE, SAAT, BİLEKLİK VE YUZUK GİBİ AKSESUARLAR KESİNLİKLE KULLANILMAMALIDIR.
7	İŞYERİ / BAKIM ONARIM	MAKİNELERDEKİ BAKIM VE ONARIM FAALİYETLERİ	ELEKTRİK AKIMINA KAPILMA	YARALANMA YADA ÖLÜM	ÇALIŞANLAR	ELEKTRİK ENERJİSİ ALTIYINDAKİ MAKİNELERE BAKIM VE ONARIM YAPILMAMAKTADIR.	4	5	20	1	MAKİNELERİN BAKIM VE ONARIM İŞLEMLERİNDE ELEKTRİK BAĞI ANTISI KESİLMEYEN MÜDHAFALE EDİLMEMELİDİR VE ÇALIŞANLAR BU HUSUSTA HER FIRSATTA UYARILMALIDIR.
8	İŞYERİ / BAKIM ONARIM	KESİK, ÇATLAK VE YALITIM ÖZELLİĞİNİ KAYBETMİŞ UZATMA KABLOLARI	ELEKTRİK AKIMINA KAPILMA	YARALANMA YADA ÖLÜM	ÇALIŞANLAR	BU ŞEKİLDE ARIZALI KABLOLARIN KULLANIMI ENGELLENMEKTEDİR.	3	5	15	1	KESİK, ÇATLAK VE YALITIM ÖZELLİKLERİNİ KAYBETMİŞ KABLOLAR KESİNLİKLE KULLANILMAMALIDIR. BU ŞEKİLDE ARIZALI KABLOLAR ARZU EDİLDİĞİNDE ARIZALI İŞARETLEMESİ YAPILIP KULLANIMI YASAKLANMALIDIR.
9	İŞYERİ / BAKIM ONARIM	EL MERDİVENLERİ	YANLIŞ VE HASARLI MERDİVEN KULLANMA	YARALANMALAR	ÇALIŞANLAR	HASARLI MERDİVENLER KULLANILMAMAKTADIR.	3	4	12	2	EL MERDİVENLERİ ANCAK DÜŞÜK RİSK NEDENİYLE DAHA GÜVENLİ BİR İŞ EKİPMANI KULLANIMI GEREKMEYİTorsa, KISA SÜRE KULLANILACAKSA VEYA DEĞİŞTİRİLMESİ MÜMKÜN OLMAYAN KOŞULLARDA KULLANILMALIDIR. MERDİVENİN AYAKLARINI ZEMİNE TAM OTURTARAK YA DA ÜÇ KISMINDAN SAĞLAM BİR NOKTAYA BAĞLAYARAK SABİTLENMELİDİR. ASILIDURAN EL MERDİVENLERİ YERLERİNDEN ÇIKARILMAYACAĞI VE SALLANMAYACAĞI ŞEKİLDE SABİTLENMELİDİR.
10	İŞYERİ / BAKIM ONARIM	KESİCİ/DELİCİ ALET KULLANIMI	KESİCİ VE DELİCİ ALETLERİN DİKKATSİZ KULLANIMI VE KORUNAKLI ŞEKİLDE MÜHAFAZA EDİLMEMESİ	YARALANMALAR VE UZUV KAYIPLARI	ÇALIŞANLAR	BAKIM ONARIM PERSONELİ ALET ÇANTASI YADA BEL ÇANTASI KULLANILMAMAKTADIR.	3	4	12	2	KESİCİ VE DELİCİ EL ALETLERİ PANTOLON VEYA GÖMLEK CEPLERİNDE TAŞINMAMALI UYGUN BİR ÇANTA YARDIMIYLA TAŞINMALIDIR. KESİCİ VE DELİCİ ALETLERİN KULLANIMI KONUSUNDA ÇALIŞANLAR SÜREKLİ BİLGİLENDİRİLMESİ PASLANMIŞ VEYA KESİCİ YÜZEYLERİ ZARAR GÖRMÜŞ ALET/ EKİPMANLAR YENİLERİ İLE DEĞİŞTİRİLMELİ KULLANIMLARI ENGELLENMELİDİR.

Tablo 3'ün devamı.

11	İŞYERİ / BAKIM ONARIM	EL ALETLİ KULLANIMI (KESER, PENSE, ÇEKİÇ, TORNAVIDA, FALÇATA, VB.)	BİLİNCİSİZ KULLANIM SONUCU PERSONEL KENDİLERİNE VE ETRAFINDAKİ LERE ZARAR VEREBİLİR	YARALANMA	ÇALIŞANLAR	PERSONEL BU KONUDA DİKKATLİ BİR ŞEKİLDE ÇALIŞMAKTADIR.	3	4	12	2	ÇALIŞANLAR BU TİP EL ALETLERİ İLE BİRBİRLERİYLE ŞAKA LAŞMAMALIDIR. ANAHTARLAR İLE YAPILAN ÇALIŞMALARDA SIKMA İTEREK DEĞİL ÇEKERK YAPILMALIDIR. EL ALETLERİ AMACI DIŞINDA KULLANILMAMALIDIR. BU TİP EL ALETLERİ GÖMLEK, PANTOLON GİBİ KIYAFETLERİN CEPLERİNE KOTULMAMALI BİR ÇANTA YARDIMIYLA TAŞINMASI SAĞLANMALIDIR.
12	İŞYERİ / BAKIM ONARIM	ELEKTRİK Lİ EL ALETLERİ MAKİNELER	ELEKTRİK AKIMINA KAPILMA	YARALANMA YADA ÖLÜM	ÇALIŞANLAR	YETKİSİZ KİŞİLER EL ALETLERİNİ KULLANMAMAKTA	3	4	12	2	EL ALETLERİNİN YETKİSİZ KİŞİLER TARAFINDAN BAKIM VE ONARIMI YAPILMAYACAK. ARIZALI EL ALETLERİNİ BAKIM VE ONARIMI YAPILINCAYA KADAR ÜZERİNE ARIZALIDIR KULLANMAYINIZ YAZISI AŞILARAK KULLANILMASININ ONÜNE GEÇİLECEKTİR. ELEKTRİK Lİ EL ALETLERİNİ KABLO AKSAMIVLA TAŞINMAMALIDIR.

SONUÇ

İş sağlığı ve güvenliği çalışmalarında işe başlamadan önce bir dizi proaktif önlemler alınmalıdır. Bunların en önemli adımlarından bir tanesi de risk değerlendirme çalışmalarının aktif bir şekilde yürütülmesidir. Devamında ise sürekli iyileştirme (Kaizen) yapılmalıdır. Bunun içinde işletme bünyesinde Deming Döngüsünü (PUKO) aktif bir şekilde kullanılması gerekir. Bu sayede aksayan yönler sürekli olarak tespiti sağlanacak ve iyileştirilen yönler içinde daha iyi uygulama örnekleri geliştirilme yoluna gidilecektir. Bu durumların sağlanması işletmelerde iş verimliliği yanında çalışan sağlığı ve güvenliği de sağlamış olacaktır. Bu bağlamda yapmış olduğumuz çalışmamızda tespit edilen olumsuz durumlar değerlendirilmiş ve işletme yönetimi ile paylaşılmıştır. İşletme tarafından ilgili durumlar değerlendirilip güncelleme çalışmalarının yapılması sağlanmıştır. Dolayısıyla hem çalışanların hem de işletme sahibinin iş yaşam döngüleri iyileştirilmiştir. Bu durumda işletmeye yapılan sonraki ziyaretlerde vermiş olduğumuz tespitler ve öneriler neticesinde çalışanların güvenli ve sağlıklı bir şekilde çalışmalarına katkı sağlanmış, iş tatmin düzeyleri artmış ve işletmeye olan aidiyet duygularında pozitif yönde gelişmeler yaşanmıştır.

KAYNAKÇA

- Health and Safety Executive-(HSE), (2018). Recipe for Safety: Health and safety in food and drink manufacture. <http://www.hse.gov.uk/food/dairy.htm>, Erişim Tarihi: 23/06/2023.
- İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. (2012). T.C. Resmî Gazete (28339, 20 Haziran 2012).
- İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği. (2012). T.C. Resmî Gazete (28512, 29 Aralık 2012).
- İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği. (2012). T.C. Resmî Gazete 28509, 26 Aralık 2012).
- Kılıç, H. (2018). Geri Dönüşüm İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Sivas.
- Koltan, A., Orhon, H. Y., Yılmaz, S., Altay, M., Yılmaz, S. & Çay, İ. (2010). Risk Değerlendirmede Kullanılan L Tipi Karar Matrisi Yönteminin İşçi Sağlığına Uygunluğunun Değerlendirilmesi. TTB Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi, 10 (38), 38-43.
- Orhan, A. (2016). Süt Ürünleri İmalatında Risk Değerlendirmesi, ÇSGB, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Ankara.
- Özkan. B. (2002). Pastörize Sütün A ve D Vitamini Kayıplarının İncelenmesi ve A-D Vitaminlerince Zenginleştirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Özkılıç, Ö. (2005). İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri. TİSK, 246 cilt.
- Spellman, F. R. and Bieber, R. M. (2008). Occupational Safety and Health Simplified for the Food Manufacturing Industry. Government Institutes, The Scarecrow Press, UK.
- Terin, M. (2014). Dünya Süt ve Süt Ürünleri Üretim, Tüketim, Fiyat ve Ticaretindeki Gelişmeler. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3(4); 53-63.

Rammed Earth: An Eco-Friendly Construction Technique

Batuhan AYKANAT¹

Mehmet Emin ARSLAN²

1. INTRODUCTION

Shelter is one of the most important needs of human life. Since the primitive ages, people who have been looking for natural solutions consisting of caves and rocks have needed shelters of their own making over time. When they started to build shelters, their first choice of building materials was stone and earth. Although the exact date of construction of the shelters is not known, some researches refer that it dates back to 4000-10000 years ago (Başgelen, 1993; Berge, 2009; G. Minke, 2009).

Many societies use the earth in different techniques in construction works according to their geography. Rammed earth (RE) is one of these traditional techniques that is also of interest. With this technique, in which earth and water are used together, structures of desired size and height can be made by using different molds. It is even known that a large part of the Great Wall of China, which was started to be built about 3000 years ago, was built as a rammed earth structure (Ávila, Puertas, & Gallego, 2022; Q.-B. Bui & Morel, 2009; Burroughs, 2010; Kennedy, 2009; Gernot Minke, 2013; Niroumand, Zain, Jamil, & Niroumand, 2013; Nowamooz & Chazallon, 2011; Venkatarama Reddy & Prasanna Kumar, 2010; WHEAP, Gandreau, ENSAG, & Delboy).

1 Res. Assist., Düzce University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, e-mail: batuhanaykanat@duzce.edu.tr, 0000-0003-3797-3773

2 Prof. Dr., Düzce University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, e-mail: mehmeteminarslan@duzce.edu.tr, 0000-0002-7582-638X



Fig. 1 Rammed Earth has been used for two thousand years in China (Easton, 2007).

Primitive construction tools such as wooden mallets, stones and simple molds are used in the construction of rammed earth structures. Generally, building elements are formed by mixing the earth containing clay, silt, sand and sometimes small gravel pieces with water in certain proportions and compacting them in layers with the help of a rammer. In addition, using the earth where it is located without the need for transportation is one of the biggest advantages of this construction technique.

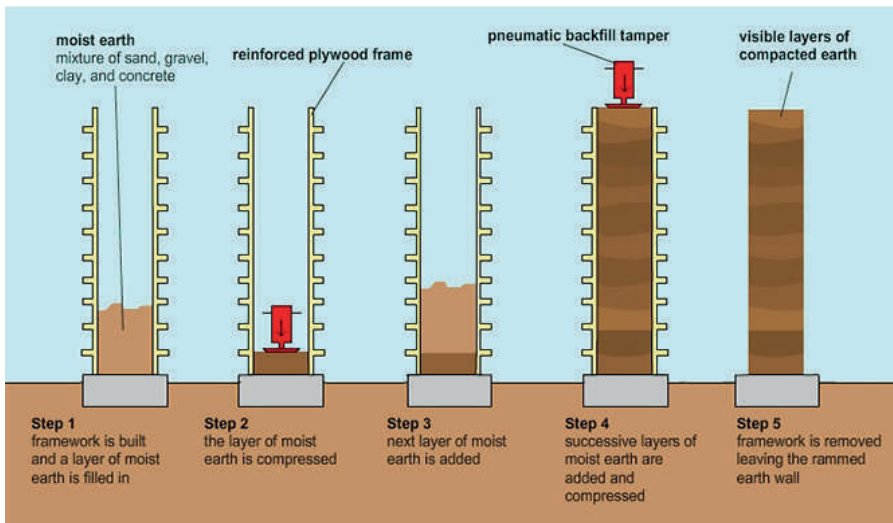


Fig. 2. Rammed Earth Compacting Stage (“Green Building Design - Rammed Earth,” 2023)



Fig. 3 Construction stage of rammed earth with modern pneumatic rammer.

The use of completely natural materials in the construction process and the low carbon footprint make this application eco-friendly and sustainable construction technique. Rammed earth structures are easily demolished when they are at the end of their life and allow recycling by decomposing in nature (Angulo-Ibáñez, Mas-Tomás, Galvañ-Llopis, & Sántolaria-Montesinos, 2012; Arto, Gallego, Cifuentes, Puertas, & Gutiérrez-Carrillo, 2021; Sebastián & Cultrone, 2010). This method, which has been widely used in China and the Mediterranean region, has spread over a wide area as a result of the migration of people. In addition to many famous castles in Europe, some of the Pyramids were produced with this technique and later combined with stone. These structures, which have been produced centuries ago and have survived to the present day, are the best proof of the longevity of the rammed earth technique (Jaquin, Augarde, & Gerrard, 2008; Yalama, 2015). In addition to all these advantageous features, Rammed earth must meet certain standards in order to be produced and used in today's conditions. Stabilizing low mechanical and durability properties is therefore an important necessity. The process of improving certain properties by adding various materials to the traditional earth and water mixture is called stabilization. The elements produced in this way are called stabilized rammed earth (SRE). Rammed earth have been tried to be stabilized with many different materials (cement, lime, gypsum, industrial wastes, etc.) from past to present. In this way, it is aimed to increase the mechanical and durability properties. One of the apparent problems of these structures, which are directly exposed to environmental conditions, is their weakness against water. The corrosive effect of the rain that comes with the

wind reduces the durability of the rammed earth over time. For this reason, stabilization of rammed earth structures, which are required to be durable, is very important. Due to increasing environmental awareness and being an eco-friendly production technique, researchers' interest in rammed earth has increased recently (J.-C. Morel et al., 2021; Raavi & Tripura, 2020; Walker, Keable, Martin, & Maniatidis, 2005).

As a result of the increasing interest, it is possible to reach many different studies on rammed earth structures and their stabilization in the literature. The aim of this study is to make an evaluation by examining the most relevant research on rammed earth structures and their stabilization recently.

2. MATERIALS

Rammed earth structures basically consist of two materials. They are generally obtained by compacting earth and water mixture. Since these two materials were sufficient in primitive conditions, it was a simple, applicable and eco-friendly choice. However, since they have to meet the requirements of various standards in order to be produced in today's conditions, they have been stabilized with different building materials, fibers and industrial waste materials.

Earth with various clay content can be used as raw materials in the production of rammed earth. However, obtaining raw materials from the local area is one of the main criteria for a sustainable construction technique such as rammed earth (Arslan, Emiroğlu, & Yalama, 2017). There are studies on the suitability of the earth of different regions for production. Jayasinghe and Kamaladasa (Jayasinghe & Kamaladasa, 2007) in their study in Sri Lanka, investigated the feasibility of structures consisting of rammed earth using laterite-containing earth, which is often found in regions with tropical climate conditions, and their stabilization with cement. As a result of the study, they determined that clayey laterite earth could be used and stabilized with 6% or more cement. They concluded that as the cement content increases, the improvement in compressive strength properties will increase. According to Australian standards, where rammed earth structures are common, it is recommended that the earth to be used for cement and lime stabilization should have a linear shrinkage of less than 11%, a sand content of less than 64%, and fine particles preferably in the range of 21%-35% (Burroughs, 2010; Standards Association of, 1993). Silva et al. (Silva et al., 2013) In their study investigating the constructability of rammed earth structure with waste granite earth found in Portugal, they concluded that this earth is not suitable for production but can be used if it is stabilized in different ways.

The range of materials used in the stabilization of rammed earth is expanding day by day (Arrigoni, Beckett, Ciancio, & Dotelli, 2017; Daniela Ciancio & Boulter, 2012; J. C. Morel, Mesbah, Oggero, & Walker, 2001). Portland cement is used as the most widely preferred stabilization material today (Maniatidis & Walker, 2003; Toufigh & Kianfar, 2019). Portland cement significantly improves the mechanical properties of rammed earth (Arrigoni et al., 2017; Kosarimovahhed & Toufigh, 2020; Tripura Deb & Singh Konjengbam, 2015). In a study investigating the mechanical behavior of rammed earth columns under axial load, it was concluded that the cement stabilized rammed earth columns can be used even in the construction of 2-storey structures when properly designed (Tripura & Singh, 2015). Cement stabilization has become almost routine practice in countries such as Australia, New Zealand, and the United States, where rammed earth is widely used as a construction technique. However, the amount of use is limited due to environmental sustainability and financial concerns (Arrigoni et al., 2017; Daniela Ciancio & Boulter, 2012; J. C. Morel et al., 2001).

After the common use of Portland cement in stabilization, it is becoming widespread to use it in stabilization of industrial wastes for environmental sustainability. For this purpose, different wastes such as fly ash, bottom ash, blast furnace slag and calcium carbide residues have started to be preferred. In this way, it is ensured that the wastes that are difficult to dispose of are evaluated and their use becomes widespread. One of the mechanical properties that most clearly reflects the behavior of rammed earth structures is compressive strength. In a study investigating the usability of industrial wastes such as calcium carbide residues and fly ash at different rates, it was determined that the compressive strength increased positively (Siddiqua & Barreto, 2018). In addition, in a study using bottom ash, fly ash and cement for stabilization, it was concluded that the compressive strength improved significantly. It was stated that the use of base ash and fly ash gave the best results as 60%-40% and the cement addition was optimum between 3%-6% (Raj S, Sharma, & Anand, 2018).

Another type of material used to improve the behavior of rammed earth is fibers. It has been known that plant stems and natural fibers have been incorporated into earth and mud brick structures since ancient times. It is possible to list some of these materials such as grain straws, palm fibers, stems of aquatic plants and sheep wool (Laborel-Préneron, Aubert, Magniont, Tribout, & Bertron, 2016). Although it is not very common in recent years, the use of materials such as glass fiber, propylene fibers and waste rubber is also encountered (Simenson, 2013; Toufigh & Kianfar, 2019; Zare et al., 2020). Results regarding the effects of fiber using on mechanical properties

are still limited and unclear. In a study on the fracture energies of rammed earth stabilized with cement and waste wool fiber, it was concluded that the use of cement increased the fracture energy, but the addition of fiber lowered it. When cement and fiber are used together, it has been observed that the compressive strength increases up to certain rates (Corbin & Augarde, 2014). It has been determined that the flexural strength of the rammed earth reinforced with bamboo and coconut fiber increases and the use of these fibers is appropriate (Tripura, Gupta, Debbarma, & Deep, 2020).

3. MECHANICAL AND DURABILITY PROPERTIES

3.1. Mechanical Properties

As with most materials, one of the most important parameters in determining the mechanical properties of rammed earth is compressive strength. In uniaxial compressive strength tests, cylindrical specimens with an aspect ratio of $\frac{1}{2}$ are generally used, while cube specimens are also used (Ávila, Puertas, & Gallego, 2021; T. T. Bui, Bui, Limam, & Morel, 2016; Maniatidis & Walker, 2008; Yamín, Phillips, Reyes, & Ruiz, 2002).

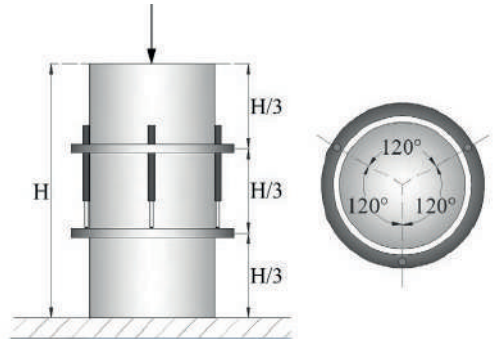


Fig. 4. Details of an example compressive strength test setup (Silva et al., 2013).

The water content of the mixtures is highly effective on the compressive strength values. In order to achieve optimum compaction and high compressive strength values, it is recommended to use a water content in the range of 10%-13% and to prepare the mixture as homogeneously as possible (Hallal Mohamad, Sadek, & Najjar Shadi, 2018; Tripura Deb & Singh Konjengbam, 2015). The most common and easy method that can be applied to increase the compressive strength is cement stabilization. There is a linear relationship between the compressive strength and the increase in cement content. Cement stabilization is suitable to meet the compressive

strength criteria found in commonly used standards (Ibrahim, Li, & Wang, 2018; Sadc, 2014; Standard, 1998).

It is also possible to calculate the elastic modulus of materials while performing compressive strength tests. Modulus of elasticity can be calculated using stress-strain curves (D. Ciancio, Beckett, & Carraro, 2014; Hallal Mohamad et al., 2018; Raj S et al., 2018; Strazzeri, Karrech, & Elchalakani, 2020; Zare et al., 2020). The most common way to improve modulus of elasticity as well as compressive strength is to use cement. According to studies on cement stabilized rammed earth (CSRE), it is possible to obtain modulus of elasticity values in the range of 250-750 MPa with the use of cement between 2%-10%. This is to achieve an improvement in the range of approximately 150%-500% compared to the unstabilized elements. (Hallal Mohamad et al., 2018; Koutous & Hilali, 2021; Strazzeri et al., 2020; Toufigh & Kianfar, 2019; Zare et al., 2020).

It is a known fact that the flexural and tensile strengths of rammed earth are very low. For this reason, they should not be used by designing on bending and tensile properties (Maniatidis & Walker, 2003). Although it is an eco-friendly production method due to its weak tensile behavior, it is not recommended to be used in earthquake zones (Q. B. Bui, Hans, Morel, & do, 2011; Gomes, Lopes, & Brito, 2011). Flexural and tensile strengths can be improved by the use of fiber. However, the increase in fiber content decreases the compressive strength. Balancing the use of fiber with cement gives positive results (Gernot Minke, 2000; Zare et al., 2020). There are different stabilization studies on the use of natural and synthetic fibers (Hallal Mohamad et al., 2018; Koutous & Hilali, 2021; Laborel-Préneron et al., 2016; Maniatidis & Walker, 2003; Toufigh & Kianfar, 2019; Zare et al., 2020). According to the guidelines for earth structures to be built in Australia, optimum liquid limit values for fiber use are recommended to be in the range of 30%-50% and the index of plastics in the range of 15-35 (Walker, 2002).

3.2. Durability Properties

Rammed earth are highly affected by external influences, especially rain. The rain that comes with the wind erodes the surface of the rammed earth, reducing its lifespan. These structural elements, which are very sensitive to erosion, must be protected from weather and environmental conditions. Stabilizing for waterproofing or protecting rammed earth with the help of pitched roofs can be the solution. Stabilizing for waterproofing may be the solution to protect rammed earth (Arrigoni et al., 2017; Ghasemalizadeh

& Toufigh, 2020; Heathcote, 1995; Luo, Yang, Ni, Peng, & Yuan, 2020). In addition, it has been determined by the studies that cement stabilization is sufficiently resistant to erosion (Arrigoni et al., 2017; Narloch & Woyciechowski, 2020; Walker, 2002). Erosion test methods prepared in accordance with New Zealand standards are generally used in studies. Spraying and drip etching are two different preferred methods, aiming to detect surface deterioration.

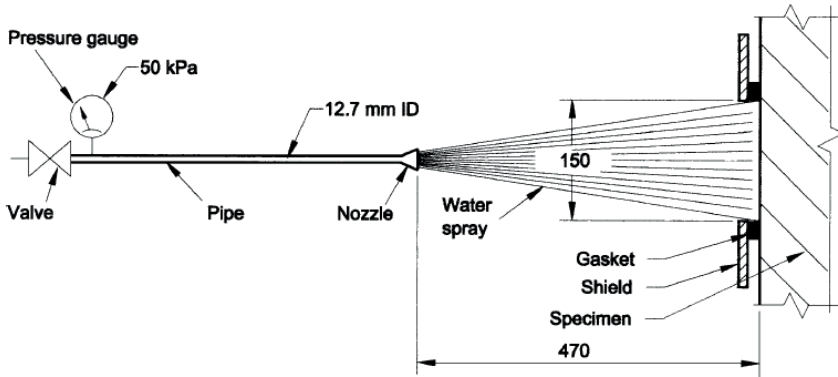


Fig. 5. Pressure spray test general arrangement (Standard, 1998).

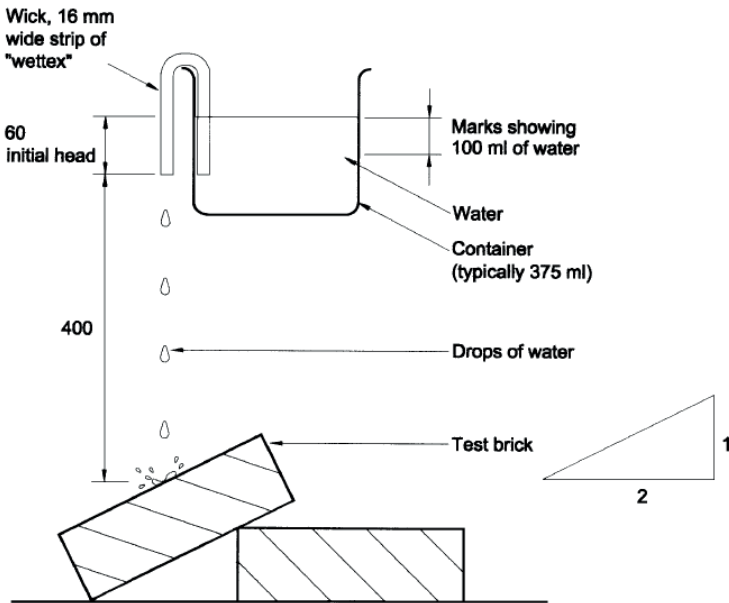


Fig. 6. Geelong method erosion test detail (Standard, 1998).

Bui et al. (Q. B. Bui, Morel, Venkatarama Reddy, & Ghayad, 2009), carried out a study in which they examined the durability of stabilized and unstabilized rammed earth exposed to natural effects for 20 years in a humid continental climate. At the end of 20 years, none of the elements whose wear values were measured had collapsed. They found that the average wear depth in the rammed earth they examined was approximately 6.4 mm, and they thought that unstabilized walls could have a service life of at least 60 years longer.



Fig. 7. Sample walls examined for surface erosion over 20 years (Q. B. Bui et al., 2009).

3.3. Thermal and Acoustic Properties

Rammed earth show better thermal insulation performance than conventional concrete and brick. Even if they are not stabilized, they have thermal conductivity values in an acceptable range (10456:2012, 2012; Ávila et al., 2022; Gernot Minke, 2013). For this reason, it is generally focused on improving the mechanical properties. There are limited studies to improve thermal conductivity properties (Hall & Allinson, 2009a, 2009b; Karrech, Strazzeri, & Elchalakani, 2021; Pakand & Toufigh, 2017; Serrano, Barreneche, Rincón, Boer, & Cabeza, 2013). In addition to thermal conductivity, the acoustic performance of rammed earth is also very high. There are not many specific studies on the subject as it shows adequate behavior in this area as well. Few studies show that they perform

better than other building elements (Birznieks, 2013; Bruno, 2016; Daza, Zambrano, & Ruiz, 2016; Racusin & McArleton, 2012; Röhlen & Ziegert, 2011; Walker et al., 2005).

4. RESULTS

Rammed earth, which has been widely used since the past, is still preferred today due to its eco-friendly and longevity. Since they have to meet certain standards in order to be used in today's conditions, the studies are mostly on their stabilization. Portland cement is the most commonly used stabilizer to improve mechanical and durability properties. With the use of Portland cement, serious improvements are seen in mechanical properties. However, due to environmental concerns, the use of cement should be limited.

Even when used in an unstabilized form, rammed earth with sufficient thermal and acoustic performance do not need to be stabilized to improve these properties. Therefore, the number of studies on thermal and acoustic properties is limited. It is thought that new studies in this field can find a place in the literature and open a new field of study.

As a result, it is thought that it can be easily used in single-storey structures with or without stabilization, depending on the suitability of the soil class in the region where the rammed earth will be built. It is also thought that it can be applied in two-storey structures by stabilizing and making a suitable design. However, due to their low tensile properties, it is thought that they are not suitable for use in regions where they may be under the influence of earthquakes.

REFERENCES

- 10456:2012, I. (2012). *Building Materials and Products-Hygrothermal Properties-Tabulated Design Values and Procedures for Determining Declared and Design Thermal Values*: ISO.
- Angulo-Ibañez, Q., Mas-Tomás, Á., Galvañ-Llopis, V., & Santolaria-Montesinos, J. L. (2012). Traditional braces of earth constructions. *Construction and Building Materials*, 30, 389-399. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.024
- Arrigoni, A., Beckett, C., Ciancio, D., & Dotelli, G. (2017). Life cycle analysis of environmental impact vs. durability of stabilised rammed earth. *Construction and Building Materials*, 142, 128-136. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.066
- Arslan, M. E., Emiroğlu, M., & Yalama, A. (2017). Structural behavior of rammed earth walls under lateral cyclic loading: A comparative experimental study. *Construction and Building Materials*, 133, 433-442. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.093
- Arto, I., Gallego, R., Cifuentes, H., Puertas, E., & Gutiérrez-Carrillo, M. L. (2021). Fracture behavior of rammed earth in historic buildings. *Construction and Building Materials*, 289, 123167. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123167
- Ávila, F., Puertas, E., & Gallego, R. (2021). Characterization of the mechanical and physical properties of unstabilized rammed earth: A review. *Construction and Building Materials*, 270, 121435. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121435
- Ávila, F., Puertas, E., & Gallego, R. (2022). Characterization of the mechanical and physical properties of stabilized rammed earth: A review. *Construction and Building Materials*, 325, 126693. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126693
- Başgelen, N. (1993). *Çağlar boyunca Anadolu'da duvar*: Nezir Başgelen-Arkeoloji ve Sanat Yayınları.
- Berge, B. (2009). *The ecology of building materials*: Routledge.
- Birznies, L. (2013). Designing and Building with Compressed earth.
- Bruno, A. W. G., Domenico; Bruno, Agostino, Walter. (2016). *Hygro-mechanical characterisation of hypercompacted earth for building construction*.
- Bui, Q.-B., & Morel, J.-C. (2009). Assessing the anisotropy of rammed earth. *Construction and Building Materials*, 23(9), 3005-3011. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.04.011
- Bui, Q. B., Hans, S., Morel, J.-C., & do, P. (2011). First exploratory study on dynamic characteristics of rammed earth buildings. *Engineering Structures*, 33, 3690-3695. doi:10.1016/j.engstruct.2011.08.004

- Bui, Q. B., Morel, J. C., Venkatarama Reddy, B. V., & Ghayad, W. (2009). Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering. *Building and Environment*, 44(5), 912-919. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.07.001>
- Bui, T. T., Bui, Q. B., Limam, A., & Morel, J. C. (2016). Modeling rammed earth wall using discrete element method. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 28(1), 523-538. doi:10.1007/s00161-015-0460-3
- Burroughs, S. (2010). Recommendations for the Selection, Stabilization, and Compaction of Soil for Rammed Earth Wall Construction. *Journal of Green Building*, 5(1), 101-114. doi:10.3992/jgb.5.1.101
- Ciancio, D., Beckett, C. T. S., & Carraro, J. A. H. (2014). Optimum lime content identification for lime-stabilised rammed earth. *Construction and Building Materials*, 53, 59-65. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.077>
- Ciancio, D., & Boulter, M. (2012). Stabilised rammed earth: a case study in Western Australia. *165(2)*, 141-154. doi:10.1680/ensu.10.00003
- Corbin, A., & Augarde, C. (2014). Fracture Energy of Stabilised Rammed Earth. *Procedia Materials Science*, 3, 1675-1680. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.06.270>
- Daza, A. N., Zambrano, E., & Ruiz, J. A. (2016). Acoustic performance in raw earth construction techniques used in Colombia. *EuroRegio2016, European Association of Acoustics. Porto*, 1-10.
- Easton, D. (2007). *The rammed earth house*: Chelsea Green Publishing.
- Ghasemalizadeh, S., & Toufigh, V. (2020). Durability of Rammed Earth Materials. *International Journal of Geomechanics*, 20, 04020201. doi:10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001829
- Gomes, M. I., Lopes, M., & Brito, J. (2011). Seismic resistance of earth construction in Portugal. *Engineering Structures*, 33, 932-941. doi:10.1016/j.engstruct.2010.12.014
- Green Building Design - Rammed Earth. (2023). Retrieved from <https://www.greenspec.co.uk/building-design/rammed-earth/>
- Hall, M., & Allinson, D. (2009a). Analysis of the hygrothermal functional properties of stabilised rammed earth materials. *Building and Environment*, 44(9), 1935-1942. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.01.007>
- Hall, M., & Allinson, D. (2009b). Assessing the effects of soil grading on the moisture content-dependent thermal conductivity of stabilised rammed earth materials. *Applied Thermal Engineering*, 29(4), 740-747. doi:<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.03.051>
- Hallal Mohamad, M., Sadek, S., & Najjar Shadi, S. (2018). Evaluation of Engineering Characteristics of Stabilized Rammed-Earth Material Sourced

- from Natural Fines-Rich Soil. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(11), 04018273. doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002481
- Heathcote, K. A. (1995). Durability of earthwall buildings. *Construction and Building Materials*, 9(3), 185-189. doi:https://doi.org/10.1016/0950-0618(95)00035-E
- Ibrahim, M. A., Li, L., & Wang, P. (2018, 17-19 Sept. 2018). *The Design of 220kV Substation Grounding Grid with Difference Soil Resistivity Using Wenner and Schlumberger Methods*. Paper presented at the 2018 China International Conference on Electricity Distribution (CICED).
- Jaquin, P. A., Augarde, C. E., & Gerrard, C. M. (2008). Chronological Description of the Spatial Development of Rammed Earth Techniques. *International Journal of Architectural Heritage*, 2(4), 377-400. doi:10.1080/15583050801958826
- Jayasinghe, C., & Kamaladasa, N. (2007). Compressive strength characteristics of cement stabilized rammed earth walls. *Construction and Building Materials*, 21(11), 1971-1976. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.05.049
- Karrech, A., Strazzeri, V., & Elchalakani, M. (2021). Improved thermal insulation of cement stabilised rammed earth embedding lightweight aggregates. *Construction and Building Materials*, 268, 121075. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121075
- Kennedy, J. (2009). *Building Without Borders: Sustainable construction for the global village*: New society publishers.
- Kosarimovahhed, M., & Toufigh, V. (2020). Sustainable usage of waste materials as stabilizer in rammed earth structures. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123279. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123279
- Koutous, A., & Hilali, E. (2021). Reinforcing rammed earth with plant fibers: A case study. *Case Studies in Construction Materials*, 14, e00514. doi:https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00514
- Laborel-Préneron, A., Aubert, J. E., Magniont, C., Tribout, C., & Bertron, A. (2016). Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, 111, 719-734. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.119
- Luo, Y., Yang, M., Ni, P., Peng, X., & Yuan, X. (2020). Degradation of rammed earth under wind-driven rain: The case of Fujian Tulou, China. *Construction and Building Materials*, 261, 119989. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119989
- Maniatidis, V., & Walker, P. (2003). A review of rammed earth construction for DTi partners in innovation project. *Natural building technology group, University of Bath*.

- Maniatidis, V., & Walker, P. (2008). Structural Capacity of Rammed Earth in Compression. *Journal of Materials in Civil Engineering - JMATER CIVIL ENG*, 20. doi:10.1061/(ASCE)0899-1561(2008)20:3(230)
- Minke, G. (2000). *Earth construction handbook: the building material earth in modern architecture*.
- Minke, G. (2009). *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*: De Gruyter.
- Minke, G. (2013). *Building with earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*: Birkhäuser.
- Morel, J.-C., Charef, R., Hamard, E., Fabbri, A., Beckett, C., & Bui, Q.-B. (2021). Earth as construction material in the circular economy context: practitioner perspectives on barriers to overcome. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 376(1834), 20200182.
- Morel, J. C., Mesbah, A., Oggero, M., & Walker, P. (2001). Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction. *Building and Environment*, 36(10), 1119-1126. doi:https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00054-8
- Narloch, P., & Woyciechowski, P. (2020). Assessing Cement Stabilized Rammed Earth Durability in A Humid Continental Climate. *Buildings*, 10(2). doi:10.3390/buildings10020026
- Niroumand, H., Zain, M. F. M., Jamil, M., & Niroumand, S. (2013). Earth Architecture from Ancient until Today. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 89, 222-225. doi:https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.838
- Nowamooz, H., & Chazallon, C. (2011). Finite element modelling of a rammed earth wall. *Construction and Building Materials*, 25(4), 2112-2121. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.021
- Pakand, M., & Toufigh, V. (2017). A multi-criteria study on rammed earth for low carbon buildings using a novel ANP-GA approach. *Energy and Buildings*, 150, 466-476. doi:https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.004
- Raavi, S. S. D., & Tripura, D. D. (2020). Predicting and evaluating the engineering properties of unstabilized and cement stabilized fibre reinforced rammed earth blocks. *Construction and Building Materials*, 262, 120845. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120845
- Racusin, J. D., & McArleton, A. (2012). *The natural building companion: a comprehensive guide to integrative design and construction*: Chelsea Green Publishing.
- Raj S, S., Sharma, A. K., & Anand, K. B. (2018). Performance appraisal of coal ash stabilized rammed earth. *Journal of Building Engineering*, 18, 51-57. doi:https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.03.001
- Röhlen, U., & Ziegert, C. (2011). *Earth building practice: Planning-design-building*: Beuth Verlag.

- Sadc, Z. (2014). 983: 2014; Rammed Earth Structures—Code of Practice. *Southern African Development Community Cooperation in Standardization: Gaborone, Botswana*.
- Sebastián, E., & Cultrone, G. (2010). Technology of Rammed-Earth Constructions (“Tapial”) in Andalusia (Spain): Their Restoration and Conservation. In M. B. Dan, R. Prikryl, & Á. Török (Eds.), *Materials, Technologies and Practice in Historic Heritage Structures* (pp. 11-28). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Serrano, S., Barreneche, C., Rincón, L., Boer, D., & Cabeza, L. F. (2013). Optimization of three new compositions of stabilized rammed earth incorporating PCM: Thermal properties characterization and LCA. *Construction and Building Materials*, *47*, 872-878. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.018>
- Siddiqua, S., & Barreto, P. N. M. (2018). Chemical stabilization of rammed earth using calcium carbide residue and fly ash. *Construction and Building Materials*, *169*, 364-371. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.209>
- Silva, R. A., Oliveira, D. V., Miranda, T., Cristelo, N., Escobar, M. C., & Soares, E. (2013). Rammed earth construction with granitic residual soils: The case study of northern Portugal. *Construction and Building Materials*, *47*, 181-191. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.047>
- Simenson, E. W. (2013). Rammed earth: fiber-reinforced, cement-stabilized.
- Standard, N. Z. (1998). NZS 4298: materials and workmanship for earth buildings. In: Wellington.
- Standards Association of, A. (1993). *Methods of testing soils for engineering purposes*. North Sydney: The Association.
- Strazzeri, V., Karrech, A., & Elchalakani, M. (2020). Micromechanics modelling of cement stabilised rammed earth. *Mechanics of Materials*, *148*, 103540. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2020.103540>
- Toufigh, V., & Kianfar, E. (2019). The effects of stabilizers on the thermal and the mechanical properties of rammed earth at various humidities and their environmental impacts. *Construction and Building Materials*, *200*, 616-629. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.050>
- Tripura, D. D., Gupta, S., Debbarma, B., & Deep, R. S. S. (2020). Flexural strength and failure trend of bamboo and coir reinforced cement stabilized rammed earth wallettes. *Construction and Building Materials*, *242*, 117986. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117986>
- Tripura, D. D., & Singh, K. D. (2015). Axial load-capacity of rectangular cement stabilized rammed earth column. *Engineering Structures*, *99*, 402-412. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.05.014>

- Tripura Deb, D., & Singh Konjengbam, D. (2015). Characteristic Properties of Cement-Stabilized Rammed Earth Blocks. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(7), 04014214. doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001170
- Venkatarama Reddy, B. V., & Prasanna Kumar, P. (2010). Embodied energy in cement stabilised rammed earth walls. *Energy and Buildings*, 42(3), 380-385. doi:https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.10.005
- Walker, P. (2002). The Australian earth building handbook. In *The Australian Earth Building Handbook*: SAI Global Limited.
- Walker, P., Keable, R., Martin, J., & Maniatidis, V. (2005). Rammed earth: design and construction guidelines.
- WHEAP, W. П. с. в. н. г. а. W. W. W. H. E. A. P., Gandreau, D., ENSAG, C. R., & Delboy, L. World heritage inventory of earthen architecture, 2012. In: CRATerre-ENSAG.
- Yalama, A. (2015). *Farklı Stabilizasyon Malzemelerinin Sıkıştırılmış Kil Duvarların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi), Düzce Üniversitesi,
- Yamín, L., Phillips, C., Reyes, J. C., & Ruiz, D. M. (2002). *SEISMIC BEHAVIOR AND REHABILITATION ALTERNATIVES FOR ADOBE AND RAMMED EARTH BUILDINGS*.
- Zare, P., Sheikhi Narani, S., Abbaspour, M., Fahimifar, A., Mir Mohammad Hosseini, S. M., & Zare, P. (2020). Experimental investigation of non-stabilized and cement-stabilized rammed earth reinforcement by Waste Tire Textile Fibers (WTTFs). *Construction and Building Materials*, 260, 120432. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120432

Tütün Tarımında Kullanılan Makinelerin Tasarım ve Çalışma Prensipleri Açısından Değerlendirilmesi

Recep Onur UZUN¹

1. GİRİŞ

Tarımsal üretim, coğrafi konum ve özelliklerine göre çeşitlilik gösteren bir olgudur. İstihdam olanakları ve katma değer sunduğu ürünler açısından tarım sektörü bu üretim çeşitliliğinin ana alanıdır. Aynı zamanda, çeşitli karakteristik özellikler ve yetiştirildikleri bölgelere ait farklı ekolojik özellikler nedeniyle tarımsal ürünler çok geniş bir yelpazeye sahiptir. Bunun yanı sıra, sağlıklı ve nitelikli bir insan hayatı açısından tarımsal üretimin sürekliliği oldukça önemlidir. Kaliteli ve verimli bir tarımsal üretim için de mekanizasyonun önemi yadsınamaz şekilde açıktır.

Tarımsal ürünlerin yetiştirilmesi, hasadı ve hasat sonrasında işlenmesi ile ilgili mekanizasyon tercihleri için ürüne ait fiziksel ve mekanik özelliklerin iyi bilinmesi gerekmektedir. Her bir ürün için farklı olabilen bu özelliklere göre mekanizasyonda kullanılacak makinelerin teknik özellikleri tasarım aşamasından kullanımına kadar geçen süreçte titizlikle belirlenmelidir. Tarımsal ürünün tohum veya fide olarak ekime hazırlanması, ekim öncesinde tarlanın işlenmesi, bitkinin büyüme evresinde ihtiyaç duyulan gübreleme ve ilaçlama faaliyetlerinin yürütülmesi, ürünün hasadı gibi birçok alanda söz konusu aşamalarda ayrı ayrı teknik özelliklere ulaşan bitkilerin yetiştirilme aşamaları da iyi bilinmelidir.

Dünya’da ve Türkiye’de ticari ve ekonomik açıdan üretimi değerli olan tarımsal ürünlerden biri tütündür. Ülkemizin Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Karadeniz, Ege ve Marmara bölgelerinde sıklıkla yetişen bir tarımsal üründür. Oldukça fazla çeşit ve ekotipte tütün üretimi yapılmaktadır. Hasat

1 Dr. Öğr. Üyesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, r.onur.uzun@cbu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1042-0493.

sonrasında yaprak rengi zaman içerisinde açık sarıdan koyu kırmızıya ulaşan tütünün yaprak boyutları 3-40 cm aralığında olabilmektedir. Yaprak dokusu olarak ele alındığında kalınlığı ince olabildiği gibi etli tütün yaprakları da oluşmaktadır (Peksüslü ve ark., 2012).

Tütün, yetiştirme koşulları açısından seçiciliği düşük olan, sağladığı istihdam olanakları ile birlikte ekonomik ve ticari yaşama büyük katkı sağlayan bir tarım ürünüdür. Ana vatanı Amerika kıtası olarak kabul edilen tütünün 17. Yüzyıl başlarında Anadolu topraklarına girmesi bu yöredeki ticari faaliyetlerini de beraberinde arttırmıştır. Bununla birlikte, zaman içerisinde tütün, zaman içerisinde Çanakkale ili Yenice ilçesi, Bursa ili, Aydın ili Söke ilçesi, İzmir ili Foça ilçesi ve Manisa ili Akhisar ilçesi yörelerinde yetiştirilmeye başlanmıştır (Karabacak, 2017).

Tütün yetiştiriciliğinde öncelikli olarak fide üretimi söz konusudur. Yaklaşık 45 günde elde edilen fideler sonrasında tarlaya dikilmektedir. Dikim öncesinde tarlada toprak işleme yapılarak arazi durumu dikime hazır hale getirilir. Çapalama, sulama ve gübreleme işlemleri ile büyümeye devam eden tütünün sahip olduğu özel hasat şekliyle tarladan kaldırılması ile yetiştirilme süreci tamamlanmaktadır (Karakaş, 2020). Tütün yetiştiriciliğinin tüm bu aşamalarında mekanizasyon detaylı bir şekilde değerlendirilmesi gereken bir unsurdur.

Bu çalışmada, tarımsal ürünler arasında ekonomik ve ticari açıdan yüksek öneme sahip tütün bitkisinin yetiştirilmesi sırasında kullanılması gereken makineler ile bu makinelerin teknik özellikleri incelenmiş, uygulamada karşılaşılan teknik ihtiyaçlara göre dikkat edilmesi gereken hususlar ele alınmıştır.

2. TÜTÜN ve YETİŞTİRİCİLİĞİ

Tütün, patlıcangiller familyasından *Nicotiana* türünden *Nicotiana tabacum* ve *Nicotiana rustica* latince adıyla literatürde bulunan bir bitkidir (Doğanay ve Coşkun, 2015; Kabakçı, 1999). Boyu genellikle 1 – 3 m, yaprak uzunluğu 20 – 80 cm, yaprak genişliği 10 – 40 cm arasındadır. Bu değerler, tütünün cinsine göre değişiklik göstermektedir (Karakaş, 2020).

Ülkemizde, Ege Bölgesi sınırları içerisinde, Manisa ili ve özellikle Akhisar ilçesi, Aydın ili ve özellikle Söke ilçesi, Uşak ili Eşme ilçesi, Denizli ili yörelerinde, Karadeniz Bölgesi sınırları içerisinde, Bolu ili, Samsun ili ve özellikle Bafra ilçesi ile Trabzon ili ve civarında, Marmara Bölgesi sınırları içerisinde Edirne ili ve özellikle Keşan ilçesi, Kırklareli ili ve civarı, Bursa, Balıkesi ve İzmit illerinde, Doğu Anadolu Bölgesinde, Malatya, Bitlis, Muş

ve Hakkari illeri, Güney Doğu Anadolu Bölgesinde, Adıyaman ve Diyarbakır illerinde tütün tarımı yapılmaktadır (Karakaş, 2020).

Ülkemizde uygulanan tütün tarımında geleneksel metotlarla uygulanan fide yetiştiriciliği yapılmaktadır. Fide yastıkları oluşturulmak suretiyle üretilen fideler bu yöntemler ile yetiştirilmektedir. Fide yetiştiriciliğinde zaman zaman toprağın havalandırılması, bitkinin sulanması, yabancı otların temizlenmesi gibi kültürel bazı işlemler gerçekleştirilmektedir. Tohumların yastıklara ekimi sırasında gübreleme ihtiyacı da doğmaktadır (Karakaş, 2020; Ekren ve Tuncer, 2021). Tüm bu işlemler sırasında gerek iş gücünü azaltmak gerekse zamandan tasarruf etmek amacıyla mekanizasyon imkanlarından yararlanılabilir.

Tarlanın dikime hazırlanması safhasında toprak işleme aletlerinden faydalanılmaktadır. İlk olarak 10-15 cm işlenen toprak üzerinde önceki dönemden kalan birtakım ürün kalıntıları karıştırılmaktadır. Kış mevsiminden önce 20-25 cm derinlikte sürülen toprakta son olarak gelişen yabancı otları ortadan kaldırmak amacıyla ekim öncesinde 10 cm derinliğe kadar işlenmektedir. Uygun ekipman yardımıyla düzlenen tarla fide dikimine hazır hale gelmektedir (Karakaş, 2020).

Çeşitli bölgelerin iklim koşullarına göre uygun olan zamanda fideler sökülerek tarlalara dikilmektedir. Dikime hazırlanan fideler sepetlerle ve sandıklarla tarlaya iletilir. Dikim işleminde taşıma, karıklara fide yeri açma, fidenin dikilmesi ve boğazının bastırılması, son olarak da can suyunun verilmesi işlemleri sırasıyla gerçekleştirilir (Karakaş, 2020). Dikim öncesi veya sonrasında tarlaya gübreleme işlemi de uygulanır (Ekren ve Tuncer, 2021). Fidelerin dikimi için kullanılan çeşitli alet ve makineler tercih edilirken gübreleme işlemi için de gerekli ihtiyaçları karşılayan teknik özelliklere sahip ekipmanlar da mevcuttur.

Tütün fidesinin tarlaya dikilmesinden 20-25 gün sonra toprak üzerinde oluşan kaymak adı verilen tabakanın giderilmesi için çapalama yapılmaktadır. İkinci çapa, birinci çapadan 15-20 gün sonra yapılmaktadır (Karakaş, 2020). Çapalama işlemi her ne kadar elle yapılmakta olsa da alet ve ekipmanlarla yapılan çapa yöntemleri de kullanılmaktadır.

Tütün bitkisi gerektiğinde sulanmaktadır. Ülkemizde, Ege ve Karadeniz Bölgelerinde yetişen tütünler her ne kadar sulanmasa da ihtiyaç duyulduğu takdirde 2 ile 4 defa olmak üzere çeşitli periyotlarda sulama işlemi yapılabilmektedir (Karakaş, 2020). Sulama da tarımsal mekanizasyon önemli işlemlerinden biridir. Bu ihtiyacın giderilmesi için dizayn edilen sulama sistemleri mekanizasyon kapsamında değerlendirilmektedir.

Tütün bitkisinde oluşan dallanmalar yaprak sayısında azalmalar oluşturmaktadır. Yaprakların daha iyi gelişmesi açısından oluşan yan dallar kesilmektedir. Bu işleme koltuk alma işlemi adı verilmektedir. Tütün bitkisinin yetiştirilmesinde uygulanan bir diğer işlem ise tepe kırma olarak adlandırılmaktadır. Yaprakların daha iri ve kaliteli olması açısından tütünün tepe kısımları elle ya da uygun bir ekipman yardımıyla budanmaktadır (Karakaş, 2020).

Tütün bitkisinin hasadına tütün kırma işlemi adı verilmektedir. Genellikle tütün kırma işlemi elle yapılmaktadır (Karakaş, 2020). Ancak, modern teknolojinin ilerlemesiyle sensörlü ve seviye ayarlı tütün hasat makineleri kimi zaman kullanılabilir. Tütün kırımı aşamalar halinde gerçekleştirilir. Her bir aşamaya el ismi verilmektedir (Karakaş, 2020). Tütün bitkisinin büyüme sürecinde yaprakları aşağıdan yukarıya doğru öncelik kazandığından hasat işlemi de yine aşağıdan yukarıya doğru gerçekleştirilmektedir (Ceylan, 1995). Yedi aşamalı tütün hasadında esasen üç ana aşama mevcuttur. Birinci elde dip yapraklar alınmaktadır. İkinci elde dip üstü yapraklar hasat edilmektedir. Üçüncü elde birinci ana hasat söz konusudur. Dördüncü ve beşinci ellerde sırasıyla ikinci ve üçüncü ana hasat gerçekleştirilmektedir. Altıncı elde doruk altı hasat yapılırken yedinci ve son elde doruk hasadı gerçekleştirilmektedir (Karakaş, 2020). Mekanizasyonun uygulanabildiği gelişmiş tarım uygulamalarında bu hasat aşamaları üç ana elden oluşmakta olup diğer ara el hasatları ana aşamalarla birlikte gerçekleştirilmektedir.

Hasat edilen tütünler için sırada dizme işlemi mevcuttur. Tütünler, genellikle el ile dizilmektedirler. Uygun aparatlar ile 2,5-3 metre uzunluğundaki iplere dizilen tütünler kurutulmak üzere çeşitli işlemlere tabi tutulurlar (Karakaş, 2020). Tütün diziminde üreticilerin kendi imkanları ile hazırladıkları alet ve ekipmanların yanı sıra çeşitli makineler de kullanılmaktadır.

Tütün bitkisinin hasat işleminden sonra kurutulması farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Isı ile kurutma, hava ile kurutma, güneşte kurutma ve ateş ile kurutma yöntemleri bunlardan bazılarıdır (Ergün ve Uğurlu, 2006; Şahin ve Taşlıgil, 2013). Kurutma işlemleri dizim yapılan tezgahların yöneme göre uygun şekilde istiflenmeleri ile gerçekleştirilir. Isı ve hava ile yapılan kurutma işlemlerinde makinelere ihtiyaç duyulmaktadır. Isı makineleri veya hava üfleyen aletler yardımıyla bu yöntemler kullanılabilir. Güneşte ve ateş ile kurutma yöntemleri ise doğal kaynaklardan ve biyokütleyle ait yanma enerjisinden faydalanmaktadır.

3. TÜTÜN YETİŞTİRİCİLİĞİNDE MEKANİZASYON

Fide yetiştiriciliğinden hasadına dek tütün bitkisi yetiştiriciliğinde uygulanan aşamaların hemen hemen tümünde üreticilerin kullandıkları alet ve ekipmanlar ile makinelerin katkısı oldukça büyüktür. Özellikle su kültüründe fide yetiştiriciliği gibi bazı yeni yöntemler mekanizasyonun yanı sıra otomasyonun da önemini arttırmaktadır (Ekren ve Tuncer, 2021). Toprak işleme, dikim, gübreleme, sulama ve hasat sistemlerinde üreticiler tarafından tercih edilen mekanizasyon sistemlerinin öncelikli olarak düşük yatırım ve işletme maliyetlerine sahip olması istenmektedir. Bunun yanı sıra, bakım onarım ile operatör maliyetleri değerlendirilmektedir. Ayrıca, makinelerin kullanımı sırasında ihtiyaç duyulan pratik uygulamaların tasarım aşamasında işin niteliğine göre detaylıca ele alınmış olması gerekmektedir. Tüm bu hususlar dikkate alındığında tasarımından kullanımına kadar makine ve ekipmanların seçiminin doğru yapılması büyük önem taşımaktadır.

3.1. Toprak İşleme Makineleri

Toprak işleme aşaması ürünün yetiştirilmesi için gerekli olan biyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerin elde edilmesi amacıyla toprağın maniple edilmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Ohiri ve Ezumah, 1990). Toprak işleme sırasında yapılan iş için ihtiyaç duyulan enerji miktarı oldukça fazladır. Toprağın kütlesi ve hava koşullarına göre büründüğü fiziksel özellikler nedeniyle asgari güçteki makinelerin kullanılması gerekmektedir. Buna istinaden farklı işleri farklı enerji ihtiyaçları ile gerçekleştiren tarımsal mekanizasyon elemanları mevcuttur. Bunlardan en yaygın kullanılanları pulluklar, kültivatörler, rotovatörler yani toprak frezeleri ve tırmıklardır (Kececioglu ve Gulsoylu, 2002; Öztürk ve Bastaban, 1993). Bunlardan birincil toprak işleme makineleri genellikle sıkılaştıran toprağı gevşetmek amacıyla kullanılırken ikincil toprak işleme makineleri tohum yatağı hazırlamak amacıyla tercih edilmektedir (Sirivastava ve ark., 2006).

Kulaklı pulluklar bağlama çatısı ile traktör üç nokta askı aparatına bağlanarak çeki kuvveti vasıtasıyla traktör arkasında çekilerek kullanılmaktadır. Bu ekipman hasattan sonra genellikle toprağın kesilerek devrilmesi ve havalandırılması amacıyla kullanılmaktadır. Hasat ile dikim arasında geçen sürede belirli meteorolojik koşulların etkisiyle biyolojik çeşitliliğin artması amacıyla gerçekleştirilen kulaklı pulluk uygulaması hemen hemen tüm tarımsal ürünlerin hasadından sonra tercih edilen bir yöntemdir. Ana bir çatı üzerinde sabitlenmiş ayaklara bağlanan kulak ve uç demiri elemanları ile toprak, traktör çeki kuvveti yardımıyla kesilmektedir. Kulağın kavisli yapısı ile kesilen toprak ters çevrilerek tarlaya geri atılmaktadır. Burunlu, destekli,

kamalı olmak üzere çeşitli uç demirleri kullanılmaktadır. Kulaklı pullukların en sık aşınan elemanı uç demiridir. Dolayısıyla, bakım onarım sırasında kolaylıkla değiştirilmesi amacıyla genellikle cıvatalı bağlantılar ile montajı sağlanmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte traktörü gidiş ve gelişi ile toprağı sağa ve sola devirebilen dönerli pulluklar da mevcuttur (Kececioglu ve Gulsoylu, 2002). Şekil 1a'da kulaklı pulluk gösterilmektedir.

Toprak işlemede kullanılan bir diğer mekanizasyon ögesi diskli pulluktur. Diskaro adı verilen diskli tırmık da ikincil toprak işleme aletlerinden biri olarak kabul edilir. Düz diskli veya çentik diskli şeklinde türleri vardır. İç bükey olarak tasarlanan disklerin büküm oranları kullanım amaçlarına değişiklik göstermektedir. Şekil 2'de, toprak işleme sırasında kullanılan diskli pulluğa ait şematik görünüm yer almaktadır. Toprağı devirmeden çalışan diskli pulluklar sert topraklarda, disklerin toprak yüzeyinde yuvarlanarak iş yapması nedeniyle taşlı topraklarda, yapışkan ve aşındırıcı topraklarda verimli şekilde kullanılmaktadır. Disk yapımında kullanılan malzemelerin başında SAE 1080 çeliği gelmektedir. Bunun yanı sıra SAE 6160 çeliği de kullanılmaktadır (Kececioglu ve Gulsoylu, 2002). Şekil 1b'de diskli pulluk gösterilmektedir.



Şekil 1. Toprak işleme aletleri a)Kulaklı pulluk b)Diskli pulluk

Kültivatörlerin en sık kullanılan çeşitlerinden biri çizeldir. Toprağı devirmemesi nedeniyle pulluğa alternatif olarak kullanılmaktadır. Toprağı kabartmakta ve karıştırmaktadır. Kültivatörlerde rijit ayaklar kullanıldığı gibi özellikle taşlı arazilerde ve uzun makine ömrü açısından yaylı ayaklar da tercih edilmektedir. Kültivatörlere ait dar, mahmuzlu ve kanatlı uç demirleri kullanılmaktadır (Kececioglu ve Gulsoylu, 2002). Çizel, genellikle dar uç demirlerine sahip olan kültivatörlere verilen addır. Kanatlı uç demirlere sahip kültivatörlere ise genellikle kazayağı denir. Şekil 2a'da çizel kültivatörü gösterilmektedir.

Rotavatörler, yani diğer adıyla toprak frezeleri de toprak işleme aletleri içerisinde sıklıkla kullanılanlarıdır. Hafif ve orta ağırlıklı humuslu topraklarda başka alet kullanımına ihtiyaç duyulmadan sıklıkla kullanılmaktadır (Kececioglu ve Gulsoylu, 2002). L, C ve I profilli bıçaklar kullanılmaktadır (Benny ve Khoo, 1970). Rototiller olarak adlandırılan rotorlu tırmıklar da tohum yatağı hazırlamada sıklıkla kullanılmaktadır. Şekil 2b'de toprak frezesi gösterilmektedir.



Şekil 2. Toprak işleme aletleri a) Çizel kültivörü b) Toprak frezesi

3.2. Fide Dikim Makineleri

Fide dikim makinelerinin sahip olması gereken bazı özellikler mevcuttur. Öncelikli olarak dikim makinelerinin mekanizmaları fidelere zarar vermemelidir. Fideler dik konumda toprağa yerleştirilmelidir. Sıra üzeri mesafeler eşit aralıklarla ayarlanabilir olmalıdır. Dikimden sonra baskı tekerlekleri toprağı bastırarak fideyi toprak içerisinde bir miktar sıkıştırmalıdır. Dikim işleminden sonra fideye can suyunu vermelidir (Önal, 1995; Bayat ve ark., 2006). Tüm bu istenen işlemlerin çoğu mekanik sistemler vasıtasıyla gerçekleştirilirken bir kısmı insan gücüyle yapılabilmektedir. Böyle makinelere yarı otomatik dikim makineleri denilmektedir. Tüm işlemleri mekanik elemanlar ile gerçekleştiren tam otomatik dikim makineleri de mevcuttur.

Dikim makinelerinin sahip olduğu elemanlar, fide taşıyıcı kutu, çizici ayağı, dikim düzeneği, baskı tekerleği, can suyu verme tertibatıdır. Birden fazla sırayı aynı anda dikebilecek kapasitededir. Dikim düzenekleri kışkaçlı ve diskli olmak üzere iki çeşit olarak kullanılmaktadır. Kışkaçlı dikim düzenekleri ise zincirli ve çarklı olmak üzere ikiye ayrılır. Kışkaçlı zincirli dikim düzeneklerinde sökülebilir baklalara sahip zincir ve baklalara belirli aralıklarla sabitlenen kışkaçlar bulunmaktadır. Zincirin ilerleme hızı makineninki ile aynı olup ters yönlü olduğundan kışkaçların bağlı hızı dikim anında sıfır olmaktadır. Dolayısıyla fideler toprağa düşey olarak bırakılır. Fideler kök

kısmı yukarıda kalacak şekilde kıskaçlara yerleştirilir. Kıskaçlar pimler yardımıyla açılıp kapanmaktadır. Fideler toprağa bırakıldığı sırada can suyu da verilmektedir. Zincir baklalarının yerleri değiştirilmek suretiyle sıra üzeri mesafe ayarı da yapılabilmektedir. Son olarak baskı tekerleği ile dikim işlemi tamamlanmaktadır. Diskli dikim düzenekleri kıskaçlı dikim düzenekleri ile aynı prensipte çalışmaktadır. Burada kıskaçlar yerine fidelere ve köklerine daha az zarar verilmesi bakımından genellikle kauçuk malzemeden yapılmış, içerilerine fide yerleştirilebilecek profillere sahip diskler kullanılmaktadır. Sıra üzeri mesafeler genellikle fidelerin disk boşluklarını atlayarak yerleştirilmesi şeklinde belirlenir (Erol ve Dursun, 1993; Bayat ve ark., 2006).

Çizi açıcı ayak fidenin bırakılacağı çizinin açılması için kullanılmaktadır. Çizi ayaklarının kesiti dikdörtgen biçiminde olup genişliği genellikle 5 cm, derinliği 20 cm'dir. Ayakların ucu toprağa batmaları ve çizinin açılması bakımından kolaylık sağlaması amacıyla dar açılıdır (Erol ve Dursun, 1993).

Baskı tekerleği, toprağı iki yandan iterek sıkıştırmak suretiyle çizi içerisine bırakılan fide köklerini sabitlemektedir. Baskı tekerlekleri aynı zamanda fide dikim makinesinin ağırlığının bir kısmını taşımaktadır. Burada tekerleğin açılma hızı ile makinenin ilerleme hızı birbirine eşittir. Baskı tekerleklerinin arkasında sıyırıcı demir bulunmaktadır. Bu demir, yanlardan toprağı çekerek fide diplerine süpürür. Bu şekilde baskı tekerleklerinin oluşturduğu çukurlar da doldurularak düzgün bir toprak yüzeyi elde edilmiş olur (Erol ve Dursun, 1993).

Can suyu verme düzeneği; depo, hortumlar ve musluklardan oluşmaktadır. Su, depodan alınarak hortumlar aracılığıyla dikim ünitelerine iletilmektedir. Hortum ucunda bulunan bilyeli supaplı kısımların kamlar aracılığıyla itilerek açılmasıyla dikim sırasında bir miktar su çizi içerisine bırakılmaktadır (Erol ve Dursun, 1993).

Fide dikim makinelerinin doğru iş yapabilmesi açısından traktör ilerleme hızının oldukça düşük olması gerekir. Genellikle en yüksek 1 km/h hız ile ilerletilen traktörlerin bu hızı sağlayacak özel vites tertibatlarının bulunması gerekmektedir (Moser, 1989). Hızın sabit olması açısından traktör el gazı tertibatı aktif olarak kullanılmalıdır.

Tam otomatik fide dikim makinelerinde tohumlardan üretilen fidelerin konulduğu viyol kutuları tabakalı tablalar üzerine yerleştirilmektedir. Tablalar üzerindeki viyol kutuları bittikçe diğer tabladakiler devreye girmektedir. Viyol kutularından ilgili mekanizmalarla alınan fideler magazinelere konulmaktadır. Yatay ve düşey magazinler kullanılabilir. Düşey magazinler hunili magaziner olarak da adlandırılır (Karayel, 2022).

3.3. Gübreleme Makineleri

Gübreleme, bitkilerin verimini arttırmak amacıyla sıklıkla uygulanan tekniklerden biridir. Bitki, büyümesi sırasında topraktan alması gereken bazı elementlere ihtiyaç duymaktadır. Bu elementler bitki tarafından emildiğinde topraktaki element miktarı azalmaktadır. Dolayısıyla, gübrelemenin amacı toprakta azalan element miktarlarını dengelemektir (Özbek ve ark., 2012).

Bitkinin ihtiyaç duyduğu temel besin elementleri azot, fosfor ve potasyumdur. Çiftlik gübreleri ve bitki artıkları organik gübrelerdir. Bunların dışında temel besin elementleri çeşitli kompozisyonlarda genellikle kimyasal olarak kullanılmaktadır. Potasyum klorür, amonyum sülfat gibi bileşikler bu gruba dahildir. Genellikle serpme gübreleme, banttan gübreleme, yandan veya üstten gübreleme, pülverizasyon ile gübreleme yöntemlerinden biri tercih edilmektedir (Erol ve Dursun, 1993).

Gübre dağıtım makineleri öncelikli olarak düzgün bir yüzey dağılımı sağlamalıdır. Makinelere gübre atımı yapılırken norm ayarı kolaylıkla yapılmalıdır. Makinenin ilerlemesi sırasında arazi koşullarından kaynaklanan olumsuzlukların makineye olan etkisi bertaraf edilebilmelidir. Gübre dağıtım makinelerinin tasarımları gübrenin katı veya sıvı formda olmalarına göre farklılık göstermektedir. Granül şeklinde katı formda olan kimyasal gübreler mineral gübre dağıtım makineleri ile atılmaktadır. Mineral gübre makineleri; sandıklı, diskli, salınım hareketli olmak üzere üç farklı şekilde tasarlanmaktadır (Erol ve Dursun, 1993).

Sandıklı gübre dağıtım makinelerinde büyük bir depo ve dağıtıcı düzenek bulunmaktadır. Dağıtıcı düzenekler; bantlı, tabaklı, helezonlu, elekli, zincirli ve silindirik olmak üzere farklı türlerde tasarlanmaktadır. Bantlı dağıtıcılarda gübre sandıktan bant vasıtasıyla çıkarılır, fırça ya da parmaklı dağıtıcı tarafından dağıtılmaktadır. Bantlı dağıtıcılarda, iki adet sonsuz zincir üzerindeki lamalar ve bu lamaların üzerinden geçirilen kauçuk veya sert plastik bantlar ile sandık tabanında bulunan gübre alınarak dönen dağıtıcıya aktarılır. Tepsili veya diskli olarak adlandırılan tabaklı dağıtıcılarda, sandık tabanında metal malzemedeki yapılmış içi oyuk biçimde tabaklar mevcuttur. Bir kapaktan tabak üzerine düşen gübre yıldız fırlatıcılar ile saçılmaktadır. Helezonlu dağıtıcılarda ise sandık tabanında bulunan helezon gübreyi hareket ettirerek gübrenin zemin üzerindeki deliklerden akmasını sağlamaktadır. Elekli dağıtıcılarda, alt alta yer alan üç adet elekten tasarıma göre hareket ettirilen eleklerle ait delikler diğer sabit eleklerle ait deliklerin hizasına denk geldiği anda akış sağlamaktadır. Bu dağıtıcılara delikli levhalı dağıtıcılar da denilmektedir. Levhanın stroku değiştirilmek suretiyle gübre norm ayarı yapılmaktadır. Zincirli dağıtıcılarda sandık tabanında bulunan

sonsuz zincir çalışmaktadır. Zincirin malzemesi genellikle paslanmaz çeliktir. Silindirik dağıtıcılarda, sandık tabanında bulunan düz veya parmaklı iki adet silindir bulunmaktadır. Akış kapağının açıklık miktarı ve silindir dönme hızına bağlı olarak gübre normu ayarlanmaktadır (Erol ve Dursun, 1993).

Diskli gübre dağıtım makineleri genellikle asma tip olarak üretilmektedir. Üzerinde kanatlar yer alan bir disk gübreyi dağıtmaktadır. Depodaki gübre karıştırıcıda bulunan açıklıktan disk üzerine düşerek merkezkaç kuvvetinin etkisiyle saçılmaktadır. Bu makineler ile oldukça homojen bir gübre dağılımı yapılmaktadır. Kanadın profili, ileri-geri ve radyal konumu, kanadın açısı gübre normunun ayarlanması açısından hesaplanan tasarım parametreleridir. Ayrıca, gübrenin en etkin şekilde dağıtılması için gerekli olan bir diğer parametre gübrenin disk üzerine düştüğü noktanın yarıçapıdır. Bikonik şeklinde deposu bulunan çift diskli gübre dağıtma makinelerinde gübreyi homojen hale getiren karıştırıcılar alt kenardaki açıklıktan gübrenin disklerin üzerine düşmesini sağlamaktadır. Santrifüj etkisiyle diskler üzerine düşen gübre dağıtılmaktadır. Çift diskli makinelerin dağıtma paternleri eksenel örtme oluşturmaktadır. Her bir diskin dağıttığı patern makine ekseninde birbiri üzerine binmektedir. Dağıtıcı çalışma genişliğinin bu kurala göre hesaplanması ve tarladaki uygulamalarda titizlikle değerlendirilmesi gerekmektedir (Erol ve Dursun, 1993). Şekil 3a'da diskli gübre dağıtım makinesi gösterilmektedir.

Salınım hareketli gübre dağıtım makinelerinde, diskli makinelerde yer alan disklerin yerine dağıtıcı boru kullanılmaktadır. Dağıtıcı boru, seri şekilde makine eksenine pozitif ve negatif açılar yapmak suretiyle çalışmaktadır. Besleme diski ile boru içerisinde giren gübre salınım hareketinin sağladığı ivmeyle dağıtılmaktadır (Erol ve Dursun, 1993).

Sıvı gübrenin dağıtılması, dikimden önce toprak yüzeyine doğrudan gerçekleştirildiği gibi bitkinin yetiştirilme evrelerinde veya bitkinin sulama zamanlarında da yapılmaktadır. Buna göre, sıvı gübreyi yüzeye dağıtan pülverizatörler, toprak altına enjekte eden aletler, sulama suyuna karıştıran düzenekler ile sıvı gübre dağıtılmaktadır (Erol ve Dursun, 1993).

Genellikle bumlu pülverizatörler kullanılmaktadır. Ancak bütün bitkisinin uzun boyu nedeniyle bu yöntem tercih edilmemektedir. Yine de iş genişliğinin diğer yöntemlere göre fazla olması, dolayısıyla tarlada minimum traktör izinin olması, homojen bir dağılım sağlaması, çalışma esnasında gübre normunun sürekli ve sabit olması gibi nedenlerle diğer tarımsal ürün yetiştiricilik faaliyetlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Depo, karıştırıcılar, filtreler, pompalar, boru ve fittingsler sistemin ana elemanlarıdır. Sistemde genellikle bir veya daha fazla sayıda pistonlu pompa bulunmaktadır.

Çarpma plakalı yani deflektörlü ve yarıklı yani yelpaze huzmeli memeler kullanılmaktadır (Erol ve Dursun, 1993). Şekil 3b’de bumlu pülverizatör gösterilmektedir.

Enjektörler, gübreyi doğrudan toprak altına gömmektedir. Depo, bir çatı üzerine sabitlenen enjektörler ve basma pedalı sistemin ana elemanlarıdır (Erol ve Dursun, 1993).

Gübreyi sulama suyuna karıştıran düzenlerde dağılım homojendir (Erol ve Dursun, 1993). Karık sulama yönteminde tüplü karıştırıcılar, basınçlı sulama sistemlerinde ise genellikle gübre tankları kullanılmaktadır.



Şekil 3. Gübreleme makineleri a) Tek diskli dağıtıcı b) Bumlu pülverizatör

3.4. Sulama Makineleri

Bitkilerin yaşamsal fonksiyonlarını sürdürmesi açısından temek besin maddelerinin topraktan kökler aracılığıyla emilmesi gerekmektedir. Bu amaçla sulama işlemi büyük önem arz etmektedir. Sulama ile birlikte iklim şartlarındaki olumsuzluklar da bertaraf edilmektedir. Sulamada en önemli hususlardan biri suyun tarla zeminine homojen şekilde dağılımıdır. Bu nedenle, tarlanın eğimi, yapısı ve tesviye şekli sulamaya uygun olmalıdır. Bunun yanı sıra, ürünün çeşidi, toprağın kimyasal ve fiziksel özellikleri, su miktarı ve kalitesi, rüzgar, sıcaklık, nem, yağış miktarı gibi meteorolojik etkenler de sulama işlemleri için önemli olan parametrelerden bazılarıdır (Demircioğlu, 2020).

Sulama yöntemleri esas olarak iki farklı gruba ayrılmaktadır. Bunlardan ilki yüzey sulama yöntemleri, ikincisi ise basınçlı sulama yöntemleridir. Yüzey sulama yöntemleri geleneksel yöntemler olup salma, karık ve tava gibi farklı metotlarla gerçekleştirilmektedir. Basınçlı sulama yöntemleri ise

modern yöntemlerdir. Genellikle damlama ve yağmurlama gibi metotlarla gerçekleştirilmektedir (Demircioğlu, 2022).

Yüzey sulama yöntemlerinden ilki olan salma sulamada tarlanın eğimli bir yüzeye sahip olması gerekmektedir. Sulama miktarı arazi yüzeyinde homojen olmamaktadır. Bu ve benzeri sebeplerden dolayı salma sulama yapılan arazilerde tuzluluk ve drenaj problemleri ortaya çıkabilmektedir. Diğer bir yüzey sulama yöntemi olan karıkla sulamada tarlanın yine eğimli olması istenmektedir. Salma sulamaya göre daha homojen bir dağılım sağlamaktadır. genellikle su tutma kapasitesi yüksek olan topraklarda tercih edilmektedir. Suyun içinde seyrettiği karık adı verilen kanallar genellikle bitki sıra aralarına açılmaktadır. Yüzey sulama yöntemlerinden bir diğeri olan tava sulamada ise tarlanın etrafı veya ağaçların taç izdüşümü toprak setler ile çevrilerek içerisine yüksek debide su doldurulmaktadır. Toprak emilimi nispeten daha düşük arazilerde tercih edilmektedir (Demircioğlu, 2022). Yüzey sulama yöntemlerinin etkinlikleri basınçlı sulama sistemlerine göre düşüktür. Düşük etkinlikli sulama yöntemleri tuzluluk ve drenaj problemleri oluşturmaktadır (Bahçeci, 2006).

Modern sulama sistemlerinde pompa, kontrol birimleri, ana boru hatları, manifoldlar ve laterallerin yanı sıra yöntemin türüne göre su tahliye aparatları kullanılmaktadır. Pompalar dizel veya benzinli içten yanmalı motorlar, elektrik motoru ya da kuyruk mili tahrikli olmak üzere farklı çeşitlerde (Aras, 2006). Santrifüj, jet, dalgiç gibi farklı yapısal tasarımlara sahip olan pompalar mevcuttur.

Basınçlı sulama sistemlerinde pompadan basınç etkisiyle ivmelendirilen su öncelikle hidrosiklon filtreye sonrasında kum-çakıl filtre tankına yönlendirilir. Burada içerisindeki yabancı maddeler ile kum ve çakıllardan arındırılan partikül açısından temiz su gübre tankına oradan da sulama alanına gönderilir. Gübre tankı tarımsal ürünün gübrelemesi yapılması gerektiği dönemlerde kullanılmaktadır. Elek filtreden geçen su ve varsa gübre karışımı basınç regülatörü ile ayarlanan basınçta sisteme gönderilir (Aras, 2006).

Ana boru sistemi, kontrol ünitesinden çıkan suyu manifoldlara yani yan borulara gönderen nispeten daha geniş çaplı su yolu tasarımlarından oluşur. Manifoldlar ise suyu laterallere iletmektedir. Lateraller, bitki sıraları boyunca seyreden nispeten daha küçük çapta olan borulardır. Damla sulama sisteminde laterallerin üzerinde bulunan deliklerden su belirli aralık ve debide damlamaktadır (Ara, 2006). Bu şekilde belirli süre boyunca damlama koşuluyla toprağa iletilen su bitki köklerine nüfuz etmekte, içerisinde yer alan gübre karışımı varsa doğrudan bitki köküne aktarılmaktadır.

Yağmurlama sulama sisteminde tesisler hareket durumuna göre sabit, taşınabilir ya da devamlı olarak hareketli şekilde olabilmektedir. Sabit ve taşınabilir sistemlerdeki yağmurlama başlıkları, lateralleri ve ana boruları gibi elemanlar sulama süresince sabit konumda kalırken hareketli sistemlerde sulama süresince dairesel ya da doğrusal olarak hareket etmektedir (James, 1993). Giderek önem kazanan su tasarrufu, damla sulama ve yağmurlama gibi günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sıklıkla uygulanan modern sulama yöntemleri ile mümkün olabilmektedir. Suyun araziye aktarımında, dağıtımında, sistemin işletilmesinde ve uygulanması sırasında tasarruf sağlanmaktadır. Tarla sulamada verimliliği arttırmak amacıyla yüzey sulama sistemleri yerine basınçlı sulama sistemlerinin tercih edilmesi bu bakımdan oldukça önemlidir. Modern sulama sistemlerinin kullanıldığı uygulamalarda verim yükselirken su tasarrufu da oldukça artmaktadır (Kanber ve ark., 2002). Ülkemizde genellikle sabit ve taşınabilir yağmurlama sulama sistemleri kullanılmaktadır. Hareketli yağmurlama sulama sistemlerinin kullanımı oldukça azdır (Bahçeci ve Kırnak, 2008).

Basınçlı sulama sistemlerinden sıklıkla kullanılan yağmurlama yönteminde genellikle tamburlu sistemler tercih edilmektedir. Bir tambur üzerine sarılmış boru takımı ile bu hattın ucunda yer alan kanat hattı ya da yağmurlama başlıklarıyla gerçekleştirilmektedir. İşgücü gereksiniminin daha az olması, su uygulama miktarının kolayca ayarlanabilmesi, sulama bitiminde ekipmanın tarladan alınarak hemen taşınabilmesi, hareketli bir sistem olması ve birçok tarlada kullanılabilmesi, rüzgârlı havada su dağıtımının homojen olması ve kullanım kolaylıkları gibi birçok nedenden dolayı tamburlu yağmurlama sulama makineleri oldukça avantajlı konumdadır. Doğrusal hareketli bir sistem olup sırasıyla filtre elemanı, su sayaç takımı, emme hatları, bağlantı elemanları, sulama pompası, sulama kolları gibi ana yapı elemanlarından oluşmaktadır. Çeşitli çaplarda hortumlar kullanılmakta olup esnek yapısıyla tambura sarılarak toplanmakta ve ters yöntemle serilmektedir. Çok düşük basınçlarda çalışabilen tamburlu yağmurlama sulama sistemlerine birçok kolda nispeten daha fazla sayıda yağmurlama başlığı takılabilmektedir (Bahçeci ve Kırnak, 2008). Şekil 4'te tamburlu yağmurlama sulama makinesi gösterilmektedir.



Şekil 4. Tamburlu yağmurlama sulama makinesi

Tütün bitkisi sulama açısından sınırlı ihtiyaca sahip bir bitki olup yetiştirilmesi sırasında verilen su miktarı diğer bazı tarımsal ürünlere göre daha az olabilmektedir. Bununla birlikte, genellikle dolgu tütünü olarak harmanlarda kullanılan türlerinin sulandığı gözlemlenmekte olup yapılan sulama yüksek boyları nedeniyle genellikle yüzey sulama yöntemlerinden karıkla sulama şeklinde gerçekleştirilmektedir. Modern üretim yöntemlerinden biri olan yağmurlama sulama yöntemi bazı çeşitlerinin yüksek boylu olması nedeniyle tütün tarımında genellikle tercih edilememektedir.

3.5. Hasat Makineleri

Tütün bitkisinin hasadı diğer tarla bitkilerinin çoğuna göre oldukça farklıdır. Hububat ürünlerinin hasadı uygun tablalı biçerdöverlerle yapılırken tarla sebzelerinin hasadı kendilerine özgü bir takım tasarım özellikleri barındıran makineler aracılığıyla ya da el yordamıyla gerçekleştirilmektedir.

Hasattan önce tütün bitkisi için uygulanan iki farklı işlem gerekmektedir. Bunlardan ilki “koltuk alma adı verilen, bitkide oluşan dallanmaların önlenmesi ve dolayısıyla yaprak büyümesinin teşvik edilmesi amacıyla gerçekleştirilen işlemdir. Özellikle yabancı orijinli tütünlere uygulanmaktadır. Bu amaçla yapılan işlemler ya el yordamıyla ya da budama makası gibi bir alet yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bir diğer işlem ise tepe kırmadır. Tütün bitkisinin çiçek açma döneminden hemen önce tepe kısmının kırılmasıdır. Böylelikle bitkinin topraktan aldığı besin elementlerini çiçek oluşumunda kullanımı önlenerek yaprakların büyümesine katkıda bulunması sağlanmaktadır.

Tütün hasat işlemi diğer bir ifade ile kırım olarak adlandırılır. Ülkemizde el ile hasat edilen tütün bitkisinin hasat şekli mekanizasyon açısından önemlidir. Bununla birlikte tütün bitkisinin hasadı tütün çeşidine göre farklılık göstermektedir. Ülkemizde sıklıkla yetiştirilen Oryantal türü tütünler birçok seferde parça parça hasat edilirken Virginia türü tütünlerin yaprakları çoğu zaman tek seferde, Burley türü tütünler ise sapları ile birlikte toprak hizasından olacak şekilde hasat edilmektedir. Oryantal türü tütünlerin hasadının daha zahmetli olması nedeniyle mekanizasyon imkanları sınırlıdır. Virginia türü tütünlerin tüm yapraklarının aynı anda alınması ise mekanizasyonu bir nebze daha uygulanabilir hale getirmektedir. Genellikle yüksek şaseli bir çatı içerisinde bulunan toplayıcı ve koparıcı silindir takım ile bitkiden alınan yapraklar konveyör bant yardımıyla arka kısımda bulunan geniş toplayıcı hazneye iletilmektedir. Kendi yürür sistemler şeklinde çalışan tütün hasat makineleri içten yanmalı motor ile kabinli sürüş sistemleri içermesi sebebiyle özel hasat makinesi olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, Burley tütünü için bitkiyi gövdesi ile birlikte toprak hizasından keserek konveyör sistemler ile ters çevirdikten sonra makine arkasında bulunan magazinlere dizilen hasat makineleri bulunmaktadır. Bu makineler de kendi yürür sistemler olarak çalışmaktadır. Oryantal tütünün hasadı el ile yapılmaktadır. Bu tür tütünlerde her bir hasada “el” adı verilmektedir. Genellikle 3 ile 7 el ile hasat edilmektedir. Dip yapraklar en büyük olanlarıdır ki ilk hasat edilen el bu gruptur. Bu şekilde orta ve doruk olmak üzere diğer bölgelerdeki hasatlar tamamlanır. Her bir hasat grubu ayrı ayrı stoklanmaktadır. Yapraklar arasındaki genişlik ve uzunluk farklılıklarından dolayı bu tarz bir hasat şekli Oryantal tütünler için gerekmektedir. Oryantal tütün hasadının mekanizasyonundaki en önemli husus hasadın birden fazla sayıda gerçekleştirilmesidir. Bu sebepten dolayı genellikle Oryantal tütün hasadı el yordamıyla yapılmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada, tarımsal ürünler arasında ekonomik ve ticari açıdan yüksek öneme sahip tütün bitkisinin yetiştirilmesi sırasında kullanılması gereken makineler ile bu makinelerin teknik özellikleri incelenmiş, uygulamada karşılaşılan teknik ihtiyaçlara göre dikkat edilmesi gereken hususlar ele alınmıştır. Buna göre,

- Toprak işleme, dikim, gübreleme, sulama ve hasat sistemlerinde üreticiler tarafından tercih edilen mekanizasyon sistemlerinin öncelikli olarak düşük yatırım ve işletme maliyetlerine sahip olması istenmektedir.

- Toprak işleme sırasında yapılan iş için ihtiyaç duyulan enerji miktarı oldukça fazladır. Toprağın kütlesi ve hava koşullarına göre büründüğü fiziksel özellikler nedeniyle asgari güçteki makinelerin kullanılması gerekmektedir. Buna istinaden farklı işleri farklı enerji ihtiyaçları ile gerçekleştiren tarımsal mekanizasyon elemanları mevcuttur. Bunlardan en yaygın kullanılanları pulluklar, kültivatörler, rotovatorler yani toprak frezeleri ve tırmıklardır.
- Fide dikim makinelerinin sahip olması gereken bazı özellikler mevcuttur. Öncelikli olarak dikim makinelerinin mekanizmaları fidelere zarar vermemelidir. Fideler dik konumda toprağa yerleştirilmelidir. Sıra üzeri mesafeler eşit aralıklarla ayarlanabilir olmalıdır. Dikimden sonra baskı tekerlekleri toprağı bastırarak fideyi toprak içerisinde bir miktar sıkıştırmalıdır. Dikim işleminden sonra fideye can suyunu vermemelidir.
- Gübreleme makineleri olarak genellikle serpmeye gübreleme, banttan gübreleme, yandan veya üstten gübreleme, pülverizasyon ile gübreleme yöntemlerinden biri tercih edilmektedir.
- Yüzey sulama yöntemleri geleneksel yöntemler olup salma, karık ve tava gibi farklı metotlarla gerçekleştirilmektedir. Basınçlı sulama yöntemleri ise modern yöntemlerdir. Genellikle damlama ve yağmurlama gibi metotlarla gerçekleştirilmektedir. Modern sulama sistemlerinde pompa, kontrol birimleri, ana boru hatları, manifoldlar ve laterallerin yanı sıra yöntemin türüne göre su tahliye aparatları kullanılmaktadır.
- Ülkemizde sıklıkla yetiştirilen Oryantal türü tütünler birçok seferde hasat edilirken Virginia türü tütünlerin yaprakları çoğu zaman tek seferde, Burley türü tütünler ise sapsarı ile birlikte hasat edilmektedir. Farklı hasat yöntemlerine tütün türlerine uygun mekanizasyon uygulamaları mevcuttur.

Tütün tarımı fide yetiştirmeden hasadına kadar olan süreçleri kapsayan geniş alanlı bir faaliyet konusudur. Bununla birlikte, tütün bitkisinin endüstriyel alanlarda kullanılabilmesi açısından hasadından sonra birçok ilave işlemlere tabi tutulması gerekmektedir. Bunlardan bazıları dizim, kurutma, tavlama ve denklemedir. Bu işlemler ile ilgili bir takım mekanizasyon imkanları da mevcuttur. Bu konularda gerçekleştirilecek çalışmaların literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Aras, 2006 Aras, İ., (2006). Damla sulama yöntemi. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 15(1-2), 49-60.
- Bahçeci ve Kırnak, 2008 Bahçeci, P., Kırnak, H., (2008). Tamburlu yağmurlama sulama sisteminin performans analizi. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 12(1), 39-48.
- Bahçeci, 2006 Bahçeci, P., 2006. Tamburlu yağmurlama sulama sisteminin performans analizi ve Harran ovası koşullarında kullanım olanakları. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bayat ve ark., 2006 Bayat A, Öztekin S, Bereket Barut Z, Bozdoğan A, Özcan MT, Güzel E, İnce A, Yıldız Y (2006). Tarım makinaları 2, Nobel Kitabevi, Adana.
- Benny ve Khoo, 1970 Beeny, J.M., Khoo, D.C.P., 1970. Preliminary investigation into the performance of different shaped blades for the rotary tillage of wet rice soil. Journal of Agricultural Engineering Research, 15, 27-33,.
- Ceylan, 1995 Ceylan, İ.C. (1995). Türkiye’de Tütünün Tarihsel Gelişimi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- Demircioğlu, 2020 Demircioğlu, M. (2020). Tamburlu sulama sistemleri için gübre atma tertibatı tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Entitüsü.
- Doğanay ve Coşkun, 2015 Doğanay, H., Coşkun, O. (2015). Tarım Coğrafyası, III. Baskı, Pegem Akademi, s. 488, Ankara.
- Ekren ve Tuncer, 2021 Ekren, S., Tuncer, A.Y., (2021). Tütün bitkisinde su havuzu yöntemi ile yetiştirilen fidelerin tarla performanslarının belirlenmesi. ISPEC Journal of Agricultural Sciences, 5(1), 73-80.
- Ergün ve Uğurlu, 2006 Ergün, S.G.; Uğurlu, K.E. (2006). 1935 Yılından Günümüze Türkiye’de Tütün Ekimi ve Üretiminde Bölgesel Değişimler ile Alternatif Ürün Projesinin Etkileri, IV. Ulusal Coğrafya Sempozyumu, 25-26 Mayıs 2006, Ankara Üniversitesi, Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi, Ankara, s.115-134.
- Erol ve Dursun, 1993 Erol, M.A., Dursun, İ.G., 1993. Ekim Bakım ve Gübreleme Makinaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:1499.
- James, 1993 James, L.G., 1993. Principal of farm irrigation system design. Krieger Publishing, Company Malabar, Florida.
- Kabakçı, 1999 Kabakçı, H., 1999. Yenice ve Çevresinde Tütüncülük. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Türkiye Coğrafyası Bilim Dalı
- Kanber ve ark., 2002 Kanber, R., Tan, A.F. ve Çakır, F. 2002. Sulama ve Drenaj Mühendisliği. Tarım ve Köy İşleri Bakan-lığı Köy Hizmetleri Genel

- Müdürlüğü APK Dairesi Başkanlığı. Toprak ve Su Kaynakları Arastırma Sube Müdürlüğü, Yayın No: 122.
- Karabacak, 2017 Karabacak, K. (2017). Türkiye’de tütün tarımı ve coğrafi dağılışı. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 15(1), 27-48.
- Karakaş, 2020 Karakaş, K., (2020). Tarım sektöründe tütün yetiştiriciliği çalışanlarında iş sağlığı ve güvenliği: Malatya ili örneği. Yüksek Lisans tezi. Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karayel, 2022. Karayel, D., 2022. Sebze fidesi yetiştiriciliğinde tohum ekimi, fidelerin transferi ve fide dikiminde mekanizasyon uygulamaları. *Sebzelerde Fide Yetiştiriciliği-1*, Editörler: Yetişir, H., Ellialtıoğlu, Ş.,Ş., Gece Kitaplığı. 231-278.
- Kayhan ve Baran, 2014 Kayhan, İ., Baran, M., (2014). Ayçiçeği Üretiminde Pulluk ve Ağırtyalılı Kültivatörün Kuru Koşullarda Ekonomik ve Teknik Yönden Karşılaştırılması. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(4), 435-440.
- Moser, 1989 Moser E (1989). Bağ bahçe sebze ve endüstri kültürlerinde mekanizasyon uygulamaları (Çeviri: İ. K. Tuncer ve F. Özgüven). Türkiye Ziraat Donatım Kurumu, Mesleki Yayınları, Yayın No:52, Ankara.
- Ohiri ve Ezumah, 1990 Ohiri, A. C. and H. C. Ezumah, (1990). Tillage effects on cassava (*Manihot esculenta*) production and some soil properties. *Soil and Tillage Research*, 17: 221-229.
- Önal, 1995 Önal İ (1995). Ekim-dikim-gübreleme makineleri. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, Bornova, İzmir, 605 s.
- Özbek ve ark., 2012 Özbek, O., Marakoğlu, T., Çıtıl, E., Çarman, K., (2012). Prototip ekim makinesi ile sıvı ahır gübresi ve mineral gübre uygulamalarının azot kayıpları ve verim parametreleri açısından değerlendirilmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(1), 83-90.
- Öztürk ve Bastaban, 1993 Öztürk, İ., Bastaban, S., 1993. Tohum yatağı hazırlığında kullanılan bazı toprak işleme makinelerinin toprağın parçalanması, gözenek hacmi ve yüzey profiline etkileri üzerine bir araştırma. 5. Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi, Kuşadası, 173-182.
- Peksüslü ve ark., 2012 Peksüslü, A., Yılmaz, İ., Kartal, A.İ.H., Kartal, H., (2012). Türkiye Tütün Genotipleri. *ANADOLU Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 82-90.
- Sirivastava ve ark., 2006 Sirivastava, A. K., C. E. Goering, P. R. Rohrbach and D. R. Buckmaster, (2006). *Engineering Principles of Agricultural Machines*. Soil Tillage. St Joseph, Michigan, American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), 169-230.
- Şahin ve Taşlıgil, 2013 Şahin, G., Taşlıgil, N. (2013). Türkiye’de Tütün (*Nicotiana Tabacum L.*) Yetiştiriciliğinin Tarihsel Gelişimi ve Coğrafi Dağılımı. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 18(30), 71-102.

Biyosensörler: Sınıflandırma, Temel Bilgiler ve Karakterizasyon

Özgün UZ¹

Yaşar ŞENTÜRK²

Ömer Faruk KOÇAL³

Batukan BELTEKİN⁴

Faruk BASTIKOĞLU⁵

Özge TÜZÜN ÖZMEN⁶

1. GİRİŞ

Biyosensörler, biyolojik ve kimyasal olayların hassas ve hızlı bir şekilde tespit edilmesini sağlayan teknolojik cihazlardır. Bu gelişmiş teknolojiyle birlikte biyosensörler günümüzde kendilerine tıp, gıda, çevre, biyoteknoloji gibi alanlarda yaygın kullanım fırsatı bulmaktadır. Biyosensörlerin kullanımı sayesinde tespit edilecek hedef moleküllerin tespit sürecinde kolaylık sağlanmaktadır.

Biyoelement ve sensör elemanlarının bir araya gelmesiyle meydana gelen biyosensörler; patojenik organizmaların, kanserojen, mutajenik ve toksik kimyasalların saptanması veya biyolojik bir etkinin raporlanması

-
- 1 Doktora Öğrencisi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği İzmir Bakırçay Üniversitesi, 6016009@bakircay.edu.tr, 0000-0002-6752-2861
 - 2 Yüksek Lisans Öğrencisi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İzmir Bakırçay Üniversitesi, 6017023@bakircay.edu.tr, 0009-0007-8618-1293
 - 3 Yüksek Lisans Öğrencisi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İzmir Bakırçay Üniversitesi, 6017021@bakircay.edu.tr, 0009-0004-0160-3951
 - 4 Yüksek Lisans Öğrencisi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İzmir Bakırçay Üniversitesi, 6017010@bakircay.edu.tr, 0009-0008-3974-5444
 - 5 Yüksek Lisans Öğrencisi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İzmir Bakırçay Üniversitesi, 6017013@bakircay.edu.tr, 0009-0006-6491-8058
 - 6 Prof. Dr., Temel Bilimler, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, İzmir Bakırçay Üniversitesi, ozge.ozmen@bakircay.edu.tr, 0000-0002-5204-3737

için kullanılan cihazlardır. Reaksiyonlarda istenen analitin algılanmasını sağlamak amacıyla biyosensörler kullanılabilir. Biyosensörleri meydana getiren biyoelement ve sensör elemanları zarf tutma, fiziksel adsorpsiyon, matris tutma ve kovalent bağlanma çeşitleri ile birbirlerine bağlanmaktadır.

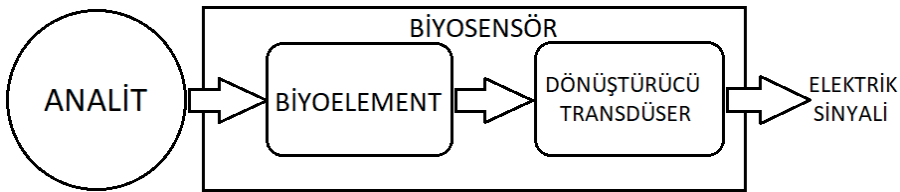
Biyosensörlerin sınıflandırılması gerçekleştirilirken iki farklı perspektif dikkate alınmıştır. Bu perspektiflerden ilki sinyal iletim unsurunu diğer perspektif ise biyotanıma unsurunu içermektedir. Bu bahsedilen iki perspektif altında biyosensörlerin türleri sınıflandırılarak sinyal türleri ve kullanım alanları hakkında bilgi sunulmuştur. Ayrıca biyosensörlerin üretimi, kullanımı ve amaçlarına da değinilerek okuyucuya biyosensörler hakkında genel bir bilgi aktarımı hedeflenmektedir. Ek olarak biyosensörlerin karakterizasyonu için yapılan önemli deneyler incelenmiştir.

Biyosensörler aracılığı ile gerçekleştirilen çeşitli ölçümler sayesinde karakterizasyon sonuçlarını elde etmek amacıyla gerçekleştirilen çeşitli deneylerde biyosensörlerin performansı değerlendirilebilmektedir. Biyosensör teknolojisi ve uygulamaları hakkında genel bir bakış sunulması amaçlanmıştır. Biyosensör sınıflandırma ve karakterizasyon hakkında temel bilgiler verilmektedir. Üç deney incelenmiştir. Bu deneyler “Karbon Macunu/ Glukoz Oksidaz (CP/GOx) Bazlı Glikoz Biyosensörü İçin Transdüksiyon Yöntemi Olarak Krono Empedans Tekniğinin Değerlendirilmesi”, “Protein Karakterizasyonu İçin Yeni Bir Optik Biyosensör” ve “Formaldehit için Elektrokimyasal Bir Biyosensör” dır. İlk olarak “Karbon Macunu/ Glukoz Oksidaz (CP/GOx) Bazlı Glikoz Biyosensörü İçin Transdüksiyon Yöntemi Olarak Krono Empedans Tekniğinin Değerlendirilmesi” deneyi incelenmiştir. Karbon macunu ve glukoz oksidaz bazlı glikoz biyosensörü elde edilip bu sensör yeni bir transdüksiyon yöntemi olan krono empedans tekniği incelenmiştir. Bunun için alternatif bir voltaj ekleyerek ara yüz empedansını ölçmeyi planlamıştır. İkinci olarak “Protein Karakterizasyonu İçin Yeni Bir Optik Biyosensör” deneyi incelenmiştir. Bu deneyde protein katmanlarının kalınlık gibi özelliklerinin belirlenmesi için optik biyosensör aracılığı ile çift dalga kılavuzu interferometrik tekniğinden faydalanılarak farklı polarizasyonlardaki dağılım farklılığından faydalanılarak katmanların özellikleri gerçek zamanlı olarak belirlenebilmiştir. Son olarak “Formaldehit için Elektrokimyasal Bir Biyosensör” deneyi incelenmiştir. Deneyde formaldehit dehidrogenaz enzimi ve vinilpiridin kullanarak bir biyosensör elde edilmiştir. Bu biyosensör ve akış enjeksiyon sisteminin birleştirilmesiyle oluşan yeni bir tespit yöntemi geliştirilip incelenmiştir.

2. BİYOSENSÖRLER HAKKINDA

Analitik ve kimyasal bir algılama cihazı olarak tanımlanan biyosensör teknolojisinin başlangıç tarihi olarak 1962 yılında enzim elektrotlarının geliştirilmesi kabul edilmektedir. Geniş alanlarda yaygın olarak kullanılan biyosensör adlı cihazların kelime kökeni biyoelement ve sensör kelimelerinin birleşiminden ortaya çıkmaktadır. Biyosensörler, sadece belirli bir analiti tanıma özelliğine sahip olan biyoelementler ve bu biyoelementlerde meydana gelen değişiklikleri elektriksel sinyallere dönüştürerek algılanmasını sağlayan sensör elemanlarından meydana gelmektedir. Biyoelementler, analitlere özgü bir şekilde tasarlanmışlardır ve sadece bağlı bulunduğu analiti tanıma yeteneğine sahiptirler ayrıca. Başka analitleri tespit edip tanıyamamaktadırlar. Son teknolojilerin gelişmesiyle sadece tek bir analitin tespiti değil dizi konfigürasyonları gibi çoklu analitik algılama yeteneklerine de sahip olmuşlardır. Kullanılan dönüştürme/transdüksiyon mekanizmasına ve ölçülen parametrelere göre birçok tipte biyosensörler bulunmaktadır. Geniş kullanım alanları bulunan biyosensörler biyomedikal, endüstriyel ve askeri alanlar gibi pazarlarda kendine uygulama alanı bulmaktadır.

Biyosensörler biyoelement ve sensör adlı elemanların birleşiminden oluşmaktadır. Biyoelement canlı hücreler, enzimler gibi biyolojik yapılardan oluşabilir ve sensör elemanı ise elektrik akımı, elektrik potansiyeli vb. gibi algılanabilecek değişimlerin algılanmasını sağlamaktadır. Biyoelement ve sensör elemanlarının unsurları çeşitli kombinasyonlarla bir araya getirilerek yapılacak uygulamaya bağlı olarak farklı biyosensör çeşitlerinin elde edilmesi sağlanmaktadır. Bu kombinasyonlarla ihtiyaç duyulan hassasiyet, sinyal kalitesi gibi faktörlere göre özelleştirilmiş biyosensörler tasarlanabilmektedir. Aşağıdaki şekilde biyosensörlerin şematik bir gösterimi verilmiştir.



Şekil 1. Biyosensörlerin şematik gösterimi

Biyoelement ve sensör elemanları farklı bağlanma yöntemleriyle bir araya gelebilmektedirler. Bu bağlanma şekilleri zarf tutma, fiziksel adsorpsiyon, matris tutma ve kovalent bağlanma şeklinde dört farklı yöntem şeklinde gerçekleşmektedir. Yarı geçirgen bir zarın analit ve biyoelementi ayırmasıyla

sensörün biyoelemente bağlanmasının sağlandığı yönteme zarf tutma yöntemi denilmektedir. Biyoelementi, sensör yüzeyine bağlamak amacıyla Van Der Waals, hidrofobik, iyonik kuvvetlerin ve hidrojen bağlarının birlikte kullanıldığı yöntem fiziksel adsorpsiyon yöntemidir. Biyoelementin sensöre bağlanması için biyoelement etrafında gözenekli kapsülasyon matrisi oluşturulmasına gözenekli hapsolme düzeni denilmektedir. Sensör yüzeyinin biyolojik materyaller için reaktif grup olarak işlem gördüğü bağlanma yöntemine kovalent bağlanma yöntemi denilmektedir.

Biyoelement enzim, kimyasal reaksiyonlarda katalizör işlevi görmektedir. Bu biyoelement enzimler kimyasal reaksiyonların sonunda değişmeden kalan büyük bir protein molekülüdür. Enzimler, sadece belirli bir maddeyi başka belirli bir maddeye dönüştürmek için özelleşmiş protein molekülleridir. Sadece buldukları işleme özeldir. Enzimlerin bu spesifik çalışma prensibi biyosensörlerin çalışma prensibinin temelini oluşturmaktadır. Biyosensörler, son yıllarda çeşitli tıbbi uygulamalar, patojenik organizma tespiti, biyolojik ve kimyasal analizler gibi alanlarda çok farklı tiplerde ve çeşitlerde geliştirilmiştir. Bu gelişmelerin ana sebebi biyosensörlerin sağladığı birçok avantaj ve uygulama sahasının genişliği olarak nitelendirilebilir. Genel olarak, biyosensörlerin kullanımı numunelerin ön taramasının ilk filtresi olarak kullanılır [1].

3. BİYOSENSÖRLERİN SINIFLANDIRILMASI

Biyosensörler, tespit edilmek istenen analite, kullanılan biyoelement ve sensör elemanına göre farklı tiplerde olabilmektedir. En yaygın biyosensör tipleri rezonans biyosensörleri, optik biyosensörler, termal algılama biyosensörleri, elektrokimyasal biyosensörler olarak değerlendirilmektedir.

Biyosensörler temel olarak 2 perspektifte incelenmektedir. Aşağıda bu temel kısımlar Sinyal iletim ve biyotanıma başlıkları altında aşağıda incelenmiştir.

3.1. Sinyal İletim

Biyosensörler sinyal iletim unsuru başlığı altında dörde ayrılmaktadır. Bu başlıklar aşağıda değerlendirilmiştir;

3.1.1. Elektrokimyasal

Elektrokimyasal biyosensörler genel olarak üç tipe ayrılmaktadır. Bu üç tip biyosensör aşağıdaki Tablo 1' de verilmiştir [2].

Tablo 1. Elektrokimyasal biyosensörler

Ölçülen parametre	Uygulanan gerilim	Hassasiyet	Matematiksel ifade	Üretim
İletkenlik	Sinusoidal	Düşük	Artırımlı direnç	FET+Enzim
Akım	Doğru Akım	Yüksek	Cottrell denklemi	FET+Enzim+2 elektrot
Gerilim	Rampa Gerilim	Düşük	Nerst denklemi	FET+Enzim+ oksit elektrot

İletkenlik ölçen biyosensörler FET+Enzim şeklinde üretilmektedir. Artırımlı direnç şeklinde matematiksel olarak modellenmektedir. Bu tip biyosensörlerde çözeltiye alternatif akım (AC) uygulanmaktadır ve çözeltideki elektriksel değişimler meydana gelerek iletkenlik/direnç ölçülmektedir. Amperometrik biyosensörlere doğru akım (DC) uygulanmaktadır ve ölçülen parametre olarak akım değeri kullanılmaktadır. Potansiyometrik biyosensörlerde elektrokimyasal reaksiyonda meydana gelen oksidasyon incelenmektedir. Bunun için çözeltiye rampa gerilimi uygulanmaktadır ve meydana gelen gerilim değişimi ölçülmekte ve reaksiyonun türü incelenmektedir. Elektrokimyasal biyosensörlerden iletkenlik ölçen biyosensörler EEG, EKG, çevre analizi, sanayi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Amperometrik biyosensörler kan şekeri ölçümü, ilaç analizleri, çevre ölçümlerinde kullanılmaktadır. Potansiyometrik biyosensörler pH ölçümü, ilaç analizi, gıda analizi, çevre ölçümü gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu elektrokimyasal biyosensörler uygun maliyetli, taşınabilir, oldukça hassas ve modern mikro fabrikasyon teknolojileriyle uyumludur [3].

3.1.2. Optik

Optik sensörler yüksek tespit hızları, hassasiyetleri, sağlamlıkları ve çoklu analitleri tespit etme yetenekleri ile karakterize edilmektedir [4]. Örneğin, etiketli moleküllere ihtiyaç duymadan bir kimyasalın varlığını belirleyebilen yüzey plazmon rezonansıdır. (Surface Plasmon Resonance-SPR) [5].

Optik biyosensörler tıbbi teşhislerde, gıda maddelerindeki kontaminantları tespit etmek gibi gıda güvenliği görevlerinde, su ve hava numunelerinin incelenmesi, biyoteknoloji ve ilaç geliştirilmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

3.1.3. Kütleye Duyarlı Sensörler

Kütleye duyarlı biyosensörler, sıvı, vakum ve hava ortamlarında gerçek zamanlı çalışma ve izleme gibi çeşitli avantajları bulunmaktadır [6]. Mikro konsol biyosensörler, rezonans sensörler vb. sensörler örnek olarak verilebilir.

Bu örnek verilen sensörlerden rezonans biyosensörü şu şekilde açıklanabilir; Rezonans frekansı değerinin ölçülmesi amacıyla kullanılan akustik dalga transdüseri antikor veya biyoelement ile etkileşime girerek bağlanmaktadır. Analit veya antijen zar(membran) ile etkileşime girip bağlandığında zarın(membran) kütlesi değişmektedir ve bu bağlantı sonucu zarda meydana gelen kütle değişimi transdüserin rezonans frekansını değişime yol açmaktadır. Bu frekans değişimi daha sonra ölçülerek değerlendirilebilmektedir. Kütleye duyarlı biyosensörler ilaç geliştirilmesi, çevresel numunelerdeki kirleticilerin tespiti, çeşitli biyolojik ve kimyasal araştırmalarda kullanılabilir.

3.1.4. Termal/ Termometrik Sensörler

Termal algılama biyosensörleri immobilize edilmiş enzim moleküllerinin sıcaklık sensörleri ile birleştirilmesiyle oluşmaktadır. Termal biyosensörler, sıcaklık değişimlerini algılayarak biyomolekül varlığını algılamak için kullanılmaktadır. Termometrik biyosensörler temelde klinik ve endüstriyel süreçlerin izlenmesi için kullanılmaktadır [7].

3.2. Biyotanıma

Biyosensörler, biyotanıma unsuruna bağlı olarak enzimatik, protein reseptörü tabanlı, immünosensör, DNA biyosensörleri ve tam hücre biyosensörleri olmak üzere 5 temel başlık altında incelenebilmektedir.

3.2.1. Enzimatik

Tespit edilemeyen substratın enzimle katalize edilerek elektrokimyasal olarak ölçülebilir sonuca dönüştürülmesi veya tersi prensibine dayanır [8]. Enzimle katalize edilen birçok reaksiyon, immobilize bir enzime bağlı uygun bir dönüştürücü kullanılarak ölçülebilir bir sonucun (yani *O₂, CO₂ ve iyonlar*) salınmasını veya kullanılmasını içermektedir [9]. Enzimatik olaylardan faydalanılarak analit molekülü biyosensör tarafından saptanmaktadır.

Enzimatik biyosensörler endüstriyel süreç izleme, ilaç etkinliğinin değerlendirilmesi, gıda-içecek endüstrisi gibi alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

3.2.2. Protein Reseptörü Tabanlı

Protein reseptörü bazlı biyosensörler veya katalitik olmayan protein biyosensörleri, hücre zarı proteinlerinin reseptör olarak hareket etme yeteneğine dayanır. Bu reseptörler, bağlanma sinyalinin ya metabotropik reseptörler (yani enzim sekresyonu) ya da iyonotropik reseptörler tarafından zar boyunca iletilmesine izin verir [10]. Hedef analitin tespiti için protein reseptörleri kullanılmaktadır ve biyosensör tarafından saptanmaktadır.

Protein reseptörü tabanlı biyosensörler kanser ve enfeksiyon gibi hastalıkların tespiti, ilaç keşfi ve geliştirilmesi, gıda-tarım endüstrisi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

3.2.3. İmmunosensör

İmmunosensörler' in çoğunun yapısı, antijenlerin ve antikorların katı bir destek üzerinde immobilize edildiği katı faz immünolojik testler kavramını kullanmaktadır. Sonuç olarak, katı-sıvı ara yüzünde bir antijen-antikor etkileşimi meydana gelmektedir [11].

Bu tip sensörlerde antikorların hedef analit moleküllerle etkileşimi tespit edilmektedir. Antikor, antijen, hormon, ilaç, virüs, bakteri ve pestisitlerin tespiti için yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.2.4. DNA Biyosensörleri

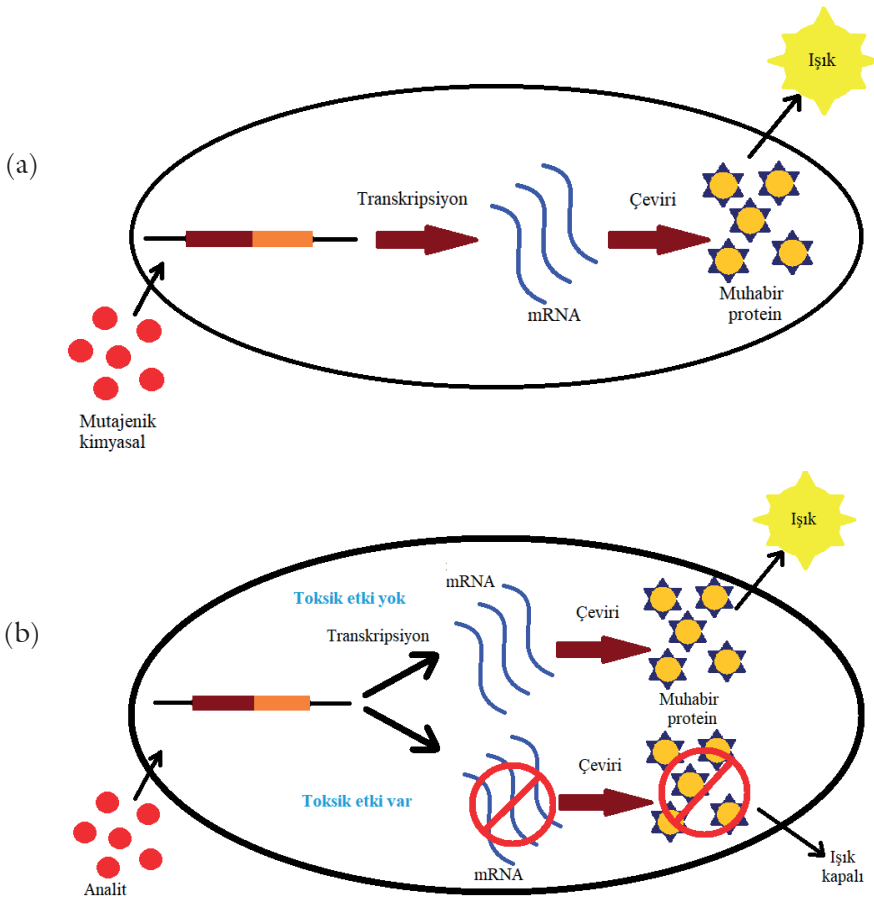
DNA-Aptamer bazlı biyosensörler, yüksek kararlılıkları, özgüllükleri ve çok düşük maliyetleri nedeniyle antikorlara alternatif olarak geliştirilmiştir [12]. DNA tespiti için kullanılan biyosensörler biyodedektör olarak adlandırılmaktadır. Burada temel amaç, DNA-DNA veya antikor-antijen bağının izole edilerek kuvvetinin ölçülmesidir. Bu yöntem ile DNA veya antijenin tespiti ve karakterinin analiz edilmesi sağlanmaktadır. Biyodedektörün çalışma prensibini şu şekilde açıklayabiliriz. Elde bulunan DNA'nın PCR kullanılarak birden fazla kopyası oluşturulur ve bu kopyalar üzerinde çeşitli biyosensörler kullanılarak birçok ölçüm yapılır. Bu ölçümlerde çeşitli patojenlerin tespitinde çok önemli bir yer almaktadır.

DNA biyosensörleri yaygın olarak genetik testler, patojen tespiti, çevre analizi, gıda güvenliği gibi alanlarda kullanılmaktadır.

3.2.5. Tam Hücre Biyosensörleri

Lüminesans raportör genlerine dayanan mikrobiyal biyosensörler, birçok tıbbi uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Genetik olarak tasarlanmış tam hücreli mikrobiyal biyosensör, kimyasal bileşimi, toksisiteyi, kanserojenliği

ve mutajenliği gerçek zamanlı ve uygun maliyetli bir şekilde bildirmek için prokaryotik veya ökaryotik hücreleri kullanmaktadır [13]. Biyoluminesans tabanlı biyosensörler genellikle donör deniz mikroorganizması *Vibrio fischeri*'den *luxCDABE* operonunu ve *V. Harveyi*'den lusiferazı kodlayan *luxAB* genlerini içermektedir [14, 15]. Biyoluminesans tabanlı biyosensörlerdeki ışık emisyonu, *luxCDABE* tarafından kodlanan bir dizi reaksiyon tarafından üretilmektedir. Biyoluminesans dayalı biyosensörler üç ana tiptedir: spesifik olmayan toksisite biyosensörleri (kurucu), stres kaynaklı veya yarı spesifik biyosensörler ve analite özgü biyosensörlerdir. Tam hücre mikrobiyal sensörünün genel yapısı ve mutajenik kimyasalların tespiti Şekil 2(a)'da gösterilirken spesifik olmayan bütünüün farklı ışık durumlarına göre tespiti Şekil 2(b)'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Tüm hücreli mikrobiyal biyosensörlerin genel prensibi ve yapısı (a) mutajenik kimyasalların/ilaçların saptanması için analite özgü biyosensörün yapımı ve genetik mühendisliği (b) spesifik olmayan bütünüün "Açık ışık" ve "Kapalı ışık" durumu için örnekleri

4. KARAKTERİZASYON YÖNTEMLERİ

Biyosensörler, biyolojik etkileşimleri algılamada ve ölçmede kullanılan cihazlar olarak önemli rol oynamaktadırlar. Bu cihazlar proteinler, DNA, hücreler gibi biyolojik moleküllerin varlığını ve aktivitesini tespit etmek ve bu tespit edilen biyolojik varlıklar hakkında bilgi sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Biyosensörlerin performansını değerlendirmek ve ölçümü gerçekleştirilen biyolojik olayların tutarlı bir biçimde yorumlanması amacıyla karakterizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan karakterizasyon yöntemleri arasında elektriksel, kimyasal, kronoempedans, interferometrik, amperometrik yöntemler bulunmaktadır. Bu karakterizasyon yöntemleri ile biyosensörlerin duyarlılık, kararlılık gibi performans metriklerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Aşağıdaki bölümlerde en sık kullanılan ve ilerideki bölümlerde deneylerde incelenecek yöntemler hakkında bilgi verilmiştir. Tablo 2’ de karakterizasyon yöntemlerine genel bir bakış sağlanmıştır.

Tablo 2. Karakterizasyon Yöntemleri

Karakterizasyon yöntemleri	Ölçülen parametre	Uygulanan method
Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS)	Empedans-frekans	Alternatif akım
Kronoempedans	Empedans	Alternatif akım
Kronokulometrik	Yük miktarı -Zaman	Doğru akım
Kronoamperometri	Potansiyel-zaman	Doğru akım
Optik	Optik özellikler	Elektromanyetik dalgalar
İnterferometrik	Işığın dalga özelliği	Elektromanyetik dalgalar

4.1. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) Yöntemi

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS), sistemin elektrokimyasal davranışını incelemek amacıyla kullanılan bir karakterizasyon yöntemidir. Bu yöntem, alternatif akımın (AC) belirli bir frekans aralığında uygulanması ve bu esnada sistemdeki empedansın frekansa bağlı olarak ölçülmesiyle gerçekleştirilmektedir. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ile yüzey hassasiyetlerini ve elektriksel dirençlerdeki farklılık tespit etmek mümkün olmaktadır [16].

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi ile yapılan geniş bir frekans aralığındaki ölçümler ile yüksek hassasiyet elde edilmektedir. Bu teknik ile

elektrokimyasal sistemlerin karakterizasyonu ve biyosensörlerin geliştirilmesi sağlanabilmektedir.

Bu yöntem, yük transfer direncinin (R_{ct}) glikoz konsantrasyonunun fonksiyonu olarak değerlendirilmesine dayanmaktadır. Yöntemin avantajı, düşük ölçüm hatasıdır fakat tek bir değerini hesaplamak için çoklu empedans ölçümü gerektirmektedir. [17].

4.2. Kronoempedans Yöntemi

Kronoempedans yönteminde bir biyosensör yardımıyla gerçek zamanlı ölçümler yapılmaktadır. Bu yöntem ile ölçüm yapılacak çözelti / bileşik ile etkileşimde bulunan elektrot üzerinden bir gerilim uygulanmaktadır. Bu işlemin ardından elektrot üzerinde meydana gelen empedans değişimi değerlendirilmektedir.

4.3. Kronokulometrik Yöntemler

Kronokulometri (CC) tekniğinde, elektrot yüzeyindeki yük miktarı ile zaman ilişkisi incelenmektedir. Kulometre, analiti kantitatif olarak başka bir oksidasyon durumuna geçirmek için gerekli elektriği (kulon olarak) ölçen bir grup analitik yöntemdir. Akımın zamana karşı grafiğe geçirilmesiyle ve bu grafiğin elektronik olarak veya matematiksel metotla integralinin alınmasıyla toplam yük bulunmaktadır. Bu yöntemle yük ve zaman arasındaki ilişki gözlemlenmesi sağlanır.

4.4. Kronoamperometri Yöntemi

Kronoamperometri yönteminde çalışma elektrodunun potansiyeli ani bir şekilde değiştirmektedir. Anotta bir yükseltgenme ve katotta bir indirgenme reaksiyonu gerçekleştiğinde faradaik reaksiyon gerçekleşir. Bu reaksiyon henüz meydana gelmediği yani yüzeyde elektroaktif türlerin konsantrasyonunun neredeyse sıfır olduğu bir potansiyelden, elektron aktarım hızının çok yüksek olduğu bir potansiyele aniden değiştirilmesi ile durgun ortamda potansiyel-zaman ilişkisi inceleme yöntemidir.

4.5. Optik Yöntemler

Optik karakterizasyon ile biyosenörlerin optik sinyalleri kullanarak biyolojik etkileşimleri tespit ettiği yöntem olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemde biyosensörler optik özellikleri değişen hedef molekül ile etkileşime girmektedir. Kullanılan optik sinyaller ışık Emilimi yansıması, saçılması, kırılması biçiminde olabilmektedir. Optik sinyallerde meydana gelen değişiklikler ölçülerek hedef molekül hakkında bilgi elde edilmektedir. Bu yöntem günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır.

4.6. İnterferometrik Yöntemler

İnterferometrik karakterizasyon yöntemi ile interferometri prensipleri kullanılarak biyolojik olayların tespit edilmesi amaçlanmaktadır. İnterferometri, ışık dalgasının birden fazla dalga boyuna ayrılması yaklaşımına dayanmaktadır. Biyosensörlerde, hedeflenen biyolojik moleküllerle etkileşime giren optik dalgaları interferometrik bir yapı oluşturmakta ve bu yapı birleşmektedir. Bu etkileşimin sonucunda meydana gelen optik değişiklikler sonucunda biyolojik hedefin varlığı algılanıp, ölçülebilmektedir. Bu yöntem hassas analizlerde ve biyolojik varlıkların algılanması gibi karakterizasyon uygulamalarında kullanılmaktadır.

5. BİYOSENSÖRLER İLE ÖRNEK UYGULAMALAR

Biyosensörler ile çeşitli biyolojik-kimyasal sistemlerden elde edilen verileri algılamak, analiz etmek ve karakterize etmek mümkündür. Bu nedenle biyosensör teknolojisi çeşitli uygulama alanlarında büyük bir potansiyel taşımaktadır. Aşağıda biyosensörler kullanılarak gerçekleştirilen örnek uygulamalar genel bir bakış gerçekleştirilmiş ve bu uygulamalarda karakterizasyon yöntemlerinin kullanımı incelenmiştir. Biyosensör teknolojisinin gelecekteki önemli yeri vurgulanmak istenmiştir.

5.1. Karbon Macunu/Glikoz Oksidaz (CP/GOx) Bazlı Glikoz Biyosensörü İçin Transdüksiyon Yöntemi Olarak Krono Empedans Tekniğinin Değerlendirilmesi

Martinez, C. ve arkadaşları çalışmalarında karakterizasyon temelinde gerçekleştirilen bir araştırmayı ele almaktadır. Bu çalışmada biyosensör sınıflandırmasında sinyal iletimi başlığı altında değerlendirilen elektrokimyasal biyosensörler, elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemi, kronoamperometri yöntemi ve kronoempedans yöntemi kullanılmıştır. Glikoz konsantrasyonunun gerçek zamanlı ölçümü için krono empedans tekniği (CIT) önerip uygulamışlardır. Bunun için birinci nesil glikoz biyosensörlerde CP/GOx bazlı biyosensörler kullanılmıştır. Bu malzeme, yüksek bir kimyasal inertlik sahiptir ve düşük elektrik direnci ile çok çeşitli anot çalışma potansiyelleri sağlamıştır. Karbon, enzimi polarize etmek için yeterli bir elektrik ortamı sağlamış ve biyosensör aracılığıyla akımın ölçülmesine izin vermiştir [18].

Deney düzeneği kurulduktan sonra biyosensörün performansını değerlendirmek için Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) kullanılmışlardır. Ardından glikoz konsantrasyonlarındaki artışından kaynaklanan elektrot-elektrolit arayüz empedansı (electrode–electrolyte

interface impedance EEIZ) belirlenmiş ve farklı konsantrasyonlar için en büyük ayrımı düşük frekans aralığında gözlemlemişlerdir. Sonraki aşamada sisteme eklenen glikozun mol başına empedans değişim oranını gösteren yüzde modülü normelleştirme (PMN) değerini hesaplanmışlardır. Düşük ve yüksek PMN değerlerinde ardışık olarak 5mM glikoz ilave edilerek empedans (Z) ve gerçek zamanlı tayini (Φ) incelenip doğrusal, ikinci dereceden polinom ve hiperbolik eğri uydurulmuştur. Elde edilen en yüksek korelasyon değerlerinin hiperbolik eğri uydurmaya karşılık geldiği gözlemlenmiştir.

Sonraki adımda empedans değişiminin glikozun biyoelektrokatalizinden kaynaklanıp kaynaklanmadığını doğrulamak için 3 farklı kontrol ölçümleri yapmışlardır. İlk ölçümde biyosensör üzerine art arda glikoz ilave edilmiştir. İkinci yapılan ölçümde biyosensör üzerine tampon çözeltisi art arda ilave edilmiştir. Son ölçümde ise yalnızca GOx'suz CP'den oluşan bir sensör, ilkiyle aynı koşullar altında glikoz ile test edilmiştir. Bu aşamalardan elde edilen GOx'suz CP elektrotunun farklı H_2O_2 konsantrasyonlarına empedansimetrik tepkisi araştırmış ve sonuçlar incelenmiştir. Sonuç olarak Yüksek glikoz konsantrasyonu aralığı (5–40 mM) için hiperbolik uydurma düşük aralık (2–10 mM) için doğrusal uydurma ile kalibrasyon tahmin edilmiştir. Glikoz konsantrasyonunun hem yüksek hem de düşük aralıkları için %5'in altında bir bağıl standart sapma (RSD) ile ölçümlerin tekrarlanabilirliğini ve yeniden üretilebilirliğini ortaya koyulmuştur.

Bu deneyde alternatif bir voltaj ekleyerek ara yüz empedansını ölçmek ve R_{ct} 'yi değerlendirmek mümkündür. Ek olarak, Sinyal-gürültü oranı (SNR) iyileştirilir ve ölçüm, elektromanyetik girişime karşı daha az duyarlıdır. İkinci olarak, tek frekanslı bir sinyalin kullanılması çevrimiçi sürekli ölçümlere izin verir. Bu yöntem AC, DC değerlerinin ve frekansın önceden belirlendiği varsayılarak diğer herhangi bir biyosensör sistemine uygulanabilir.

5.2. Protein Karakterizasyonu İçin Yeni Bir Optik Biyosensör

Cross ve arkadaşları karakterizasyon odaklı bir çalışmayı ele almışlardır. Bu çalışmada optik biyosensörlerin sinyal iletimi üzerindeki rolü değerlendirilmiştir. Çalışmanın ana amacı optik biyosensörlerin kullanımıyla protein karakterizasyonu gerçekleştirmektir. Bu amaç doğrultusunda optik ve interferometrik karakterizasyon yöntemleri kullanılmış ve yeni bir optik biyosensör geliştirilerek protein karakterizasyonunda değerlendirilmiştir.

Araştırmacılar, optik biyosensör tarafından belirlenen yoğunluk ve kalınlık özelliklerine dayanarak adsorbe edilen protein katmanlarının karakterizasyonunu gerçekleştirmiştir. Bu karakterizasyonda çift dalga kılavuzu interferometrik teknik kullanılmıştır. Dalga kılavuzunda TE ve TM

modlarının dağılımındaki farklılar biyolojik katmanın kalınlık ve kırılma indisinin belirlenmesine yardımcı olmuştur.[19].

İlgili çalışmada yapılan deneylerde, fosfat tampon çözeltisi (PBS) ile aminli bir çipe akıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. İlk deneyde, aminli çip üzerinde pH değeri 7.4 olan stabil bir baz çizgisi elde edilene kadar PBS akıtılmıştır. Daha sonra amin yüzeyine Sülfö-NHS-LC-Biyotin uygulanmış ve ardından kararlı bir baz çizgisi elde edilene kadar PBS akışı devam edilmiştir. Sonrasında PBS içinde çözülen Streptavidin çipe akıtılmış ve reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Streptavidin tabakasının kalınlığı ve kırılma indisi ölçümleri yapılmış ve tamponla yıkama sonrasında hafif bir azalış olduğu gözlenmiştir [20].

İkinci deneyde ise PBS ile amin işlevselleştirilmiş bir çip üzerinden geçirilmiş ve ardından PBS içine anti-HSA enjekte edilmiştir. Anti-HSA tabakasının kalınlığı ve yoğunluğu ölçülmüş, %51,6 kaplama oranı elde edilmiştir. Bu sonuçlar, çift polarizasyon tekniğinin diğer optik ve analitik ölçümlerle karşılaştırıldığında daha detaylı analizler sağlayabileceğini göstermektedir. Yeni interferometrik teknik, ince biyolojik film katmanlarının kalınlığı, yoğunluğu ve kırılma indisi gibi özelliklerinin gerçek zamanlı olarak ölçülmesini sağlamaktadır. Bu teknik, geleneksel tekniklerle uyumlu sonuçlar vererek protein yapılarına ilişkin önemli bilgiler sağlamaktadır [21].

Yapılan deneyler, geliştirilen interferometrik tekniğin etkili bir araç olduğunu ve biyomedikal uygulamalarda önemli bir yere sahip olabileceğini göstermektedir. Bu teknik, biyosensörlerin tasarımı ve karakterizasyonunda kullanılabilirliği gibi, biyolojik materyallerin özellikleri hakkında bilgi sağlayarak hastalıklarla ilgili fikir vermekte ve araştırmalarda kullanılabilir [22].

5.3. Formaldehit için Elektrokimyasal Bir Biyosensör

Herschkovitz ve arkadaşları çalışmalarında karakterizasyon temelinde gerçekleştirilen bir araştırmayı ele almaktadır. Bu çalışmada biyosensör sınıflandırmasında biyotanıma başlığı altında değerlendirilen enzimatik biyosensörler ve sinyal iletim başlığı altında değerlendirilen elektrokimyasal biyosensörler kullanılmıştır. Araştırmacılar bu biyosensörlerin kullanımıyla formaldehit tespiti yapmayı hedeflemektedir [23].

Yapılan çalışmalarda kimyasal olarak formaldehit dehidrogenaz enzimi ve bir Os(bpy)2-poli(vinilpiridin) (POs-EA) kullanan, bir biyosensör ölçüm cihazı ile bir akış enjeksiyon sisteminin bağlanmasına dayanan yeni bir tespit yönteminin gelişimini bildirmektedir. Hareketsizleştirilmiş FDH ve bir Os(bpy)2 -poli(vinilpiridin) (POs-EA) değiştirilmiş SPE kullanan bir

biyosensör ölçüm cihazı ile bir akış enjeksiyon sisteminin bağlanmasına dayanan sulu çözeltilerde formaldehit tayini gerçekleştirilmiştir. Burada açıklanan sistem, karşılık gelen dehidrojenazları kullanılarak diğer substratlara kolayca uyarlanabilmektedir. Hava ölçümleri için, standart hava ölçümlerinde olduğu gibi, kirleticinin havadan sulu bir çözeltiye aktarılması ve bir hava örnekleme cihazı ile birleştirilmesi gerekmektedir. Sensör sulu solüsyonda 30 ng ml^{-1} formaldehit algılayabilmektedir. Sensör seçicidir, ucuzdur, birkaç gün boyunca stabildir ve tek kullanımlıdır, ayrıca üretimi ve çalıştırılması kolaydır [24,25].

Elektrokimyasal sistem amperometrik ölçümlere dayanıyordu. SPE, ev yapımı bir mikro akış hücresine yerleştirilerek, bir şırınga pompasına ve bir enjeksiyon döngüsü ile donatılmış bir enjektöre bağlanmıştır. Enzimatik membran doğrudan SPE üzerine yerleştirilmiştir. Elektrotlar, bilgisayar kontrollü bir BAS 100B potansiyostatına bağlanmıştır. Elektrokimyasal hücre, bir şırınga kullanılarak $\text{NAD}^{++} \text{KCl}^+$ potasyum fosfat tampon çözeltisi (pH 8) çalışma solüsyonu ile yıkanmıştır [26].

Elektrokimyasal saptamanın hassasiyeti, NADH^+ 'den POs-EA aracı aracılığıyla karbon elektroduna elektron transferinin verimliliğine bağlıdır. Bu nedenle, önce bu reaksiyonun optimal koşullarını belirlenmiştir [26].

Formaldehit varlığında veya yokluğunda, bir Immunodyne® membran üzerinde immobilize edilmiş FDH ile akış hücresinde elde edilen POs-EA modifiye elektrodun döngüsel voltamogramlarını tespit edilmiştir, formaldehit eklenmesi daha yüksek bir anodik akımla sonuçlanmaktadır [26].

Biyosensörün değişen farklı formaldehit konsantrasyonlarının art arda enjeksiyonlarına tepkisi gözlemlenmiştir. Hızlı yanıt ve yüksek hassasiyet açıkça gösterilmiştir. Sinyal akımının azalan kısmında kuyruklar görülmesine rağmen, formaldehite tepki tekrarlanabilir ve doğrusal olarak tespit edilmiştir. FDH^+ 'siz kontrol deneylerinde formaldehit enjeksiyonuna yanıt gözlenmemektedir [26].

Kofaktör konsantrasyonunu, pH'ı, akış hızını ve enzim konsantrasyonunu optimize ederek formaldehit sensör performansı optimize edilmiştir. Optimum NAD^+ konsantrasyonu, daha yüksek NAD^+ konsantrasyonlarında mevcut yanıt azalmıştır. NADH^+ 'nin reaksiyonu, temas eden tamponun pH'ı ile ters bir şekilde değişmiştir, böylece pH ne kadar yüksekse, reaksiyon hızı o kadar düşüktür. Bu akış hızı, enzimin hem substrat hem de kofaktör ile reaksiyona girmesi için yeterli zaman sağlamıştır [24,25].

NADH^+ 'nin aracı tarafından elektrokatalitik oksidasyonunun, NAD^{++} -bağımlı dehidrojenaz enzimleri tarafından katalize edilen reaksiyona

bağlanması, çok çeşitli diğer substratlar için amperometrik biyosensörlerin yapımını mümkün kılmaktadır. İmmobilize ADH, fermantasyonla ilgili bir etanol biyosensörü geliştirmek için kullanılabilir. Artan konsantrasyonlarda art arda etanol ilavesi, mevcut yanıtta paralel bir ardışık artışla sonuçlanmaktadır. Konsantrasyon ve yanıt arasında doğrusal bir korelasyon elde edilmiştir. Bu biyosensör, küçük bir enzim yüklemesi kullanılarak çok küçük (10–9 g) alkol miktarlarını tespit edebilmektedir [27,28].

5.4. Biyosensörler ile Örnek Uygulamaların Değerlendirilmesi

Aşağıdaki tabloda bölüm 4.1. anlatılan uygulamadaki grafiklerin empedansın modülü (Z) ve gerçek zamanlı tayini (Φ) ayrı ayrı analiz edilip her parametre için birkaç tip eğri yerleştirilmiştir.

Tablo 3. Eğri uydurma için korelasyon katsayıları

Eğri tipi	Doğrusal	İkinci dereceden polinom	Hiperbolik
Empedans için korelasyon değeri	0,911	0,992	0,999
Gerçek zamanlı tayini için korelasyon değeri	0,866	0,983	0,998

Yukarıdaki tabloda anlaşılacağı üzere en yüksek korelasyon değerlerinin hiperbolik eğri uydurmaya karşılık geldiği gözlemlenmiştir. Son olarak krono empedans ve optik yöntem içinde bulunan kolorimetrik yöntemler arasındaki korelasyonu farkı gösterilmiştir. Bu değer $R^2 = 0,98$ gibi yüksek bir korelasyon elde edilmiştir.

Tablo 4 ve Tablo 5'te bölüm 4.2.' de anlatılan örnek uygulamanın sonuçları değerlendirilmiştir.

Tablo 4. Sekiz ölçümün sonucunda elde edilen kalınlık ve kırılma indisi sonuçları

Protein Katmanı	Kalınlık	Kırılma İndisi
LC-Biotin	0.569	53.81
Streptavidin	6.101	15.75
Biotinylated Ab	2.169	1.931

Tablo 4' de art arda gerçekleştirilen sekiz deney serisinin sonucunda protein katmanlarında elde edilen kalınlık ve kırılma indisi değerleri görülmektedir. Biotin katmanının kalınlığında belirgin bir değişiklik görülmesi bu duruma antikörlerin yönelim farklılıklarının sebep olduğu düşünülmüştür. Antikör

tabakasının kalınlığının istikrarlı bir şekilde kontrol edilemediği fikrine varılmıştır. Aşağıdaki Tablo 5’ te uygulanan çift polarizasyon tekniği mevcut diğer teknikler ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 5. Çift polarizasyon tekniğinin diğer teknikler ile karşılaştırılması

Teknik	Hassasiyet	Gerçek Zamanlı Ölçüm	Laboratuvar Kullanımına Uygunluk
SPR	-	Evet	Evet
X ışını kristalografisi	Yüksek	Hayır	Evet
Nötron yansımaları	Çok yüksek	Hayır	Hayır
Çift polarizasyon	Çok Yüksek	Evet	Evet

Laboratuvar koşullarında yüksek hassasiyet ile gerçek zamanlı ölçüm gerçekleştirilmek istendiğinde” Çift Polarizasyon” tekniğinin diğer tekniklere göre daha başarılı olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ

Biyosensörler, hedef moleküllerin tespit sürecinde kolaylık sağlayan biyolojik ve kimyasal olayların hassas ve hızlı bir şekilde tespit edilmesinde rol alan biyoteknolojik cihazlardır. Bu gelişmiş teknoloji günümüzde tıp, gıda, çevre gibi alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Çeşitli şekillerde sınıflandırılabilen biyosensörler sinyal iletim ve biyotanıma olarak iki başlık altında incelenmiştir. Sinyal iletim başlığı altında elektrokimyasal, optik, kütleye duyarlı, termal biyosensörler yer alırken biyotanıma başlığı altında enzimatik, protein reseptörü tabanlı, immunosensör, DNA biyosensörleri, Tüm hücre biyosensörleri yer almaktadır.

Ayrıca karakterizasyon yöntemleri olarak yaygın kullanılan elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS), kronoempedans, kronokulometrik, kronoamperometri, optik ve interferometrik yöntemler hakkında temel bilgiler verilmiştir.

Yaygın kullanım alanları bulunan biyosensörler Tıp alanında hastalıkların teşhisi, tedavi takibi, ilaç geliştirme gibi amaçlarla yaygın kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra çevre analizlerinde, gıda kalite ve güvenliği analizlerinde, endüstriyel üretim süreçlerinde geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır.

Biyosensörlerin karakterizasyonu, performanslarının belirlenmesi ve kalite kontrolünün yapılması açısından son derece önem arz etmektedir. Bu amaçla çeşitli deneyler gerçekleştirilmektedir. Çalışmamızda bu amaçla gerçekleştirilen bazı deneyler incelenmiştir.

İlk yöntemde alternatif bir voltaj ekleyerek ara yüz empedansını ölçmek ve R_{ct} 'yi değerlendirmek için tek frekanslı bir sinyalin kullanılması ve AC-DC voltaj değerlerinin ve frekansın önceden belirlenmiştir. Böylece çıktıdaki SNR iyileştirilir ve ölçü elektromanyetik girişime karşı daha az duyarlı hale getirilmiştir.

Yeni geliştirilen optik biyosensör aracılığıyla (ikinci çalışma) protein katmanlarının yoğunluk, kalınlık gibi karakterizasyonlarının çift dalga kılavuzu interferometrik tekniğine dayalı optik biyosensör yardımıyla anlık ve hızlı bir biçimde ölçülebildiği görülmüştür. Protein katmanlarının belirlenecek kalınlık gibi özelliklerinin belirlenmesi sırasında dalga kılavuzu farklı polarizasyonlarda kullanılmaktadır. TE (Transverse Electric) ve TM (Transverse Magnetic) modlarının dağılımındaki farklılıklar biyolojik katmanın kalınlık ve kırılma indisinin belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Elde edilen kırılma indisi gibi verilen DSP üzerinden bir bilgisayara aktarılarak anlık olarak karakterizasyon verileri sağlanmaktadır.

Üçüncü çalışmada ise genel olarak uygulanabilir bir yaklaşım ve enzimatik olarak üretilen NADH'nin aracılı oksidasyonuna dayanan üç örnek sunulmuştur. Deneylerimizde formaldehit, alkol ve sorbitolün ilgili tespiti için formaldehit dehidrojenaz, ADH ve SDH olmak üzere üç dehidrojenaz kullanılmakta ve formaldehit tespitini vurgulanmaktadır. Sonuç olarak uygun bir biyosensör, temel gereksinimleri bir araya getiriyor: basitlik, seçicilik, hassasiyet, yeniden kullanılabilirlik, geniş bir çalışma aralığı ve düşük maliyet.

Biyosensör teknolojisi sayesinde daha sağlıklı güvenli ve sürdürülebilir bir dünyaya adım atmamız mümkün olacaktır. Bu nedenle biyosensör teknolojisinin geliştirilmesi, yaygınlaştırılması son derece önemlidir.

KAYNAKÇA

- [1] Mohanty, S. P. ve Kougianos, E. (2006). *Biosensors: A tutorial review*. IEEE Potentials, 25(2), 35-40.
- [2] Marquette, C. A. ve Blum, L. J. (2006). *State of the art and recent advances in immunoanalytical systems*. Biosensors and Bioelectronics, 21(8), 1424-1433.
- [3] Su, L., Jia, W., Hou, C. ve Lei, Y. (2011). *Microbial biosensors: a review*. Biosensors and bioelectronics, 26(5), 1788-1799.
- [4] Yoo, S. M. ve Lee, S. Y. (2016). *Optical biosensors for the detection of pathogenic microorganisms*. Trends in biotechnology, 34(1), 7-25.
- [5] Ziegler, C. ve Göpel, W. (1998). *Biosensor development*. Current opinion in chemical biology, 2(5), 585-591.
- [6] Raiteri, R., Grattarola, M., Butt, H. J. ve Skládal, P. (2001). *Micromechanical cantilever-based biosensors*. Sensors and Actuators B: Chemical, 79(2-3), 115-126.
- [7] Ramanathan, K. ve Danielsson, B. (2001). *Nanoscale biosensors and biochips*. Biosens. Bioelectron. 16,417-423.
- [8] Hassan, S. H., Van Ginkel, S. W., Hussein, M. A., Abskharon, R. ve Oh, S. E. (2016). *Toxicity assessment using different bioassays and microbial biosensors*. Environment international, 92, 106-118.
- [9] Marco, M. P. ve Barcelo, D. (1996). *Environmental applications of analytical biosensors*. Measurement Science and Technology, 7(11), 1547.
- [10] Paddle, B. M. (1996). *Biosensors for chemical and biological agents of defence interest*. Biosensors and Bioelectronics, 11(11), 1079-1113.
- [11] Scheller, F. W., Wollenberger, U., Warsinke, A. ve Lisdat, F. (2001). *Research and development in biosensors*. Current Opinion in Biotechnology, 12(1), 35-40.
- [12] Ellington, A. D. ve Szostak, J. W. (1990). *In vitro selection of RNA molecules that bind specific ligands*. Nature, 346(6287), 818-822.
- [13] He, W., Yuan, S., Zhong, W. H., Siddikee, M. A. ve Dai, C. C. (2016). *Application of genetically engineered microbial whole-cell biosensors for combined chemosensing*. Applied microbiology and biotechnology, 100, 1109-1119.
- [14] Prosser, J. I. (1994). *Molecular marker systems for detection of genetically engineered micro-organisms in the environment*. Microbiology, 140(1), 5-17.
- [15] Hansen, L. H. ve Sørensen, S. J. (2001). *The use of whole-cell biosensors to detect and quantify compounds or conditions affecting biological systems*. Microbial ecology, 42, 483-494.
- [16] Gundogdu, A., Gazoglu, G., Kahraman, E., Yildiz, E., Candir, G., Yalcin, D. ve Fatih, Ş. E. N. (2023). *Biosensors: Types, Applications, And Future Advantages*. Journal of Scientific Reports-A, (052), 457-481.

- [17] Shervedani, R. K., Mehrjardi, A. H. ve Zamiri, N. (2006). *A novel method for glucose determination based on electrochemical impedance spectroscopy using glucose oxidase self-assembled biosensor*. *Bioelectrochemistry*, 69(2), 201-208.
- [18] Zhang, S., Wright, G. ve Yang, Y. (2000). *Materials and techniques for electrochemical biosensor design and construction*. *Biosensors and Bioelectronics*, 15(5-6), 273-282.
- [19] Cross, G. H., Reeves, A. A., Brand, S., Popplewell, J. F., Peel, L. L., Swann, M. J. ve Freeman, N. J. (2003). *A new quantitative optical biosensor for protein characterisation*. *Biosensors and Bioelectronics*, 19(4), 383-390.
- [20] Pugliese, L., Coda, A., Malcovati, M. ve Bolognesi, M. (1993). *Three-dimensional structure of the tetragonal crystal form of egg-white avidin in its functional complex with biotin at 2.7 Å resolution*. *Journal of molecular biology*, 231(3), 698-710.
- [21] Lukosz, W., Clerc, D. ve Nellen, P. M. (1990). *Input and output grating couplers as integrated optical biosensors*. *Sensors and Actuators A: Physical*, 25(1-3), 181-184.
- [22] Knoller, S., Shpungin, S. ve Pick, E. (1991). *The membrane-associated component of the amphiphile-activated, cytosol-dependent superoxide-forming NADPH oxidase of macrophages is identical to cytochrome b559*. *Journal of Biological Chemistry*, 266(5), 2795-2804.
- [23] National Air Quality and Emissions Trend Report: Air Toxics, US Environmental Protection Agency, 1996, Ch. 5. (https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-11/documents/trends_report_1996.pdf) (Erişim tarihi: 10.06.2023)
- [24] Vianello, F., Stefani, A., Di Paolo, M. L., Rigo, A., Lui, A., Margesin, B. ve Soncini, G. (1996). *Potentiometric detection of formaldehyde in air by an aldehyde dehydrogenase FET*. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 37(1-2), 49-54.
- [25] Hämmerle, M., Hall, E. A., Cade, N. ve Hodgins, D. (1996). *Electrochemical enzyme sensor for formaldehyde operating in the gas phase*. *Biosensors and Bioelectronics*, 11(3), 239-246.
- [26] Herschkovitz, Y., Eshkenazi, I., Campbell, C. E. ve Rishpon, J. (2000). *An electrochemical biosensor for formaldehyde*. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 491(1-2), 182-187.
- [27] L.J. Gorton, *J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1* (1986) 1245. (<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1986/f1/f198682fx015>) (Erişim tarihi: 10.06.2023)
- [28] Lobo, M. J., Miranda, A. J. ve Tuñón, P. (1997). *Amperometric biosensors based on NAD (P)-dependent dehydrogenase enzymes*. *Electroanalysis*, 9(3), 191-202.

Biyosensörlerin Sınıflandırılması, Karakterizasyon Yöntemi, Uygulama Alanları ve Geleceği

Burak TAŞ¹

Zeynep BALTA²

Fatih KAYA³

Muhammed Şamil ÇİMEN⁴

Hakan ERKAN⁵

Muratcan ÇAM⁶

Özge TÜZÜN ÖZMEN⁷

1. GİRİŞ

Biyosensörler, bir numunede enzimler ve proteinler dahil olmak üzere birçok biyolojik moleküllerin varlığını tespit edebilen sensör türleridir. Bu sensörler, 35 yıldan fazla bir süredir gelişim göstermekle beraber, son 15 yıldır dikkatleri daha fazla üzerine çekmeyi başarmış analitik cihazlar

-
- 1 Araştırma Görevlisi, İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, burak.tas@bakircay.edu.tr , ORCID: 0000-0002-9928-5004
 - 2 Yüksek Lisans Öğrencisi, İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 6017006@bakircay.edu.tr , ORCID: 0000-0002-9669-4582
 - 3 Yüksek Lisans Öğrencisi, İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 6017024@bakircay.edu.tr , ORCID: 0009-0008-8272-2977
 - 4 Yüksek Lisans Öğrencisi, İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 6017008@bakircay.edu.tr , ORCID: 0009-0006-1048-0855
 - 5 Yüksek Lisans Öğrencisi, İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 6017007@bakircay.edu.tr , ORCID: 0009-0008-3098-4043
 - 6 Yüksek Lisans Öğrencisi, İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 6017018@bakircay.edu.tr , ORCID: 0009-0005-7761-1875
 - 7 Profesör Doktor, İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, ozge.ozmen@bakircay.edu.tr , ORCID: 0000-0002-5204-3737

olarak hayatımıza girmişlerdir. Biyolojik bir cevabı elektrik sinyaline dönüştürebilen bir yapıya sahip olmasından dolayı bilimsel camiada da önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Biyosensörler, reseptör(alıcı) ve transdüser(dönüştürücü)e göre sınıflandırılır. Biyolojik açıdan reseptörler, çeşitli uyarıları alabilmekte ve özelleşmiş hücre, hücre grupları veya sinir uçları şeklinde duyu organlarının yapısında bulunabilmektedir. Transdüserler ise, bir enerji formunu başka bir enerji formuna dönüştüren cihazdır. Bu dönüşüm, elektriksel, manyetik, elektromanyetik, kimyasal, termal enerji biçimleri olabilir. Transdüser, önce bir enerji biçimindeki parametreyi algılar ve onu başka bir enerji biçimine, genellikle de elektrik sinyali formuna dönüştürür. Bu işlem eğer biyolojik formdan elektrik formuna doğru ise, yapılan işlemin biyosensör sınıfına girdiği anlaşılır. Özellikle teknoloji, tıp, teşhis, savunma, gıda endüstrisi ve çevresel izleme alanlarında yoğun şekilde kullanılmakla beraber çok çeşitli biyoloji alanlarında da tercih edilmektedir. Yaygın olarak kullanılan bir biyosensör örneği, diyabet hastalarında şeker seviyesi ölçümünün gerçekleştirilmesi işlemidir. Biyosensörler, sınırlı zamanlamalarda doğru sonuçlar için müşteri dostu ve bütçeli cihazlarda çok yönlü uygulamaları bulunan yüksek verimli dedektörlerdir[1]. Bu sensörler ile uluslararası alanda birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Örneğin Yi ve arkadaşları, mikrobiyal toksinlerin belirlenmesi için çeşitli yeni optik biyosensörlerdeki son gelişmeleri, floresan, kolorimetrik, kemilüminesan, elektrokemilüminesan, yüzey plazmon rezonansı ve yüzey geliştirilmiş Raman saçılma biyosensörlerine vurgu yapılarak ele almışlardır[2]. Senolsun ve arkadaşı ise, Bisfenol-A'nın belirlenmesi için Çok Duvarlı Karbon Nanotüp ile modifiye edilmiş Miyogloblin bazlı yeni bir enzimatik olmayan karbon macun biyosensörü geliştirmişlerdir[3]. Zhu ve arkadaşları, akıllı elektrokimyasal biyosensörler oluşturmak için uygulanabilen aktif algılama parçaları ve elektrotlar üzerinde elektriksel olarak bağlantılı arayüzler tasarlamayı amaçlamışlardır[4].

Biyosensörlerin optik dönüştürücüler, piezoelektrik cihazlar ve termometrik dönüştürücüler gibi farklı tipleri bulunmaktadır. Ayrıca, enzimatik sensörler, immünosensörler, DNA sensörleri, mikrobiyal biyosensörler ve supramoleküler temelli biyosensörler gibi farklı biyosensör tipleri ve tasarımları da ele alınmaktadır [5].

Biyosensörlerde kullanılan biyolojik bileşenlerin(enzimler, antikorlar, DNA gibi) immobilizasyonu, sensör performansının ve duyarlılığının artırılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Immobilizasyon yöntemleri arasında adsorpsiyon, mikrokapsülleme, içirme, çapraz bağlama ve kovalent bağlama gibi farklı teknikler yer almaktadır[6]. Biyosensörlerde kullanılan

biyolojik bileşenlerin doğru bir şekilde immobilize edilmesi, sensörün performansını etkileyen kritik bir faktördür [7].

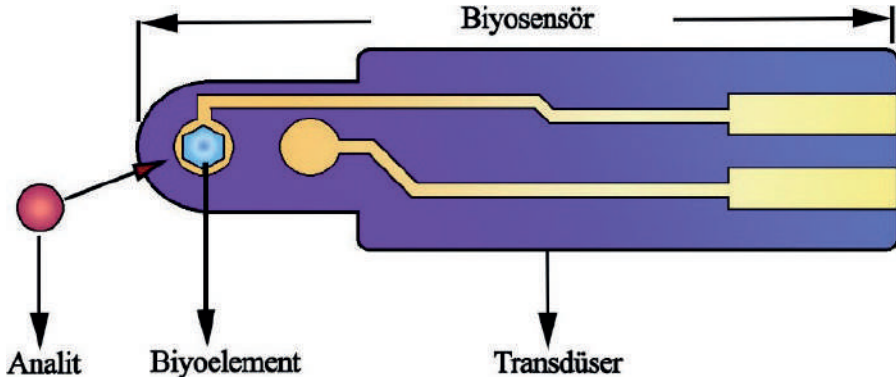
Bu kitap, biyosensörlerin genel çalışma prensipleri, tasarımları ve uygulama alanları hakkında detaylı bir araştırmaya sahiptir. Okuyucularının biyosensör teknolojisinin temellerini ve farklı bölümlerde kullanılan biyosensör tiplerini anlamalarına yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmayla, biyosensörlerin çeşitli dönüştürücü tipleri, biyolojik bileşenlerin immobilizasyonu ve gıda endüstrisindeki uygulama alanları gibi konular ele alınarak okuyucularına geniş bir bakış açısı kazandırmayı amaçlamaktadır.

Birinci bölümde, biyosensörlerin genel çalışma prensipleri ve tasarımı hakkında bilgi verilmektedir. İkinci bölümde, biyosensörlerin sınıflandırılması ve biyolojik bileşenlerin immobilizasyonu konusu ele alınmaktadır. Üçüncü bölümde, biyosensörlerin uygulama alanları ve üretim tekniklerine değinilmiştir. Örneğin, gıda güvenliği, kalite değerlendirmesi ve süreç izleme gibi alanlarda biyosensörlerin kullanımı, hızlı ve doğru sonuçlar elde etmeyi sağlamaktadır. Bu yüzden, gıda endüstrisindeki biyosensör uygulamaları detaylı bir şekilde incelenmektedir. Dördüncü bölümde, biyosensörlerin elektrokimyasal algılama teknikleri konusu incelenmektedir. Beşinci bölümde, biriktirme ve karakterizasyon konusu hakkında bilgi verilirken kitabın altıncı bölümünde, biyosensörlerin geleceği detaylı bir şekilde tartışılmaktadır.

Biyosensör teknolojisiyle ilgilenen araştırmacılar, öğrenciler ve endüstri alanındaki profesyoneller için bu kitap, alanında güncel bilgiler sunarak kapsamlı bir bilgilendirme sağlamaktadır.

1.1. BİYOSENSÖRLERİN GENEL ÇALIŞMA İLKELERİ VE TASARIM

Biyosensör, hassas biyomalzemeler kullanarak belirli molekülleri 'tanyan' ve bunların varlığı ve miktarı hakkında kayıt ve işlemeye uygun bir sinyal olarak bilgi sağlayan analitik bir cihaz olduğu görüşü savunulmaktadır. Biyosensörler üç temel bileşenden oluşur. Çeşitli biyolojik yapılar içeren biyoselektif membran olan bir *tanıma elemanı*, fiziksel bir dönüştürücü(transdüser), sinyal amplifikasyonu ve kaydı için bir elektronik sistem ve kullanıcı dostu *veri ekranı*. Tanıma elemanları herhangi bir sensörün temel yapı taşlarıdır. Ayrıca bir sensörün diğer birçok madde arasından bir veya daha fazla analite seçici olarak tepki verebilmesinin de nedenidir. Biyosensörlerde enzimler, antikorlar, reseptörler, nükleik asitler ve hatta canlı hücreler de dahil olmak üzere her türlü biyolojik yapı, tanıma elemanı olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1. Bir biyosensörün temel bileşenleri[8]

Tablo 1. Biyosensörü oluşturan yapılar ve çeşitleri

Biyoreseptör	Transdüser
Enzimler	Elektrokimyasal
Antikorlar	Elektriksel
Nükleik asitler	Optiksel
Hücreler	Piezoelektrik
	Termometrik

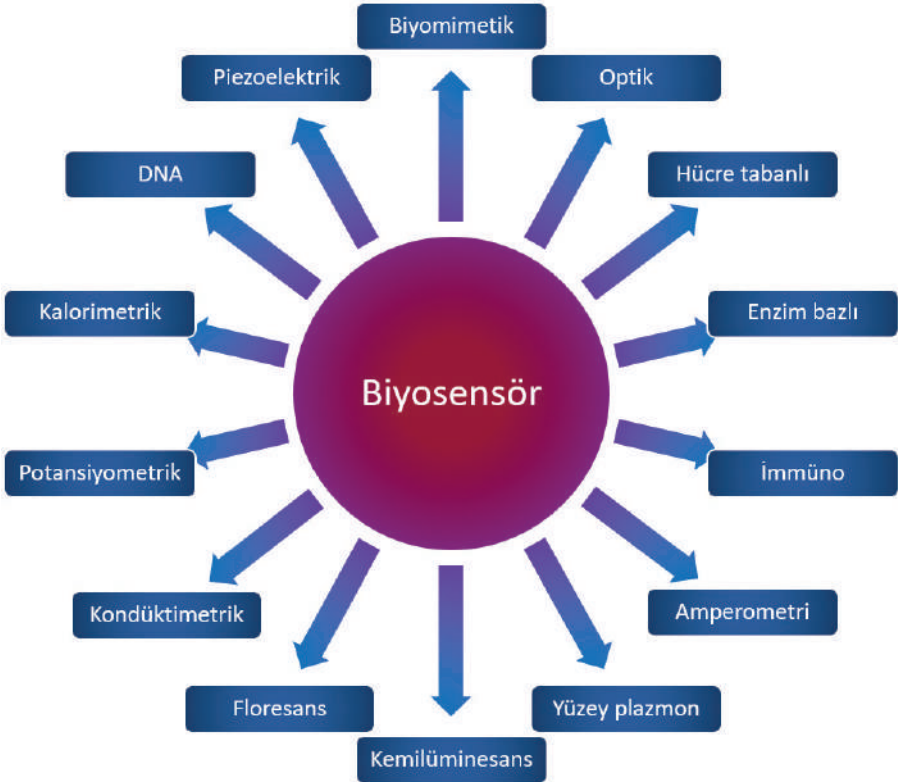
Şekil 1’de, bir biyosensör genellikle elektriksel, termal veya optik sinyallerle kimyasal bileşikleri tespit etmek için izole edilmiş enzimler, bağışıklık sistemleri, dokular, organeller veya tüm hücreler tarafından aracılık edilen spesifik biyokimyasal reaksiyonları kullanan bir cihaz olduğu gösterilmektedir. Ayrıca tablo 1’de biyosensörü oluşturan iki yapı ve bunların çeşitleri listelenmektedir. Biyoreseptör olarak bir enzim, antikor, nükleik asit, lektin, hormon, hücre yapısı veya doku kullanılabilir. Görevi, spesifik olarak hedef analit ile etkileşime girer ve bu analit biyokimyasal reaksiyonun sonucu olarak transdüser aracılığıyla ölçülebilir sinyale dönüştürülür. İletim sistemleri elektrokimyasal, optik, piezoelektrik, termometrik, iyon duyarlı, manyetik veya akustik olabilir. Biyosensör üretiminin çok önemli bir kısmı, biyobileşenin hareketsizleştirilmesidir. Hareketsizleştirilmiş moleküller ile biyosensörlerin performansı, kimyasal ve fiziksel koşullar (pH, sıcaklık ve kirleticiler), malzemelerin kalınlığı ve stabilitesi gibi faktörlere bağlıdır[9].

2. BİYOSENSÖRLERİN SINIFLANDIRILMASI VE İMMOBİLİZASYONU

Biyosensörler, transdüserin tipine(potansiyometrik, voltammetrik, iletken, empedans, optik ve termometrik vs.) veya biyolojik bileşenlerinin doğasına(immünösensör) göre sınıflandırılır. Ayrıca bir biyosensörün güvenilir bir şekilde çalışabilmesi için biyolojik bileşenlerinin transdüserin yüzeyine bağlanması gerekir. Bu süreç biyolojik bileşenin immobilizasyonu olarak bilinir.

2.1. Biyosensörlerin Sınıflandırılması

Biyosensörler, çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmışlardır. Ancak en yaygın kullanılan sınıflandırma iki faktöre dayanır: biyoreseptör ve sinyal iletimi (yani transdüser)[10]. Şekil 2’de, mühendislik alanında kullanılan biyosensörlerin çeşitleri listelenmiştir. Bu biyosensörlerin her birinin kendine özgü çalışma prensipleri bulunmaktadır.



Şekil 2. Mühendislik alanında kullanılan biyosensörlerin çeşitleri[8]

2.1.1. Potansiyometrik Biyosensör

Analitik sinyal, çalışan elektrot ile referans elektrot arasındaki veya yarı geçirgen bir zarla ayrılmış iki referans elektrot arasındaki potansiyel düşüştür(elektrokimyasal hücre boyunca sıfır akımda). Bir iyon seçici elektrot(ISE) genellikle dönüştürücü olarak görev yapar. En yaygın potansiyometrik biyosensörler pH elektrotları kullanırlar.

Potansiyometrik biyosensörlerle gerçekleştirilen çalışmalarda son dönemlerde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Elektrolitler için potansiyometrik sensörler artık birçok şirket tarafından en uygun ürünler olarak kabul edilmektedir. Enzimler, antikorlar, aptamerler, peptitler ve hatta tüm hücreler gibi biyoreseptörlerin kullanımına dayalı potansiyometrik biyoalgılamaya odaklanma çalışmaları da gerçekleştirilmiştir[11].

2.1.2. Voltammetrik Biyosensör

Voltammetrik biyosensörün çalışma prensibine göre, elektroaktif türlerin oksidasyon veya redüksiyon akımları ölçülür. Daha sonra, elektrotlar arasında önceden ayarlanmış bir potansiyel fark oluşturularak indüklenir. Çoğu durumda, çalışma elektrodu (veya bir elektrot demeti) bir referans elektroda göre sabit bir potansiyele tabi tutulur. Gözlenen akım ya elektroaktif türlerin hacim konsantrasyonu ya da biyokatalitik katmandaki elektroaktif türlerin kaybolma veya oluşma hızıyla orantılıdır.

2.1.3. İletken Biyosensör

Biyokimyasal reaksiyonlar sırasında çözeltilerin elektrik iletkenliğini ölçen cihazlardır. Biyosensörlerde, özellikle tanıma hedefi bir enzim olduğunda nadiren kullanılır. Bununla birlikte, afin etkileşimlerin tespitinde ihmal edilemezler.

2.1.4. Optik Biyosensör

Işık transdüserleri absorpsiyon, floresan, emisyon, iç yansıma, yüzey plazmon rezonansı veya ışık saçılma spektroskopisine dayanabilir. Örneğin, sütteki kazeini tespit etmek için altın nanopartiküller üzerinde lokalize yüzey plazmon rezonansına dayalı immünosensörler geliştirilmiştir.

2.1.5. Termometrik Biyosensör

Hassas bir termistör ile ısı değerini ölçerek bir analitin konsantrasyonunu belirleme aracı sağlar. Termal biyosensörler çok nadirdir. Her tür biyokimyasal unsurun farklı dönüştürücülerle birleştirilmesiyle çok çeşitli biyosensörler elde edilebilir. Biyosensörlerin %80'inden fazlası elektrokimyasaldır. Biyolojik

bileşenin doğasına bağlı olarak enzim elektrotları, immünosensörler veya DNA sensörleri olarak da adlandırılır.

Bir biyosensörün tanıma elemanı, bir substratı diğerinden ayrı olarak tanıyabilen biyolojik bir varlıktır. Bu gereklilik dört varlık tarafından yerine getirilir: enzimler, antikorlar, nükleik asitler ve reseptörler.

2.1.6. İmmünosensörler

Bu süreçte kullanılan biyokimyasal reseptörler, yabancı biyolojik bileşiklerin (antijenler) istilasına yanıt olarak organizmanın bağışıklık sistemi tarafından salgılanan koruyucu proteinler olan immüoglobulinlerdir. Antikor olarak da adlandırılan immüoglobulinler, antijenlerle güçlü kompleksler oluşturur. Kanda antikorların varlığı, bulaşıcı hastalıkların ve belirli maddelerin toksik etkilerinin tanınması için bir göstergesidir. Antijenler sadece biyolojik sıvılarda değil, doğal çevre de dahil olmak üzere diğer ortamlarda da belirlenebilir. İmmünosensörler, spesifik antikorlar mevcutsa ve yüksek özgüllük ve seçicilik gösteriyorsa çoğu bileşiği tespit edebilir.

Biyosensör çeşitleri üzerine literatürde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Şu ana kadar verilenler dışında, hücre tabanlı, amperometrik, kalorimetrik, piezoelektrik, DNA, yüzey plazmon, kemilüminesans tabanlı, floresan tabanlı, biyometrik ve enzim tabanlı biyosensörlerle de uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

2.2. Biyolojik Bileşenlerin İmmobilizasyonu

İmmobilizasyon, biyolojik bir maddenin (enzim, antikor, nükleik asit, oligonükleotid) inert bir desteğe dahil edilerek veya kimyasal ya da fiziksel olarak dönüştürücü yüzeyine bağlanarak çözünmez bir form haline getirildiği süreçtir. İmmobilizasyon işleminin gerçekleştirilebildiği yöntemlere örnek olarak adsorpsiyon, içerme ve kovalent bağ verilebilir.

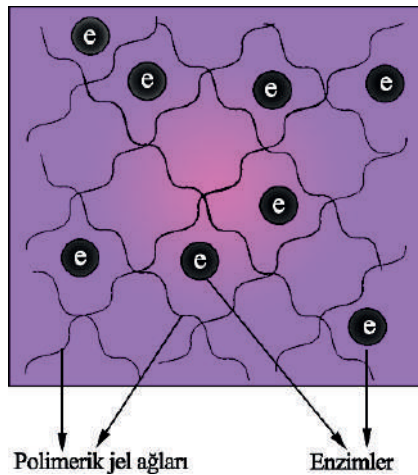
2.2.1. Adsorpsiyon

Adsorpsiyonun kullanımı, biyosensörlerin gerçekleştirilmesi için enzimler gibi biyolojik bileşenlerin transdüser yüzeylerine immobilize edilmesine yönelik bir yöntem olarak tanımlanmaktadır. Adsorpsiyon, sensör bileşenlerinin ön işlemden geçirilmesi veya özel amaçlı kimyasalları gerektirmeyen basit ve etkili bir yöntemdir. Biyomalzemeler yüzeylerde Coulomb, van der Waals, iyonik etkileşimler veya hidrojen bağı ile tutulur. Bununla birlikte, adsorpsiyon biyomateryallerin konsantrasyonunu artırmadığından, transdüser yüzeyi genellikle biyomateryallerin adsorpsiyonunu kolaylaştıran yüklü veya polar gruplar oluşturmak için ön

işleme tabi tutulur. Bu, oksidasyon, polimerler veya işlevselleştirici reaktifler kullanan yüzey modifikasyonu ile sağlanabilir. Kemisorpsiyon, biyomateryal ve destek arasında kovalent bir bağ sağlayarak önemli ölçüde daha güçlü bir bağlanma sağlar. Adsorpsiyon ise, biyolojik malzeme ile dönüştürücü arasındaki zayıf bağların yeterli olduğu ve sensörün uzun süreli kullanım için tasarlanmadığı araştırma aşamalarında kullanılır.

2.2.2. İçerme

Biyomateryallerin polimer matrislere dahil edilmesi tekniği, çeşitli tanıma unsurları için evrensel bir yöntemdir. Şekil 3'te basit bir uygulama şeması verilen bu yöntemde polimerler, organik çözücülerden ya da mikroemülsiyonlardan çöktürme veya jelleştirme yoluyla elde edilirler. Çapraz bağlayıcı maddeler eklenerek üç boyutlu bir ağ oluşturulur ve biyolojik olarak aktif moleküller polimer kütlelerinde hapsedilir. Ancak bu, ağ difüzyonunu engeller ve analitin geçirgenliğini önler. Proteinler ve nükleik asitler çeşitli boya ve türevlerinin polimerlerine immobilize edilebilir. Biyomoleküller ayrıca çözücüden katmanlar halinde biriktirilen polielektrolitlere dahil edilebilir ve poliyonik kompleksler haline getirilebilir. Sentetik lipid membranlar, özellikle Langmuir-Blodgett (LB) membranları, membran süreçleri ile proteinlerin ve nükleik asitlerin immobilizasyonunu incelemek için model olarak kullanılmaktadır. Kendiliğinden bir araya gelen tek katmanlar, LB membranlarından daha güçlü bir şekilde bağlanır ve biyopolimerlerin ve hidrofobik polimerik olmayan bileşiklerin dahil edilmesi için bir matris görevi görebilir. Fotopolimerizasyon katmanları, biyomateryalleri denatüre etmeden polimer matrisine dahil etmek için de kullanılır.



Şekil 3. Jel gözeneklerinde enzim inklüzyonu

2.2.3. Kovalent Bağ

Kovalent bağlama, biyomateryallerin destekler üzerine immobilize edilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde iki malzeme arasında kovalent bir bağ oluşturulur ve kullanılan kimyasalların seçimi kullanılan moleküle ve desteğe bağlıdır. Yöntem üç adımdan oluşur: desteğin saflaştırılması, yüzeyin işlevselleştirilmesi, biyomateryalin çöktürülerek zayıf bağlı moleküllerin uzaklaştırılması. Sensör yapımı için kullanılan en yaygın malzemeler metaller, cam, karbon, polisakkaritler, naylon ve serbest NH₂, SH, COOH ve imidazol grupları içeren malzemelerdir. Proteinler genellikle enzim aktivitesini etkilemeyen amino asit zinciri üzerindeki nükleofilik fonksiyonel gruplar aracılığıyla kovalent olarak bağlanır. Kovalent bağlar, çoğunlukla orta sıcaklıklarda, düşük iyonik güçte ve fizyolojik pH değerlerinde oluşur. DNA ve oligonükleotidler de çeşitli şekillerde kovalent bağ ile immobilize edilebilir. Kovalent bağ, biyomateryal tarafından desteklenen güçlü bir bağ sağlayarak uzun kullanım ömrüne sahip sensörler üretir. Bir sensörün üretimini tamamlamadan önce, her bir yöntemin bağlanma etkinliğini araştırmak ve bağlanma yöntemi ile matrisini seçmek önemlidir.

3. BİYOSENSÖRLERİN UYGULAMA ALANLARI VE ÜRETİM TEKNİKLERİ

3.1. Uygulama Alanları

3.1.1. Gıda Endüstrisi

Gıda güvenliği ve kalitesi konusu giderek daha zorlu hale gelmektedir. Bunun nedeni, antropojenik kökenli olanlar da dahil olmak üzere toksik maddeler içerebilen tehlikeli gıdaların piyasada yer almasıdır. Artık pestisitler, gübreler, büyüme uyarıcıları ve diğer zararlı maddeleri içeren endüstriyel ve tarımsal işletmelerin atık sularının neden olduğu çevre kirliliği, balık, et ve süt ürünlerinde toksik maddelerin birikmesine neden olur[12].

Gıda endüstrisi, enerji girdisini ve otomasyonunu optimize ederken kalite kontrol, süreç izleme ve ürün verimini arttırmak için hızlı ve güvenilir yöntemlere ihtiyaç duymaktadır. Gıdalardaki kimyasal ve biyolojik kontaminantların tespiti, ulusal güvenliğin temel unsurlarından biri olan sağlıklı beslenmenin sağlanması için çok önemlidir. Gıda güvenliği, yerel olarak yeterli miktarda gıda üretme, endüstriyi dış ve iç etkilerden koruma ve hükümet tarafından halka satılan gıdaların kalitesini kontrol etme becerisini içerir. Bu amaca ulaşmak için gıda ve hammaddelerin kalite kontrolü büyük önem taşımaktadır. Gıda katkı maddelerinin kullanımı

yasalarla düzenlenmiştir ve bunların tespiti miktarların belirlenmesi, yanlış kullanımın önlenmesi ve alerjen maddelerin tanımlanması için gereklidir. Bahçe bitkileri ve hayvancılık ürünleri için eser toksik madde kontrolleri yıllar içinde giderek daha sıkı hale gelmiştir. Örneğin, sütün kalite kontrolünde, genetiği değiştirilmiş *Saccharomyces cerevisiae* mayasına dayanan biyoluminesan biyosensörler eser miktardaki mikrotoksinleri tespit etmek için kullanılmaktadır. Piezoelektrik kristal immünosensörler, biyokimyasal ve klinik araştırmalar, gıda ve ilaç sertifikasyonu, çevresel izleme, biyokimyasal etkileşimlerin kinetik çalışmaları ve bağışıklık reaktiflerinin çapraz eşleşme karakterizasyonu için uygun araçlardır.

Piezoelektrik immünosensörlerin kullanımı, kalıntı kirletici seviyelerinin belirlenmesi için yüksek potansiyele sahiptir. Su, süt, elma suyu ve pirinç gibi çeşitli maddelerdeki asetoklor, alaklor ve butaklor gibi pestisitleri tespit etmek için tasarlanmış bir dizi piezoelektrik kuvars kristal biyosensör açıklanmaktadır. Bu sensörler düşük tespit limitlerine sahiptir ve yüzey suyu, içme suyu ve yeraltı suyu seviyelerinin altındaki herbisitleri ölçmek için kullanılabilir.

Gıda analizinde biyosensörlerin kullanımı son zamanlarda umut verici bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmıştır. Bu sensörlerin DNA ve RNA molekülleri ile hibridizasyon yoluyla kafein ve GDO'lar gibi çeşitli bileşiklerin tespitinde etkili olduğu gösterilmiştir. Biyosensörler, DNA sensörlerinin sinyal üzerindeki etkisini ölçerek bitkilerin ve gıdaların antioksidan içeriğini tahmin etmek için de kullanılabilir.

Biyosensörlerin gıda kalite kontrolündeki potansiyel faydalarına rağmen, şu anda satın alınabilecek sadece birkaç türü bulunmaktadır. Bununla birlikte, taşınabilir ve uygun fiyatlı biyosensörlerin piyasaya sürülmesi, gıda endüstrisinde analiz hızını ve doğruluğunu önemli ölçüde artırabilir.

3.1.2. Fermantasyon Endüstrisi

Biyosensörler, proses koşullarını dolaylı olarak ölçmek için proses ürünlerinin, biyokütlenin, enzimlerin, antikorların veya yan ürünlerin varlığını izlemek için kullanılabilir. Biyosensörler, fermantasyon endüstrisini hassas bir şekilde kontrol eder ve basit enstrümantasyon, katı seçicilik, düşük fiyat ve otomasyon kolaylığı sayesinde tekrarlanabilir sonuçlar üretir.

3.1.3. Tıp Alanında Biyosensörler

Biyosensörler, tıp alanında hızlı ve doğru teşhis için kullanılan teknolojik araçlardır[13-15]. Örneğin, kuş gribi biyosensörleri kuş gribi virüslerini tespit etmek için spesifik antikorlar veya DNA/RNA problemleri kullanır. Kuş

gribi virüsünün yüzey antijenik yapısını tanıyan spesifik antikorlar içerebilir. Bu antikorlar, virüsle etkileşime girdiklerinde elektrik veya ışık sinyalleri üretir. Cihaz tarafından algılanan sinyal, kuş gribi virüsünün varlığını gösterebilir. Kuş gribi tanısı ve tedavisinde hızlı teşhis, yerinde tarama ve yüksek hassasiyet önem arz etmektedir.

Yerinde tarama: Biyosensörler, kuş gribi virüsünün varlığını tespit etmek için kullanılırken, salgın hastalıkların yayılmasını önlemede yerinde tarama için kullanılabilirler. Özellikle hayvancılık sektöründe hayvanlarda enfeksiyonu erken teşhis etmek ve hızlı önlem almak çok önemlidir.

Yüksek hassasiyet: Biyosensör yüksek hassasiyete sahiptir ve düşük seviyelerde kuş gribi virüsünü bile tespit edebilir. Bu, enfeksiyonun erken evrelerinde bile doğru sonuçlar elde etmek için önemlidir.

3.1.4. Botanik ve Tarım Alanında Biyosensörler

DNA dizileme ve moleküler görüntüleme devrim niteliğindeki yeni teknolojiler, bitki bilimini dolayısıyla da tarımın konumunu ilerletiyor [16]. Hücresel ve hücre altı lokalizasyonu ve iyon ve metabolit seviyelerini ölçmek için kullanılan geleneksel kütle spektrometri yöntemleri, benzeri görülmemiş bir kesinliğe sahiptir. Enzim substratlarının, reseptörlerinin ve taşıyıcılarının konumu ve dinamikleri hakkında temel bilgilerden yoksundur. Bu bilgiler biyosensörler kullanılarak kolayca ve başarılı bir şekilde edinilebilir. Fizyolojik koşullar altında dinamik süreçleri ölçmek için, bir metabolitin diğerine dönüştürülmesi veya sinyal olaylarının tetiklenmesi gibi gerçek süreçleri görselleştiren stratejilere ihtiyaç vardır. Bu görselleştirme, dinamik olarak duyarlı sensörler ile yapılabilir.

3.2. Üretim Teknikleri

Biyomoleküller tekil seçiciliğe sahiptirler. Bu nedenle biyosensörler tek analit çalışması olmasına karşın birçok alanda kullanılmaktadır. Bunun dışında disiplinler arası birçok alanda etkin bir şekilde kullanılabilir olması nedeniyle araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Tüm bunların yanında klasik karmaşık analitik tekniklerin yerine daha düşük maliyetli uygulanabilirlik yönünden avantaj sağlaması tercih edilmesini sağlamaktadır.

Biyosensörlerin üretiminde immobilizasyon tekniğinin ilk ve en önemli adımı transdüser tutunmadır. Şu ana kadar yapılan çalışmalarda dört farklı tekniğin kullanıldığı gözlenmiştir. Bunlar; adsorpsiyon tekniği, kovalent bağlanma tekniği, çapraz bağlama tekniği ve kapsülleme tekniğidir. Bu teknikler kendi arasında fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki yöntemle incelenebilir. Adsorpsiyon tekniği ve kapsülleme tekniği fiziksel

immobilizasyon yöntemine, çapraz bağlama tekniği ve kovalent bağlanma tekniği ise kimyasal immobilizasyon yöntemine dahildir. İmmobilizasyon tekniği ile etkin bir biyosensör elde etmek için şu özelliklerin mevcut olması gerekir; immobilizasyon düzgün ve hızlı gerçekleşerek biyomoleküller dönüştürücüden hızlı bir şekilde süzülmalıdır. Uzun ömürlü olmalıdır. Biyosensörlerin immobilizasyon işleminden sonra algılama sırasında bireyselliğini sağlaması gerekmektedir. Bu özellik tek bir teknik ile tespit edilemez. Dönüştürücüler ile biyomoleküller arasındaki bağ kovalent bağ olmaması nedeniyle, biyomoleküller dönüştürücü tabanından taşacaktır. Bu durumun bir sonucu olarak biyosensör yanıt süresi düşecek ve ömrü kısacaktır. Kovalent bağlama tekniği ve çapraz bağlama tekniğinde biyomolekül ve dönüştürücü kimyasal bağ oluşturur. İki teknikte de bağ daha güçlü olması nedeniyle ömürleri daha uzundur. Fakat kimyasal yapıları karmaşıktır. Bu yöntemde tehlikeli kimyasal kullanımı ile biyomoleküllerin kimliği değişmektedir. Kapsülleme yöntemi ile bu dezavantaj ortadan kaldırılmaktadır. Kapsülleme sürecinde biyomoleküller nadir de olsa matrinden sızmaktadır.

Biyosensörlerde farklı amaçlar için kullanılan çeşitli elektrokimyasal teknikler, farklı malzemelerden yapılmış elektrotların davranışlarının karşılaştırılarak en iyi sonuçlar elde edilebilmesini sağlar. En iyi immobilizasyon malzemesini bulmak için, fiksasyonun her aşamasında biyosensör özelliklerindeki değişiklikler gözlemlenmektedir. Reaksiyon hızını artırmak için çeşitli kimyasallar test edilebilmektedir. Biyosensörde gerçekleşen reaksiyonlarda çeşitli redoks mediatörlerinin etkisini kontrol edebilmektedir. Analit ölçümü ve tespitinin yanı sıra hassasiyeti, raf ömrünü, tepki süresini ve lineerliği ölçmek için de kullanılır.

4. BİYOSENSÖR UYGULAMALARINDA ELEKTROKİMYASAL ALGILAMA TEKNİKLERİ

Biyosensörler, biyolojik hedefleri tespit ve analiz etmek için kullanılan cihazlardır. Elektrokimyasal algılama, biyosensörlerin en yaygın kullanılan algılama tekniklerinden biridir. Bu teknikte, biyokimyasal reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan elektriksel değişiklikler kullanılarak analitlerin tespiti gerçekleştirilir. Bir elektro kimyasal algılama sisteminde, kimyasal olarak kararlı üç veya iki elektrot yaygın olarak kullanılır.

Nanoteknoloji ve bioelektronikte kaydedilen ilerlemeler, mevcut mikro ölçekli sensör cihazlarının nano ölçekli olanlara kadar minyatürleştirilmesini mümkün kılmıştır. Bu nano ölçekli sistemlerin önemli bir avantajı, elektrotları mikrometre üzerinde bu kadar küçük boyutlara, hatta bazı çalışmalarda

bildirildiği gibi nanometre ölçeğine indirgeme yetenekleridir. Çok küçük numune hacimleri söz konusu olduğunda (birkaç mikrolitre veya daha az), yüksek duyarlılığa sahip bu tür minyatür elektrokimyasal biyosensörler büyük bir avantaj sunar. Gelişmiş elektriksel özelliklerini daha büyük yüzey-hacim oranlarına borçludurlar. Ayrıca, hedef biyomoleküllerinkiyle eşleşen nano ölçekli boyutları nedeniyle daha yüksek algılama hassasiyetine sahiptirler.

4.1. Algılama Teknikleri

4.1.1. Alan Etkili Transistör (Field Effect Transistor-FET)

FET, yarı iletken malzemelerdeki iki elektrot arasındaki bir kanalın elektriksel davranışını ve direncini kontrol etmek için elektrik alanı kullanan bir tür elektrokimyasal cihazdır. Cihaz, kapıdan kaynağa voltajı değiştirerek açma/kapama anahtarı görevi görebilir. Kapıya uygulanan voltaj, bir kontrol mekanizması görevi görerek elektrik alan gücünü belirler. Geçen akım, gerçek yük hareketi ile ölçülür (daha doğrusu, n-tipi kanal için negatif taşıyıcı olarak elektronlar ve p-tipi kanal için pozitif taşıyıcı olarak delikler). Kapı elektrotundaki elektrik alan potansiyel değişiklikleri, iletkenliği kontrol etmek için kaynak ve boşaltma elektrotları ile birlikte kullanılır.

Konfigurasyon tipine ve yarı iletken malzemede kullanılan katkı maddesine bağlı olarak, iletken kanaldaki yük taşıyıcıları, kapı elektrotlarında negatif veya pozitif potansiyellerin varlığından dolayı çekilir veya itilir. Bu, yük taşıyıcıların tükenme alanını doldurabilir veya boşaltabilir. Bu da iletken kanalın işlevsel elektriksel boyutlarının oluşmasına veya deforme olmasına neden olur. Bu durumda kaynak ve boşaltma elektrotları arasındaki iletkenlik kontrol edilir. FET iki genel moddan birinde çalışır: doğrusal ve doygunluk modlar. Geçitten kaynağa göre daha düşük drenaj-kaynak gerilimi nedeniyle lineer moddaki FET, iki iletken ve iletken olmayan durum arasında değiştirilebilen bir dirence benzer.

Özellikle nükleik asitler veya proteinler gibi biyolojik molekülleri tespit etmek için tasarlanmış hassas bir biyo-tabaka içeren bir transistör cihazı, biyo-bazlı FET (bio-FET) sistemlerinde kullanılır. Sistemin performansı, yarı iletken FET'e ve FET'i seçici olan biyolojik tanıma elemanından (örneğin, bir alıcı veya bir prob molekülü) ayıran bir transdüser görevi gören yalıtkan bir katmana (örneğin, SiO₂'den) dayalıdır.

4.1.2. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi

Elektrokimyasal empedans tekniği, biyolojik sistemlerdeki ölçümler için basit, ucuz, hızlı ve invazif olmayan bir tekniktir. "Empedans", elektrotlar

arasına uygulanan alternatif bir akımın varlığında bir elektrik devresinin direncinin özelliklerini inceleyen fiziksel bir değişkeni ifade eder. Bu sistemde, akım akış yanıtı, küçük bir sinüzoidal potansiyel uygulanarak ve geniş bir frekans aralığında uygulanan potansiyelden frekanstaki (f) değişiklikler tespit edilerek ölçülür. Uyarma frekansı değiştirilerek elde edilen matematiksel ilişkiler incelendiğinde, empedans tepkisi, hem gerçek hem de hayali bileşenlerden oluşan, frekansın bir fonksiyonu olarak karmaşık bir sayı biçiminde karşımıza çıkmaktadır. İçsel malzeme özelliklerini değerlendirme ve elektrokimyasal sistemin iletkenlik/direnci veya kapasitifliği ile ilgili belirli süreçleri araştırma yeteneğine sahiptir.

4.1.3. Elipsometri ve elektrokimya

Elipsometri, ışığın polarizasyonundaki (genel olarak eliptik polarizasyon) değişiklikleri ölçen güçlü bir deneysel yöntemdir. Ölçümler, özellikle faz sınır bölgesindeki malzemeler hakkında yararlı bilgiler sağlar. Bu teknikte polarize bir ışık demeti düz bir yüzeyden (ince bir filmle kaplanmış olabilir) normal olmayan bir açıyla yansıtılır ve bunun sonucunda ışık polarizasyonundaki değişiklik ölçülür. Hem ince film hem de dökme malzeme araştırmaları için kullanım kapasitesi, bu tekniğin pasivasyonla yapılan metaller üzerindeki filmler, absorbe edilmiş iyonik ve moleküler türler, iletken polimerler ve elektro birikimli malzemeler gibi çok çeşitli elektrokimyasal sistemlerde uygulanmalarını sağlamıştır.

4.1.4. Elektrokimyasal Atomik Kuvvet Mikroskobu

Taramalı prob mikroskobu (SPM), tek tek atomları veya molekülleri nano ölçekte görüntülemek ve manipüle etmek için tasarlanmıştır. En yaygın olarak bilinen SPM tekniklerinden biri, moleküler yüzeyleri incelemek ve görüntülemek için güçlü ve çok yönlü araçlarla donatılmış atomik kuvvet mikroskobudur (AFM). AFM tekniğinde, görüntüleri elde etmek için bir prob (örneğin, kuvvet algılayan bir konsola bağlı keskin bir uç) ile numune yüzeyi arasındaki etkileşim kuvveti kullanılır. AFM tekniklerinin ayrıntıları ve teorik kuruluşu literatürde bulunabilir. AFM tekniği genellikle bir elektrokimyasal analizden önce veya sonra bireysel karakterizasyon için kullanılsa da günümüzde daha fazla ilgi odağı haline gelen, bu tekniğin ve elektrokimyasal olanların kombinasyonudur. Elektrokimyasal AFM (veya kısaca EC-AFM), klasik bir AFM'nin elektrokimyasal ölçümlerle birleştirildiği özel bir SPM türüdür. Kombine teknik, söz konusu kimyasal reaksiyon sırasında elektrot yüzeyindeki morfolojik değişikliklerin incelenmesinde eş zamanlı olarak önemli bir rol oynarken, bir elektrokimyasal hücrede yerinde AFM ölçümleri yapabilir.

5. BİYOSENSÖR UYGULAMALARINDA BİRİKTİRME VE KARAKTERİZASYON

Biyosensörlerde kullanılan Titanyum Dioksit (TiO_2) kaplamaların etkinliğini artırmak için uzun süredir iletken atomik kuvvet mikroskopisi (AFM) görüntüleme ve spektroskopi yöntemleri kullanılmaktadır[17-18].

5.1. TiO_2 biriktirme işlemi

Biyosensör uygulamaları için TiO_2 biriktirme işlemi, atomik katman biriktirme (ALD) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilir[19]. Örneğin, indiyum kalay oksit (ITO) kaplı plakalar, su ve etanol ile temizlenir ve sonike edilir. Temizlenmiş plaka, TiO_2 biriktirme için hazır olarak atomik katman biriktirme odasına yerleştirilir. Biriktirme işlemi, tetratitanyum (TDMAT) öncüsü kullanılarak gerçekleştirilir ve film kalınlığı her döngüde 0.04 nm'ye kalibre edilir. Biriktirme döngülerinin sayısı, değişen kalınlık ve yüzey kaplamasına sahip TiO_2 filmleri elde etmek için dikkatli bir şekilde kontrol edilir.

5.2. Karakterizasyonu

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ölçümleri kullanılarak elde edilen TiO_2 biriken yüzeyin kalitatif karakterizasyonu olarak tanımlanır. Biriktirme işlemi sonucunda oluşan filmlerin morfoloji ve yapısal özelliklerini belirlemek için SEM ölçümleri yapılmaktadır. Ayrıca, TiO_2 ince filmlerin kimyasal bileşimi, X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) analizi ile incelenerek deneyler yapılabilir.

Deneyler ve analizler, TiO_2 biriktirme işleminin sayısal modellerle desteklenen elektrokimyasal özellikler sağladığını göstermiştir[20]. FEM modeli kullanılarak verilerin analizi, deneysel sonuçlarla tutarlı olarak TiO_2 biriktirilen yüzeyde ITO yüzeyinde gözeneklerin oluştuğunu ve kapandığını gösterdi. Ayrıca, AFM görüntüleme ve spektroskopi kullanılarak yapılan karakterizasyon çalışmaları, TiO_2 bırakılan yüzeyin bir bariyer filmi olarak gözenekli ve bozulmamış olduğunu ortaya çıkarmıştır.

6. BİYOSENSÖRLERİN GELECEĞİ

Biyosensörlerdeki nanomalzemelerin kullanımı geleceğe ışık tutmaktadır. Nanomalzemeler, biyosensörlerin mekanik, elektrokimyasal, optik ve manyetik özelliklerini iyileştirmekte ve yüksek verimli biyosensör dizilerine sahip tek molekülü biyosensörlere doğru gelişmesinde fayda sağlamaktadır.

Tek molekülü çok işlevli nanokompozitler, nanofilmler ve nanoelektrotlar üretmek için nanomalzemelerin ve biyomoleküllerin yapısını ve işlevini

tam olarak kullanmak neredeyse imkansızdır. İşleme, karakterizasyon, arayüz problemleri, yüksek kaliteli nanomalzemelerin mevcudiyeti, nanomalzemelerin uyarlanması ve bu nano ölçekli kompozitlerin elektrot 5 yüzeyindeki davranışını yöneten mekanizmalar da şu anda mevcut olan teknikler için büyük zorluklardır. Elektrotların veya nanofilmlerin yüzeyindeki nanomalzemeler ve biyomoleküller arasındaki etkileşim mekanizmasının aydınlatılmasına ve yeni özelliklerin yeni nesil biyosensörlerin üretiminde kullanılmasına özen gösterilmelidir. Ancak yakın gelecekte nanomalzemelere dayalı biyosensörler, klinik tanı, gıda analizi, proses kontrolü ve çevresel izlemede yaygın olarak kullanılacak ve dikkatleri üzerine çekecektir.

Biyosensör teknolojisi, biyolojik bileşiklerin varlığını ve konsantrasyonunu ölçmek için kullanılan bir teknolojidir. Bu teknoloji, sağlık sektöründen gıda güvenliğine, çevre izlemeden tarım uygulamalarına kadar birçok alanda potansiyel uygulamalara sahiptir. Örneğin grafen, tek atom kalınlığında bir karbon tabakası olan son derece dayanıklı ve iletken bir malzemedir. Son yıllarda, grafen tabanlı biyosensörlerin geliştirilmesi önemli bir araştırma alanı olmuştur. Grafen biyosensörleri, yüksek hassasiyet, hızlı yanıt süresi ve düşük maliyet gibi avantajlara sahiptir. Yapay zeka ve makine öğrenme algoritmalarının biyosensör teknolojisine entegre edilmesi, daha hızlı ve doğru sonuçlar elde etmek için potansiyel sağlamaktadır. Yapay zeka, biyosensörlerin verilerini analiz ederek hastalık teşhisi, tıbbi izleme ve ilaç keşfi gibi alanlarda önemli bir rol oynayabilir. Kağıt tabanlı biyosensörler, düşük maliyetleri, taşınabilirlikleri ve kullanım kolaylıkları nedeniyle özellikle gelişmekte olan ülkelerde potansiyel olarak büyük etkiye sahip olabilir. Bu biyosensörler, tükürük, idrar veya kan gibi biyolojik örnekleri analiz etmek için basit bir kağıt şerit kullanır. Nanoteknoloji, biyosensör teknolojisinde büyük ilerlemelere yol açmaktadır. Nanomalzemeler, biyosensörlerin hassasiyetini artırabilir, algılama limitlerini düşürebilir ve analiz sürelerini kısaltabilir. Örneğin, altın nanopartiküller kullanılarak hassas ve seçici biyosensörler geliştirilmiştir. Çoklu biyosensör sistemleri, birden fazla biyosensörün entegre olduğu çoklu biyosensör sistemleri, çoklu analizleri aynı anda ölçmek için kullanılabilir. Bu sistemler, sağlık izleme, çevresel izleme ve gıda güvenliği gibi alanlarda kullanılabilir ve daha kapsamlı veriler sağlayabilir. Hücre ve doku bazlı biyosensörler, ex-vivo veya in-vivo olarak hücrelere infüze edilen genetik olarak tasarlanmış proteinlerden oluşur. Araştırmacının biyofotonik veya diğer fiziksel ilkeleri kullanarak hormon, ilaç veya toksin düzeylerini sürekli ve invaziv olmayan bir şekilde algılamasına olanak tanırlar. Bu bağlamda, yaşlanma araştırmalarında değerli olabilir. Bu gelişmeler, biyosensör teknolojisinin daha hassas, hızlı, taşınabilir ve kullanıcı dostu hale gelmesini sağlamaktadır. Bu da potansiyel uygulama alanlarının

genişlemesine olanak tanırken sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesi, çevresel izleme ve gıda güvenliği gibi alanlarda büyük faydalar sağlayabilir.

7. SONUÇ

Biyosensör alanında yapılan bilimsel çalışmalara olan ilgi artarak devam etmektedir. Birçok disiplinle bir arada çalışabilen ve birçok kullanım alanı olan biyosensörlerin önündeki en büyük engel maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle ticarileşememesidir. Elektrokimyasal biyosensörler, ticarileşebilen tek biyosensörlerdir. Elektrokimyasal biyosensörler basit, taşınabilir, kısa sürede cevap verme, yüksek duyarlılık, ucuz oluşları, spesifik ve seçici olmaları bakımından termal, optik, piezoelektrik biyosensörlere göre ilaç sanayisinden çevreye kadar geniş bir skalada uygulama alanı bulmaktadırlar[21]. Ticarileşmeyi sağlamak için, maliyeti düşürmek amacıyla immobilizasyon tekniklerinin kullanılması sağlanmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar her geçen gün artmakta ve bilimsel çalışmalarla optimum değerlere sahip biyosensörler elde edilmeye çalışılmaktadır.

Biyosensörler disiplinler arası bir çok alanda kullanılır. biyosensörlerin kapsamına girmeyen tek bir alan bulunmamaktadır denilebilir. Biyosensörler ile gelecekte idrar, kan, tükürük vb. incelenmesinde kullanımının artması beklenmektedir. Biyosensörlerin tıp alanında en belirgin örneklerden birisi kanser vb. hastalıklara erken teşhis konulması amacıyla kullanılması verilebilir. Kişide bir sorun gözlemlenmesi durumunda doktora başvurularak kalp krizi belirtisi olup olmadığı incelenmelidir. Bir başka örnek ise, polis çevirmelerinde kullanılan alkolmetre cihazlarındada biyosensör teknolojisi kullanılmaktadır. Çiftçiler, böcek ilacının insanlar için ne kadar güvenli olduğunu biyosensörler sayesinde tespit edebilmektedir. Ayrıca, gıda ve ilaç analizi için sıkıcı prosedürlerin yerini tamamen biyosensörler alacaktır. Biyosensörler kullanılarak organik ve inorganik sebzeler arasında bir karşılaştırma mümkün olacaktır. Çay, kahve veya başka herhangi bir çözültide bulunan bileşenlerin konsantrasyonunu söylemek için gelecekte bir biyosensör mevcut olacaktır. Böylece biyosensörlerin geleceğimizi daha hijyenik, hastalıklardan korunmuş, daha az yorucu ve daha sağlıklı hale getirebileceği konusunda genel bir yargıya varılabilir. Tüm bu örnekler ele alınarak biyosensör alanındaki dezavantajlı durumlar yapılan bilimsel çalışmalar ile ortadan kaldırılarak kullanım alanı ve ticari kapasitesinin artacağı öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Goel, A., Rastogi, A., Pandey, S., Kulshrestha, S., & Goel, S. (2023). An emergent biotechnology hierarchy: Biosensors. *Materials Today: Proceedings*.
- [2] Yi, Z., Ren, Y., Li, Y., Li, Y., Long, F., & Zhu, A. (2023). Optical biosensors for microbial toxin detection: Recent advances and future trends. *Microchemical Journal*, 108894.
- [3] Senolsun, A., & Akyılmaz, E. (2023). A New Non-Enzymatic Biosensor for the Determination of Bisphenol-A. *Food Chemistry*, 136536.
- [4] Zhu, J., Wang, B., Zhang, Y., Wei, T., Gao, T., Living electrochemical biosensing: Engineered electroactive bacteria for biosensor development and the emerging trends, *Biosensors and Bioelectronics* (2023), doi: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2023.115480>.
- [5] Satpati, A. K., Arroyo-Curras, N., Ji, L., Yu, E. T., & Bard, A. J. (2013). Electrochemical monitoring of TiO₂ atomic layer deposition by chronoamperometry and scanning electrochemical microscopy. *Chemistry of Materials*, 25(21), 4165-4172.
- [6] Atar Ö, Özen G. (2019). Yüzme egzersizinin serebral palsili hastaların seçilmiş fiziksel, fizyolojik ve motorik özellikler üzerine etkisi. (Ed. Koç, H). İstanbul: Efe Akademi Yayınları.
- [7] Acevedo-Murillo JA, García León ML, Firo-Reyes V, Santiago-Cordova JL, Gonzalez-Rodriguez AP. (2019). Zinc supplementation promotes a th1 response and improves clinical symptoms in fewer hours in children with pneumonia younger than 5 Years old. *A randomized controlled clinical trial. Frontiers in Pediatrics*, 7(3), 431-450.
- [8] Kaur, H., Bhosale, A., & Shrivastav, S. (2018). Biosensors: classification, fundamental characterization and new trends: a review. *Int J Health Sci Res*, 8(6), 315-333.
- [9] Monosik, R., Stredanský, M., & Sturdik, E. (2012). Biosensors-classification, characterization and new trends. *Acta chimica slovacica*, 5(1), 109.
- [10] Alhadrami, H. A. (2018). Biosensors: Classifications, medical applications, and future prospective. *Biotechnology and applied biochemistry*, 65(3), 497-508.
- [11] Ding, J., & Qin, W. (2020). Recent advances in potentiometric biosensors. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 124, 115803.
- [12] Korotkaya, E. V. (2014). Biosensors: design, classification, and applications in the food industry. *Foods and raw materials*, 2(2), 161-171.
- [13] Vandghanooni, S., Sanaat, Z., Farahzadi, R., Eskandani, M., Omidian, H., & Omidi, Y. (2021). Recent progress in the development of aptasensors for cancer diagnosis: Focusing on aptamers against cancer biomarkers. *Microchemical Journal*, 170, 106640.

- [14] Agrahari, S., Gautam, R. K., Singh, A. K., & Tiwari, I. (2022). Nanoscale materials-based hybrid frameworks modified electrochemical biosensors for early cancer diagnostics: An overview of current trends and challenges. *Microchemical Journal*, 172, 106980.
- [15] Tzouavadaki, I., Zapatero-Rodríguez, J., Naus, S., de Micheli, G., O'Kennedy, R., & Carrara, S. (2019). Memristive biosensors based on full-size antibodies and antibody fragments. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 286, 346-352.
- [16] Burçin, B. O. Z., PAYLAN, İ. C., KIZMAZ, M. Z., & ERKAN, S. (2017). Biyosensörler ve tarım alanında kullanımı. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 13(3), 141-148.
- [17] Viticoli, M., Curulli, A., Cusma, A., Kaciulis, S., Nunziante, S., Pandolfi, L., ... & Padeletti, G. (2006). Third-generation biosensors based on TiO₂ nanostructured films. *Materials Science and Engineering: C*, 26(5-7), 947-951.
- [18] Jin, Z., Guan, W., Liu, C., Xue, T., Wang, Q., Zheng, W., & Cui, X. (2016). A stable and high resolution optical waveguide biosensor based on dense TiO₂/Ag multilayer film. *Applied Surface Science*, 377, 207-212.
- [19] Go, D., Lee, J., Shin, J. W., Lee, S., Kang, W., Han, J. H., & An, J. (2021). Phase-gradient atomic layer deposition of TiO₂ thin films by plasma-induced local crystallization. *Ceramics International*, 47(20), 28770-28777.
- [20] Morozová, M., Kluson, P., Krysa, J., Vesely, M., Dzik, P., & Solcova, O. (2012). Electrochemical properties of TiO₂ electrode prepared by various methods. *Procedia Engineering*, 42, 573-580.
- [21] Keskin, M., & Arslan, F. Biyosensörler. *Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi*, 1(1-2), 51-60.

Bitkisel Sütler ve Fonksiyonel Özellikleri

Ayşe ŞAHİN¹

İlkay BURAN²

1. GİRİŞ

İnsan beslenmesinin temelini ve sürdürülebilirliğini oluşturan önemli besinler arasında bitki kaynaklı gıda ürünleri bulunur. Bu gıdalarda bulunan birçok biyoaktif fitokimyasallar, mineraller ve vitaminler çok değerli kaynaklardır (Manzoor vd, 2021). Tüketicilerin beslenmelerinde daha fazla bitkisel kaynaklı gıdaları tercih etmeleri üzerine gıda işleme endüstrileri, bitki kaynaklarından besin açısından zenginleştirilmiş gıda maddeleri üretmeye yönelmiştir (Wunsch, 2023). Bunun nedeni ise insanların bitki kaynaklı gıdaların daha sağlıklı olduğu ve çevresel etkilere hayvan kaynaklı gıdalardan daha az maruz kaldığı algısıyla ilgili olduğu belirtilmektedir. Buna bağlı olarak inek sütüne alternatif olan bitki bazlı içeceklerin geliştirilmesi ve tüketilmesi ortaya çıkmıştır. Bitki bazlı içecekler, yapılarında laktoz, kolesterol ve hayvansal protein içermezler ve yüksek oranda lif, izoflavonoidler, antioksidanlar, tekli doymamış ve çoklu doymamış yağlar açısından zengindir (Wunsch, 2023).

2. BİTKİSEL SÜTLER

Bitkisel sütler, hammadde olarak bitkisel kaynaklardan üretilen, insanlar için bir protein ve kalori kaynağı, yağ içeriği inek sütüne oranla az olan ve kolesterol içermeyen sulu ekstraktlar olarak tanımlanır (Silva vd, 2023). Genellikle yağlı tohumlar ve tahıllardan üretilen ve dünyada tüketimi giderek artan bitkisel sütler fonksiyonel özelliğe sahip gıdalar olarak bildirilmektedir (Bernat vd., 2014). Bitkisel süt tüketimindeki artışın, inek sütü proteinine

1 Diyetisyen, Karabük Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Gıda Toksikolojisi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Öğrencisi- Karabük, dyt.ayse.sahin@gmail.com, ORCID: 0009-0007-4830-714X

2 Dr. Öğretim Üyesi, Karabük Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu - Karabük, ilkayburan@karabuk.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-5089-1284>

alerji, laktoz intoleransı ve hiperkolesterolemi prevalansının ve vegan diyetlere olan ilginin artmasına bağlı olduğu belirtilmektedir (Sethi vd., 2016). Soya ve yulaf bazlı sütlerin tüketiminin yakın zamanlardan beri popüler olmasıyla beraber son yıllarda, fıstık, badem, fındık, ceviz ve kaju gibi yağlı tohum bazlı sütlerin üretim ve tüketimi artmıştır. Yağlı tohumlar yüksek oranda diyet lifi, fitokimyasal, vitamin içerdiğinden ve fonksiyonel özellik gösterdiğinden yağlı tohumlardan elde edilen yeni ürünlerde geliştirilmiştir (Manousi and Zachariadis, 2019; Manzoor vd., 2017).

2.1. Badem Sütü

Badem (*Prunus amygdalus*), gülgiller (Rosaceae) familyası içinde yer alan Prunoideae alt familyasına ait bir ağaç türüdür. Bademin 100 gramı yaklaşık olarak 575 kcal enerji içerir. Bu enerjinin yaklaşık %50 'si yağ, bu yağın yaklaşık %62'si tekli doymamış yağ asitlerinden (MUFA), %24'ü ise doymuş yağ içermektedir. Toplam protein içeriği %21,1 ve yüksek oranda arjinin amino asidi içerdiğinden badem proteinlerinin biyoyararlılığı diğer bitkisel proteinlere göre daha iyidir. Şeker oranı %3,9 olduğundan Avrupa Birliği Yönetmeliğine göre %5 in altında olduğu için "doğal olarak düşük şekerli" besin olarak adlandırılmaktadır. Diyet lifi ise yaklaşık %12 oranındadır (Richardson vd., 2009).

Badem sütü son yıllarda en fazla talep gören bitkisel süt ürünlerinden biridir. Badem sütü, bademin bol suda bir süre bekletildikten sonra öğütülerek yapılabildiği gibi; çiğ veya kavrulmuş bademlerin un haline getirilerek sulandırılması şeklinde de yapılabilmektedir (Bernat vd., 2015; Martins, 2017). 100 ml badem sütü içeriğinde 1,1 g protein, 0,8-4 g tekli doymamış yağ asitleri, 0,42-1,4 g çoklu doymamış yağ asitleri, 0,3-0,6 g doymuş yağ asitleri, 1-8 g karbonhidrat, 0,4-2 g diyet lifi, 0,01-0,06 sodyum bulunmaktadır (Topçuoğlu, 2019).

Yapılan çalışmalarda badem sütünün koroner kalp hastalığını ve LDL (Düşük Yoğunluklu Kolesterol) kolesterolü düşürdüğü belirtilmiştir (Chen vd., 2005). Badem sütü, birçok ülkede süt yerine kullanılmaktadır. Bu içecek laktoz intoleransı olan bireyler için inek sütüne alternatif olarak kullanılabilir (Manzoor vd., 2019). Abd-elmonsif vd. (2017) yürüttükleri bir çalışmada ortodontik nedenlerle çekilen 42 sağlam (çürüksüz) dişi 25 saat süre ile kola içeceğinde bekletmişler ve korozyon sağlandıktan sonra dişler üzerinde soya, pirinç ve badem sütünün etkilerini araştırmışlardır. Araştırma bulgularına göre badem sütünün içeriğindeki Ca ve P oranları ile en yüksek remineralizasyonu sağladığı saptanmıştır (Abd-elmonsif vd., 2017). Ratlar üzerinde yapılan bir çalışmada, yüksek yağlı ve yüksek

fruktozlu beslenip metabolik sendromlu olan ratların badem sütü tüketimine bağlı olarak plazma toplam kolesterolü, trigliseritleri, LDL'yi ve ateroskleroz göstergelerini düşürdüğü ve plazma HDL (Yüksek Yoğunluklu Lipoprotein) seviyesini yükselttiği saptanmıştır. (Hussein vd., 2020). Zhao vd. (2021) yürüttükleri bir çalışmada badem sütüne kalsiyum ve D vitamini ekleyip standartlaştırılmış bir gastrointestinal sistem kullanarak biyoerişebilirliği üzerindeki etkisini incelemişler ve sonuç olarak ince bağırsakta kalsiyumun biyoerişebilirliğinin yüksek olduğu fakat D vitaminin biyoerişebilirliğini ise kalsiyum sabun oluşumunu azalttığı saptanmıştır. Huang vd. (2023) badem sütü, soya sütü ve soya unu ile yaptıkları çalışmada bu ürünlerin oligosakkarit miktarlarını araştırmışlar ve sonuç olarak rafinoz oranının en fazla badem sütünde, stakinoz ve verbaskoz oranının en fazla soya sütünde olduğunu saptamışlardır. Topçuoğlu (2019), badem sütü ile yoğurt üretimi yaptığı çalışmasında, depolama süresi boyunca probiyotik mikroorganizmaların sayısında artış gözlemlediğini ve bu ürünün iyi bir prebiyotik olarak kullanılabileceğini belirtmiştir. Erol (2020), yaptığı çalışmada badem sütüne bal ve muz ilave edilen kefir üretiminin vejetaryenlere, laktoz intoleransına, kalp ve damar hastalığına ve diyabet hastalarına alternatif bir ürün olarak kullanılabileceğini bildirmiştir.

2.2. Ceviz Sütü

Ceviz (*Juglans regia* L.) fagales takımının ve juglandaceae familyasında yer alan tek evcikli bir ağaç türüdür (Bernard vd, 2018). Cevizde bulunan temel besin öğeleri %13.6-22.3 protein, %56.4-70.6 yağ ve yaklaşık %2 oranında kül içerdiği ve 100 gramının 654 kcal enerji verdiği belirtilmektedir (Şahin ve Akbaş 2001). Ceviz ayrıca fosfor, demir, magnezyum, çinko, E vitamini, B grubu vitaminleri ve lif açısından da zengin olan bitkisel bir kaynaktır. Bileşiminde bulunan gümüş iyonunu içeren tek besin olması beyin sağlığına faydalıdır. Ayrıca vücut için önemli olan antioksidan özelliği olan selenyumu içermesi vücudu serbest radikallere karşı korumaktadır (Bayazit vd, 2016).

Yapılan bir çalışmada *Lactobacillus plantarum* LP56 ile fermente edilmiş ceviz sütünün serbest amino asitler, serbest yağ asitleri ve aroma bileşikleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve 12 saatlik fermentasyondan sonra fermente ceviz sütünün lezzetinde ve doymamış yağ asitleri içeriğinde artış gözlemlenmiştir. Fermentasyon sonucunda aldehitlerin azalması, alkollerin, asitlerin, esterlerin ve ketonların artması ceviz sütünün aroma kalitesini yükseltmiştir (Liu vd, 2022). Bekiroğlu ve arkadaşları (2022) tarafından yürütülen bir çalışmada taze ve kuru cevizden üretilen sütle dondurma yapılmış ve ceviz sütü yüksek yağ içerdiğinden dondurma örneklerinde taşma, protein ve doymamış yağ asidi gibi fizikokimyasal özelliklerini geliştirdiği ancak

parlaklığını olumsuz etkilediği belirtilmiştir. Farklı bir çalışmada ise ceviz sütüne fermantasyon için yoğurt ve kefirde bulunan laktik asit bakterileriyle beraber, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium bifidum*, *Streptococcus thermophilus*, *Bifidobacterium longum*, *Lactobacillus bulgaricus* bakteri türleri eklenerek fermente edilmiştir. Çalışma bulgularına göre pH değeri ve organoleptik özellikleri her iki içecekte de aynı bulunurken sinerezis indeksi kefir örneklerinde daha belirgin bulunduğu belirtilmiştir (Boaghe vd, 2018).

2.3. Fındık Sütü

Fındık (*Corylus avellana* L.) Betulaceae familyasına ait sert kabuklu bir meyvedir ve Türk fındığı da *C. colurna* olarak bilinmektedir (Ayhan-Elvanoğlu, 2020). Fındığın yenilebilir kısmı olan meyvesinin bileşimi yaklaşık olarak % 4 su, % 65,4 yağ, % 15,6 protein, % 2,6 selüloz, %0,98 azotsuz ekstrakt maddelerden ve %1,55 kül içermektedir (Gürarlan-Ceran, 2018). Toplam şeker oranı ise % 2.8-7.9 arasında değişmektedir. 100 g fındık, günlük protein ihtiyacımızın yaklaşık % 22'sini karşılarken yaklaşık 634 kalorilik enerji vermektedir (Bars vd, 2018). İçeriğinin bu kadar zengin olmasından dolayı kalp damar sağlığına, zihin yorgunluğuna iyi gelmektedir. Oleik asit miktarının yüksek olması kandaki kolesterol seviyelerini azaltırken, linoleik asit damar içindeki daralmaları engellemektedir (Gürarlan-Ceran, 2018).

Yapılan bir çalışmada ev yapımı fındık sütüne üç farklı oranda (% 1, % 3, % 5) kuru üzüm eklenerek ve üzümsüz fındık sütünün fizikokimyasal, duyuşal özellikleri, toplam fenolik içeriği, antioksidan aktivitesi ve yağ asidi bileşimleri karşılaştırılmıştır. Araştırma bulgularına göre fındık sütüne kuru üzüm eklenmesinin lezzet, toplam fenolik içerik ve antioksidan kapasiteyi geliştirdiği belirtilmiştir (Aysu vd, 2020). Başka bir çalışmada fındık sütüne % 20, % 40 ve % 60 oranlarında kuşburnu meyvesi ve çilek ilave edilerek C vitamini ve fizikokimyasal özelliklerine bakılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre meyve oranlarının artmasıyla C vitamini değerleri, toplam fenolik bileşik, antioksidan aktivite değerlerinde artış görüldüğü ve bu ürünün obez bireyler için yararlı bir içecek olabileceği belirtilmiştir (Çelik vd, 2023). Ermiş vd (2018) yürüttükleri bir çalışmada fındık sütüne *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* ve *Streptococcus thermophilus* suşları eklenerek yapılan fermente içeceğin renginin, aromasının ve kıvamının ayrına göre daha az beğenildiği ve yapısının akışkanlıktan çok elastik olduğu ifade edilmiştir (Ermiş vd, 2018). İlyasoğlu ve Yılmaz (2019) fındık sütü ve inek sütünün belli oranlarda karışımında yapılan yoğurdun, sade inek sütüyle yapılan yoğurda göre tekli doymamış yağ asitlerince (oleik asit) daha

zengin, kolesterol seviyesinin daha düşük ve fitosterol içermesinden dolayı kardiyovasküler sağlığın sürdürülmesinde etkili olabileceği belirtilmiştir (İlyasoğlu ve Yılmaz, 2019). Atalar, (2019) kefire farklı konsantrasyonlarda eklenen fındık sütünün fizikokimyasal, reolojik, yapısal, biyoaktif özellikleri, organik asit profilleri ve kefir mikroorganizmalarının canlılığı üzerine etkisi araştırmıştır. Araştırma bulgularına göre fındık sütü oranının artırılması inkübasyon süresinin uzamasına neden olduğu ve fermantasyon sürecinde bakteri üremesini yavaşlatırken mayaların büyümesini uyarıcı etkisinin olduğu belirtilmiştir. Toplam fenolik bileşik içeriği ve antioksidan kapasitede ise artış gözlenmiştir. Ayrıca organik asit profilleri üzerinde ise fındık sütünün laktik asit ve sitrik asit miktarını azalttığı; malik ve asetik asit miktarını ise artırdığı anlaşılmıştır. Başka bir çalışmada ise belirli oranlarda (% 0-% 25-% 5-% 0,75-%100) inek sütüne eklenen fındık sütüyle yapılan dondurma üretiminin su tutma kapasitesinde, akışkanlığında ve emülsifiye etme kapasitesinde iyileşme gözlemlendiği; fındık sütünün konsantrasyonu arttıkça kıvamının daha iyi olduğu; toplam fenolik içeriği ve antioksidan aktivitenin artışından dolayı erime hızlarının düştüğü ve ilk damlama süresinin uzadığı belirtilmiştir (Atalar vd, 2021).

2.4. Yerfıstığı Sütü

Yağlı tohumlar içinde yer alan yer fıstığı (*Arachis hypogaea*), baklagiller familyasındadır (Boriss ve Kreith 2006). Ana bileşenleri protein, yağ ve lif olan yer fıstığı önemli bir aminoasit olan arjininle beraber 20 çeşit aminoasidi farklı oranlarda içermektedir (Özalp ve Kürklü, 2020). % 50'si yağlardan ve bu yağların da % 80'i doymamış yağ asitlerinden oluşan yer fıstığı oleik ve linoleik asitlerce zengindir. (Baker vd, 2002). İçeriğindeki arjinin, doymamış yağ asitleri, E vitamini, flavonoid ve ftosteroller obezite, diyabet ve kardiyovasküler hastalıklar üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır (Özalp ve Kürklü, 2020).

Yürütülen bir çalışmada fıstık sütünü yüksek kalitede üretmek amacıyla kavurma, yüksek basınçlı homojenizasyon (HPH) ve sterilizasyon yöntemlerinin üründe reolojik, protein, yağ, renk, tat gibi özelliklerine bakılmıştır. Araştırma bulgularında kavurma işleminin yer fıstığı protein izolatu çözünürlüğünü ve emülsifiye edici özelliklerini artırdığı, HPH, çiğ ve kavrulmuş fıstık sütünün mikro yapısı, partikül boyutu, reolojisi ve rengi üzerinde etkili olduğu ve sterilizasyon işlemine ise çiğ yer fıstığı sütünün hassasiyet gösterdiği ancak homojenizasyona tabi tutulan kavrulmuş fıstık sütünün kararlı olduğu belirtilmiştir (Zaaboul vd, 2019). Farklı bir çalışmada taze çekilmiş fıstık sütü ultrasonikasyon ve hidrodinamik kaviteasyon işlemlerinin sütün kalitesini olumlu yönde etkilediği ve yüksek sıcaklıkta kısa

sürekli ısıtma işlemi görmüş fıstık sütüne tercih edilebileceği belirtilmiştir (Salve vd, 2019). Yer fıstığı sütü ve inek sütünden üretilen yoğurdun fizikokimyasal özelliklerinin karşılaştırıldığı başka bir çalışmada ise yer fıstığı sütünün inek sütüne göre daha yüksek oranda su tutma kapasitesine, protein ve doymamış yağ oranına sahip olduğu; laktoz oranının yer fıstığı sütünde daha düşük olduğu ancak görünüm, tat gibi duyu özelliklerinin inek sütünde daha kabul edilebilir olduğu belirtilmiştir (Isanga ve Zhang, 2009).

2.5. Hindistan Cevizi Sütü

Arecaceae familyasında yer alan *Cocos nucifera* L. (Hindistan cevizi), Malezya, Endonezya ve Filipinler dahil olmak üzere Batı Pasifik'teki tropik adalara özgü olan uzun bir ağaç türüdür (Srinivasan vd, 2023). Protein, yağ, karbonhidrat ve lif açısından zengin olan *Cocos nucifera* pantotenik asit, piridoksin, riboflavin, niasin, tiamin, C, E ve K vitaminlerinin yanı sıra sodyum, potasyum, demir, kalsiyum, bakır, fosfor, selenyum, çinko, magnezyum, manganez gibi mineralleri de içermektedir (Taşdan, 2021). 100 gram Hindistan cevizinde 33,5 g yağ, 3,33g protein, 15,2 g karbonhidrat vardır ve 354 kkal enerji verir (USDA, 2019). Hindistan cevizi sütü, çeşitli gıdalarda tat ve lezzeti artırmak amacıyla fırınsal gıdalarda, soslarda, şekerlemelerde, dondurmada ve bisküvi endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (DebMandal ve Mandal, 2011). Hindistan cevizi sütünde % 68 su, % 24 yağ, % 6 karbonhidrat, % 2 protein içermektedir ve 100 ml'si 230 kkal enerji verir (USDA, 2019).

Gastropatili wistar albino ratlarda yapılan bir çalışmada Hindistancevizi sütü ve suyunun etkileri araştırılmış ve sonuç olarak bu iki ürünün enflamasyonu baskıladığı, mukus sekresyonunu uyararak mide mukozasını koruduğu, anjiyogenez ve mukozal hücre proliferasyonu yoluyla ülseri iyileştirdiği buna bağlı mukoza homeostazını katalize ettiği ifade edilmiştir (Ajeigbe vd, 2017). Göral vd, (2018) yürüttükleri bir çalışmada hindistancevizi sütüne inülin ve keçiyoynuzu sakızı eklenerek üretilen dondurmada artan inülin içeriğinin erime sırasında ilk damlama süresini azaltırken dondurmanın erime direncini 45 dakikadan sonra artırdığı ve keçiyoynuzu sakızlı dondurmanın ise erimeye uğramadığı belirtilmiştir. Hindistan cevizi sütü seyyar satıcılar tarafından satıldığında *Escherichia coli* ve *Salmonella* gibi enterobakterilerin insanlara bulaşmasına neden olabilmektedir. Bu bakterileri yok etmek için ısıtma işlemi gerekir. Fakat ısıtma işlemi hindistancevizi sütündeki antioksidan bileşikler, vitaminler, renk, tat gibi özelliklerde istenmeyen kayıplar oluşturabilir. Bununla ilgili yapılan bir çalışmada besin değerlerini korumak ve mikrobiyal etkiyi azaltmak için hindistancevizi sütüne UV-C (Ultraviyole-C) ışık

uygulanmış ve sonuç olarak *E.coli* ve *Salmonella* üzerinde olumlu etkileri olduğu vurgulanmıştır (Ochoa-Velasco vd, 2014).

2.6. Kaju Sütü

Kaju ağacı (*Anacardium occidentale* L.) Anacardiaceae familyasına ait Güney Amerika'ya özgü bir ağaç türüdür. Yenilebilir kısmı ise ağacın meyvesinin çekirdek kısmıdır (N'Cho vd, 2022). Bileşimindeki karbonhidrat oranı % 23-25, protein oranı % 20-24, yağ oranı % 40-57 ve 100 gramı 553 kcal enerji vermektedir. Ayrıca doymamış yağ asitleri, fenolik lipitler, skualenler, tokoferoller, fitosteroller, biyoaktif bileşikler içermektedir (Jayeola vd., 2018). Ayrıca E vitamini, B vitamini ve potasyum, magnezyum, kalsiyum gibi mineralleri de içermektedir (N'Cho vd, 2022). Kaju hipertansiyon, obezite, koroner kalp hastalığı ve diyabet gibi birçok kronik hastalıklar üzerinde olumlu etkileri olduğu belirtilmiştir (Jayeola vd., 2018). Yapılan birçok çalışmada diyetle eklenen kaju sütünün vücutta üretilen antioksidan bileşik miktarı ve (Davis ve Kris-Etherton, 2003) HDL seviyesini artırdığı, LDL seviyesini ise azalttığı belirtilmiştir (Mukuddem-Petersen vd., 2007). Kaju sütü iyi miktarda kalsiyum, potasyum ve magnezyum içermektedir. Kaju sütü, özellikle yüksek potasyum ve düşük sodyum içeriğinden dolayı ateroskleroz ve yüksek tansiyona karşı koruyarak kardiyovasüler sağlık için yararlıdır. Kaju sütü örneklerinde çinko ve demir gibi eser minerallerin yüksek miktarlarda bulunmasının gizli açlığa iyi gelebileceği belirtilmektedir (Manzoor vd, 2017).

Yapılan bir çalışmada kaju sütüne *Bifidobacterium animalis*, *Lactobacillus acidophilus* ve *Lactobacillus plantarum* probiyotik bakteriler eklenerek elde edilen fermente içeceğin 30 gün boyunca 4°C'nin altında canlılıklarını sürdürdükleri ve pH değerinin az miktarda düştüğü ancak bu durumun duyuşal kabul edilebilirliğini etkilemediği ifade edilmiştir (Bruno vd, 2019). Florence vd (2023) yürüttükleri bir çalışmada kaju sulu ekstraktına *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus* ve *Streptococcus salivarius subsp thermophilus* laktik asit bakterilerinin belirli oranlarda eklenerek üretilen yoğurdun fermentatif aktivitesinin kaju sulu ekstraktının % 20'den fazla eklenmesinin bakterilerin aktivitesini engellediği belirtilmiştir. Jayeola ve arkadaşları (2018) kaju sütünden üretilen yoğurdun ve ticari yoğurdun fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve organoleptik özellikleri incelemiş ve sonuçların birbirine yakın olduğunu tespit etmişlerdir (Jayeola vd, 2018). Yapılan başka bir çalışmada ise kaju sütüne *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum* probiyotik laktik asit bakterileri ve *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii subsp. Lactis* bakterileri eklenerek üretilen yoğurdun asitleştirme sonrası 0, 7, 14 ve 21 günlük

depolama süresi boyunca kaju sütü yoğurdunun laktik asit bakterilerinin (LAB) canlılığı, toplam fenolik ve flavonoid içerikleri ve antioksidan aktivitesindeki değişiklikleri incelenmiştir. Araştırma bulgularına göre 21 günlük depolama süresince *Lactobacillus rhamnosus* ilavesi yapılan yoğurt kontrol yoğurt örneğine (ticari yoğurt) kıyasla pH'yı düşürdüğü; kaju sütüyle yapılan yoğurdun probiyotik *Lactobacillus* spp. suşlarına bağlı olarak LAB sayımlarında, toplam fenolik, flavonoid ve antioksidan kapasite içeriğinde artış gösterdiği ve *L. rhamnosus*, *L. casei* ve *L. plantarum*'un kaju sütlü yoğurt üretiminde başlangıç kültürü olarak kullanılabilceği belirtilmiştir (Shori vd, 2022).

2.7. Kenevir Sütü

Kenevir, *Cannabaceae* familyasının *Cannabis sativa* L. türü içinde bulunan *Cannabis indica*, *Cannabis sativa* ve *Cannabis ruderalis* çeşitlerinden oluşmaktadır (ElSohly vd., 2017). Kenevir tohumlarının düşük alerjenitesi ve besin değerlerinden dolayı son yıllarda tüketimi artmıştır. 100 gramı yaklaşık 525 kkal enerji verir.

Yapılan bir çalışmada 40 dişi wistar fareye 21 gün boyunca çeşitli oranlarda kenevir sütü verilmiş ve kontrol grubuyla karşılaştırıldığında kandaki insulin oranı değişikliği belirgin olarak gözlemlenmiş, toplam kolesterol, serum trigliseridleri ve serum kolesterol içeriğinin de azaldığı bildirilmiştir. Kenevir tohumlarından üretilen kenevir sütü tüketiminin serum triasilgliserollerini, kolesterolü, tiroid hormonlarını düşürdüğü ve laktoz içermediğinden laktoz intolaransı olan bireylerde alternatif bir süt olabileceği ifade edilmiştir (Chichłowska, vd, 2009). Kenevir sütüne laktik asit bakterileri ve probiyonik asit bakterileri eklenerek yapılan fermente içeceğin hem immün hem de bağırsak epitel hücrelerinde inflamasyonu modüle etme yetenekleri araştırılmış ve üretilen ürünün bağırsak hücrelerinde enflamasyonu azalttığı belirtilmiştir (Ilıkoud vd, 2023). Nissen vd (2020) yürüttükleri bir çalışmada kenevir sütü *Lactobacillus fermentum*, *Lb. plantarum* ve *Bifidobacterium bifidum* probiyotikleri ile fermente edilerek kenevir tohumlarının prebiyotik aktivitesi araştırılmış ve kenevir tohumlarının hem probiyotik gelişimini desteklediği hem de iyi bir prebiyotik aktivite gösterdiği bildirilmiştir.

2.8. Pirinç Sütü

Pirinç (*Oryza sativa* L.) zengin bir karbonhidrat kaynağıdır ve bileşiminde protein, lipit, lif, kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve fosfor (P), eser miktarda bakır (Cu), demir (Fe), manganez (Mn), çinko (Zn), niasin, riboflavin ve tiamin gibi B grubu vitaminlerini içeren en önemli besin kaynaklarından biridir. Pirinç tanesinde % 12 su, % 75-80 nişasta ve

% 7 protein bulunur. Lizin oranı yüksek olduğundan sindirilebilirliği de yüksektir. Pirinç flavonoidler, karotenoidler, fenolik bileşikler, fitosteroller, E vitamini izoformları olmak üzere çeşitli biyoaktif bileşikleri de yapısında bulundurmaktadır (Verma ve Srivastar, 2020). 100 gram pirinçte yaklaşık olarak 2 g protein, 0,5 g yağ, 25 g karbonhidrat ve yaklaşık 112,5 kkal enerji verir (Padma vd, 2018). Pirinç sütü, A, B12 ve D vitaminleri içeren ve laktoz içermeyen bitkisel bir süttür. Kalsiyum kaynağıdır, zengin bir antioksidan aktivitesi ve yüksek düzeyde çözünebilir diyet lifleri içerir, kolesterol içermez. Kardiyovasküler hastalıklar, kanser, ateroskleroz ve diyabet riskini azaltır. Diğer sütlere göre daha fazla oranda selenyum ve manganez içermektedir (Fawzi vd, 2022).

Pirinç sütü ve inek sütü ile üretilen kefirin antioksidan aktivitesinin karşılaştırıldığı bir çalışmada pirinç sütünün daha yüksek seviyede antioksidan aktivitesi olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada üretilen kefirler kolit hastalığı olan ratlara uygulanarak kimyasal indüksiyondan kaynaklanan oksidatif stresi koruduğu ifade edilmiştir (Deeseenthum vd, 2018). Fawzi vd, 2022 yürüttükleri bir çalışmada Mısır kırık pirinç sütü probiyotik laktik asit bakterileri ile fermente edilerek bu bakterilerin yoğurt yapma özelliklerinin *Lactiplantibacillus plantarum* ATCC 14917' nin *Lc. casei* DSM 20011 ve *L. acidophilus* ATCC20552' ye göre canlılıklarının ve büyüme oranının daha yüksek olduğu ve B1, B2, B6 vitaminleri açısından daha iyi olduğu belirtilmiştir. Yapılan bir çalışmada Tayland salamura otundan izole edilen ve GABA üreten *Lactobacillus pentosus* pirinç sütü ile fermente edilerek üretilen yeni içeceğin oksidatif stres, obezite ve diyabetle ilişkili enzimlere karşı inhibitör aktivite gösterdikleri bildirilmiştir (Kittibunchaku vd, 2021). Beyaz, kırmızı ve siyah pirinçlerin sütünden yapılan bir çalışmada pastörizasyon ve sterilizasyon işlemi uygulanan sütlerin besinsel, kimyasal ve fiziksel özelliklerinde pastörizasyon işleminin uygun olduğu, sterilizasyon işleminin uygun olmadığı ve antioksidan aktivite, fenolik bileşikler içeriği bakımından siyah pirinçle yapılan sütün daha yüksek seviyelere sahip olduğu belirtilmiştir (Silva vd, 2023).

2.9. Soya Sütü

Soya fasulyesi (*Glycine max* L. merrill) hayvansal gıdalardaki proteinin yapısına benzeyen bir protein içerdiğinden “kemiksiz et” olarak nitelendirilmektedir. Soya fasulyesi birçok şekilde işlenerek insan beslenmesine protein kaynağı olarak kullanılır. Soya fasulyesinde % 40-50 protein, % 20-30 yağ, % 26-30 oranında karbonhidrat içermektedir. Ayrıca diyet lifi, izoflavonlar, B12 vitamini hariç diğer B grubu vitaminler açısından zengin ve doymamış yağ asitlerinin (linoleik ve linolenik) kaynağıdır

(Kesenkaş vd, 2013; Özcan vd, 2015; Şahingöz ve Arlı, 2002). Soya laktoz, gluten, kafein bulunmaz ve bol miktarda omega-3 içerir (Boyacıoğlu vd, 2008; Kesenkaş vd, 2013). Soya sütü bileşiminde laktoz bulunmayıp ve kolesterol içermemektedir ayrıca inek sütü gibi alerjik reaksiyonlara sebep olmamaktadır. Kalp-damar sağlığını korur, menopoza, osteoporoz, meme ve kolon kanserine bağlı sağlık problemlerini önler (Gürsoy vd, 1999). Zhao vd, (2020) tarafından yürütülen bir çalışmada soya sütünün raf ömrünü uzatmak ve stabilitesini artırmak için belirli oranlarda kitosan (% 0, % 0,08, % 0,12, % 0,16, % 0,20) ve karbon noktaları (%4, %6, %8) eklenerek oda sıcaklığında (25–30 °C) bekletilmiş ve % 0.16 kitosan solüsyonu içeren soya sütü, kitosan içermeyen soya sütüne göre viskozitede, stabilite katsayısı, zeta potansiyeli artış ve santrifüjleme hızın düştüğü belirtilmiştir. Ayrıca karbon noktası miktarının uygun olması, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* ve *Bacillus subtilis*'in büyümesini engellediği; % 0,16 kitosan ve % 8 karbon noktası içeren soya sütünde 4 günün sonunda toplam bakteri sayısında azalma gözlemlendiği belirtilmiştir.

Yapılan bir çalışmada alkole bağlı olmayan yağlı karaciğer hastalığı tanısı konmuş 18-60 yaş aralığı bireylerde 8 hafta boyunca düşük kalorili diyetin ve günlük 240 ml soya sütü alımının serum insülini, HOMA-IR (β -hücre fonksiyonunun homeostatik model değerlendirmesi), QUICKI (kantitatif insülin duyarlılığı kontrol indeksi) ve kan basıncı üzerinde yararlı etkileri olduğu belirtilmiştir (Maleki vd, 2019). Tis vd (2020) yürüttükleri bir çalışmada yüksek yağlı ve fruktozlu diyetle beslenen 40 dişi Wistar ratın 90 gün boyunca 10ml/kg kefir daneleriyle fermente edilen soya sütü tüketiminin, lökomotor performansını artırdığı, diğer gruptaki ratlara göre bağırsak ve pankreas lipaz aktivitesini azalttığı ve α amilaz aktivitesini inhibe ederek kan şekerinin % 36 düşürdüğü, LDLyi düşürdüğü, HDLyi artırdığı ve vücut ağırlığında % 20 azalma sağladığı ve karaciğer, böbrek dokularını toksisitelerinden koruduğu bildirilmiştir. Hu vd (2022) yaptıkları bir çalışmada *D*-galaktoz ile indüklenen sekiz haftalık Kunming farelere *Lactobacillus fermentum* ile fermente edilen soya sütü (200mg/kg) tüketiminin serum, gen ve protein ekspresyonu düzenlediği, antioksidan faktörlerin içeriğini ve antioksidan enzimlerin aktivitesini artırdığı, doku hücresinde peroksidasyon sürecini inhibe ettiği ve fare derisinin ve karaciğerinin oksidatif hasarını iyileştirebildiği belirtilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada fermente soya sütüne kapsüllenmiş ve kapsüllenmemiş *Lactobacillus crispatus* BC4 ve *Lactobacillus gasseri* BC9 (vajinal laktobasiller) eklenerek üretilen içeceklerde kapsüllenen bakterinin gastrointestinal koşullara dayanıklı olduğu, enteropatojenlere karşı antagonistik aktivite gösterdiği ifade edilmiştir (D'Alessandro vd, 2021).

2.10. Yulaf Sütü

Yulaf (*Avena sativa L.*) protein açısından zengin A, E vitamini, B1, B2, B6, B12 vitaminleri, Niasin ve C vitamini yanı sıra demir, kalsiyum, potasyum, magnezyum, bakır, çinko, silikon, selenyum gibi mineralleri de içermektedir (Durdu, 2023). 100 gram yulafta diyet lifi yaklaşık 10,6 g, protein 16,9 g, yağ 6,9 g, karbonhidrat 66,3 g ve 100 gram yulaf yaklaşık 389 kkal enerji verir (Ahmad vd, 2014). Yulaf'ın kolesterol düşürücü, antikanser gibi özelliklerinin yanı sıra çölyak ve diyabet hastaları için de yararlı bir besindir (Angelov vd., 2006; Deswal vd., 2014; Rasane vd., 2015).

Demir vd (2020) yaptıkları bir çalışmada yulaf sütüne (30 dakika 63°C) ısı işlem ve sarmal tüp destekli termal döngü (77.67 J/ml UV-C dozda ve 60°C) işlem uygulanarak üretilen yoğurdun *E. coli* miktarlarında azalma sağladığı ve mikrobiyolojik olarak güvenli bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Ayrıca sarmal tüp destekli termal döngü yöntemi yulaf sütünden üretilen yoğurdun sinerezi, dokusal ve duysal özelliklerini iyileştirdiği ifade edilmiştir (Demir vd, 2020). Yapılan bir çalışmada keçi sütüne belirli oranlarda (%8, %12 ve %16 w/v) yulaf sütü ve *Lactocaseibacillus casei* AP (% 2 ve % 4) eklenmesinin keçi sütü kefirinin viskozitesini artırdığı, istenmeyen sinerez sürecini azalttığı, fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerini etkilemediği fakat duysal özelliklerini iyileştirdiği bildirilmiştir (Wulansari vd, 2022). Literatür çalışmasında yulaf sütüne *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus bulgaricus*, aquafaba ve bitkisel yağ eklenerek üretilen yoğurdun depolama süresince aquafaba eklenmesinin sinerezi azalttığı ve su tutma kapasitesini artırdığı; aquafaba ve bitkisel yağların sertlik üzerinde ve jel yapısında olumlu etkilerinin olduğu ve 3 hafta boyunca 4°C'de *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus bulgaricus*' un kabul edilebilir düzeylerde kaldığı ifade edilmiştir (Raikos vd, 2020).

3. SONUÇ

Küresel çapta dünya nüfusun artmasına bağlı olarak doğal kaynakların sürdürülebilirlik konusunda azalması nedeniyle hayvansal kaynaklardan bitkisel kaynaklara eğilim yaygınlaşmaktadır. Bitkisel temelli kaynakların üretilmesi, fonksiyonel gıdaların vücuda faydalarına yönelik araştırmaların başlamasıyla bitkisel temelli sütlere dair araştırmalar önem kazanmıştır. Doymuş yağ asitli gıdaların özellikle LDL kolesterol ve kalp damar sağlığı üzerinde olumsuz etkilerinin ve laktoz intöleransı, gluten intöleransı gibi rahatsızlıkların artmasıyla bitkisel sütlerde ürün geliştirme artmaktadır. Araştırmamız gösteriyor ki yapılan bir çok çalışma ürünün fizikokimyasal, organoleptik ve reolojik özellikleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bitkisel sütlerin fonksiyonel anlaşılabilmesi için daha çok in vivo çalışmaya ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Abd-elmonsif, N. M., El-Zainy, M. A., Abd-elhamid, M. M. (2017). Comparative study of the possible effect of bovine and some plant-based milk on cola-induced enamel erosion on extracted human mandibular first premolar (scanning electron microscope and x-ray microanalysis evaluation), *Future Dental Journal*, 3 (1), 22-27. doi:10.1016/j.fdj.2017.02.001.
- Ahmad, M., Zaffar, G., Dar, Z. A., Habib, M. (2014). A review on oat (*Avena sativa* L.) as a dual-purpose crop, *Sci Res Essays*, 9, 52-9.
- Ajeigbe, K. O., Owonikoko, W. M., Egbe, V., Iquere, I., & Adeleye, G. (2017). Gastroprotective and mucosa homeostatic activities of coconut milk and water on experimentally induced gastropathies in male wistar rats, *Tissue and Cell*, 49 (5), 528-536.
- Angelov, A., Gotcheva, V., Kuncheva, R., Hristozova, T. (2006). Development of a new oat-based probiotic drink, *International Journal of Food Microbiology*, 112 (1), 75-80.
- Atalar, I. (2019). Functional kefir production from high pressure homogenized hazelnut milk, *LWT*, 107, 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.013>.
- Atalar, I., Kurt, A., Gul, O., & Yazici, F. (2021). Improved physicochemical, rheological and bioactive properties of ice cream: Enrichment with high pressure homogenized hazelnut milk, *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 24, 100358 doi:10.1016/j.ijgfs.2021.100358.
- Ayhan Elvanoğlu, E. (2020). *Ordu ve Giresun illeri findak bahçelerinde findak kozalak akarının zarar düzeyinin belirlenmesi*, Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma ABD, Samsun.
- Aysu, Ş., Akıl, F., Çevik, E., Kılıç, M. E., & İlyasoğlu, H. (2020). Development of homemade hazelnut milk-based beverage, *Journal of Culinary Science & Technology*, 1-9. doi:10.1080/15428052.2020.1859033.
- Baker, G. L., Sims, C. A., Gorbet, D. A., Sanders, T. H., & O'keefe, S. F. (2002). Storage water activity effect on oxidation and sensory properties of high-oleic peanuts, *Journal of food science*, 67 (5), 1600-1603.
- Bars, T., Uçum, İ., Akbay, C. (2018). ARIMA modeli ile Türkiye findak üretim projeksiyonu, *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 21 (Özel Sayı), 154-160.
- Bayazit, S., Tefek, H., Çalışkan, O. (2016). Türkiye'de ceviz (*Juglans regia* L.) araştırmaları, *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11 (1), 169-179.
- Bekiroglu, H., Goktas, H., Karabrahim, D., Bozkurt, F., & Sagdic, O. (2022). Determination of rheological, melting and sensorial properties and volatile compounds of vegan ice cream produced with fresh and dried walnut milk, *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 28, 100521.

- Bernard, A., Lheureux, F., & Dirlewanger, E. (2018). Walnut: past and future of genetic improvement, *Tree Genetics and Genomes*, 14 (1). <https://doi.org/10.1007/s11295-017-1214-0>.
- Bernat, N., Chafer, M., Chiralt, A., Gonzalez-Martinez, C. (2014). Vegetable milks and their fermented derivative products, *International Journal of Food Studies*, 13, 93-124.
- Bernat, N., Cháfer, M., Chiralt, A., González-Martínez, C. (2015). Probiotic fermented almond-milk as an alternative to cow-milk yoghurt, *International Journal of Food Studies*, 4 (2).
- Boaghe, E., Reşitca, V., Ciumac, J. (2018). Possibilities of walnut valorisation through walnut milk acidic beverage obtention, *In Modern Technologies in the Food Industry*, 171-176.
- Boriss, H. and Kreith M. (2006). Commodity profile: Peanuts, *Agricultural Marketing Research Center*, 1-9.
- Boyacıoğlu, D. ve Nilüfer, D. (2008). Soya ve soya ürünlerinin fonksiyonel gıda bileşenler, *Gıda (Derleme)*, 33 (5), 241-250.
- Bruno, L. M., Lima, J. R., Wurlitzer, N. J., & Rodrigues, T. C. (2019). Non-dairy cashew nut milk as a matrix to deliver probiotic bacteria, *Food Science and Technology*, 40, 604-607.
- Chen, C. Y., Milbury, P. E., Lapsley, K., Blumberg, J. B. (2005). Flavonoids from almond skins are bioavailable and act synergistically with Vitamins C and E to enhance hamster and human LDL resistance to oxidation, *J. Nutr.*, 135, 1366-1373.
- Chichłowska, J., Kliber, A., Kozłowska, J., Biskupski, M., & Grygorowicz, Z. (2009). Insulin, thyroid hormone levels and metabolic changes after treated rats with hemp milk.
- Çelik, S. K., Turan, E., & Şimşek, A. (2023). Some physicochemical and sensory properties of hazelnut beverages enriched with Vit-C source fruits and shelf life, *Gıda*, 48 (1), 185-198.
- D'Alessandro, M., Pisanu, F., Baldo, D. et al. (2021). Unravelling the functional and technological potential of soy milk based microencapsulated *Lactobacillus crispatus* and *Lactobacillus gasseri*, *Journal of Functional Foods*, 87, 104745.
- Davis, B. C., Kris-Etherton P. M. (2003). Achieving optimal essential fatty acid status in vegetarians: Current knowledge and practical implications, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78 (3), 640- 646.
- DebMandal, M., & Mandal, S. (2011). Coconut (*Cocos nucifera* L.: Arecaceae): in health promotion and disease prevention, *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 4 (3), 241-247.
- Deeseenthum, S., Luang-In, V., John, S. M., Chottanom, P., & Chunchom, S. (2018). Effects of kefir fermentation on antioxidation activities (in vitro)

- and antioxidative stress (in vivo) of three thai rice milk varieties prepared by ultrasonication technique, *Pharmacognosy Journal*, 10 (5).
- Demir, H., Simsek, M., & Yildirim, G. (2020). Effect of oat milk pasteurization type on the characteristics of oat milk yogurts, *LWT*, 110271. doi:10.1016/j.lwt.2020.110271.
- Deswal, A., Deora, N. S., Mishra, H. N. (2014). Effect of concentration and temperature on the rheological properties of oat milk, *Food and Bioprocess Technology*, 7 (8), 2451–2459.
- Durdu, Ü. (2023). *Köpek mamalarında pirinç yerine farklı oranlarda yulaf kullanımının etkileri*, Doktora tezi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı, Konya.
- ElSohly, M. A., Radwan, M. M., Gul, W., Chandra, S., & Galal, A. (2017). Phytochemistry of *Cannabis sativa* L. *Phytocannabinoids, Unraveling The Complex Chemistry And Pharmacology Of Cannabis Sativa*, 1-36.
- Ermiş, E., Güneş, R., İnci, Z. E. N. T., Çağlar, M. Y., & Yılmaz, M. T. (2018). Characterization of hazelnut milk fermented by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophiles*, *Gıda*, 43 (4), 677-686.
- Erol, H. (2020). *Badem sütünden ballı ve muzlu kefir üretimi*, Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Fawzi, N.Y., Abdelghani, D.Y., Abdel-azim, M.A. et al. (2022). The ability of probiotic lactic acid bacteria to ferment Egyptian broken rice milk and produce rice-based yoghurt, *Annals of Agricultural Sciences*, 67, 107–118.
- Florence, O. S., Abdoulaye, T., Fabrice, Z. A., Brice, K. K. J., & Adama, C. (2023). Potential use of cashew almond aqueous extract for yoghurt production, *Journal of Experimental Agriculture International*, 45 (3), 15-23.
- Góral, M., Kozłowicz, K., Pankiewicz, U., Góral, D., Kluza, E., & Wójtowicz, A. (2018). Impact of stabilizers on the freezing process, and physico-chemical and organoleptic properties of coconut milk-based ice cream, *LWT*, 92, 516-522.
- Gürarşlan Ceran, D. (2018). *Türkiye’de üretilen farklı fındık çeşitlerinin fındık zarı ve fındık küspesinin bileşimi, fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi*, Yüksek lisans tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği ABD, Mersin.
- Gürsoy, O., Gökçe, R. ve Kınık, R. (1999). Beslenmede yeni yaklaşımlar: Soya sütü ve ürünleri, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2 (3), 1123-1130.
- Hu, T., Chen, R., Qian, Y., et al (2022). Antioxidant effect of *Lactobacillus fermentum* HFY02-fermented soy milk on D-galactose-induced aging mouse model, *Food Science and Human Wellness*, 11, 1362-1372.

- Huang, Y. P., Paviani, B., Fukagawa, N. K., Phillips, K. M., Barile, D. (2023). Comprehensive oligosaccharide profiling of commercial almond milk, soy milk, and soy flour, *Food Chemistry*, 409.
- Hussein, A. M. S. and et. al. (2020). Fortified vegetarian milk for prevention of metabolic syndrome in rats: Impact on hepatic and vascular complications, *Heliyon*, 6, e04593.
- Ilikoud, N., Rosa do Carmo, L., Daniel, N. (2023). Development of innovative fermented products by exploiting the diversity of immunomodulatory properties and fermentative activity of lactic and propionic acid bacteria, *Food Research International*, 166, 112557.
- Ilyasoğlu, H., & Yilmaz, F. (2019). Preliminary investigation of yoghurt enriched with hazelnut milk, *International Food Research Journal*, 26 (2).
- Isanga, J., & Zhang, G. (2009). Production and evaluation of some physicochemical parameters of peanut milk yoghurt, *LWT-Food Science and Technology*, 42 (6), 1132-1138
- Jaycola, O., Yahaya, E., Olalekan, O., Igbinalodor, R., Mokwunye, C. (2018). Physicochemical, microbiological and sensory characteristics of cashew milk formulated yoghurt, *Full Length Research Paper*, 12 (8), 204-209.
- Kesenkaş, H., Akbulut, N., Yerlikaya, O., Akpınar, A., Açu, M. (2013). Ke-fir dondurması üretiminde soya sütünün kullanım olanakları üzerine bir araştırma, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 50 (1), 1-12.
- Kittibunchakul, S., Yuthaworawit, N., Whanmek, K., Suttisansanee, U., & Santivarangkna, C. (2021). Health beneficial properties of a novel plant-based probiotic drink produced by fermentation of brown rice milk with GABA-producing *Lactobacillus pentosus* isolated from Thai pickled weed, *Journal of Functional Foods*, 86, 104710. doi:10.1016/j.jff.2021.104710.
- Liu, W., Pu, X., Sun, J., et al. (2022). Effect of *Lactobacillus plantarum* on functional characteristics and flavor profile of fermented walnut milk, *LWT*, 160. 113254
- Maleki, Z., Jazayeri, S., Eslami, O., Shidfar, F., Hosseini, A. F., Agah, S., & Norouzi, H. (2019). Effect of soy milk consumption on glycemic status, blood pressure, fibrinogen and malondialdehyde in patients with non-alcoholic fatty liver disease: a randomized controlled trial, *Complementary Therapies in Medicine*. doi:10.1016/j.ctim.2019.02.020.
- Manousi, N., Zachariadis, G. A. (2019). Determination of volatile compounds in nut-based milk alternative beverages by HS-SPME prior to GC-MS analysis, *Molecules*, 24 (17), 3091.
- Manzoor, M. F., Siddique, R., Hussain, A., Ahmad, N., Rehman, A., Siddeeg, A., & Yahya, M. A. (2021). Thermosonication effect on bioactive compounds, enzymes activity, particle size, microbial load, and sensory

- properties of almond (*Prunus dulcis*) milk, *Ultrasonics Sonochemistry*, 78, 105705.
- Manzoor, M. F., Ahmad, N., Aadil, R. M., Rahaman, A., Ahmed, Z., Rehman, A., Siddeeg, A., Zeng, X.-A. Manzoor, A. (2019). Impact of pulsed electric field on rheological, structural, and physicochemical properties of almond milk, *J. Food Process Eng.*, 42 (8), e13299.
- Manzoor, M. F., Manzoor, A., Siddique, R., Ahmad, N. (2017). Nutritional and sensory properties of cashew seed (*Anacardium occidentale*) milk, *Modern Concepts & Developments in Agronomy*, 1 (1), 1-4
- Martins, I. M., Chen, Q. and Chen, C. Y. O. (2017). Emerging Functional Foods Derived from Almonds, I.C.F.R Ferreira., P. Morales, L. Barros in, *Wild Plants, Mushrooms and Nuts: Functional Food Properties and Applications* (pp. 445-469), United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.
- Mukuddem-Petersen, J., Stonehouse, W., Jerling, J. C., Hanekom, S. M., White, Z. (2007). Effects of a high walnut and high cashew nut diet on selected markers of the metabolic syndrome: A controlled feeding trial, *British Journal of Nutrition*, 97 (6), 1144-1153.
- N'Cho, C., Soro, D., Yeo, M. A., & Koffi, E. K. (2022). Influence of heat treatment on the nutrient profile of cashew kernel milk (*Anacardium occidentale* L.). *Journal of Food and Nutrition Research*, 10 (1), 58-64.
- Nissen, L., di Carlo, E., & Gianotti, A. (2020). Prebiotic potential of hemp blended drinks fermented by probiotics, *Food Research International*, 131, 109029. doi:10.1016/j.foodres.2020.109029.
- Ochoa-Velasco, C. E., Cruz-González, M., & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2014). Ultraviolet-C light inactivation of *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium* in coconut (*Cocos nucifera* L.) milk, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26, 199-204.
- Özalp, B. B., & Kürklü, N. S. (2020). Fonksiyonel bir gıda: Yer fıstığı ve sağlığa yararları, *Akademik Gıda*, 18 (3), 323-330
- Özcan, T., Delikanlı, B. ve Akin, Z. (2015). Soya biyoaktif bileşenleri ve sağlık üzerine etkisi, *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3 (6), 350-35.
- Padma, M., Jagannadarao, P. V. K., Edukondalu, L., Ravibabu, G., & Aparna, K. (2018). Physico-chemical analysis of milk prepared from broken rice, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7 (2), 426-428. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.054>.
- Raikos, V., Juskaite, L., Vas, E., & Hayes, H. E. (2020). Physicochemical properties, texture, and probiotic survivability of oat-based yogurt using aquafaba as a gelling agent, *Food Science & Nutrition*, 8 (12), 6426-6432.
- Rasane, P., Jha, A., Sabikhi, L. (2015). Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods - a review, *Journal of Food Science and Technology*, 52, 662-675.

- Ravindran, S. (2021). Probiotic oats milk drink with microencapsulated *Lactobacillus plantarum*—an alternative to dairy products, *Nutrition & Food Science*, 51 (3), 471-482.
- Richardson, D. P., Astrup, A., Cocaul, A. and Ellis, P. (2009). The nutritional and health benefits of almonds: a healthy food choice, *Food Science and Technology Bulletin: Functional Foods*, 6 (4), 41–50.
- Salve, A. R., Pegu, K., & Arya, S. S. (2019). Comparative assessment of high-intensity ultrasound and hydrodynamic cavitation processing on physico-chemical properties and microbial inactivation of peanut milk, *Ultrasonics Sonochemistry*, 59, 104728. doi:10.1016/j.ultsonch.2019.104728.
- Sethi, S., Tyagi, S. K., Anurag R. K. (2016). Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: A review, *Journal of Food Science and Technology*. 53, 3408–3423.
- Shori, A. B., Aljohani, G. B., Al-Zahrani, A. J. (2022). Viability of probiotics and antioxidant activity of cashew milk-based yogurt fermented with selected strains of probiotic *Lactobacillus* spp., *LWT*, 153, 112482.
- Silva, R. D., Velasco, J. I., Fakhouri, F. M. (2023). Use of rice on the development of plant-based milk with antioxidant properties: From raw material to residue, *LWT*, 173, 114271.
- Srinivasan, S., Jayaraman, A., Ramasamy, A. (2023). Isolation and characterization of glycoprotein (CNP) isolated from *Cocos nucifera* L. nutshell and its immunomodulatory role on macrophage activation, *Journal of Functional Foods*, 100, 105380.
- Şahin, İ., Akbaş, H. (2001). Farklı yöre ve çeşitlerden cevizlerin teknolojik özelliklerinin araştırılması, *Türkiye 1. Ulusal Ceviz Sempozyumu*, Tokat, 104-114, 5-8 Eylül.
- Şahingöz, S. ve Arlı, M. (2002). Bireylerin Soya fasulyesi ve ürünleri konusundaki bilgileri, bu ürünleri tanıma ve tüketim düzeyleri, *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 10 (10), 57-70.
- Taşdan, Z. (2021). *Aloe vera ve cocos nucifera' nın antimikrobiyal, antioksidan ve hep2 hücre hattı üzerindeki antitümoral etkinliğinin belirlenmesi*, Yüksek lisans tezi, Hitit Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Moleküler Biyoloji Ve Genetik Anabilim Dalı, Çorum.
- Tiss, M., Souiy, Z., Abdeljelil, N. ben, Njima, M., Achour, L., & Hamden, K. (2020). Fermented soy milk prepared using kefir grains prevents and ameliorates obesity, type 2 diabetes, hyperlipidemia and Liver-Kidney toxicities in HFFD-rats, *Journal of Functional Foods*, 67, 103869. doi:10.1016/j.jff.2020.103869.
- Topçuoğlu, E. (2019). *Badem sütü ile zenginleştirilmiş probiyotik yoğurt üretimi*, Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

- United States Department of Agricultural (USDA). (2019). Research Service National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release, 24.06.2023 tarihinde Food Data Central (*usda.gov*) adresinden alındı.
- Verma, D. K., & Srivastav, P. P. (2020). Bioactive compounds of rice (*Oryza sativa* L.): Review on paradigm and its potential benefit in human health, *Trends in Food Science & Technology*, 97, 355-365.
- Wang, Q., Jiang, J., & Xiong, Y. L. (2018). High pressure homogenization combined with pH shift treatment: A process to produce physically and oxidatively stable hemp milk, *Food Research International*, 106, 487-494. doi:10.1016/j.foodres.2018.01.021.
- Wulansari, P. D. (2022). Incorporation of oat milk with probiotic *Lactocaseibacillus casei* AP improves the quality of kefir produced from goat milk, *Food Science and Technology*, 42.
- Wunsch, N. G. (2023). Forecast of the retail sales of milk alternatives in the United States from 2020 to 2025, 22. 06. 2023 tarihinde <https://www.statista.com/statistics/1238235/forecast-of-the-retail-sales-of-milk-alternatives/> adresinden alındı.
- Zaaboul, F., Raza, H., Cao, C., & Yuanfa, L. (2019). The impact of roasting, high pressure homogenization and sterilization on peanut milk and its oil bodies, *Food Chemistry*, 280, 270-277. doi:10.1016/j.foodchem.2018.12.04.
- Zhao, J., et al. (2021). Physicochemical and microstructural properties of fermentation-induced almond emulsion-filled gels with varying concentrations of protein, fat and sugar contents, *Current Research in Food Science*, 4, 577-587.
- Zhao, L., Zhang, M., Wang, H., & Devahastin, S. (2020). Effect of carbon dots in combination with aqueous chitosan solution on shelf life and stability of soy milk, *International Journal of Food Microbiology*, 108650. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2020.1086.

Bentonitin Özellikleri, Oluşumu, Kullanımı ve Türkiye’den Örnek Yataklar

Didem KIRAY¹

Oya CENGİZ²

1. GİRİŞ

Bentonitin madencilik, sanayi, mühendislik jeolojisinde kullanılması, ülkemizde yüksek miktarlarda bulunması ve düşük maliyetli olması onu cazip hale getirmektedir. Yeni ve kaliteli yatakların bulunması ülke ve dünya ekonomisinde önemli bir yere sahip olması açısından önemlidir.

Bentonit adı, ilk olarak 1873 yılında Wyoming eyaletinde (ABD) William Taylor tarafından keşfedilmiştir. Eyalete yerleşenler “mineral sabunu” olarak adlandırılrsa da daha sonraları Rock Creek sahasında Fort Benton Formasyonunda bulunmasıyla “bentonit” olarak isimlendirilmiştir. (Davis, 1940). Aynı özelliklere sahip kil mineralinin 1874 yılında Fransa’nın Montmorillan bölgesinde bulunması nedeniyle bu kil mineraline “montmorillonit”e adı verilmiştir. (Caki, 1995).

Yaygın kullanılan bentonit, ana minerali montmorillonit olan killer için yumuşak kolloidal özellikli bir alüminyum hidrosilikattır. Bentonit, ticari anlamda suyla temasa geçince şişme, asitle aktiflendirilebilme ve sondaj çamurlarını koyulaştırma özelliğinde olan bir kil mineralidir (Grim, 1968).

Bentonit kili, alüminyum ve magnezyumca zengin volkanik kül, lav ve tüflerin alterasyonundan meydana gelir (Akbulut, 1996; Önem, 2000; Stoykov vd., 2007). Oluşumlarının doğasına bağlı olarak bentonitler, montmorillonite ek olarak (kuvars, feldspat, kalsit ve jips gibi) mineraller de içerir. Bu minerallerin varlığı, yatağın endüstriyel değerini etkileyebilir (Stoykov vd., 2007).

1 Dr. Didem KIRAY, dkiray17@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4187-7285

2 Dr. Öğr. Üyesi Oya CENGİZ, Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çünür Isparta, 32000. oyacengiz@sdu.edu.tr , ORCID: 0000-0003-1363-4638

2. FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Bentonit killерinin ana bileşeni, simektit grubunun bir parçası olan montmorillonittir (> %60-70) (Çizelge 1). Kuvars, feldispatlar, kalsit, nadiren pirit ve organik madde ile diğer kil mineralleri de (kaolinit, illit, karışık tabakalı kil mineralleri ve daha az genellikle klorit ve vermikülit) içerir. Simektitler, aralarında yer alan ve 2:1 oranında bir katman oluşturan iki tetrahedral ve bir oktahedral ağdan oluşan hidratlı alüminosilikatlardır. Oktahedral ve tetrahedral ağların bileşimindeki izomorfik yerleşimler nedeniyle, tabakanın negatif yükü oluşur ve bu, ara tabaka katyonları tarafından telafi edilir ve bentonit killерinin yüksek soğurma özelliklerini açıklar (Drits ve Kossovskaya, 1990).

Çizelge 1. Kil Minerallerinin Sınıflandırılması (Eslinger ve Pevear, 1988)

Tabaka Türü	Grup	Türler
1:1	Serpantin- Kaolin	Krizotil, antigorit, bertiyeri, odinit Kaolinit, dikit, nakrit, halloysit
2:1	Talk-pirofillit	
	Simektit	Saponit, hektorit Montmorillonit, baydelir, nontronit
	Vermikülit	
	İllit	İllit-glokonit
	Mika	Biyotit, flogopit, lepidolit Muskovit, paragonit
	Kırılgan Mika	Margarit
	Klorit	Fe ⁺² , Mg, Mn, Ni bileşimliler Donbasit Sudoyit, kokeyit (li) Tür bilinmiyor
2:1	Sepiyolit- Paligorsit	Ters-papyonlar Klorit, iz epidot

Montmorillonitin ara katman kompleksindeki değişim katyonlarının doğasına göre, bentonit killeri alkali (sodyum) ve toprak alkali (kalsiyum, magnezyum) tiplerine ayrılır. Alkali bentonitler, başta sodyum olmak üzere alkali metal iyonlarının hidratasyon için daha yüksek bir potansiyele sahip olması nedeniyle, toprak alkali olanlara kıyasla daha yüksek teknolojik özelliklere sahiptir (Osipov ve Sokolov, 2013).

Kil yatakları ve kil mineralleri genellikle doğaları bakımından farklılık gösterir, iki veya daha fazla yatak tam olarak aynı kil minerallerine sahip olamaz ve sıklıkla aynı yataklardan alınan farklı kil numuneleri farklılık gösterir. Fiziksel ve kimyasal özellikleri (şişme, plastisite, katyon değişim kapasitesi, vb.), simektit yapısı içindeki kimyasal ikame derecesindeki farklılıklar ve mevcut değişebilir katyonların doğası ve mevcut safsızlık miktarı nedeniyle tipik olarak yataklar içinde ve yataklar arasında değişir. (Trauger, 1994; James vd., 2008; Asad vd., 2013). Bentonit, en az %70 oranında montmorillonit içeren kildir. Montmorillonit, kafes iç içe geçmiş katyonlar nedeniyle değişim fazlası negatif yükün ortaya çıktığı ve ara katman alanında bulunan katyon değişimini telafi ettiği alüminosilikattir. Yüksek su yalıtımı bunun üzerinde şartlandırılmıştır. Su tavlama durumunda montmorillonitin ara katman bölgesine su nüfuz ederek yüzeyini nemlendirir ve katyon alışverişi yaparak mineralin şişmesini sağlar. Bentonit, suyla daha fazla seyreltme sırasında tiksotropik özelliklere sahip sağlam viskoz süspansiyon oluşturur. Montmorillonite, yüksek katyon değiştirme ve adsorpsiyon özelliklerine sahiptir (Stoykov vd., 2007).

Bentonitin ticari değerinin altında yatan montmorillonitin özellikleri, mikrometre altı kristal boyutu, levha benzeri yapısı, geniş yüzey alanı (800 m²/g'ye kadar), önemli negatif katman yükü (≈ 120 meq/100 g) ve karşı dengeleyici değişebilir yüzey katyonları ilişkilidir (Güven 2009). Değiştirilebilir katyonların hidrasyon enerjisi, bentonite suya karşı güçlü bir afinite verir. Bu özellikler, önemli sızdırmazlık, şişme ve yapışkan özellikleri dahil olmak üzere kilin toplu fiziksel özelliklerini belirlemede önemli olan parçacıklar arası kuvvetlerle sonuçlanır (Eisenhour ve Brown, 2009).

Bentonit, koloidal özelliği kuvvetlilik gösterir ve suyla temasında hacminin birkaç kat artmasıyla jelatinimsi ve viskoz bir sıvı oluşturur. En önemli özelliği, su ile etkileşim sırasında şişme özelliklerinden dolayı hacimlerinin büyük oranda artmasıdır. Dane boyutu $\leq 2 \mu\text{m}$ 'dir. İyonlaşma kapasitesi yüksek olan bentonitin plastisitesi de yüksektir. Yoğunluğu yaklaşık 2.6 gr/cm³'dür (Genç, 2009). Bentonitin kendine has özellikleri (viskozite, tiksotropi, hidrasyon, su emme, şişme ve adsorpsiyon/adsorpsiyon özellikleri, detoksifiye edici, sızdırmazlık maddesi, bağlayıcı) kağıt dolgu maddeleri, farmasötik ürünler, katalizör, nanokiller, sondaj sıvısında kullanımı, ağartma toprağı vb. (Trauger, 1994; Stoykov vd., 2007; James vd., 2008; Asad vd., 2013) kullanım ve uygulamalar için değerlidir.

3. OLUŞUMU

Bentonitler genellikle alkali elementleri süzen sıvılar ve yüksek Mg içeriği ile tercih edilen diyajenetik veya hidrotermal bozunma ile oluşur. Simektit

bileşimi kısmen ana kaya kimyası tarafından kontrol edilir. (Christidis and Huff,2009).

Volkanik piroklastik kayaçların simektite dönüşmesi yaygın bir süreçtir ve genellikle ticari değeri olan bentonit yatakları üretir. Bentonit öncülerinin volkanik doğasının kanıtı, birincil magmatik mineralleri (β -kuvars, biyotit, sanidin, zirkon, apatit, ilmenit, manyetit), taze, kısmen değiştirilmiş veya psödomorfik olarak simektit ile yer değiştirmiş olabilen cam parçaları ve karakteristik eser bileşenlerin dağılım modeli (nadir toprak elementleri-NTE) dir. Camın değişmesi, genellikle ignimbiritlerin kaynağı, gömme diyajenezi, temas metamorfizması, hidrotermal aktivite ve alkali göllerde ve deniz çökeltilerinde veya yeraltı suyunun süzülmesiyle hidrolizle ilişkili buhar fazı kristalleşmesi yoluyla meydana gelebilir. Buhar fazında kristalleşme, bentonit oluşumunda önemli bir süreç değildir. Bentonitler, camın akışkan bir faz ile alterasyonu sonucu oluşurlar, bu nedenle sulu ortamlarda, genellikle sığ denizlerde veya göllerde oluşurlar. Bununla birlikte, volkanik camın simektitlere dönüşmesi genellikle eksiktir ve eski volkan tortul tabakalarında bile taze cam parçaları korunabilir (Weaver 1989). Aslında, ticari bentonit yataklarının çoğu taze cam kırıkları içerir (Christidis and Huff, 2009).

Bentonitin ekonomik yatakları, üç mekanizmadan herhangi biri tarafından oluşturulabilir.

(a) Volkanik camın diyajenetik alterasyonu:

Sulu ortamlarda biriken volkanik cam kırıklarının diyajenetik alterasyonu, birkaç santimetre ila birkaç metre kalınlığında ve geniş alanlara yayılan büyük yataklar verir (Elzea ve Murray 1994). Bu nedenle önceki dönemlerde oluşan bentonit tabakaları stratigrafik korelasyon için yararlıdır (Huff vd., 1999). Ana kayaçlar genellikle oldukça patlayıcı püskürmelerden (yani subplinian veya plinian) türetilen veya volkanoklastik çökeltiler olarak taşınan volkanik kül yataklarıdır. Yatak kalınlığı, cam kırıklarının parçacık boyutu ve kalıntı magmatik mineraller volkanik patlamanın türüne bağlıdır. Volkanik camın bentonite diyajenetik alterasyonu, hidrolik gradyanlarla sürdürülen ve geçirgenlikle kontrol edilen konvektif akışla kolaylaştırılır. Sıcaklık gradyanları, konvektif akışı desteklemek için önemli kabul edilmez çünkü termal denge, volkanik parçaların birikmesinden kısa bir süre sonra kurulur. Bunun nedeni, volkanik püskürmenin uzun mesafeler kat etmesi ve çökmeden önce soğumasıdır. İyi bilinen diyajenetik bentonitlerin tipik örnekleri, Wyoming, Montana ve Texas'taki (ABD) yataklar, İngiltere'deki dolgu toprağı ve Almanya, Bavyera'daki bentonitler vb.dir (Christidis and Huff,2009).

(b) Volkanik camın hidrotermal alterasyonu:

Hidrotermal alterasyon, bentonit oluşumu için bir başka önemli süreçtir. Ayrıca, piroklastik kayaların yerleştirilmesinden sonra gazların ve buharların neden olduğu döterik alterasyonu da içerir (Grim ve Güven 1978).

İki tür hidrotermal alterasyon göz önünde bulundurulur: birincisi suyu ısıtmak için enerji kaynağının derinde bulunduğu magmatik bir kayacın tektonik yapılar ile alterasyonu ve ikincisi enerji kaynağının soğuyan piroklastik kayanın kendisi olduğu alterasyon ile ilişkilidir. İlk durumda, kırılma bölgeleri veya faylar boyunca akışkan akışı yoluyla, genellikle yapısal özelliğın eksenine paralel olarak zonlanmış uzun veya eliptik bentonit kütleleri oluşturan alterasyon meydana gelir (Ddani vd. 2005; Yıldız ve Kuşcu, 2007). İkinci durumda, ana kayanın soğuması, alterasyonu yönlendiren bir hidrotermal sistemi sürdürür. Hidrotermal sistem, soğutucu kaya ile sulu faz (deniz suyu veya tatlı su) arasındaki sıcaklık farkı sıvı akışını koruyabildiği sürece aktiftir. Başka bir deyişle, bu tür bir değişim, piroklastik akışlarda olduğu gibi, yerleştirme sırasındaki yüksek sıcaklıklar tarafından tercih edilir. (Cas ve Wright 1988'e göre 300-800°C).

Yunanistan'ın Milos Adası'ndaki bentonit yataklarının çoğu, piroklastik akışların alterasyonundan kaynaklanmaktadır. Diyajenetik ve hidrotermal (magmatik ısı) emsallerine göre bazı önemli farklılıklar gösterirler. Diyajenetik bentonitler gibi stratiformdurlar, ancak çok daha kalındırlar ve piroklastik akışın boyutlarıyla sınırlı mesafelere yayılırlar. Böyle bir birikinti, bir dizi ardışık akışta kalınlığı 60 m'yi geçebilir (Christidis and Huff,2009).

(c) Genellikle sepiyolit ve/veya paligorskit ile ilişkilendirilen kıvrıntılı simektitlerin çözünmesinden tuz gölleri ve sabkha ortamlarında simektit açısından zengin tortuların oluşumu:

Bu son süreç mutlaka piroklastik veya volkaniklastik öncüller gerektirmez ve kurak iklimlerde görülür. Sedimanter yataklar küçük miktarlarda trioktahedral simektitler (saponit ve stevensit) içerir, bu nedenle kaliteleri düşüktür. Oluşum süreci ne olursa olsun, volkanik camın alterasyonu sırasında zeolitler yerine simektitlerin oluşması için alkali elementlerin yıkanması ve yüksek $(Mg^{2+})/(H^+)$ gereklidir (Senkayı vd., 1984; Christidis 1998).

Magnezyum genellikle sıvı faz tarafından sağlanır, özellikle ana kaya asidiktir (Si bakımından zengin). Kütle dengesi hesaplamaları, ana kayadan bağımsız olarak, açık bir sistemin büyük su-kaya oranlarının simektit oluşturmak için gerekli olduğunu göstermektedir (Christidis 1998). Yüksek

su-kaya oranları, yüksek geçirgenlik ile kolaylaştırılır. Düşük geçirgenlik, dolayısıyla düşük su-kaya oranı, zeolitleri destekler. Smektitlerin, çeşitli ortamlarda zayıf kristalli öncülerden, genellikle jellerden oluştuğu rapor edilmiştir (Zhou ve Fyfe 1989; Christidis 2001), ancak böyle bir öncü faz her zaman gerekli değildir (Christidis and Huff,2009).

4. KULLANIM ALANLARI

Bentonitler, volkanik camdan oluşan ve ağırlıklı olarak smektit grubuna ait kil minerallerinden oluşan kil kayalardır. Bentonitler, kristal yapı, kimyasal bileşim, küçük kristal boyutu (dolayısıyla geniş özgül yüzey alanı), yüksek iyon değiştirme kapasitesi, değişebilir kation tipinde çeşitlilik, hidrasyon ve şişme davranışı gibi önemli fiziksel ve koloidal özellikler, dehidrasyon ve organik ve inorganik reaktiflerle reaksiyonlar gibi kimyasal özelliklere sahip oldukları için endüstriyel olarak kullanılırlar. (Odom 1984). Bu özelliklerinden dolayı, bentonitler delme, dökümhane işlemleri, demir cevheri peletleme, adsorbanlar, filtreleme, renk giderme ve berraklaştırma gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. En son geliştirilen uygulama ise nanokompozitlerin üretimidir (Christidis and Huff,2009).

Geleneksel olarak petrol kuyusu sondaj çamurunda, dökümhane kalıp kumları, peletleme demir cevherleri, kozmetik, boya, kağıt, temizlik maddeleri, dolgu macunları, hayvan yemi bağları, ağartma kili, tarımsal taşıyıcılar, evcil hayvan çöpi adsorbanları, yapıştırıcılar, ilaçlar, emülsiyon stabilizatörleri, kurutucular, katalizörler için bir bağlayıcı madde olarak kullanılmıştır (Nkaishi, 1997).

Bentonitleri Na-bentoniti, Ca-bentoniti ve Na-Ca bentoniti tipi olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Bain ve Morgan; 1983). Akbulut (1996), bentonitlerin hangi tip bentoniti olduğu hakkında kimyasal bileşimleri net bir sonuç vermediğini ancak değerlendirilmesi için faydalanılabileceğini belirtmiştir. Kimyasal bileşimleri baz alarak $Na_2O+K_2O/CaO+MgO$ oranı ≤ 1 ise sodyum bentoniti; $< 1 - 1/3$ sodyum-kalsiyum bentoniti; $< 1/3$ ise kalsiyum bentoniti sınıfında değerlendirmiştir. Üç tip şeklinde sınıflandırılan bentonitlerin kullanım alanlarındaki üstünlüklerini geliştirmek için, özellikle kalsiyum bentonitler etki maddeleri (soda, asit, inorganik ve organik bileşikler gibi) ile iyon değiştirme reaksiyonlarına katılarak katkılı veya aktif bentonit elde edileceğini söylemiştir.

Na-bentoniti, Na-Ca bentoniti ve Ca-bentoniti şeklindeki sınıflama teknolojik olarak kullanım alanlarını belirlemede etkilidir. Kullanım alanlarını tespit etmekte teknolojik test standartları ürün standartları olup rafine malzemelere uygulanır (Yavuz, 2010). Bentonitin çok fazla kullanım

alanı olmasına karşın Türkiye'deki bentonitin başlıca kullanım alanları sondaj, döküm, ağartma toprağı, kedi kumu, sabun-temizlik maddeleri, kağıttır.

Sondaj Sanayi: Petrol, su ve derin kuyu sondajlarında parçalanmış malzemenin yüzeye çıkması, sürtünmeyi azaltması ve tijlerin aşınma direncinin artırılmasında kullanılmaktadır (İpekoğlu vd., 1997).

Döküm Sanayi: Bentonitler %4-6 oranında silis kumuna eklenerek, kalıplarda genişleme ve deformasyonu önlemede, kabuklanma probleminin minimuma indirilmesinde kullanılır. Dökümde kalıp malzemesi olarak kullanılan kumlara bağlayıcılık özelliğini kazandıran bentonitin koloidal ve plastisite özelliğı karakteristiktir (Akbulut, 1996).

Ağartma Toprağı: Margarin ve sıvı yağlarda kullanılır. Son zamanlarda bu yağların ağartılmasında kullanılan doğal killer yerine performansının daha kuvvetli olması, rengi koyu yağlarda kullanılabilmesi ve yüksek oranda klorofilleri tutabilmesi sebebiyle asit aktivasyonlu killer kullanılmaktadır (İpekoğlu vd., 1997).

Absorban Killer - Kedi Kumu: Absorban özelliğıne sahip killer (Sepiyolit, bentonit, attapulgit vb.) için en önemli pazarı, kedi kumu oluşturur. Absorpsiyon gücü (kapasitesi yüksek), granüllerin boyutu (1-6 mm), bulk yoğunluğu karakteristik özelliklere sahip killer kullanılmaktadır. Kedi kumunda kullanılan killer bentonit (ağırlığı fazla killer) ve sepiyolit, attapulgit gibi (hafif ağırlıklı killer) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. (O'driscool 1992).

Sabun ve Temizlik Maddeleri: Yağları emme özelliğıne sahip olmalarından dolayı temizleme maddelerin yapımında beyaz bentonit kullanılmalıdır. Sabun yapımında kullanılan bentonitin emülsiyon özelliğıyle yağ asidini kısmen ornatmasını, karbon taneciklerini çekmesini ve deterjan etkisini, süspansiyon özelliğı ile de yüzey gerilimini azaltmasından sabunun dağılarak köpürmesini sağlamaktadır. (Özkan ve Erkalpa, 1977).

Kağıt sanayi: Kağıt sanayide uzun zamandır gelişmiş ülkelerde dolgu maddesi olarak modifiye bentonitler kalsitin yerine kullanılmaktadır (Grim, 1968). Sodyumlu, kuvarssız ve ince taneli bentonit kullanılmalıdır. Kağıt hamuruna katılan bentonit dolgu (%1 oranında), hamur içinde pigment, reçine ve bal mumunun homojen dağıtılması gibi işlevler görür (Grim ve Güven, 1978).

5. DÜNYA'DAKİ VE TÜRKİYE'DEKİ BENTONİT YATAKLARI

Dünya'daki en önemli bentonit yatakları; ABD (Wyoming), İtalya (Ponza-Sardunya), Yunanistan (Milos), Almanya (Bavyera), İspanya (Almeria)'da bulunmaktadır (MTA, 2018). Dünyada bentonit rezervi Çizelge 2'de olduğu gibidir ve toplam 19.000 tondur (Mineral Commodity Summaries, 2023).

Çizelge 2. Dünya'daki bentonit rezervleri

ÜLKE	REZERV (ton)
Amerika Birleşik Devletleri	4500
Hindistan	3000
Çin	2100
Türkiye	2000
Yunanistan	1300
Danimarka	1000
İran	700
Çekya	230
Brezilya	220
İspanya	210
Ukrayna	180
Diğer ülkeler	3429

Türkiye'nin bentonit rezervleri 238 milyon ton civarındadır (Mapeg, 2023). Türkiye'deki bentonit yatakları Edirne (Enez), Çankırı, Çanakkale, Kütahya (Demirli), Manisa (Osmançalı), Tokat (Reşadiye), Ankara (Kalecik), Ordu (Ünye-Fatsa) ve Giresun (Tirebolu)'da bulunur (Şekil 1). Türkiye'de magmatik kayalar, volkanik ara katkılı çökel ve sadece çökel birimlerin içinde bulunmaktadır. Mercek, cep, kütle ara seviyeler ve tektonik yapılar boyunca düzensiz yataklanma gösterirler. (MTA 2018).

Türkiye'de Na bentonitleri az bulunmasına karşın Ca bentonit ve ara tip (Na-Ca) bentonit rezervi Türkiye'de oldukça fazladır. Ağartma ve kedi kumu olarak kullanılan Ca bentonit Ordu-Ünye-Fatsa'da büyük yataklar teşkil etmektedir. Çankırı bentoniti döküm bentoniti olarak değerlendirilmektedir. Diğer bir büyük rezerv ise sondaj ve peletleme bentoniti olarak değerlendirilen Na bentonit Tokat-Reşadiye'dedir (MTA 2018, DPT 2001).

Ordu (Ünye, Fatsa, Giresun (Tirebolu), Balıkesir, Kütahya, Edirne ve Konya çevresinde Ca bentonit tipi yataklar mevcuttur. Bu bentonit tipi

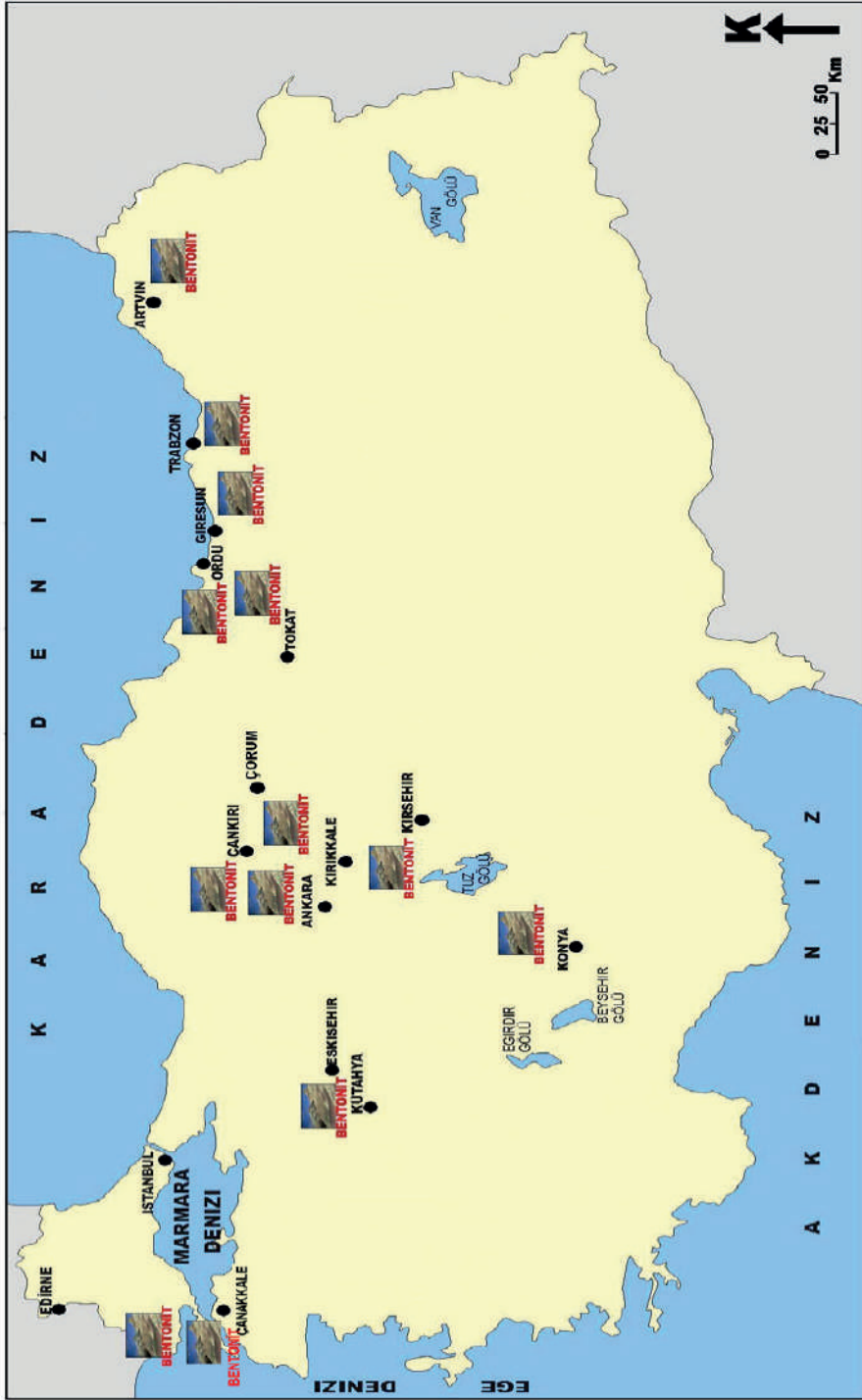
yağların ağartılması, şarap ve biralarda berraklaştırılmasında, deterjan ve kağıt sektörlerinde kullanıma uygundur. Ancak, oluşum koşullarına göre farklı özellik gösteren bentonit yataklarının bir kısmı doğrudan ağartma, berraklaştırma, temizlik malzemesi (deterjan, sabun) ve kağıt üretimi amaçları için kullanıma uygun değildir ve aktivasyon işlemi gerekmektedir. Ordu (Ünye, Fatsa) ve Giresun bölgelerindeki beyaz renkli bentonitler deterjan sanayinde kullanıma uygun olması ve bu yataklardan önemli miktarlarda ihracat yapılması sebebiyle ayrı bir öneme sahiptir (ÖİK, 2015).

5.1. Türkiye’de Bulunan Önemli Bentonit Yatakları

5.1.1. Enez-Edirne Bentonit Yatağı

Bentonit yatakları Edirne’nin Enez ilçesinin güney ve güneydoğusunda yer alır. Buradaki bentonitler açık gri, açık yeşil renklidir. Yaklaşık 1 metre kalınlıkları ve stratigrafik istifte ardalanmış seviyeleri mevcuttur. Bentonitlerde korunmuş kalıntı tuf dokusu içinde değişik boyda çeşitli mineral ve kayaç kırıntıları da bulunur. Denizel kökenli volkano-çökel istifin havza kenarına yakın kesimlerinde volkanik kökenli kayalar, güneye doğru ise taşınmış malzeme ile organik oluşumlar hakimdir. Bentonitik killerin içinde killeşmiş volkanik kaya kırıntıları, yer yer opaklaşmış biyotit ve feldspat kristal kalıntıları (1-2 mm) ile çatlak dolgusu halinde karbonat ve jips izlenir. Başlıca simektit mineralleri ile az miktarda kristobalite bulunmaktadır. Kilin içerisinde korunmuş kalıntı tuf dokusunun olması ve taşınmış malzeme olmaması, bentonitin yerinde oluştuğunun kanıtıdır. Bentonit oluşumu sırasında ortaya çıkan

silis, bant ve yumruları ile feldspatın bozuluşu ile yer yer karbonat oluşumları halinde çökelmiştir. Ayrıca ortamdaki Ca^{+2} iyonları hem bentonitin Ca bentonit tipinde olmasını hem de sülfat ile tepkimeye girerek az miktarda jips oluşumunu sağlar. Bentonit yatağındaki killerde %70-85 montmorillonit içermektedir. Enez’in farklı lokasyonlarında doğal ağartma toprağı nitelikli Ca-bentonit yatakları mevcuttur (Akbulut, 1996).



Şekil 1. Türkiye'deki bentonit yatakları (Çinku, 2008)

5.1.2. Kütahya ve Eskişehir Bentonit Yatakları

Kütahya'nın Başören köyünde bulunan bentonit yatağı pembe ve beyaz bentonitlerden oluşur. Yatağın temelini Paleozoyik yaşlı metamorfikler, kristalize kireçtaşları ile Mesozoyik yaşlı, yer yer serpantinleşmiş bazik, ultrabazik kayalar oluştururken yatağın büyük bölümünde mangan dendritleri ve sızmaları izlenir. Yakın çevresinde perlit yüzlekleri de görülen yatak, beyaz riyodasitik pomzalı tüfler ile ignimbritler içinde yer alır. Başören bentonitleri montmorilonit ve az miktarlarda da kristobalit içermektedir (Akbulut, 1996).

Uzun yıllardan beri yörede temizlik işlerinde kullanılan Eskişehir (Mihalıççık) bentonitler, açık yeşil-gri renklidir. Ancak Eskişehir yakınlarında, jel indeksi yüksek ve 25ml/2g'lık şişme hacim değerleri olan Na bentonit oluşumları belirlenmiştir (Akbulut, 1996).

5.1.3. Reşadiye-Tokat Bentonit Yatağı

Kelkit vadisinin kuzey kesimi boyunca başlıca Niksar, Bereketli ve Reşadiye bentonitleri ile çok sayıda bentonit oluşumu görülmektedir. İşletilmekte olan ve Türkiye'nin sondaj bentoniti Reşadiye bentoniti olarak isimlendirilen bu bentonit, Na ve Na-Ca tiptedir. Bölgede bentonitin konumlandırılması alttan üste doğru mor renkli trakiandezitik tüf ve kumlu kilaşı, gri, mor, yeşil, kırmızı andezitik, dasitik, traki-andezitik tüfler, bentonit, düzgün, ince katmanlı alacalı biyomikrit-bentonit ardalanması şeklindedir. Kullanım alanlarının sondaj, döküm ve peletleme olacak özelliğindedir. (Akbulut, 1996).

5.1.4. Ünye, Fatsa-Ordu Bentonit Yatakları

Türkiye'nin en önemli beyaz bentonit yatakları Ordu'nun Ünye ve Fatsa ilçeleri arasındadır. Ünye-İnkur Belediyesi beyaz bentonit yatağı Ca bentonit yatağıdır. Bentonit sahalarının tabanında Üst kretase yaşlı saçılmış pirit içerikli riyodasitler bulunur. Onun üzerinde andezitik tüf arakatlı riyodasitik tüf breşi bulunmaktadır. Bu birimlerin üzerine dasitik tüf mercekleri içeren beyaz bentonitler gelmektedir. Bentonitlerin üzerinde alt seviyeleri bentonitleşmiş dasitik tüfler bulunmaktadır. Dasitik tüflerin altında yaygın olarak 40-50 metre kalınlıkta bentonitler mevcuttur. Seramik hammaddesi olarak kullanılabilen bentonitler temiz, beyaz-kirli beyaz renkli, ara ara pembe lekeli. Seramik hammaddesi, yağların ağartılması, deterjan yapımı ve kağıt endüstrisinde kullanılabilirliği kanıtlanmış olan bentonitler, kirli beyaz, yeşilimsi renkli, kalınlıkları 1-10 cm arasında değişen yeşil-gri ayrılmış safsızlıklar içerir. Ünye ve Fatsa bentonitlerinin yağ arıtma ve kağıt sanayinde kullanımına uygun olduğu belirlenmiştir (Akbulut, 1996).

6. SONUÇLAR

Bentonit, simektit grubuna ait montmorillonittir. İçerisinde kuvars, kalsit, feldispatlar, az miktarda pirit, organik maddelerin yanısıra kaolinit, illit, klorit, vermikülit gibi kil mineralleri de bulunmaktadır.

Kil mineralleri fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından değişiklikler göstermektedir. Bentonit, su ile karıştırıldığında koloidal, yüksek katyon değişimine, adsorpsiyon, şişme, plastisite, sızdırmazlık, ve yapışkan özelliklerine sahiptir. Bu özelliklere bağlı olarak Na (alkali), Na-Ca (yarı alkali) ve Ca (toprak alkali) bentonit şeklinde sınıflandırılmaktadır (Bain ve Morgan; 1983).

Dünyada rezerv bakımından 4. sırada olan Türkiye 238.000 milyon ton civarı rezervi olan geniş bentonit yataklarına sahiptir. Bu rezervin büyük bir miktarını Na-Ca ve Ca bentonit yatakları karşılamaktadır. Yatakların büyük bir bölümü Marmara, Orta Karadeniz ve Orta Anadolu Bölgeleri'nde yer alır. Türkiye'de bilinen bentonit yatakları Edirne -Enez, Çankırı, Çanakkale, Kütahya (Demirli), Manisa-Osmançalı, Tokat-Reşadiye, Ankara-Kalecik, Ordu- Ünye/Fatsa ve Giresun-Tirebolu'da bulunur (Şekil 1). Bu yataklar diyajenetik alterasyonlar, hidrotermal alterasyonlar ve sedimanter ortamlar (yüzey alterasyonu) olarak üç mekanizmadan oluşmaktadır. Oluşumlarına ve fiziksel-kimyasal özelliklerine göre geniş kullanıma sahiptirler.

Ülkemizde bentonit killерinin sondaj, peletleme, döküm, ağartma, temizlik maddesi, kağıt sanayi, kedi kumu gibi birçok alanda kullanımı mevcuttur. Bentonitlerin faaliyet alanlarına göre kullanımlarında çeşitlilik göstermesi ile yeni ve ekonomik yatakların aranması, bulunması ve faaliyete geçirilerek işletilmesine olanak sağlar.

KAYNAKLAR

- Akbulut, A. (1996). Bentonit MTA Yayınlan - Eğitim Serisi No: 32. Ankara
- Asad, A., Kar, S., Ahmeduzzaman, M., ve Hassan, M. (2013). Suitability of Bentonite Clay: an Analytical Approach. *International Journal of Earth Science*, 2(3), 88-95.
- Bain, J. A. ve Morgan, D. J. (1983). Laboratory separation of clays by hydro-cycloning. *Clay Minerals*, 18(1), 33-47.
- Caki, M. (1995). Evolutions of Ünye Karahamza Bentonites, Thesis of PhD., I.T.U., Institute of Sciences, Istanbul
- Cas, R.A.F, Wright J.V. (1988) Volcanic Successions, Modern and Ancient. Unwin Hyman, London, 528 pp
- Christidis, G.E. (1998) Comparative Study of the Mobility of Major and Trace Elements during Alteration of an Andesite and a Rhyolite to Bentonite, in the Islands of Milos and Kimolos, Aegean, Greece. *Clays and Clay Minerals* 46: 379-399
- Christidis, G.E. (2001) Formation and Growth of Smectites in Bentonites: a Case Study from Kimolos Island, Aegean, Greece. *Clays and Clay Minerals* 49: 204-215
- Christidis, G. E., ve Huff, W. D. (2009). Geological Aspects and Genesis of Bentonites. *Elements*, 5(2), 93-98.
- Çinku, K. (2008). Aktivasyon Yöntemleri ile Bentonitten Su Bazlı Kıvamlaştırıcı Üretimini Araştırılması. İstanbul Üniversitesi, Doktora Tezi, Yayınlanmamış, 118s.
- Davis, W. (1940). Bentonit Özellikleri, İşletilmesi Hazırlanması ve Kullanılması. Washington: MTA Derleme-2392.
- Ddani, M., Meunier, A., Zahraoui, M., Beaufort, D., El Wartiti, M., Fontaine, D., Boukili, B. ve El Mahi, B. (2005) Clay Mineralogy and Chemical Composition of Bentonites from the Gourougou Volcanic Massif (North-east Morocco). *Clays and Clay Minerals* 53: 250-267
- Drits, V.A. ve Krossovskaya, A.G. (1990). Glinistye Mineraly: Smektity, Smeshanosloynnye Obrazovaniya [Clay Minerals: Smectites, Mixed-Layer Formations]. Moscow: Nauka, 176 p
- DPT:2621-ÖİK:632. (2001). Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu (Bentonit- Barit- Diatomit- Aşındırıcılar), Ankara.
- Eisenhour, D. D. ve Brown, R. K. (2009). Bentonite and its Impact on Modern Life. *Elements*, 5(2), 83-88.
- Elzea, J. ve Murray, H.H. (1994). Clays: Bentonite. In: Carr DD (ed) *Industrial Minerals & Rocks*, 6th Edition. SME Littleton Co., pp 233-246

- Eslinger, E. ve Pevear, D.R. (1988). Clay Minerals for Petroleum Geologists and Engineers: SEPM Short Course Notes No, 22, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, Oklahoma.
- Genç, S. (2009). Şişen Zeminler Ve Bentonit–Kaolin Karışımlarının Şişme Özellikleri, (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Grim, R., E. (1968), Clay Mineralogy, 2nd Edition, McGraw-Hill Book Co., New York, 596.
- Grim, R.E ve Güven N (1978). Bentonites: Geology, Mineralogy, Properties and Uses. Elsevier, Amsterdam, 256 pp.
- Güven, N. (2009). Bentonites- Clays for Molecular Engineering. Elements 5: 89-92
- Huff, W.D., Müftüoğlu, E., Kolata, D.R. ve Bergström, S.M. (1999). K-Bentonite Bed Preservation and its Event-Stratigraphic Significance. Acta Universitatis Carolinae-Geologica 43: 491-493.
- İpekoğlu, B., Kurşun, İ., Bilge, Y. ve Barut, A. (1997). Türkiye Bentonit Potansiyeline Genel Bir Bakış. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17.
- James, O. O., Mesubi, M. A., Adekola, F. A., Odebunmi, E. O. ve Adekeye, J. I. D. (2008). Beneficiation and Characterisation of a Bentonite from North-Eastern Nigeria. *Journal of the North Carolina Academy of Science*, 154-158.
- Mineral Commodity Summaries (2023). U.S. Geological Survey, 58-59. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023.pdf>
- MTA (2018). Dünyada Ve Türkiye’de Bentonit.
- Nakaishi, K. (1997). Flow Characteristic of Dilute Na Montmorillonite Suspension. *Applied Clay Science*, 12(4), 377-386.
- Odom, I.E. (1984). Smectite Clay Minerals: Properties and Uses. *Philosophic Transactions of the Royal Society of London A311*: 391-409.
- O’Driscoll, M. (1992). European cat litter. Absorbing market growth. *Industrial Minerals*, 299, 46-65.
- Osipov, V. I. ve Sokolov, V. N. (2013). Gliny i İkh Svoystva. Sostav, Stroyeniye i Formirovaniye Svoystv [Clays and their properties]. Moscow: GEOS, 536 p.
- ÖİK. (2015). Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018), Madencilik Politikaları, Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Ankara: Kalkınma Bakanlığı.
- Onem, Y. (2000). Sanayi Madenleri, Kozan Ofset Mat. *San. ve Tic. Ltd. Şti*, 19-33.
- Özkan, O ve Erkalfa, H. (1977). Türkiye’deki Ticari Bentonit Killerinin Özellikleri ve Kullanış Alanlarının Tespiti, Marmara, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Ünitesi Raporu, İstanbul.

- Senkayi A.L., Dixon, J.B., Hossner, L.R., Abder-Ruhman, M., Fanning, D.S. (1984). Mineralogy and Genetic Relationships of Tonstein, Bentonite, and Lignite Strata in the Eocene Yegua Formation of East-Central Texas. *Clays and Clay Minerals* 32: 259-271
- Stoykov, S., Harizanov, M., ve Zlatanov, V. (2007). Geology, Chemistry Composition and Prepared Bentonite and Activated Bentonite Clay from Deposits "Propast-Dobrovolets", Kardjali Applicability in Drilling Operation. *Annual of the University of Mining and Geology "ST. IVAN RILSKI"*, *Geology and Geophysics*, 50, 111-115.
- Trauger, R. J. (1994). The Structure, Properties, and Analysis of Bentonite in Geosynthetic Clay Liners. In *Proc. Geosynthetic Research Institute, 8th GRI Conference, Philadelphia, PA, USA* (pp. 13-14).
- Weaver, C.E. (1989). *Clays, Muds, and Shales. Developments in Sedimentology* 44, Elsevier, Amsterdam, 819 pp.
- Yavuz, H. (2010). Fatsa-Arpalık Köyü (Ordu, KD Türkiye) Yöresi Bentonit Oluşumlarının Mineralojik ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi, Kullanım Alanlarının Belirlenmesi, Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 64 s.
- Yildiz, A, ve Kusu, M (2007). Mineralogy, Chemistry and Physical Properties of Bentonites from Basören, Kütahya, W. Anatolia, Turkey. *Clay Minerals* 42: 399-414
- Zhou, Z. ve Fyfe W.S. (1989). Palagonitization of basaltic glass from DSPD Site 335, Leg 37: Textures, chemical composition, and mechanism of formation. *American Mineralogist* 74: 1045-1053
- <https://www.mapeg.gov.tr/Custom/Madenistatistik>. Erişim Tarihi: 02.07.2023

Saç Metaller İçin Bükme Kalıbı Analiz Programı Geliştirilmesi

Mustafa BOZDEMİR¹

1. GİRİŞ

Saç metal malzemelerin kimyasal bileşenleri, kesme kalıplarında atık malzemelerin azaltılması, kesme-bükme güçlerinin hesaplanması vb. gibi konular kalıpcılık konusunda bazı önemli araştırma konularıdır. Araştırmaların üzerinde yoğunlaştığı diğer önemli bir konu ise, bükme kalıplarında saç metal malzemenin kalıplanması sonrasında oluşan geri esneme hatasının en aza indirilmesine yönelik yapılmaktadır. Geri esneme konusunda yapılan bazı önemli çalışmalara bakıldığında, değişik saç metal malzemelerin farklı bükme açılarında deneylerinin yapılması, deneysel veriler ile tahmini hesaplama sonuçlarının uyumlarının karşılaştırılması, sonlu elemanlar metodu kullanılarak hata miktarlarının optimizasyonu, kalıp setlerinin yada zımbaların geri esnemeyi azaltıcı şekilde tasarımı ve geri esnemenin tahmininde yapay zeka uygulamaları kullanımı gibi genel başlıklar altında özetlemek mümkündür.

Gerri esneme hatasının belirlenmesinde kullanılan son yöntemlerden birisi de yapay zeka kullanımınıdır. Yapay zeka uygulamaları kendi içerisinde uzman sistemler, genetik algoritmalar, bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi yöntemlerle yapılabilmektedir (Bozdemir, 2008).

Deneysel sonuçlara dayalı değişik metal tipleri için istatistiksel model hazırlama ve kaynak yapılmış metallerin geri esneme miktarlarının tahmini için de değişik çalışmalar yapılmıştır (Inamdar and Date, 2000; Chang and Shin 2002).

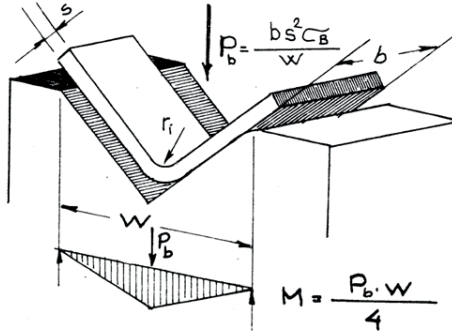
Bükme kalıpları içerisinde önemli yere sahip V bükme kalıplarında oluşan geri esnemenin tahmininde, çeşitli malzeme ve parametreleri değiştirerek çok sayıda deneyler yapılmıştır. Kullanılan genel parametreler; Uygulama

1 Prof.Dr., Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü

kuvveti, saç malzeme kalınlığı, zımba yarıçapı ve kalıp bükme açıklık mesafesi gibi değerlerdir (Tsen and Chen, 1995; Tan, 1994).

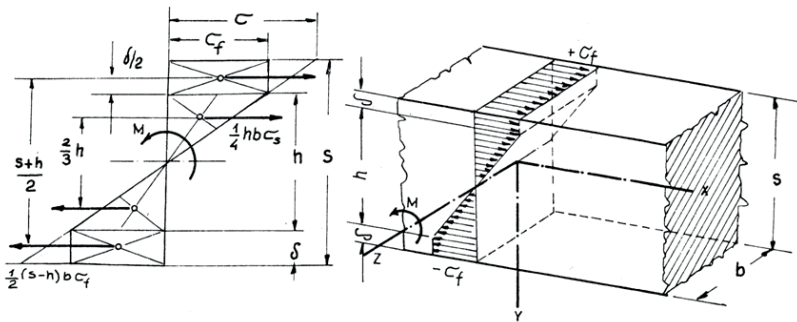
2. SAÇ METAL BÜKME İŞLEMİ

Bükme, saç metal malzemelerine şekil verme işlemidir. Diğer kalıplama işlemlerine göre daha kolay bir işlemdir. Biçimlendirme işleminin özelliğine göre bükme kalıpları, temel bükme, kenar bükme, katlama-kenet bükme, kıvrırma ve oluklama bükme gibi sınıflandırılabilir. Şekil 1'de bir bükme kalıbı görülmektedir (Erişkin, 1986).



Şekil 1. Bükme kalıbı (Güneş, 1989)

Bükme, genellikle saç veya şerit malzemelerin bir eksen etrafında şekil değiştirme işlemidir. Saç malzemeler, plastik şekil değiştirme oranları içerisinde bükme işlemine tabi tutulur. Uygulanan bükme kuvveti parça üzerinden kalkınca, parça kalıcı şeklini korur. Bükme işlemine tabi tutulan parçanın iç yüzeyinde çekilme gerilimi meydana gelir (Uzun,1983).



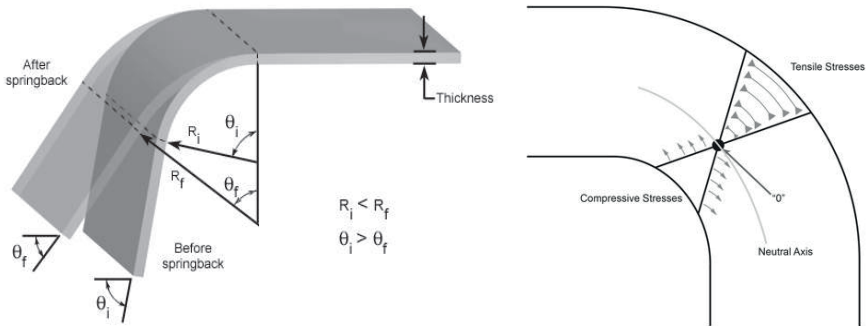
Şekil 2. Bükme sonrası oluşan gerilmeler (Güneş, 1989)

Şekil 2’de bükülen parçalar üzerinde meydana gelen gerilmeler ve tarafsız eksen gösterilmektedir. Tarafsız eksenin üstünde kalan bölgede uzama ve çekme gerilmesi oluşurken, alt bölgede kısalma ve basma gerilmeleri oluşmaktadır. Bu gerilmelerin büyüklüğü parçada oluşacak geri esneme kuvvetinin büyüklüğünü oluşturur (Uzun,1983).

İyi bir bükme profili elde edilmek isteniyorsa, saç malzemenin bükme merkezi etrafındaki oluşacak gerilmelerin çok iyi tespit edilmesi gerekir. Bükme işlemi sırasında zımbanın saç parçayı şekillendirmeye başlamasıyla birlikte, iş parçası yüzeylerini yoğun bir şekilde basma ve çekme kuvvetleri etkilemektedir. Bükme kuvvetinin ortadan kalmasıyla oluşan gerilme kuvvetleri saç metal üzerinde bir miktar şekil değişikliği oluşturur. Bükme kalıbı tasarımı sırasında gerekli esneme miktarına uygun tolerans zımba yada dişi kalıba yansıtılamazsa, yapılacak bükme işleminde istenilen bükme açısı değeri elde edilemez.

3. GERİ ESNEME OLAYI

Bükme işlemi sırasında, metallerin elastikiyet sınırı aşılır fakat akma gerilmesi sınırı aşılamaz. Bu nedenle malzeme orijinal esnekliğinin bir kısmını hale muhafaza etmektedir. Saç malzeme üzerinde uygulanan zımba bükme kuvveti ortadan kalktığıında, Şekil 3’de görüldüğü parça üzerinde bir geri esneme meydana gelmektedir. Oluşan geri esneme neticesinde iş parçası bükme zımbasına verilen açıdan farklı bir açı değerine ulaşır. Bu değişim kullanılan saç malzemenin cinsi, zımba ucu kavis yarıçapı, saç malzemenin kalınlığı ve bükme kalıp aralığı gibi değişkenlere bağlıdır (Özgür, 2003; Shu and Hung, 1996).



Şekil 3. Bükme işleminde geri esnemenin oluşumu

Bükme şartlarına, malzeme cinsine ve bükme boyutlarına bağlı olan geri esneme miktarının bulunmasında teorik yöntemlerden çok deneysel verilerden yararlanılmaktadır. Teorik hesaplama ve öneriler uzun plastisite problemleri olmaları ve kesin çözüm sunmadığından dolayı uzun hesaplamalar yerine deneysel veriler daha kullanışlı olmaktadır (Güneş, 1989).

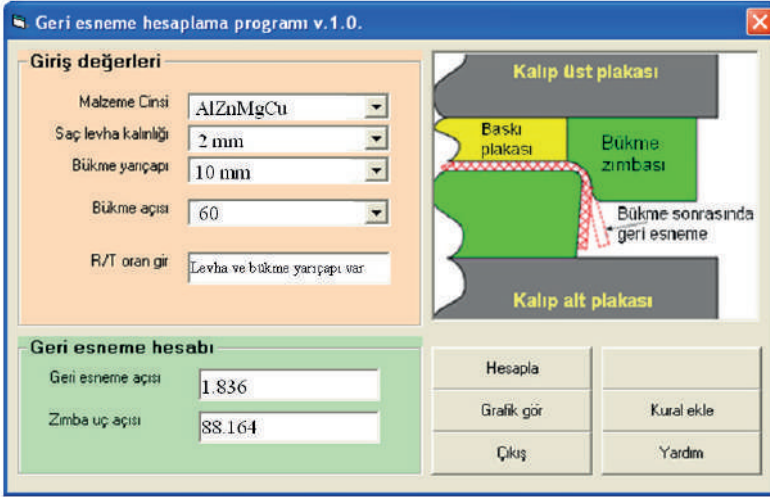
Bükme kalıplarında tolerans sınırları içerisinde üretim yapılabilmesi için oluşacak geri esnemenin, kalıbın tasarımında göz önünde bulundurulması gerekir. Bükme kalıbı tasarımı sırasında geri esnemenin azaltılması için değişik bükme açısını teorik hesaplara göre artırma, taban (ezme) bükme ve germe (çekme) bükme gibi bazı yöntemler kullanılmaktadır. Deneysel verilerin bulunmadığı malzeme türleriyle çalışırken yaklaşık sonuçlar elde edebilmek için kullanılan geri esneme katsayısı hesaplama formülü şu şekilde yazılabilir.

$$K = 1 - \frac{2 \times M(r_i + 0,5 \times s)}{E \times b \times s^3} \quad (1)$$

Bu formülde M: Bükme momenti, r_i : bükme yarıçapı, s: levha kalınlığı, E: Elastikiyet modülü, b: Büküm genişliği ve sonrasında elde edilen K ise geri esneme katsayı değeridir. Bu katsayı değeri bükme yarıçapı ile çarpıldığında zımba ucuna verilmesi gereken uç kavisi elde edilir.

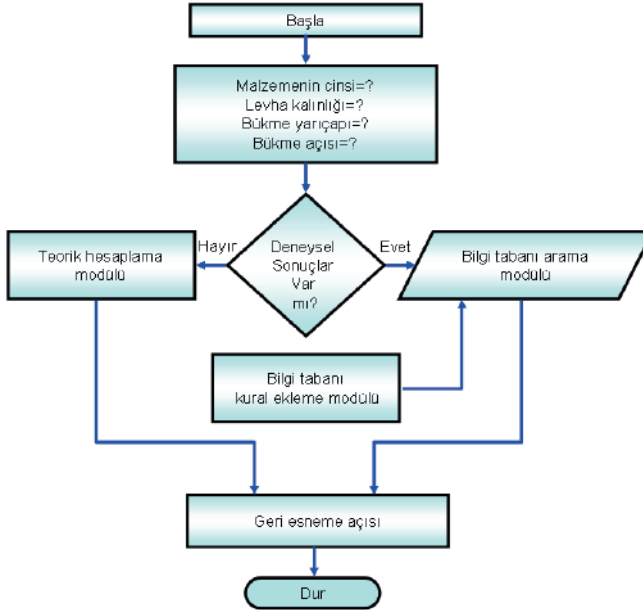
4. ANALİZ PROGRAMI VE YAPISI

Geri esneme hesabını kolaylaştırmak, yapılan deney sonuçları ve teorik hesaplamaları bir arada kullanılabilir hale getirmek, etkileşimli kural oluşturma menüsü ile geliştirilebilir bir yazılım oluşturmak amacıyla “Geri esneme hesaplama programı v.1.0” geliştirilmiştir. Program Visual Basic 6.0. programı kolay kullanımlı ve kullanıcı merkezli bir program olarak tasarlanmıştır. Şekil 4’de programa ait ana menüsü görülmektedir.



Şekil 4. Program ana menüsü

Şekil 5’de geliştirilen yazılıma ait akış diyagramı görülmektedir. Malzeme cinsi, saç levha kalınlığı, bükme yarıçapı ve bükme açısı değerleri girildikten sonra program bilgi tabanında bu malzeme ile ilgili kayıt olup olmadığını kontrol eder. Eğer ilgili malzeme ve bükme özelliklerine ait yapılmış deney örnekleri varsa, referansa olarak deney sonuçları tercih edilmektedir.



Şekil 5. Program akış diyagramı

Eğer ilgili giriş verilerine ait deney örneği bulunamadı ise, teorik hesaplama modülü en uygun değeri hesaplamaktadır. Geliştirilen ana hesaplama sayfasının çalışma mantığı Şekil 6 daki “If –Then” yapısıyla basitçe özetlenebilir.

<p>IF Malzeme cinsi = Veri tabanı malzeme and Levha kalınlığı = Veri tabanı kalınlık and Bükme yarıçapı = Veri tabanı yarıçap and Bükme açısı = Veri tabanı bükme açısı</p> <p>THEN Deney sonuçlarını Bilgi Tabanını kullan</p> <p>ELSE Hesaplama modülü kullan</p>

Şekil 6. Hesaplama modülü için karar verme yapısı

Daha önceden deneysel incelemesi yapılmış malzeme türleri ve özelliklerinin program aracılığıyla kullanılması için Şekil 8’ de görülen kural ekleme menüsü hazırlanmıştır. Bu menü aracılığıyla program bilgi tabanına dinamik olarak kural kaydı yapılabilecektir. Deneysel olarak elde edilen sonuçların geçerlilik değerleri daha yüksek olduğundan, hesaplama modülü öncelikle bilgi tabanında malzeme kaydını sorgular ve işleme başlar.

Yeni kural ekleme sihirbazı

Yeni kural ekle:

If Malzeme Cinsi =

and saç levha kalınlığı

and bükme yarıçapı

and bükme açısı

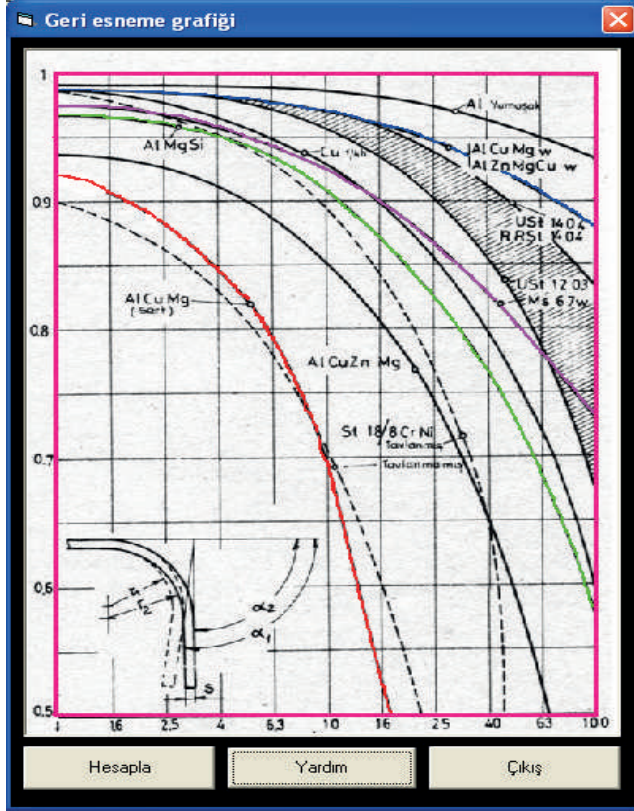
Then geri esneme açısı =

if malzeme cinsi = Ç1020 and Saç levha kalınlığı = 0.5 mm and Bükme yarıçapı=10 mm and bükme açısı=60 then Geri esneme açısı= 0.36

Kural ekle Grafik gör Ana menü Yardım

Şekil 8. Geri esneme bilgi tabanı kural ekleyicisi

Şekil 7'de bükme kalıplarında kullanılan bazı malzemelere ait grafik çözüm gösteren katsayı hesaplama çizelgesi görülmektedir. Kullanıcıya yardımcı olması ve gerektiği durumlarda bilgi alınması için bu çizelge programa entegre edilmiştir. Çizelge üzerindeki X ekseninden girilen r/s oranına bağlı olarak istenilen malzemenin yaklaşık geri esneme açısı Y ekseninden hesaplanabilir.



Şekil 7. Farklı malzemeler için geri esneme grafiği

5. SONUÇ

Bükme kalıplarında geri esnemenin öngörülmesi ve kalıp tasarımının bu yönde yapılması işgücü, zaman ve ekonomik kaynakların boşa harcanmaması için önemlidir. Otomotiv imalatı ve benzeri bazı makineleri oluşturan parçaların büyük bir bölümü bükme kalıplarında imal edildiği düşünüldüğünde, en küçük bir hatanın bile büyük imalat ve montaj sorunları çıkaracağı düşünülebilir.

Bu nedenle geliştirilen “Geri esneme hesaplama programı v.1.0” programı kullanıcısının işlerini kolaylaştırma, hızlı çözüm yapma deneysel sonuçları kullanabilme ve teorik hesaplamaları yapabilme özelliklerine sahiptir. Geliştirilen bilgi tabanı sayesinde kural kayıtları sürekli güncellenebilir ve geliştirilebilir.

Geri esnemenin tasarımın ilk aşamasında bilinmesi, önlem alınması, kalıp tasarımı ve zımba açısının bu değişkene göre belirlenmesinin, ekonomik, zaman ve doğru üretim faktörleri üzerine etkisi olacaktır.

KAYNAKLAR

- Bozdemir M., 2008, "Otomotiv İmalatında Saç Parça Bükmede Geri Esneme Kontrolü", OTEKON'08, 4.Otomotiv teknolojileri kongresi, 1-4 Haziran 2008, Bursa, Sayfa 593-597
- Chang S.H., Shin J.M., Heo Y.M. and Seo D.G., 2002, Springback characteristics of the tailor-welded strips in U-Bending, *Material, Journal of materials processing technology*, 130, 14-19
- Erişkin Y., 1986, Uygulamalı saç metal kalıp konstrüksiyonu, Gazi Üniversitesi, Yayın no: 138, Ankara
- Güneş T., 1989, Pres işleri tekniği (Bölüm 1), MMO yayın no: 129, Ankara
- Inamdar M.N., Date P.P., Desai U.B., 2000, Studies on the prediction of springback in air vee bending of metallic sheets using an artificial neural network *Journal of materials processing technology*, 108, (1), 45-54
- Özgür T., 2003, Bükme işlemlerinde geri esneme, *KHO Bilim dergisi*, 2, 100-117
- Tan Z., Person B., 1994, Empiric model for controlling springback in V-die bending of sheet metals, *Journal of materials processing technology*, 36(5), 483-491
- Tsen A.A., Chen T.C., Jen K.P., 1995, Forming properties and springback evaluation of copper beryllium sheets, *Physical metallurgy and materials science*, 26(8), 2111-2121
- Shu j., Hung C., 1996, Finite element analysis and optimization of springback reduction: The double-bend technique, *International journal of Machine Tools and Manufacture*, 36(4), 423-434
- Uzun İ. ve Erişkin Y., 1983, Saç metal kalıpcılığı, MEB, İstanbul, 1983

Prediction Gross Quarterly Electricity Consumption Demand Through MLR, ANFIS and ANN Methods: Case of Turkey

Fatma Şeyma YÜKSEL¹

Şölen ZENGİN²

Zahide Figen ANTMEN³

1. INTRODUCTION

The demand for energy in the world is increasing day by day. The growing population, the industrialization, the increasing technological activities and the social and economic structure of the world increase the demand for energy even more. The fossil fuels that mankind has used for centuries as a source of energy are diminishing and are no longer able to meet the demand for energy over time. People are searching for new sources of energy (Mohamed, 2017; Topuz et al. 2017; Öymen and Ömeroğlu, 2020). The gradual decline of energy resources makes it difficult to ensure a sustainable supply. The search for new energy sources has revealed the need for electrical energy, which is one of the secondary energy sources (Alev and Erdemli, 2019). Electrical energy is crucial for industrialization, development and social welfare of countries. Electrical energy is not only an input material for services and production, but also a consumption material for housing and social life (Rumeli, 2007). So, if we look at the most consumed source of energy in the globalized world, electrical energy is in the first place. Electricity consumption is considered one of the most important indicators of a country's economic development. Electricity consumption is

1 Correspondence, Department of Industry Engineering, Faculty of Engineering, Cukurova University, seymadnmz@gmail.com, 0000-0002-8080-2665.

2 Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Tarsus University, solenzengin@tarsus.edu.tr, 0000-0003-2309-4954.

3 Ass. Prof., Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Cukurova University, fantmen@cu.edu.tr, 0000-0001-8475-1300.

increasing worldwide for reasons such as population growth, urbanization and economic growth. Total electricity demand in Turkey did not decrease at all between 2000 and 2020 except for 2001, 2009 and 2019. Many countries attach great importance to electricity demand forecasting studies because they have realized the importance of achieving the balance between electricity supply and demand due to the constant increase in electricity demand, the inability to store electricity, and the high cost of electricity generation and investment (Altınay, 2010; Dilaver et al. 2011; Vaghefi et al. 2014; Taşkıran 2021). Energy demand planning is crucial in a country like Turkey where energy demand is increasing rapidly (Akay and Atak, 2007). Demand forecasting studies aim to ensure the balance of supply and demand.

For these reasons, in our country, electricity consumption estimation studies have been given importance in recent years. Demand forecasting methods and algorithms are the most widely used methods in energy planning and management. Electric power demand forecast can show regional, seasonal and instant fluctuations. Therefore, accurate determination of the factors affecting the forecast is highly important for the accuracy and reliability of the estimate. It is possible to come across numerous studies on energy demand prediction when literature is examined (Hamzaçebi and Kutay, 2004). A wide range of methods are found in prediction studies: (Peng et al., 2022), a long-term memory-based model (LSTM); (Azadeh et al. 2008), ANN approach and regression based on controlled multi-layer sensor (MLP); (Ruiz et al., 2018; Liu et al., 2014), genetic algorithm; (Pao et al. 2012) grey prediction.

Electricity consumption forecast is influenced by various environmental and socioeconomic factors (Abdel-Aal, 2008). Temperature is also one of those factors. In France, for example, a 1 °C drop in temperature during winter increases demand for energy by 1.8 GW (Fischer, 2008). Several factors were used in electricity consumption prediction models in the literature. The use of these factors or their combinations is evident in current studies (Zhang and Lin, 2012; Pascual et al., 2015). Nebati et al. (Nebati et al., 2021), population, number of housing, national income per capita, use of appliances and number of workplaces; Tutu (2007), It has made an estimation of electricity consumption by taking into account factors such as temperature, humidity, bashing time, basket exchange rate, household consumption, market swap price, system marginal price, capacity utilization rate, industrial production index and gross domestic product (GDP).

Events such as the Covid-19 outbreak, which affected the entire Earth in 2020, are causing major changes in energy consumption. Declining energy

demand with the pandemic has begun to rise again by 2021 and continues to grow rapidly. The demand for energy in Turkey has emerged from its stasis and has been strongly revived. But energy supply has not revived at the same rate. Therefore, the country had to support its energy supply imported, and prices increased in line with this. It is projected that the issue of energy efficiency will be talked about more in 2022 than in previous years to mitigate the effects of this crisis in the economy.

Some examples of studies on electricity demand forecasting in Turkey in recent years are as follows: Ekinci (2019), in his study, using electricity consumption data from 1970 to 2015, using artificial neural network (ANN) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) methods and 2015 He made an estimation of Turkey's electricity consumption between the years of 2035. It used MATLAB software to determine the optimal network architecture. As a result of the study, it was concluded that the estimation made with the ANFIS model is more accurate when the performance of the estimations made by ANN and ANFIS method are compared. Uzun (2019) made an electricity demand forecast for Bursa province in two periods, medium and long term. Multiple Linear Regression Analysis and ANN were used in the estimation study. Electricity consumption of the past years, annual sudden peak load values, climate data, population and economic growth data were used as input parameters. Although ANN is quite long compared to multiple regression analysis, it offered wider estimation options. Harika and Yalpir (2021), using multiple regression analysis and ANN in the study, the electrical energy need for 2030 was estimated by using 2009-2018 data on the basis of provinces in Turkey. When the predictions obtained in the study were compared, it was observed that the ANN results gave more reliable results. The reason why the results of the ANN model are closer than the multiple regression analysis is that the multiple regression analysis method adopts a systematic increase in continuous data due to its linearity. However, ANN provided more reasonable estimates due to its imitation of the human brain. Polat (2019) estimated Turkey's monthly electricity consumption with ANN. In the literature study, it has been determined that many methods are used in the estimation of electricity consumption. These methods can be listed as "Multiple Regression Method, Exponential Correction Method, Iterative Weighted Least Squares Method, Stochastic Time Series Method, Adaptive Load Estimation Method, Fuzzy Logic Methods, ANN, Knowledge Based Expert Systems". There are many reasons why ANN is preferred among these methods. ANN is a data-driven and self-adaptive system compared to traditional forecasting methods. ANN provides learning from data samples and captures the hard-to-describe functional relationship between data. In

addition to ANN, multiple regression analysis was also performed in the study. When the results were examined, it was seen that ANN showed higher prediction performance than Multiple Regression analysis.

In this article, data on Turkey's population, temperature, imports and exports, per capita gross domestic product (GDP), total production of Turkey, and gross demand between 2000 and 2019 are used to estimate electricity consumption. Data from 2000 to 2015 were used for training, while data from 2016-2019 were used for testing. Multiple linear regression analysis, ANFIS and ANN were used in the study. As a result of the study, the training and testing data for three prediction models were evaluated in comparison.

The first part of the study deals with energy, energy sources, electrical energy from secondary energy sources, the importance of electrical energy and forecasting the demand for electrical energy, and studies in the field of forecasting the consumption of electrical energy in recent years. The second part includes the methodology of the study and the methods of demand forecasting, respectively. In the third part of the study, a multiple regression analysis was performed from the demand forecasting methods using ANFIS and ANN. In the last part, the results were analyzed and interpreted.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Data Collection and Normalization

In this study, the data between 2000-2019 are used as variables in order to estimate Turkey's gross electricity consumption demand. The most frequently used input variables in energy demand forecasting applications are socioeconomic data. In addition to these data, energy consumption and production, temperature values are also used as variables. The socioeconomic data used are population, per capita national income and export-import values. Since the amount of electricity used in industry has a large share in the total electricity consumption in our country, import and export inputs are included in the models to take this into account. The data used were obtained from the data regularly published by the Turkish Statistical Institute (TUIK).

Normalization was performed before data was entered into the models. The advantage of normalizing data is that difficulties in calculations are avoided. Normalizing data can remove the arbitrary effect of similarity between objects (Mittal et al. 2012).

During the normalization process, the study's data are scaled to enter a predetermined range, such as $[0, 1]$ (Mitsa, 2010; Narang et al., 2017). And before the training phase, normalization has been done with Eq. 1.

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

2.2. Estimation Methods

2.2.1. Multiple Linear Regression

By including two or more explanatory variables in the linear regression model's equation, it becomes a multiple (or "multivariate") regression model. Multiple Linear Regression (MLR) is a method that shows the relationship between variables. The general form of the multiple regression equation is:

$$Y_t = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + e_t \quad (2)$$

Y represents the dependent variable to be estimated, X_n independent variables, b_n the slope coefficients of the independent variables, a intersection constant, n the number of independent variables. A mathematical relationship is established between the input and output values of a MLR linear system. The MLR analysis determines which parameters have the most binding effect.

2.2.2. Performance Evaluation Criteria

The accuracy of the models was tested using some performance evaluation criteria in the literature. Mean Squared Error (MSE), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), R-squared (R^2) values were used to compare results of the two methods and make meaningful comments.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2 \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \left[\left| \frac{t_i - td_i}{t_i} \right| \right] \right) \quad (5)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \left[\left| \frac{t_i - td_i}{t_i} \right| \right] \right) \times 100 \quad (6)$$

td_i : predicted value,

t_i : actual value,

N refers to the total number of observations.

2.2.3. Adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS)

The ANFIS model aims to solve nonlinear problems by combining Fuzzy Inference System (FIS) and Artificial Neural Networks (ANN) [36]. An adaptive network, as the name suggests, is a network structure consisting of nodes and directional links to which nodes are connected. The adaptive network operates models of the Sugeno type. In Sugeno-type modeling, the output variables have linear or fixed membership functions. An example model equations with two input and one output parameters are given to the ANFIS architecture (Eq. 7, Eq.8).

$$\text{If } x_1 \text{ is } A_1 \text{ and } x_2 \text{ is } B_1 \text{ then } f_1 = a_1x_1 + b_1x_2 + r_1 \quad (7)$$

$$\text{If } x_1 \text{ is } A_2 \text{ and } x_2 \text{ is } B_2 \text{ then } f_2 = a_2x_1 + b_2x_2 + r_2 \quad (8)$$

A_1 , A_2 are non-linear parameters. B_1 ve B_2 are membership functions for x_1 form ve x_2 . a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , r_1 , r_2 are output parameters. ANFIS method has five layers of different functions. These layers are called fuzzy layer, product, normalized, defuzzification layer and output layer (Jang, 1993). Figure 1 shows an example of the basic ANFIS structure.

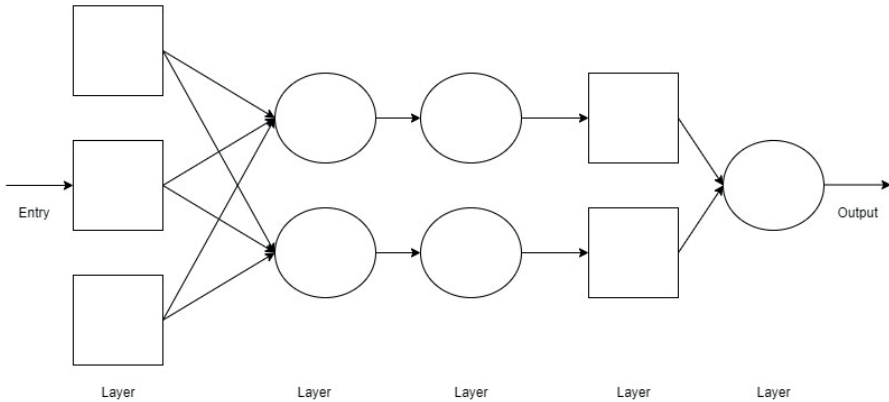


Fig 1 ANFIS Network Structure Example

The first layer in the ANFIS structure contains nonlinear parameters. The fourth layer contains linear parameters. Both parameters can be changed during the training phase, which allows the model to give better results.

2.2.4. Artificial neural networks (ANN)

Artificial Neural Networks (ANN) is a data-driven mathematical model developed to mimic the structure of the human brain neural network and

widely applied to solve problems such as prediction and discrimination. ANN is a black box modeling technique (Kung, 1993). Neurons, the simplest and smallest unit of ANN, have the ability to manage complex behaviors between neurons and weight parameters.

ANN models essentially consist of interconnected neurons and nodes. By adding a hidden layer and nodes inside the input layer and output layer, the network expands into a multi-layered sensor structure. In general, the basic network structure of the feedforward multilayer ANN is input layer, hidden layer and output layer as shown in Figure 2.

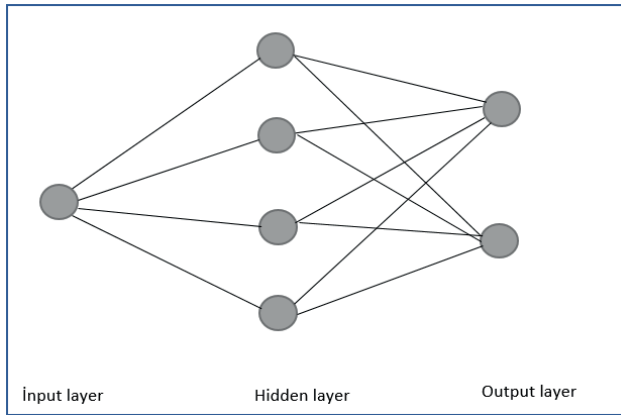


Fig 2 Artificial Neural Networks Basic Network Structure

In a basic ANN model, the input x_k is multiplied by a weight and a threshold value is added. for n input values, the net input u_k is calculated as given in Eq. 9:

$$u_k = \sum_{k=1}^n w_{jk} x_k - \phi_k \tag{9}$$

The output of the network is calculated mathematically as given in Eq. 10. To obtain the output y_j , u_k is applied to a linear or nonlinear transfer function $f(x)$.

$$y_j = f(\sum_{k=1}^n w_{jk} x_k - \phi_j) \tag{10}$$

n number of entries, w_{jk} , j . corresponding k . to the neuron. the weight value of the entry refers to the threshold value applied to the ϕ_j . The output y_j is compared to the target output value d_j using the error function given in Eq. 11:

$$\delta_j = y_j(1 - y_j)(d_j - y_j) \tag{11}$$

The training of ANN is another of the most important procedures. The weights are random before the network is trained and they don't contain any meaning, but they do contain meaningful information after training. One of the most used algorithms for training is the backpropagation algorithm. In this algorithm, entries and outputs requested to be obtained are applied to the network and output is obtained. Then the error is found by comparing the outputs of the network and the desired outputs. This process is applied to all data in the training set, and this training cycle, called Epoch, is repeated until the error drops to an acceptable value (Bose, 2002). The error spreads from the output layer to the input layer, that is, backwards, as given in Eq. 12.

$$w_{jk}(t+1) = w_{jk}(t) + \eta \delta_j y_j \alpha (w_{jk}(t) - w_{jk}(t-1)) \quad (12)$$

It is not possible to determine how many hidden layers there will initially be in the multi-layer forward-feeding network model used in this study, and how many neurons there will be in each hidden layer. The number of hidden layers and the number of neurons are determined by trial and error. In this study, the number of hidden layers and neurons was determined to get the best result after the experiments.

3. MODEL RESULTS

3.1. Results of Multiple Linear Regression

There are some prerequisites that must be provided before MLR analysis can deliver accurate results. To solve the problem of multiple linearity and high correlation from these prerequisites, "Gross Domestic Product per capita (GDP) and Turkish Production Aggregate are removed from these two independent variable data sets as their independent variables are closely related to the population variable. The MLR model was established to investigate the relationship between 4 independent variables and the dependent variables. The educational data set was used in the ÇDR model to estimate Gross demand (Y) using Population (X1), Temperature (X2), Import (X3) and Export (X4) variables. The coefficients of the regression model were calculated using the SPSS program. The calculated values are given in Table 1.

Table 1 Regression Model Coefficients Table

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Const.)	,028	,013		2,082	,042
Population	,911	,033	,919	27,506	,000
Temperature	,067	,017	,085	3,837	,000
Imports	-,020	,021	-,024	-,937	,352
Exports	,110	,032	,104	3,479	,001

The estimation equation created to estimate the gross demand is as follows (Eq. 13):

$$\text{Gross Demand} = 0,028 + (0,911) * \text{Population} + 0,067 * \text{Temperature} - (0,02) * \text{Imports} + (0,11) * \text{Export} \quad (13)$$

Figure 3 in the graph of the distribution of errors is given. The distribution of errors conforms to the normal distribution.

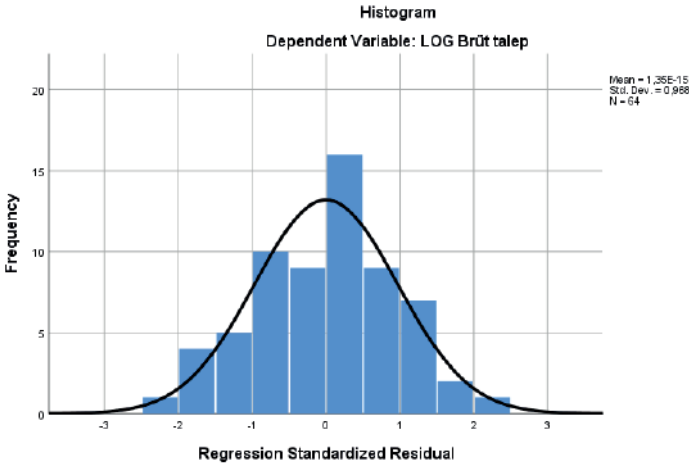


Fig 3 Scatterplot of errors in the prediction model

As a result of the analysis, it was concluded that the regression model is significant. It was concluded that $F(4.59) = 497.150$, $p < 0.001$, 97% of the variance in the dependent variable ($R^2_{\text{adjusted}} = 0.969$) was explained by independent variables. Accordingly, the independent variables determined

allow to predict the dependent variable significantly and positively. The population positively and significantly estimates the gross demand. $B=,911$, $t(59)= 27,506$, $p < ,000$, $pr^2=0,927$. Temperature, import and export variables also predict gross demand in a meaningful and positive way.

3.2. Result of ANFIS

In this study, Takagi-Sugeno fuzzy model was used in ANFIS modeling of electricity consumption estimation. In the ANFIS model, membership functions are developed for each input series and converted to fuzzy inputs. The membership function model used for the input series variables is taken as Gbell. The fuzzy inputs, together with the associated membership functions, constituted the inputs of the neural network. Seasonal data with 6 independent variables between 2000 and 2015 were used to train the network. The resulting model was applied as 3-month test data between 2016 and 2019. Figure network architecture is shown. Adaptive neuro-blurred inference system models have been run for each combination of model parameter with varying numbers of periods to prevent possible over-harmony of the model.

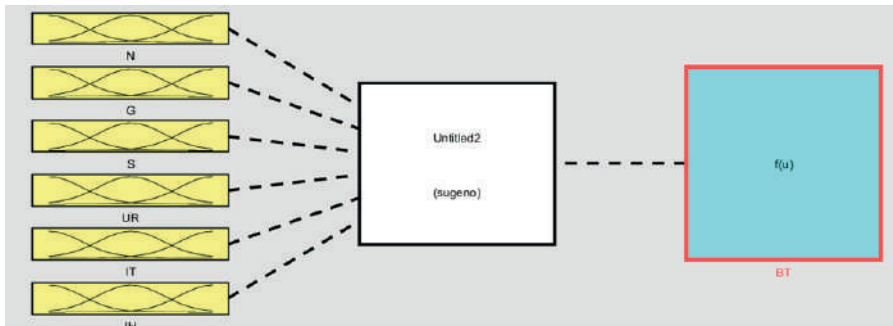


Fig 4 ANFIS model network architecture

Performance analysis of the ANFIS model was performed using MATLAB's Fuzzy Logic Toolbox interface. The Gbell membership function and 108 rules are optimal architecture for the electricity consumption demand ANFIS model. The testing process controls the performance of the model and therefore the generalization ability of the developed model (Kovac et al., 2019). The developed ANFIS model has been manipulated until the best settings are obtained based on the lowest RMSE value. Figure 5 shows the training curve of the ANFIS model with RMSE of 0.00214. When the figure is examined, it shows that the ANFIS model is well trained to model electricity consumption demand.

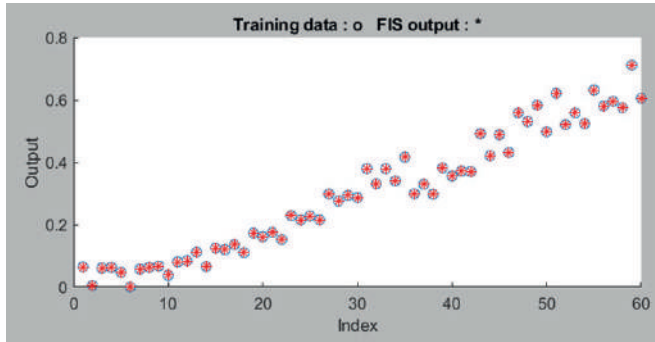


Fig 5 Actual and estimated electricity consumption demand values

Testing of the ANFIS model was completed using the test dataset, which was kept separate from the model as previously stated. The testing process ensured that the ANFIS model was trained and was able to capture all the various characteristics of the targets and thus prevent the possible overcompliance of the model. Figure 6 Examples of surface graphs obtained from ANFIS are presented. These graphs show the variation of the output according to two various parameters (X and Y axis).

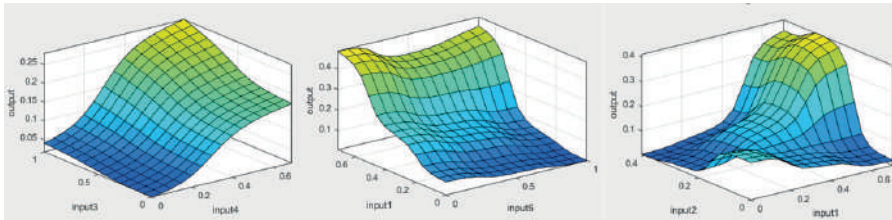


Fig 6 Surfaces obtained in the ANFIS model

3.3. Result of ANN

The data used for the training of the artificial neural networks prediction model accounts for 80% of the total data. After the ANN model has been trained with this data, in order to test the performance of the system, it is necessary to present data that have never been shown to the model. These values were also created from the part of the data set that was not used during the training phase.

In this study, a multi-layer feed-forward ANN model was used for ANN developed in this study. The Levenberg–Marquardt (LM) algorithm, one of the backpropagation algorithms, was used for the training and the tangent

sigmoid (tansig) transfer function was used. It is not possible to determine from the beginning how many hidden layers there will be in the multi-layer forward-fed model and how many neurons there will be in each hidden layer. The number of hidden layers and the number of neurons are determined by trial and error. After the experiments conducted in the ANN model developed, two layers are used in order to get the best results, with 6 neurons in the first layer. The linear transfer function was used at the output layer (Figure 7).

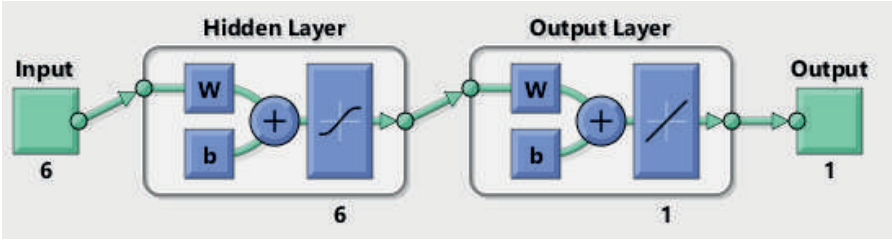


Fig 7 ANN model network architecture

The model uses the training data by dividing it into three as training, verification and testing. The R^2 values obtained in the training of the model are given in Figure 8. When the values are examined, it is concluded that a very satisfactory model has been established.

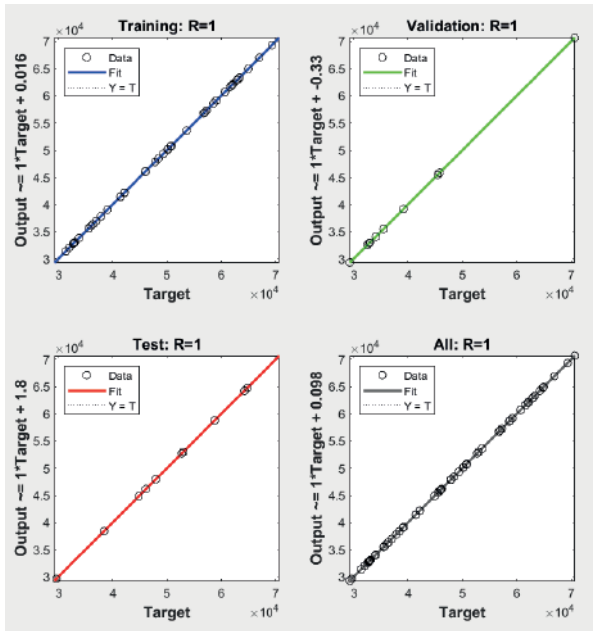


Fig 8 ANN model R^2 outputs

4. COMPARISON OF MODEL RESULTS

The most frequently used input variables in energy demand forecasting applications are socioeconomic data. In addition to this data, energy consumption and production, temperature data were also used as variables. Socioeconomic data used are data on population, national income per capita and export-import. Since the share of the amount of electricity used in industry in total electricity consumption in our country is large, import and export inputs have been used to take this into account. The data collected between the years 2000-2019 are Decoupled into 2 as training and test dataset. As a result of the study, data from the same years were used in all three prediction models for training and test data sets in order to increase the accuracy of comparisons.

The input variables used in the regression model are the population of Turkey, temperature, import and export amounts. In the ANN and ANFIS models, the main input variables were used as the population of Turkey, GDP per capita, temperature, total electricity production, import and export quantities. The data were normalized to improve the training performance of the models. Hybrid learning algorithm and subtractive clustering division method were used to create optimal ANFIS models. In the ANN model, the multi-layer feed-forward model, the Levenberg–Marquardt (LM) and tangent sigmoid (tansig) back propagation algorithms were used as transfer functions.

In order to compare the results obtained, MAE, MAPE, MSE and RMSE, which are statistical performance evaluation criteria, were used. The statistical performance measurement values that we use to decide which of the prediction models we have created using ANN, ANFIS and Regression analysis make the best prediction are Table 2 is also given in.

Table 2 Regression and Performance Comparison of ANFIS Model for Electricity Consumption Demand Forecasting

	Regresyon	ANFIS	YSA
MAE	0,05	0,04315	0,015
MAPE	%18,27	4,31%	1,50%
MSE	0,0055	0,01507	0,0051
RMSE	0,07	0,11030	0,0475

When the comparison table is examined, we see that the Regression MAP value for the general data has been calculated as 0.1827, that is, it has made the correct estimate with a margin of error of about 19%. Another statement indicates an 81% probability that it will make the correct gross demand estimate. In ANFIS, it is observed that this rate is accurate with a 4.3% margin of error, or a lower margin of error than regression. ANFIS will make a correct prediction with a probability of about 95%. It is observed that the ANN model will make the correct prediction at a rate of 98.5%.

5. CONCLUSION

The need for electricity depends primarily on the population, economic conditions and activities (GDP). It also depends on the country's projects in terms of development and the decisions it makes to achieve its goals. The country's electricity need is a factor that plays a role with importance in planning for national development and the future.

Data from 2000 to 2019 were used variably to estimate Turkey's gross electricity consumption demand in this study. Socioeconomic data, energy consumption and production, and temperature values were used as input variables. The socioeconomic data used are population, national income per capita and export-import values. Since the share of the amount of electricity used in industry in total electricity consumption in our country is large, import and export inputs have been included in the models in order to take this into account. All the results obtained were compared and compared with each other and performance measurement values were determined.

The graphical representation of the prediction models for the general data set is given in Figure 9. In the comparison of the statistical performances of the forecast values of the models, it was concluded that the ANN model gives quite good results for electricity consumption demand forecasting.

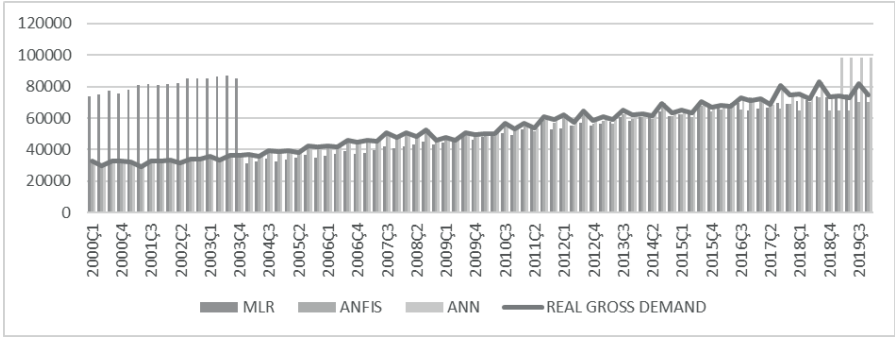


Fig 9 Comparison of regression, ANFIS and ANN models forecast results with actual gross demand values

In the study; a method proposal has been set up so that electricity consumption demand can be estimated using data such as temperature, exports and imports, except in econometric inputs such as population, GDP per capita. The study concluded that according to regression analysis of artificial intelligence-based methods, Turkey has a strong ability to estimate gross electricity consumption and reduces forecasting errors. It is believed that if the prediction results and methods used in this study are provided with the appropriate environment, the closest predictions will be reached.

References

- Abdel-Aal, R. E. (2008), "Univariate modeling and forecasting of monthly energy demand time series using abductive and neural networks", *Computers and Industrial Engineering*, 54(4), 903-917.
- Akay, D., & Atak, M. (2007), "Grey Prediction With Rolling Mechanism For Electricity Demand Forecasting Of Turkey", *Energy*, 32(9), 1670-1675.
- Alev, N. & Erdemli, M., (2019), "Elektrik enerjisi tüketimi ve ekonomik büyüme ilişkisi: avrupa birliği ülkeleri ve türkiye için bir analiz", *Assam Uluslararası Hakemli Dergi*, 6 (15) , 88-111.
- Altınay, Galip. (2010), "Aylık Elektrik Talebinin Mevsimsel Model ile Orta Dönem Öngörüsü" *Enerji, Piyasa ve Düzenleme*, 1-23.
- Azadeh, A. G. H. A. D. E. R. I., Ghaderi, S. F., & Sohrabkhani, S. (2008), "Annual electricity consumption forecasting by neural network in high energy consuming industrial sectors", *Energy Conversion and management*, 49(8), 2272-2278.
- Bose, B. (2002), *Neural Network Principles and Applications*.
- Dilaver, Zafer ve Lester C. Hunt. C. (2011a), "Industrial electricity demand for Turkey: A structural time series analysis", *Energy Economics*, 33: 426-436.
- Ekinci, F. (2019), "YSA ve ANFIS Tekniklerine Dayalı Enerji Tüketim Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılması", *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1029-1044.
- Fischer, M. (2008), "Modeling and forecasting energy demand: Principles and difficulties. In A. Troccoli (Ed.), Management of weather and climate risk in the Energy Industry", 207-226,. Dordrecht, Netherlands: Springer Verlag.
- Hamzaçebi, C., & Kutay, F. (2004), "Yapay sinir ağları ile türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar Tahmini", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(3).
- Harika Ü., Yalpir, Ş. (2021), "Enerji talep tahmini için metodoloji geliştirme: 2030 yılı Türkiye örneği", *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 188-201.
- Jang, J. S. (1993), "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference System", *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 23(3), 665-685.
- Kovač, P., Savković, B., Rodić, D., Aleksić, A., Gostimirović, M., Sekulić, M., & Kulundžić, N. (2019), "Modelling and optimization of surface roughness parameters of stainless steel by artificial intelligence methods", *In Proceedings of the International Symposium for Production Research 2019*, 3-12. Springer, Cham.
- Kung, S. Y. (1993), "Digital neural networks", PTR Prentice Hall Englewood Cluffs.

- Liu, D., Niu, D., Wang, H., & Fan, L. (2014), "Short-term wind speed forecasting using wavelet transform and support vector machines optimized by genetic algorithm". *Renewable energy*, 62, 592-597.
- Mitsa, T. (2010), "Temporal data mining". *Chapman and Hall/CRC*.
- Mittal, A., Moorthy, A. K., & Bovik, A. C. (2012), "No-reference image quality assessment in the spatial domain", *IEEE Transactions on image processing*, 21(12), 4695-4708.
- Mohamed, M. M. M. (2017), "Seeking for Sustainable Development: The Problem and a Suggested Solution", *Energy Procedia*, 115, 155-161.
- Narang, S. K., Kumar, S., & Verma, V. (2017), "Knowledge discovery from massive data streams", *In Web semantics for textual and visual information retrieval*, 109-143. IGI Global.
- Nebati, E. E., Murat, T., & Ertaş, G. (2021), "Türkiye’de Elektrik Tüketiminde Talep Tahmini: Zaman Serisi Ve Regresyon Analizi İle Karşılaştırma", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 348-357.
- Öymen, G. & Ömeroğlu, M. (2020), "Yenilenebilir Enerjinin Sürdürülebilirlik Üzerindeki Rolü", *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(39), 1069-1087.
- Pao, H. T., Fu, H. C., & Tseng, C. L. (2012), "Forecasting of CO2 emissions, energy consumption and economic growth in China using an improved grey model", *Energy*, 40(1), 400-409.
- Pascual, J., Barricarte, J., Sanchis, P., & Marroyo, L. (2015), "Energy management strategy for a renewable-based residential microgrid with generation and demand forecasting", *Applied Energy*, 158, 12-25.
- Peng, L., Wang, L., Xia, D., & Gao, Q. (2022), "Effective energy consumption forecasting using empirical wavelet transform and long short-term memory", *Energy*, 238, 121756.
- Polat E. (2019), "Türkiye’nin aylık elektrik tüketiminin yapay sinir ağlarıyla tahmini", yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ruiz, L. G. B., Rueda, R., Cuéllar, M. P., & Pegalajar, M. C. (2018), "Energy consumption forecasting based on Elman neural networks with evolutive optimization", *Expert Systems with Applications*, 92, 380-389.
- Rumeli, A. (2007), "Elektrik Enerjisi ve Türkiye", *Ekonomik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, (1): 94-101.
- Taşkıran E. (2021), "Electricity demand forecasting methods used in Turkey and their effects on investments in electricity sector", (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Hacettepe University, Ankara.
- Topuz, H., Yılmaz, H., & Ersoy, H. A. (2017), "Küresel enerji lojistiği bağlamında türkiye’nin merkez ülke olma arayışı veyenilenebilir enerji kaynakları açılımında fosil enerji saplantısı", *Journal Of Suleyman Demirel University Institute Of Social Sciences*, 29(4).

- Tutu B. E. (2017), “Türkiye İçin Kısa Vadeli Elektrik Enerjisi Talep Tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara.
- Uzun E.(2019), “Farklı Yöntemler Kullanılarak Bursa ve Türkiye için Elektrik Enerjisi Talep Tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa.
- Vaghefi, Seyed A., Mohsen A. Jafari, Emmanuel Bisse, Yan Lu and Jack Brouwer. (2014), “Modeling and forecasting of cooling and electricity load demand.”, *Applied Energy*, 136, 186-196.
- Zhang, C., & Lin, Y. (2012), “Panel estimation for urbanization, energy consumption and CO2 emissions: A regional analysis in China”, *Energy policy*, 49, 488-498.

Polymeric Membranes For Food Packaging

Sara AGHAEINEJAD AJBISHEH¹

Beril TANÇ KAYA²

Bihter ZEYTUNCU³

1. Introduction

Today, there is an increasing attention in progressing bio-based polymers and technologies that are able to decrease the dependency of nonrenewable fuel source and lead to a green materials basis. Bio-nanocomposites provide opportunities for the usage of novel, high functional, weightless sustainable nanocomposite materials making them to take the place of conventional non-biodegradable fossil-based plastic packaging materials. Advanced Food packaging technology play a key role in shelf-life extension and lowering the risk of bacteria in foods. In this review, different type of natural and synthetic polymers is discussed based on their properties to accomplish demands on food safety (supervising microbial growth, enhancing tamper evident and detaining oxidative deterioration), quality of food products (controlling evaporative aromas, flavors), and environmental sustainability, eventually convenience. Moreover, several natural bio-degradable and bio-based addition incorporation into polymeric materials is analyzed for improvement of properties to make them proper for several applications. Additives such as plants extraction and taking advantage of active ingredients such as chitosan, alginate, starch, on the basis of polysaccharide matrices in food packaging industry has been so popular during last few decades. The aim of this review is to offer a summarize of technological trends and usage of polymer packages in food applications. For example, the design of edible films and coatings of natural and synthetic polymers based on their structure, physical and chemical properties. (Pan et al., 2016)

1 Yazır bilgisi ????????

2 Yazır bilgisi ????????

3 Yazır bilgisi ????????

1.1. Polymers for food packaging

Polymeric nanomaterial's specific properties such as their Nano-range size, large surface area-to-body mass ratio and high level of reactivity and so on differentiate them in food packaging materials. This can lead them precisely in processing multifunctional engineered materials and bioactive activities. Usage of polymeric nanotechnology would actually apply all the essential dominant functions of the package like maintaining, sealing and protection of foods and preservation. Moreover, boosting the communication and marketing in food industry. Improved mechanical packaging materials, barrier and antimicrobial properties, together with nano-sensors for tracing and monitoring the condition of food during transport and storage can be just a partly result of polymer nanotechnology applications. The newest inventions in food packaging, utilizing developed, active and brand-new nanotechnology, on the other hand, some limitations to the development of the new polymer nanomaterials that have this ability to completely transform the industry of food packaging will be discussed

The reason that polymers are mainly used in food packaging is that they have this synthetically, bioactive undegradable as low density matrices or substrates for coatings and also their critical properties such as high density moisture resistant, flexibility, barrier to oxygen and moisture, permeability, migration and so on is considered. These characteristics can be improved by incorporating reinforcing compounds like nanofillers, leading to the formation of bio-nanocomposites. These materials have specific uses and applications in the realm of food packaging. For instance, LDPE is employed for general-purpose containers and trays, while LDPE is suitable for milk bottles and bags. PP, known for its high melting point, is ideal for packaging hot-fill liquids, films, and microwavable containers. On the other hand, PET, with its transparent and durable nature, as well as its excellent gas and moisture barrier properties, finds application in soft drink bottles, beverages, mineral waters, and carbonated drinks. However, the extensive waste produced by synthetic polymers and their negative environmental impact can be mitigated by utilizing degradable polymers, which are biocompatible and safe for use. This approach helps address environmental concerns and promotes sustainability. (Ponnusamy and Mani, 2022)

1.2. Natural Polymers

Natural polymers are commonly used in food packaging because of their biodegradability, renewability, and low toxicity. Some common types of natural polymers used in food packaging may be categorized into three main

groups: (i) polysaccharides such as Agar (Sousa et al., 2014) Alginate (Vital et al., 2018) Cellulose (Kowalczyk et al., 2021) Chitosan (Mujtaba et al., 2019) Gums (Sharma and Ramana Rao, 2015) K-carrageenan (Hamzah et al., 2013) Pectin (Jahromi et al., 2020b) Pullulan (Zhou et al., 2021) Starch (Costa et al., 2020). (ii) proteins such as Casein (Chevalier et al., 2018) Collagen (Jiang et al., 2020) Corn zein (Sun et al., 2019) Gelatin (Totosaus et al., 2020) Pea protein (Acquah et al., 2020) Sodium caseinate (Jahromi et al., 2020a) Soy protein (Maryam Adilah et al., 2018) Wheat gluten (Ansorena et al., 2016) Whey protein (Azevedo et al., 2016). (iii) Lipids such as Candelilla wax (De León Zapata et al., 2015) Bee wax (Rocca-Smith et al., 2016) Vegetable oils (Rodrigues et al., 2016).

Commonly, polysaccharides, proteins, lipids, and their combinations are utilized in the development of consumable films and coatings. Recently, scientists have shown a growing interest in creating sustainable products made from renewable and biodegradable materials. The natural polymers obtained from various biomass sources are categorized according to the resources employed, as illustrated in Figure 2.1. Natural polymers like chitosan, alginate, and protein-based polymers have been employed to fabricate edible packaging for food items. This type of packaging contributes to waste reduction and offers a more convenient and environmentally friendly alternative to traditional packaging. Additionally, they can also be used to produce active packaging that extends the shelf life of food products. For instance, chitosan and starch-based films can be incorporated with antimicrobial agents or antioxidants that can help preserve the freshness of food. Additionally, Natural polymers such as cellulose and chitosan are used as coatings on food packaging to provide a barrier against moisture and oxygen. These coatings can also aid enhance the physical and mechanical properties of the packaging material. Starch-based polymers and cellulose can also be used to create biodegradable food packaging that can be composted after use. This type of packaging is a big help to reduce waste and promote sustainability. Furthermore, Natural polymers combination with other materials can create hybrid materials that will offer unique properties. In particular, chitosan can be combined with other polymers such as polyethylene to create films that have enhanced mechanical properties. (Pan et al., 2016)

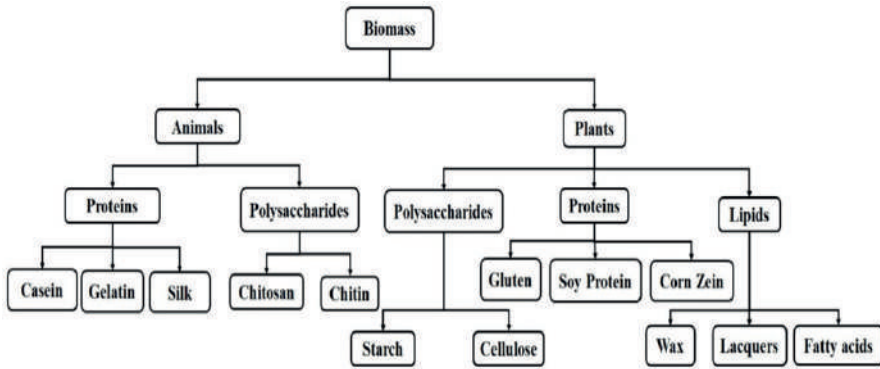


Figure 1.1: Varieties of naturally occurring polymers derived from sustainable sources for use in packaging purposes. (Ponnusamy and Mani, 2022)

1.2.1 Polysaccharide-Based Natural Polymers

1.2.1.1 Starch

Starch, a complex carbohydrate, can be derived from various plants such as potatoes, rice, corn, and wheat. It consists of two molecular components: amylose and amylopectin. Amylose is composed of linear chains of glucose units connected by alpha-1,4-glycosidic bonds, while amylopectin is a branched molecule formed by glucose units linked through both alpha-1,4-glycosidic bonds and alpha-1,6-glycosidic bonds. The chemical formula for starch is $(C_6H_{10}O_5)_n$, where the value of n can vary depending on the plant source, ranging from a few hundred to several thousand. Starch serves as a vital source of energy for various organisms, including humans, and is commonly utilized in a wide range of food products such as bread, pasta, and cereal. One notable characteristic of starch polymers is their biodegradability, allowing them to be broken down by microorganisms in the environment. This makes starch polymers an environmentally friendly alternative to conventional polymers, which can persist in the environment for extended periods. Additionally, starch polymers are derived from plants, which can be cultivated and harvested, further highlighting their sustainability as an alternative to petroleum-based polymers. Starch polymers can be modified to enhance their water resistance, making them suitable for food packaging applications that require moisture resistance. These polymers also exhibit favorable barrier properties, contributing to the extension of food product shelf life. Moreover, starch polymers can be processed using conventional techniques such as extrusion and injection molding, making them practical alternatives for food packaging applications (Zhang et al., 2023).

The physico-chemical, morphological, hydration, pasting, gelatinization, retrogradation, and rheological characteristics of starch polymers play crucial roles in determining their functional properties and performance in various industrial applications, particularly in the food packaging industry. Alpha-amylase treatment has been investigated as a means to reduce retrogradation and gelatinization in starch. The specific treatment time and enzyme activity required depend on factors such as starch type, processing conditions, and desired product properties. By breaking down the amylose and amylopectin molecules, alpha-amylase can inhibit their re-association, increase starch solubility, and reduce viscosity, thereby improving functional properties in food and industrial applications. Optimal control and optimization of alpha-amylase usage are necessary to prevent over-hydrolysis, which could result in loss of functional properties and undesirable changes in texture and sensory attributes of the final product (Cheng et al., 2022).

Furthermore, a study by Z. Liu, Yang, Shi, Chen, and Zheng (2021) revealed that the addition of stearic acid to rice starch significantly affects its rheological, microstructural, and 3D characteristics. The viscosity of rice starch increases, leading to a thicker and more stable consistency. This effect is attributed to the formation of a crystalline structure between stearic acid and amylose molecules, enhancing the starch's water-binding capacity and gel-like properties. Such thickening properties can be advantageous in food applications where a thickening agent is required. Moreover, the addition of stearic acid can change the microstructure of rice starch by forming a complex with amylose molecules. This complexation leads to the formation of larger and more stable starch granules, which can improve the starch's ability to withstand processing conditions such as heating or freezing. The increased stability of the granules can also improve the texture of the final product, making it more appealing to consumers. Adding stearic acid can alter the 3D characteristics of rice starch by changing its crystal structure. Stearic acid can form a type of crystal known as a "beta prime" crystal, which can create a more rigid and stable network within the starch matrix. This can result in a final product with a more consistent texture and a better mouthfeel. However, it is important to note that the optimal concentration of stearic acid may vary depending on the specific application, and too much stearic acid can lead to a decrease in starch functionality. (Z. Liu et al., 2021)

1.2.1.2 Cellulose

Cellulose is a natural polymer consisting of linear chains of β -D-glucose units linked together by β -1,4-glycosidic bonds. The repeating unit in cellulose is a disaccharide consisting of two glucose molecules joined by a

β -1,4-glycosidic bond. The β -D-glucose units in cellulose are arranged in a linear fashion, and they are linked together by hydrogen bonds to form long, straight chains. The chemical structure of cellulose makes it a highly crystalline material with strong intermolecular forces. The degree of polymerization of cellulose varies depending on the source, but it typically ranges from several hundred to several thousand glucose units. Cellulose is insoluble in water and most organic solvents due to its highly crystalline structure and strong intermolecular forces. However, it can be dissolved in certain ionic liquids and some derivatives of cellulose can be dissolved in solvents such as N-methylmorpholine N-oxide (NMMO) or 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate ([EMIM][OAc]). Cellulose has a high tensile strength, stiffness, and resistance to abrasion, making it an ideal material for applications where mechanical strength is required. It is also biodegradable and renewable, which makes it an attractive alternative to synthetic polymers. Cellulose-based packaging materials such as paper, cardboard, and cellulose films have good mechanical properties and can protect food products from external factors such as moisture, light, and oxygen. When used in food packaging, cellulose does not have a direct impact on the sensory and organoleptic qualities of the food products. However, the type and quality of cellulose-based packaging can affect the overall sensory experience of the food product. For example, paper or cardboard packaging can impart a natural, rustic feel to certain food products such as fruits and vegetables. Cellulose films can be used to create transparent packaging that allows consumers to see the product inside. The appearance of the packaging can affect the perceived quality of the product, especially for products that are sold fresh and are highly dependent on visual appeal. Cellulose-based packaging materials have barrier properties that prevent the migration and movement of lipids, gases, solutes, and moisture. This is because cellulose-based materials are generally hydrophilic, which means they have a high affinity for water, and are also highly crystalline, which results in tight packing of the cellulose molecules. (“Comparison of nano- and microfibrillated cellulose films | SpringerLink,” n.d.)

A survey by Liu et Al reported that Cellulose-based polymers serve as an effective transporter or matrix material for active ingredients due to its porous nature and high surface area. This allows for the effective loading and release of active ingredients into the food packaging system. Cellulose-based materials can also be modified or functionalized to enhance their compatibility with different types of active ingredients and to improve their performance as transporters. For example, cellulose nanocrystals (CNCs) have been shown to be effective carriers for antimicrobial agents such as

nisin and lysozyme. The high surface area and charge density of CNCs allow for efficient binding and release of antimicrobial agents, which can help to inhibit the growth of microorganisms in the food product. Cellulose can also be functionalized with different types of antioxidant compounds, such as carotenoids and phenolic compounds, to enhance their stability and efficacy in food packaging systems. The porous nature of cellulose-based materials allows for the effective loading and release of antioxidants, which can help to prevent oxidation and maintain the quality of the food product. (Y. Liu et al., 2021)

1.2.1.3 Chitosan

Starch, a complex carbohydrate, can be derived from various plants such as potatoes, rice, corn, and wheat. It consists of two molecular components: amylose and amylopectin. Amylose is composed of linear chains of glucose units connected by alpha-1,4-glycosidic bonds, while amylopectin is a branched molecule formed by glucose units linked through both alpha-1,4-glycosidic bonds and alpha-1,6-glycosidic bonds. The chemical formula for starch is $(C_6H_{10}O_5)_n$, where the value of n can vary depending on the plant source, ranging from a few hundred to several thousand. Starch serves as a vital source of energy for various organisms, including humans, and is commonly utilized in a wide range of food products such as bread, pasta, and cereal.

One notable characteristic of starch polymers is their biodegradability, allowing them to be broken down by microorganisms in the environment. This makes starch polymers an environmentally friendly alternative to conventional polymers, which can persist in the environment for extended periods. Additionally, starch polymers are derived from plants, which can be cultivated and harvested, further highlighting their sustainability as an alternative to petroleum-based polymers. Starch polymers can be modified to enhance their water resistance, making them suitable for food packaging applications that require moisture resistance. These polymers also exhibit favorable barrier properties, contributing to the extension of food product shelf life. Moreover, starch polymers can be processed using conventional techniques such as extrusion and injection molding, making them practical alternatives for food packaging applications (Zhang et al., 2023).

The physico-chemical, morphological, hydration, pasting, gelatinization, retrogradation, and rheological characteristics of starch polymers play crucial roles in determining their functional properties and performance in various industrial applications, particularly in the food packaging industry. Alpha-

amylase treatment has been investigated as a means to reduce retrogradation and gelatinization in starch. The specific treatment time and enzyme activity required depend on factors such as starch type, processing conditions, and desired product properties. By breaking down the amylose and amylopectin molecules, alpha-amylase can inhibit their re-association, increase starch solubility, and reduce viscosity, thereby improving functional properties in food and industrial applications. Optimal control and optimization of alpha-amylase usage are necessary to prevent over-hydrolysis, which could result in loss of functional properties and undesirable changes in texture and sensory attributes of the final product (Cheng et al., 2022).

Furthermore, a study by Z. Liu, Yang, Shi, Chen, and Zheng (2021) revealed that the addition of stearic acid to rice starch significantly affects its rheological, microstructural, and 3D characteristics. The viscosity of rice starch increases, leading to a thicker and more stable consistency. This effect is attributed to the formation of a crystalline structure between stearic acid and amylose molecules, enhancing the starch's water-binding capacity and gel-like properties. Such thickening properties can be advantageous in food applications where a thickening agent is required.

1.2.2 Protein-based polymers

Proteins are natural polymers that are essential components of all living organisms. They are composed of amino acids, which are linked together by peptide bonds to form long chains. Proteins have many important functions, including catalyzing chemical reactions, providing structural support, and facilitating communication between cells. Protein-based natural polymers can be derived not only from plant resources but also from animal resources. Some examples of protein-based natural polymers from animal resources include Collagen, Gelatin, Casein, whey proteins, Sericin extracted from silk, and protein-based polymers from plant resources take in gluten proteins, Soy protein, Zein protein, and so on. The properties of a protein polymer are determined by its structure. For example, the physical and chemical properties of a protein polymer can be influenced by its size, shape, surface chemistry, and mechanical properties. The properties of a protein polymer can also determine its functionality in various applications, such as food packaging, drug delivery, and tissue engineering. (Werten et al., 2019)

1.2.2.1 Casein/Whey proteins

Casein and Whey proteins are both present in milk and can be used to produce flexible and transparent films. These proteins have unique properties that make them useful for film formation, such as their ability to form strong

and elastic films when heated or treated with certain chemicals. To produce these films, the milk is first processed to separate the casein and whey proteins. The proteins are then dissolved in a suitable solvent and mixed with other ingredients, such as plasticizers and crosslinking agents, to improve their film-forming properties. The resulting mixture is then cast into thin films and dried to remove the solvent and form the final product. These films have a variety of potential applications, such as in food packaging, biomedical devices, and agricultural applications. They are also environmentally friendly, as they are made from renewable resources and can be biodegraded after use. The film and coating properties of casein are largely determined by the calcium micelles formed by the hydrophobic and electrostatic interactions of protein molecules and calcium bridging elements. Casein is a phosphoprotein that is known for its ability to form stable calcium caseinate micelles. These micelles are formed by the interaction of the hydrophobic regions of the casein molecules and the calcium ions in the milk. The calcium ions act as bridging elements between the casein molecules, resulting in the formation of large, stable aggregates. These calcium caseinate micelles are important for the film-forming properties of casein. When casein is dissolved in water, the calcium caseinate micelles can be disrupted by mechanical or chemical treatments, resulting in the formation of a viscous solution. This solution can be used to produce films and coatings by casting or spraying onto a surface and drying or curing. The properties of the resulting films and coatings can be tailored by adjusting the composition of the casein solution, as well as the processing conditions. For example, the addition of plasticizers or crosslinking agents can improve the flexibility and strength of the films, while the addition of pigments or other additives can alter their color or other properties. (Çakmak et al., 2020)

1.2.2.2 Collagen/Gelatine

Collagen is a fibrous protein that is found in connective tissues in animals, such as skin, bones, and cartilage. It is a major component of the extracellular matrix, providing structural support and strength to these tissues. Gelatin proteins are typically extracted from collagen by a process called acid hydrolysis, which involves the use of acid, such as acetic acid, to break down the collagen into its constituent proteins. To extract gelatin from collagen, the collagen is first cleaned and then treated with a dilute acid, such as acetic acid, at a controlled temperature and pH for several hours. This process breaks down the collagen fibers into their constituent proteins, which can then be separated from the remaining insoluble material by filtration or centrifugation. The resulting protein solution, which contains

gelatin proteins, can be further purified by processes such as clarification, concentration, and drying to produce a final product that is commonly used in food, pharmaceutical, and cosmetic applications. It's worth noting that there are other methods for extracting gelatin from collagen, such as alkaline hydrolysis and enzymatic hydrolysis, which involve the use of alkaline solutions or enzymes to break down the collagen fibers. However, acid hydrolysis is the most commonly used method for industrial production of gelatin. ("Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review - ScienceDirect," n.d.)

1.2.2.3 Sericin

Sericin is a protein that is extracted from silk fibers using a process called degumming, which involves the use of boiled water or other solvents to remove the gummy substance, or sericin, that surrounds the silk fibers. Silk fibers are made up of two proteins: fibroin and sericin. Fibroin is the main structural protein in silk, and it is responsible for the strength and elasticity of the fibers. Sericin, on the other hand, is a water-soluble protein that serves as a glue to hold the fibroin fibers together. To extract sericin from silk fibers, the fibers are first boiled in water or other solvents to remove the sericin coating. This process is called degumming, and it results in the separation of the fibroin fibers from the sericin. The sericin can then be recovered from the degumming solution by filtration or other separation methods. Sericin has a variety of potential applications due to its unique properties, such as its ability to form films and its biocompatibility with human tissue. It is commonly used in the production of cosmetics, wound dressings, and other medical and pharmaceutical products. (Bascou et al., 2022)

1.2.2.4 Gluten Proteins

Gluten is a complex mixture of proteins found in wheat, barley, and rye. The two main classes of proteins found in gluten are gliadins and glutenins. Gliadins are responsible for the viscosity and extensibility of gluten, while glutenins provide the elasticity and strength. The disulfide, hydrogen, ionic, and hydrophobic bonds between these two proteins contribute to the unique structure and properties of gluten, allowing it to trap gas during fermentation and provide the structure and texture in baked goods. Gluten proteins are typically extracted from wheat flour by first mixing the flour with water to form a dough. The dough is then washed with water to remove the starch and other water-soluble components, leaving behind a sticky, elastic mass of gluten proteins. This mass is then typically further processed to remove any remaining starch, bran, or other non-gluten components. The use of ethanol

in the extraction process may depend on the specific method being used, but it is not typically used as the sole method for extracting gluten proteins from wheat. Instead, ethanol may be used as a co-solvent to help solubilize the proteins and aid in their separation from other components in the flour. Other solvents and methods, such as salt solutions, acid solutions, or mechanical separation, may also be used in gluten extraction, depending on the desired outcome. Gluten-based films often suffer from poor mechanical properties such as low tensile strength and poor elongation at break, which limit their practical applications. The addition of plasticizers such as glycerol and sorbitol can greatly improve the tensile properties of gluten-based films, making them more suitable for use in packaging applications. Glycerol and sorbitol are two common plasticizers that are often used in gluten-based films. Glycerol is a small molecule that can easily penetrate the protein matrix of gluten and form hydrogen bonds with the protein chains, which helps to increase the spacing between protein molecules and improve the flexibility of the film. Sorbitol, on the other hand, is a larger molecule that can form stronger hydrogen bonds with gluten proteins, leading to even greater improvements in tensile properties. (Thivya et al., 2022)

1.2.2.5 Soy protein

Soy protein isolate (SPI) is an extensively purified form of soy protein obtained by extracting soybeans and eliminating most non-protein elements such as fats, carbohydrates, fibers, and moisture. As a result, it yields a product that is nearly pure protein, with a protein content of approximately 92%. SPI consists of a combination of two protein types, namely albumins and globulins. These proteins possess various functional groups, including carboxyl, amine, and hydroxyl groups. The inclusion of these functional groups in SPI imparts versatility to the ingredient, allowing for its application across a wide range of uses. For example, the carboxyl and amine groups can interact with other molecules through ionic or covalent bonds, making SPI a good emulsifier and stabilizer. The hydroxyl groups can also improve the water-holding capacity of SPI, making it useful in meat alternatives and other food products where moisture retention is important. Modifying SPI with plasticizers and forming it into film can provide a sustainable and biodegradable alternative to traditional plastic films. Heating the SPI material and the plasticizer until they melt and become a homogenous mixture. This mixture is then extruded through a die to form a film. This method is suitable for producing thicker films with a textured surface. After the film is formed, its tensile properties can be evaluated to determine its strength, elasticity, and toughness. These properties can be modified by

varying the type and amount of plasticizer used, as well as the processing conditions used to make the film. (González and Alvarez Igarzabal, 2015)

1.2.2.6 Zein Protein

Zein is a type of protein that is extracted from corn. To extract zein protein, the corn is typically treated with an aqueous ethanol extract and a dry milling process. Zein protein is a unique protein with a variety of potential applications due to its properties, including biodegradability, water resistance, and film-forming ability. Although it has low mechanical strength, it can be used as a protective and impermeable covering for food packaging, particularly for products that require a high degree of protection from moisture and oxygen. It also can be used as a coating for candies or a binder for meat products, as well as in the pharmaceutical industry as a drug delivery system. Pure zein films have limited mechanical properties, they can be improved by blending zein with other polymers, such as polyethylene, polypropylene, or polylactic acid (PLA). These blends can improve the tensile strength and flexibility of the films, making them more suitable for food packaging applications. (Bayer, 2021)

1.3. Synthetic Polymers

Synthetic polymers have become an essential part of biomaterials used in a wide range of applications. These polymers are often susceptible to degradation due to environmental factors such as heat, light, and oxygen exposure, which can cause them to break down and lose their physical and mechanical properties. Petrochemical-based plastics have been widely used in packaging due to their low cost, good mechanical properties, and barrier properties that can help preserve and protect food and other products. For example, Polyethylene terephthalate (PET) is commonly used for beverage bottles and food containers due to its high strength, clarity, and resistance to moisture and gases. Polyvinylchloride (PVC) is often used for flexible packaging, such as shrink wrap and cling film, because of its excellent heat sealability and transparency. Polyethylene (PE) and polypropylene (PP) are both commonly used for food packaging, such as bags and containers, due to their good barrier properties against moisture and gases, and their ability to withstand high temperatures. Polystyrene (PS) is used for food packaging, such as foam trays and cups, due to its insulation properties, while polyamide (PA) is used for vacuum-packed food packaging due to its excellent gas barrier properties. (Siracusa et al., 2008) However, Many synthetic polymers are derived from petroleum and coal, which are non-renewable resources and are not compatible with natural recycling systems. These synthetic polymers are

often not biodegradable, and when they are discarded in the environment, they can persist for many years and cause harm to wildlife and ecosystems. Furthermore, the production of synthetic polymers from non-renewable resources is also associated with significant environmental impacts, such as greenhouse gas emissions and the depletion of natural resources. As a result, there is growing interest in the development of alternative, sustainable polymers that can be produced from renewable resources and are biodegradable or easily recyclable. Additionally, there is ongoing research into the development of synthetic polymers that can be easily recycled, such as polyethylene furanoate (PEF), which is derived from renewable sources and can be recycled using existing recycling infrastructure. The development and use of sustainable polymers can help to reduce the environmental impact of plastic waste and move towards a more sustainable and circular economy.(Moore, 2008)

2. Smart Solutions for Safer Food: Exploring Advanced Packaging Technologies

2.1. Novel Food Packaging: Active and Intelligent Packages

(Han et al., 2018) Active and intelligent packages in food packaging have developed as novel methods for improving food product quality, safety, and shelf life. These packages contain active components, or sensors, that can detect and react to changes in the food environment. Sustainable or green packaging is also a major focus in the field of active and intelligent applications. Biodegradable materials, plant extracts, and nanomaterials can help lessen the environmental impact of food packaging (Han et al., 2018) Figure 2.1 presents the classification of novel packaging summarized in this review.

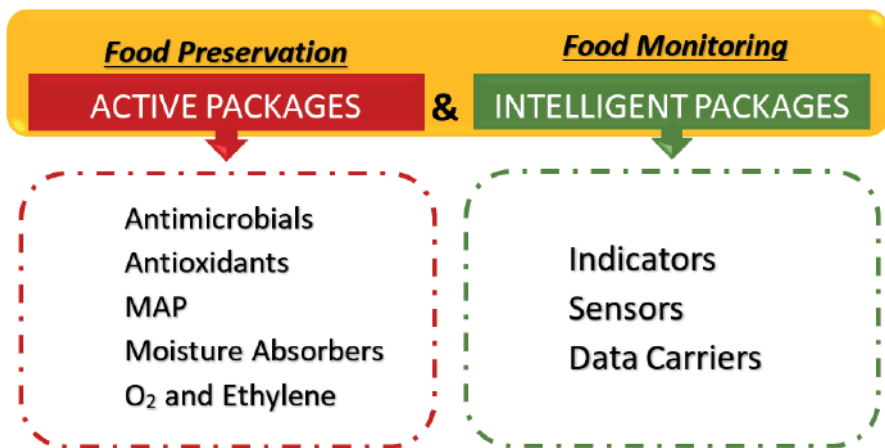


Figure 2.1. Classification of novel food packaging summerized in this review.

A versatile food packaging system that meets numerous needs and issues in the food sector can be created by combining active, intelligent, and green packaging technologies (Drago et al., 2020) These technologies can work together to improve food safety, increase shelf life, and reduce waste. Active packaging materials with antimicrobial qualities, for example, can prevent bacterial development and lower the risk of foodborne illnesses, while intelligent sensors can offer real-time information about the freshness and quality of food (Yildirim et al., 2018). Furthermore, the usage of environmentally friendly materials and packaging solutions coincides with the growing customer demand for environmentally conscious products (Realini and Marcos, 2014)

At last, active and intelligent packages in food packaging provide novel solutions for improving food product quality, safety, and sustainability. The evolution of active and intelligent packaging technologies is further aided by the development of sustainable packaging materials and the incorporation of bio-based sensors. A versatile food packaging system that addresses numerous needs and issues in the food sector can be achieved by integrating active, intelligent, and green packaging technologies. (Kuorwel et al., 2015) However, more research and development are required to optimize these technologies and enable their successful deployment in commercial food packaging applications.

2.1.1. Innovative Approaches to Food Preservation: Active Packages

Active Packaging interacts with the food product to improve safety and extend shelf life. It entails the incorporation of active components (such as additives) into the packaging material. These components have the ability to absorb, release, or react with specific substances in the package, such as oxygen, moisture, or ethylene, altering the environment inside. Antimicrobial packaging (containing substances such as silver nanoparticles or bacteriocins to inhibit microbial growth), oxygen scavenging packaging (removing oxygen to limit oxidation), and moisture control packaging (regulating moisture to prevent spoilage) are examples of common types (Rydz et al., 2018)

a) Antimicrobials

Antimicrobial applies in active food packaging have received a lot of interest in recent years. Microbial activity is frequently responsible for the deterioration of fresh food. Antimicrobial packaging is a type of active packaging that is designed to limit, impede, or delay the growth of

microorganisms in the packed food or packaging material (Lu et al., 2009). Antimicrobial compounds can be integrated into packaging systems to limit microbe development, hence extending the lag period and slowing microorganism growth. This aids in the preservation of food quality and safety (Malhotra et al., 2015). Antimicrobial agents can be incorporated into packing materials in a variety of ways. Antimicrobial agents, such as films or coatings, can be added directly to the packaging system (Bastarrachea et al., 2011). Biopolymer coatings on paper packaging materials, for example, can restrict moisture transfer and act as microbial barriers (Khwaldia et al., 2010). Electrospinning techniques have also been used to create antibacterial and antioxidant active packaging materials (Zhang - 2020). Another strategy is to use active biodegradable films infused with bacteriophages, which have been demonstrated to exhibit antimicrobial action against certain infections (Gouvêa et al., 2015). Bacteriocins, essential oils, natural extracts, and synthetic agents such as silver nanoparticles can all be employed as antimicrobial agents in active packaging. These compounds have the ability to produce antibacterial, antifungal, and antioxidant activity in packaging materials. These compounds can assist improve the microbiological safety of food and increase its shelf life. Consumer demand for minimally processed and additive-free foods is driving the development of antimicrobial active packaging materials (Bastarrachea et al., 2011). These materials not only improve food safety, but they also help to reduce food waste and improve sustainability (Motelica et al., 2020). Finally, antimicrobial applications in active packaging for food packaging have emerged as a potential strategy to improving food product microbiological safety and shelf life. Incorporating antimicrobial ingredients into packing materials can aid in the prevention of microbe development while also preserving food quality and safety. Antimicrobial capabilities in active packaging have been investigated using a variety of methodologies and agents, including biopolymer coatings, bacteriophages, and nanoparticles. Natural biopolymers such as gelatin, alginate, cellulose, and chitosan have been coupled with antimicrobial nanoparticles to develop active packaging materials with better sustainability (Omerović - 2021) Continued research and development in this area will help to increase food packaging technologies and improve food safety and quality.

b) Antioxidants

Antioxidants are compounds that can suppress or delay the oxidation process, which can result in food quality degradation and the creation of off-flavors and off-odors. Synthetic antioxidants have typically been

used in food packaging, however there is increased interest in employing natural antioxidants due to concerns about synthetic antioxidants' potential detrimental effects. Natural antioxidants can be found in plants such as herbs, spices, seeds, fruits, and vegetables. These natural components have not only biological worth, but also economic significance because they may be isolated from food byproducts and underutilized plant species. Natural antioxidant extraction methods and stabilization technologies have been extensively studied. To get antioxidants from plant materials, various extraction procedures such as solvent extraction, supercritical fluid extraction, and microwave-assisted extraction have been used. Natural antioxidants have been studied for their applications in the food sector, notably in active packaging(Lourenço et al., 2019). The use of oxygen scavengers, migratory and non-migratory antioxidant coatings, and the inclusion of antioxidants into packaging sheets are all examples of active packaging technology. Scavengers of oxygen can remove oxygen from the packing environment, thereby preventing oxidation reactions. Non-migratory antioxidant coatings do not require direct contact with the food, but migratory antioxidant coatings can release antioxidants into it. Antioxidants can also be integrated into packaging films for regulated antioxidant release (Vasile,2018). Several studies have shown that antioxidant active-packaging materials can prevent oxidative deterioration in packaged foods. For example,(Prabha et al., 2014). discovered that a polypropylene film functionalized with iminodiacetate displayed antioxidant activity and prevented lipid oxidation in emulsified oil systems.(Giannakas, 2020) investigated the performance of sodium montmorillonite and organically modified montmorillonite as essential oil control release nanocarriers in active films and discovered that the films exhibit controlled and sustained antioxidant activity. In addition to antioxidants, active packaging can include antibacterial chemicals to prevent germs from spoiling food. The use of active packaging with antioxidant capabilities not only helps preserve food quality but may also provide customers with health benefits(Saberi et al., 2017).

In general, active packaging with antioxidant applications has received a lot of interest in recent years. The sources, extraction methods, and stabilization processes of natural antioxidants originating from plant sources have been investigated(Lourenço et al., 2019). These antioxidants have been incorporated into packaging materials like films and coatings to inhibit oxidation and extend the shelf life of food products(Fasihnia et al., 2020).

c) Modified Atmosphere Packaging (MAP)

Modified Atmosphere Packaging (MAP) is a method that involves modifying the gas composition within the container to improve shelf life and maintain food quality (Kargwal et al., 2020). The air in the package can be replaced with a single gas or a mixture of gases, such as high oxygen (O₂) atmospheres or carbon monoxide (CO), to produce MAP (Greibitus et al., 2013). The use of MAP in food packaging has been found to provide a number of advantages. One of the most significant benefits of MAP is its capacity to suppress the growth of spoilage bacteria and so improve the shelf life of food goods (Hosseini et al., 2021). By changing the composition of the gas, MAP provides an environment unfriendly to the growth of bacteria, yeast, and molds, lowering the risk of microbiological deterioration (Goulas et al., 2005). This is especially significant for high-moisture products like bakery items, where microbial deterioration is a major issue (Rocca-Smith et al., 2016). MAP can also aid in the preservation of the color and look of meat products by improving the stability and consistency of meat color and helping protect the sensory and nutritional quality of food products in addition to microbial control. MAP can decrease the oxidation of lipids and other sensitive components in the package by lowering the oxygen content (Cassens et al., 2021). MAP can also aid in the prevention of off-flavors and odors that can develop during storage (Hosseini et al., 2021). Furthermore, MAP can help to maintain the texture and hardness of fruits and vegetables, thereby improving their overall quality (Kargwal et al., 2020). The gas composition of MAP is determined by the specific food product and the intended shelf life. To generate the desired environment, several gases, such as oxygen, carbon dioxide, and nitrogen, can be employed in various combinations. High oxygen atmospheres, for example, are frequently used for fresh produce to maintain color and freshness, while carbon dioxide can be utilized to suppress microbial growth and lengthen the shelf life of meat items (Greibitus et al., 2013). Finally, MAP has various advantages, including microbial management, sensory and nutritional quality preservation, and color and aesthetic preservation. To optimize the technology and assure its successful adoption in various food packaging applications, more research and development in MAP processes and packaging materials are required.

d) Moisture Absorbers

Moisture absorbers have a variety of applications in active food packaging. Moisture absorbers are used to inhibit moisture permeation, which can aid in the control of microbial development and the preservation of food quality and shelf life. Moisture absorbers can be included into a variety of

packaging materials, including sachets, pouches, and pads. These materials have no effect on the structure of the external packaging materials and can efficiently manage moisture levels in the package. However, there is ongoing research and development to investigate the use of moisture absorbers in other forms, such as packaging structure or coating (Yildirim et al., 2018). Active packaging technologies, such as moisture absorbers, are intended to actively release or absorb substances into or from packed food or the surrounding environment. These novel technologies attempt to extend the shelf life of packaged goods, preserve or improve their quality, and improve overall food preservation procedures. Moisture management, one of the many active packaging solutions available, plays an important role in extending the shelf life of dried products and reducing the growth of germs by managing moisture migration and blocking excessive moisture content (Biji et al., 2015). Moisture absorbers are especially important in active packaging systems because they efficiently reduce moisture levels and water activity in moisture-sensitive foods. Moisture absorbers can help increase the shelf life of food goods and reduce the risk of microbiological deterioration by conserving moisture content and lowering condensation (Vilela et al., 2019). Aside from moisture absorbers, active packaging can include oxygen scavengers, carbon dioxide emitters/absorbers, ethylene absorbers, and antimicrobial-containing sheets. These active systems collaborate to control oxidation, microbial development, and moisture, ensuring food product quality and safety (OZDEMIR and FLOROS, 2004).

Overall, moisture absorbers have important applications in active food packaging. They aid in moisture control, microbial growth prevention, and food product shelf life extension. Continuous research is being conducted to investigate new forms and applications of moisture absorbers in packaging materials in order to improve their effectiveness in protecting food quality and safety.

e) Oxygen and Ethylene Scavengers

Scavengers of oxygen and ethylene have key applications in active packaging for food packing. The purpose of oxygen scavengers is to absorb oxygen and reduce its concentration within the packaging, hence extending the shelf life of oxygen-sensitive food products (OZDEMIR and FLOROS, 2004). These scavengers can be included directly into the packaging material or employed in specialized packaging parts such as sachets or bottle caps (Han et al., 2018). They aid in the prevention of oxidation and the preservation of food quality and freshness (Realini and Marcos, 2014). These scavengers can decrease the ripening process and improve the shelf life of fresh produce by

lowering ethylene levels. Ethylene scavengers can be mixed into packaging or utilized in specialized parts such as sachets. They aid in the preservation of fruit and vegetable quality and freshness throughout storage and transit (Deshmukh and Gaikwad, 2022). Oxygen and ethylene scavengers are both essential components of active packaging systems designed to improve food preservation and extend shelf life. These active systems collaborate with additional functions such as moisture absorbers, carbon dioxide emitters/absorbers, and antimicrobial-containing coatings. The combination of these active ingredients aids in the regulation of several aspects that might affect food quality and safety, including oxidation, microbiological development, moisture, and ethylene levels (OZDEMIR and FLOROS, 2004). Active packaging technology research and development has concentrated on improving the performance and effectiveness of oxygen and ethylene scavengers. For example, nanocomposite films comprising oxygen scavenging elements have been created to improve the packing material's oxygen scavenging capacity (Cherpinski et al., 2018). Electrospinning techniques have also been investigated for the purpose of producing nanofibers with functionalized surfaces capable of loading oxygen and ethylene scavengers ("Electrospinning of nanofibers: Potentials and perspectives for active food packaging - Zhang - 2020 - Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety - Wiley Online Library," n.d.). These developments aim to improve the performance of active packaging systems and deliver more efficient and sustainable food preservation solutions.

Finally, oxygen and ethylene scavengers play critical roles in active food packaging. They aid in the management of oxygen and ethylene levels, respectively, to lengthen shelf life and maintain food quality. Ongoing research and development efforts are aimed at increasing the performance and application of these scavengers in active packaging systems in order to improve food preservation and meet food industry expectations.

2.1.2. Enhancing Food Monitoring: Intelligent Packages

Aside from active packaging applications, smart packaging systems incorporate the insertion of indicators or sensors into the packaging system to relay information about different changes occurring in or around the packed food. Intelligent packaging, unlike active packaging, does not actively try to improve food shelf life or release components into the food (Fang et al., 2017). Instead, it works as a communication tool, informing manufacturers, merchants, and consumers about food quality. This is accomplished by monitoring changes in the product or the surrounding environment. Thus, intelligent packaging can be considered an extension of traditional food

packaging's communication and marketing functions. Temperature, pH, gas composition, microbial growth, and other parameters impacting food quality can all be transmitted. Indicators, sensors, and data carriers are the three primary types of intelligent packaging systems. Sensors give exact and quantitative readings of specific analytes, whereas indicators provide qualitative or semiquantitative information about the state of packed food. Unlike indicators and sensors, data carriers do not provide quantitative or qualitative information about the food product itself. Instead, they are largely used for identification, automation, traceability, theft prevention and anti-counterfeiting. Combining these technologies can lead to packaging systems that actively preserve food quality while also providing useful data to optimize food safety, quality, and supply chain management (Kerry et al., 2006).

2.1.2.1. Indicators

Indicators are intended to convey qualitative or semiquantitative information about the state of a packaged product or its surroundings. They are simple to make and read with the naked eye, making them user-friendly. Time-temperature indicators, and gas indicators are examples of indicators (Zhai et al., 2018). Indicators are classified into three types: (i) internal indicators, which are located within the packaging or attached to the closure and include microbial indicators and leakage indicators; (ii) external indicators, which are attached to the package's outer surface and include physical impact indicators and time-temperature indicators (TTIs); and (iii) indicators that improve information transmission and communication between packaged products and consumers. These devices have specialized barcodes that contain important information about food goods, such as usage and expiration dates ("Application of smart packaging for seafood: A comprehensive review - Abedi-Firoozjah - 2023 - Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety - Wiley Online Library," n.d.). Overall, food packaging indicators play an important role in guaranteeing the freshness, quality, and safety of packaged food. They provide vital information to consumers, retailers, and other supply chain stakeholders, enabling better decision-making and decreasing food waste. The indicator and material used are determined by the individual use and needs of the food packaging system (Kerry et al., 2006; Salgado et al., 2021)

a) Time and temperature indicators (TTIs)

TTIs are a sort of intelligent packaging technology used in the food sector to track and display the time and temperature history of packaged

food goods. TTIs are intended to offer real-time information regarding the conditions that the food has been subjected to, enabling for the evaluation of its freshness, quality, and safety (Newsome - 2014; Ghaani et al., 2016; Realini and Marcos, 2014). The primary reason for employing TTIs in food packaging is to maintain optimal storage and transit conditions for perishable food goods. TTIs can help determine if a product has been subjected to unfavorable conditions that may impair its quality or safety by monitoring temperature and time (Realini and Marcos, 2014; Chen - 2020).

TTIs are especially beneficial for temperature-sensitive foods, such as chilled and frozen products, because they can provide an indicator of remaining shelf life and aid in distribution chain management. These indicators visually alter with time, with rising temperatures hastening the rate of change (Kim et al., 2012; Realini and Marcos, 2014). Customers can judge the quality and safety of food based on TTI color changes since they have easy access to visual information (Wang et al., 2015). Consumer acceptability of TTIs, on the other hand, has been restricted, most likely due to a lack of consumer knowledge and understanding. TTI consumer perception and acceptance vary by nation, with buyers in warmer countries embracing and comprehending the technology. More research is needed to match customer expectations and increase the acceptance of TTIs (Pennanen et al., 2015). TTIs and other intelligent packaging systems have the potential to revolutionize the food industry by providing real-time data on the quality and safety of packaged products (Yousefi et al., 2019).

(Wang et al., 2015) In their study, (Chun et al., 2013). created an enzymatic Time-Temperature Indicator (TTI) for ground pork patties. This TTI was based on color transitions from green to red induced by enzyme reactions that were time and temperature regulated. To produce an enzymatic TTI, (Meng et al., 2018) used an agar coating with microcapsules containing sodium alginate, iodine, amylose, and glucoamylase. The goal of this TTI was to use color changes to reflect the thermal history of refrigerated meat to assess the quality of fresh chilled pork. (Xu et al., 2017) developed a tyrosinase-based TTI to assess the quality of turbot sashimi using total plate counts as an indicator. (Park et al., 2013) tracked quality changes in vacuum-packed chicken breasts while they were stored using a LAB-based TTI prototype. (Wang et al., 2015) used the localized surface plasmon resonance of gold nanoparticles (AuNPs) synthesized in alginate to develop a plasmonic TTI. This TTI's color improved with increased storage temperature and time, turning from gray to red when exposed to high temperatures (40°C). (Singh et al., 2018) developed temperature-sensitive packaging by combining a thermo-regulating eutectic mixture of soybean oil and tetradecane. This

packaging approach effectively managed the temperature of fresh beef from the retailer to the preparation and consumption phases. TTIs, in addition to temperature monitoring, can be used as part of active packaging systems that interact with the contents and/or the surrounding environment. Such systems include oxygen scavengers, ethylene scavengers, flavor and odor absorbers/releasers, antimicrobial and antioxidant packaging approaches, and freshness and ripening indicators (Prasad & Kochhar, 2014). TTI integration with active packaging technologies allows for dynamic monitoring of crucial parameters throughout the distribution process and provides consumers with real-time information on the remaining shelf life of the product (Wang et al., 2015)

TTIs, in general, play an important part in intelligent packaging solutions for food goods. They provide a visual representation of the product's time and temperature history, enabling for evaluation of its quality, freshness, and safety. TTIs on food packaging allow producers and customers to make judgments regarding the product's fitness for consumption or sale. To improve the performance and applicability of TTIs in food packaging systems, more research and development in this field is required (Chen et al., 2020).

b) Microbial Spoilage and Freshness Indicators

Microbial spoilage and freshness indicators are critical in assuring food product quality and safety throughout storage and transportation. These indicators provide immediate feedback on the freshness or deterioration of food, which can be produced by physical, chemical, or microbiological changes. Changes in metabolite concentrations such as glucose, ethanol, organic acids, CO₂, TVB-N, adenosine triphosphate degradation products, and biogenic amines can indicate meat decomposition (Ahmed et al., 2018). These indicators enable the detection and correlation of changes in metabolite concentrations, which are typically exhibited as color responses and may be detected and connected to food product freshness (Fuertes et al., 2016a; Wang et al., 2018b). Thus, the interaction of these metabolites with the packaging system's indicators offers visible feedback on the microbiological quality of the items. Changes in metabolite concentrations are often detected by a color shift in the package. The modifications offer visible feedback on the microbiological quality of the food contained within the box. Several of these markers are dependent on pH changes produced by particular metabolite synthesis, such as nbutyrate, Llactic acid, Dlactate, acetic acid, and volatile amines (Kerry et al., 2006; Yoshida et al., 2014). pH indicators produced by Eagland and Crowther (2007) and combinations of acid-base indicators

utilized in polyethylene films by Gorski and Booher (2011) are two specific examples of these indicators. Food spoilage can also be identified by detecting other decomposition products including volatile amines and hydrogen sulfide. Packaging that may show such changes aids in the preservation of food safety and quality. Gorski and Booher (2011) investigated the incorporation of various acid-base indicators, including xylenol blue, bromocresol purple, bromocresol green, cresol red, phenolphthalein, bromothymol blue, neutral red, pnapthholbenzein, and combinations thereof, into polyethylene films used for chicken packaging. Similarly, recent advancements have resulted in the development of deteriorating sensors for poultry, hog, and beef packaging using pH-sensitive polymers. These studies focus on detecting food rotting through simple chemical or pH changes, which can serve as indirect indicators (Ghaani et al., 2016; Chen et al., 2019). In their experiment, Liang et al. (2019) created an intelligent film using *Artemisia sphaerocephala* Krasch gum and a natural color produced from red cabbage. In reaction to pH alterations ranging from 3 to 10, this film changed color from pink to green. Similarly, Halász and Csóka (2018) immobilized dyes obtained from black chokeberry (*Aronia Melanocarpa*) pomace using chitosan films. These films responded effectively to pH changes, exhibiting significant color shifts across a pH range of 1 to 10. In addition, Medina-Jaramillo et al. (2017) and Yoshida et al. (2014) developed colorimetric pH indicators using chitosan or starch films containing anthocyanin or green tea and basil extracts, respectively. Betalains are another remarkable natural chemical that can be used as pH change sensors. They are nitrogen-containing water-soluble pigments that can be classed as red or yellow. They are present in a wide range of fruits, vegetables, and cereals. These pigments can be used as pH change indicators in the context of food packaging. Kanatt (2020) used PVA and gelatin films soaked with *Amaranthus* leaf extract (which contains betalains) to test the freshness of fish and poultry flesh, for example. When the film spoiled, the hue changed from red to yellow, which was supported by increases in pH, Total Volatile Basic Nitrogen (TVBN), and microbial counts in the ruined samples. As a result, by monitoring pH variations, betalains can be utilized to detect changes in food freshness.

Finally, microbial spoilage and freshness indicators, as well as intelligent packaging solutions, are critical for monitoring the quality and safety of food products. These indicators provide immediate information on the freshness or rotting of food, allowing for improved packaging control and management. The employment of antimicrobial packaging technology and biodegradable freshness indicators helps to maintain food quality, prolong shelf life, and reduce food waste.

c) Gas Indicators

Gas indicators, which detect changes in gas composition inside food packaging, serve an important role in monitoring the quality and safety of food products (Han et al., 2018). The gas composition of food packaging can change due to factors such as food product activity, package nature, and ambient circumstances (Vasile & Baican, 2021). Oxygen indicators are commonly employed in food packaging because oxygen can degrade food quality via oxidative rancidity, color changes, and microbiological decomposition (Han et al., 2018). The presence of oxygen in the packaging can increase microbial growth, resulting in food spoiling. Colorimetric indicators based on redox reactions, such as methylene blue in the presence of a reducing agent like glucose in an alkaline environment, are often employed as O₂ indicators (Mills, 2005; Silva-Pereira et al., 2015). The dye oxidizes in the presence of O₂ throughout this process, resulting in a color shift. However, these dyes have disadvantages, such as diminished visibility of the color shift as the O₂ level declines, making subsequent microbial development difficult to detect (Saarinen et al., 2017). O₂ indicators and oxygen scavengers can be incorporated in packaging to address this issue (Mitsubishi Gas Chemical, 2014; Realini and Marcos, 2014). Mills and Hazafy (2009) created MBRd, a TiO₂ nanoparticle-based oxygen monitor. MBRd utilises methylene blue in its reduced form, whereas MBox employs methylene blue in its oxidized form. These detectors can detect a drop in the critical temperature of stored packaged food. Mihindukulasuriya and Lim (2014) used the electrospinning approach to construct a membrane with UV-based active O₂ indicator capabilities in a separate investigation. The membrane's sensitivity to oxygen was increased by adding TiO₂, methylene blue, and glycerol into electrospun polyfibers. Close monitoring of physicochemical changes, particularly the formation of CO₂ and ethylene during respiration, is critical for fruits and vegetables. The use of CO₂ indicators is important in measuring the freshness of packed fruits and vegetables in order to preserve their natural quality. Carbon dioxide sensors, in particular, are being widely researched for use as freshness indicators in food packaging to ensure food quality (Singh and Nanda, 2022; Vargas-Sansalvador et al., 2019). Lim et al. (2013) explored gas-permeable sachets in their investigation. These sachets contained an indication made up of chitosan nanoparticles and a single strength indicator additive, 2-amino-2-methyl-1-propanol (AMP), which was specifically intended for CO₂ detection. Gas indicators are also used to assess the efficacy of active packaging components like oxygen and carbon dioxide scavengers, as well as to detect leaks in the packaging. Gas indicators are critical in modified

atmosphere packaging (MAP), where food is stored in a controlled gas environment, to monitor gas composition and ensure package integrity (Drago et al., 2020). Through irreversible and obvious color changes on the packaging, gas indicators can provide information about changes in gas composition inside the package. Gas indicators can detect various gas components besides oxygen, such as ethanol, hydrogen sulfide, water vapor, and carbon dioxide (Han et al., 2018). Another form of gas indicator is the integrity indicator, which is used to monitor the gas composition generated by the breakdown of food goods as well as the integrity of the packaging. Through colorimetric shifts, these indicators provide qualitative or semiquantitative information, maintaining the safety and quality standards of packaged food (AbediFiroozjah et al., 2023). In summary, gas indicators in food packaging play an important role in monitoring and maintaining food product quality and safety. They give useful information regarding changes in gas composition, detect packaging leaks, and assess the efficiency of active packaging components. Manufacturers can verify that their products satisfy quality requirements and supply consumers with fresh and safe food by using gas indicators.

2.1.2.2. Sensors

Sensor technologies in food packaging relate to the incorporation of different sensors into packaging materials or systems to monitor and deliver information regarding food product quality, safety, and freshness. Temperature, humidity, gas composition, and time-temperature indicators are just a few of the factors that these sensors can detect and monitor (Yousefi et al., 2019). A sensors are basicly made up of two major components: receptors, which are biological or chemical materials that can recognize a specific analyte, and transducers, which can be optical, calorimetric, electrochemical, or piezoelectric devices. The transducer, converts the measured physical variables into a different type of energy that the accompanying devices or equipment can electronically process, encode, and decode. This conversion allows the sensor to offer useful data for subsequent investigation and use (Fernandez et al., 2022; Yam et al., 2005). The operational principle of sensors can be visualized in Figure 2.2. Sensors of many types can be embedded in food packaging.

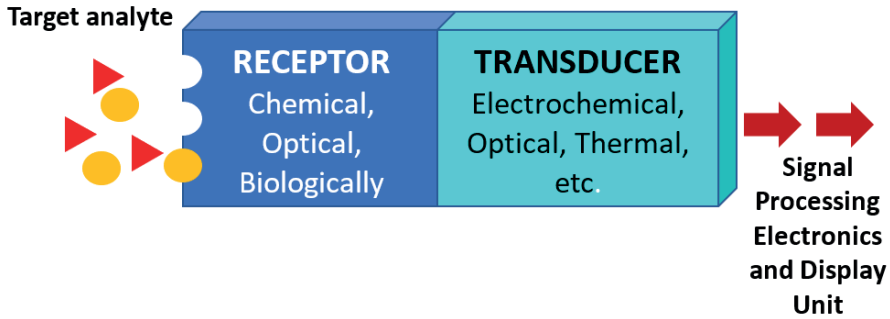


Figure 2.2. A schematic illustration of a sensor's operational mechanism.

The most common sensor technologies employed in intelligent packaging are biosensors, chemical sensors and gas sensors (Scampicchio et al., 2016). Aside from these, a variety of applications for diverse purposes are available, and new sensor technologies are being investigated and developed. However, the use of sensors in food packaging is fraught with difficulties. One of the most major problems is the cost of packaging, as sensor integration can dramatically raise the cost (Barandun et al., 2019). Sensor integration into packaging materials necessitates complex production techniques (Barandun et al., 2019). Furthermore, sensing materials' sensitivity, selectivity, robustness, and safety must be proven to assure their acceptability for contact with food (Mustafa, 2018). Despite these obstacles, the development of sensor technologies for food packaging has the potential to significantly improve food quality, safety, and spoilage monitoring across the supply chain (Yousefi et al., 2019). Sensors can assist minimize food waste, increase shelf life, and improve overall food quality by delivering real-time information about the state of packaged food (Mustafa, 2018).

a) **Biosensors**

Biosensors have gained significant attention in the field of food packaging due to their potential applications in ensuring food safety and quality. Biosensors are analytical devices that combine a biological recognition element with a transducer to detect and measure the presence of specific substances or analytes. They offer several advantages over traditional screening methods, such as radioimmunoassay and enzyme-linked immunosorbent assay, including automation, improved reproducibility, speed of analysis, and real-time monitoring (McGrath et al., 2012). Intelligent packaging, which incorporates biosensors, has emerged as a promising approach to enhance food safety and quality. Biosensors can be placed inside the food package

or integrated into the packaging material itself. This allows for continuous monitoring of various parameters, such as temperature, humidity, gas composition, and the presence of pathogens or toxins (Yam et al., 2005). By providing real-time information about the condition of the packaged food, biosensors enable early detection of spoilage or contamination, thereby reducing the risk of foodborne illnesses and minimizing food waste (Kuswandi et al., 2011). The biological signals created by the bio-receptors are converted into measurable electrical responses by the transducers (Ahmed et al., 2018). For example, SIRA Technologies Inc.'s Food Sentinel System is a commercial biosensor designed to detect foodborne infections. It makes use of a membrane that contains particular antibodies that are coupled to a bar code. Pathogens cause the creation of a dark-colored band, which prevents the bar code from being read (Yam et al., 2005). ToxinGuard by Toxin Alert, Canada is another example. It's a commercial visual diagnostic instrument that uses antibodies imprinted on polyethylene. It can identify harmful germs including Salmonella, Campylobacter, E. coli, and Listeria (Poyatos-Racionero et al., 2018). In summary, biosensors detect and transform biological signals into electrical responses, allowing the identification and measurement of specific analytes in food items.

b) Chemical Sensors

Chemical sensors are made up of a receptor that interacts chemically with the analyte and a transducer that turns the chemical information into a quantifiable signal. Electrical, electrochemical, optical, and gravimetric sensors are often classified depending on their transduction principles (Teodoro et al., 2021). Chemical sensors for measuring gases created by spoiling have been suggested in the field of food degradation. A capacitive sensor, for example, was designed to monitor the NH₃, ethanol, and H₂S released by rotting chicken flesh (Senapati and Sahu, 2020). Another technique used a hybrid chemiresistor sensor that converted radio-frequency identification tags into wireless sensors, which might be used in smart packaging to monitor biogenic amines emitted by poultry, cattle, and fish (Andre et al., 2021). Electrochemical sensors have also been proposed as a means of assessing potentially toxic chemicals or monomers that migrate from packaging materials into food. Examples include the detection of primary aromatic amines resulting from polyurethane adhesive isocyanate monomers (Ghaani et al., 2018) and the measurement of bisphenol-A (BPA), a substance linked to endocrine disorders, migrating from polycarbonate bottles and epoxy resins (Karthika et al., 2021).

c) Data Carriers

Data carriers are electronic devices embedded in packaging that provide various benefits, including increased traceability and trackability for inventory management across the supply chain. They are classified as automated recognition equipment, and they play an important role in improving the efficiency of information flow in food supply chain management, allowing for improved communication about food quality and safety. Data carriers are more concerned with tracking and tracing than with delivering direct information regarding food quality. Their goal is to automate operations, provide traceability, prevent fraud, and combat counterfeiting. These data carriers are commonly used in tertiary packaging. Barcode labels, quick response (QR) code and radiofrequency identification (RFID) tags are the most common data carriers in food packaging (Figure 2.3). A barcode is a pattern of parallel bars and spaces or an array of dots and gaps. These patterns represent encoded data that an optical scanner may read. The information is captured by the scanner and sent to a system where it is stored and analyzed (Ghaani et al., 2016; Sohail et al., 2018). QR codes are two-dimensional arrays made up of randomly placed dots and rectangles. QR codes, like barcodes, may be used to transmit important information on primary, secondary, and tertiary packaging. These technologies allow for the identification, monitoring, and administration of packaged items across the supply chain, resulting in better logistics and supply chain operations (Fuertes et al., 2016; Salgado et al., 2021; Kumar et al., 2021).

RFID systems have several uses in the food packaging business, including supply chain management, food temperature monitoring, and food safety. RFID tags can detect items from a distance without having a line of sight and may store extra information such as product specifications, manufacturer information, and environmental conditions such as temperature and humidity (Kumar et al., 2009). These tags can be included in food packaging materials to offer real-time information on the product's quality and safety (Yousefi et al., 2019). Passive RFID tags are typically used for identification and tracking, whereas semipassive or active RFID tags are required for sensing applications. The incorporation of sensors into RFID tags enables the detection of chemical vapors emitted during food storage, allowing contamination or spoiling to be detected (Tung et al., 2017). The cost of tags with embedded sensors, on the other hand, may affect the ultimate cost of food goods, potentially leading to lower sales (Han et al., 2018). RFID applications in food packaging may benefit from graphene-based sensors. These sensors, which operate as a "electronic tongue" or "nose" to detect chemical vapors and notify customers to potential contamination or

spoiling, may be inserted directly into packing materials. They may also be utilized as thin-film sensors that change electrical resistance in the presence of volatile organic compounds (VOCs) emitted by food, allowing for real-time study of food safety and quality (Tung et al., 2017). RFID technology, however, must be further established in the food industry before it can be extensively implemented (Kuswandi et al., 2011). RFID solutions, including barcode labels and RFID tags, are critical in the food packaging business for automated traceability, theft prevention, and counterfeiting protection. Traceability improves food safety and allows customers to trace the whole history of the packaging (Drago et al., 2020). RFID technology provides non-destructive and in-situ monitoring of food quality, which contributes to improved food quality and safety (Yousefi et al., 2019).

Finally, RFID systems offer a wide range of applications in food packaging, such as supply chain management, temperature monitoring, and food safety. The incorporation of sensors into RFID tags enables the detection of chemical vapors and improves real-time food quality and safety analyses. However, problems like as cost and the necessity for additional development in the food business must be solved before widespread acceptance can take place. Overall, RFID technology plays a critical role in increasing the food supply chain's efficiency, traceability, and safety.

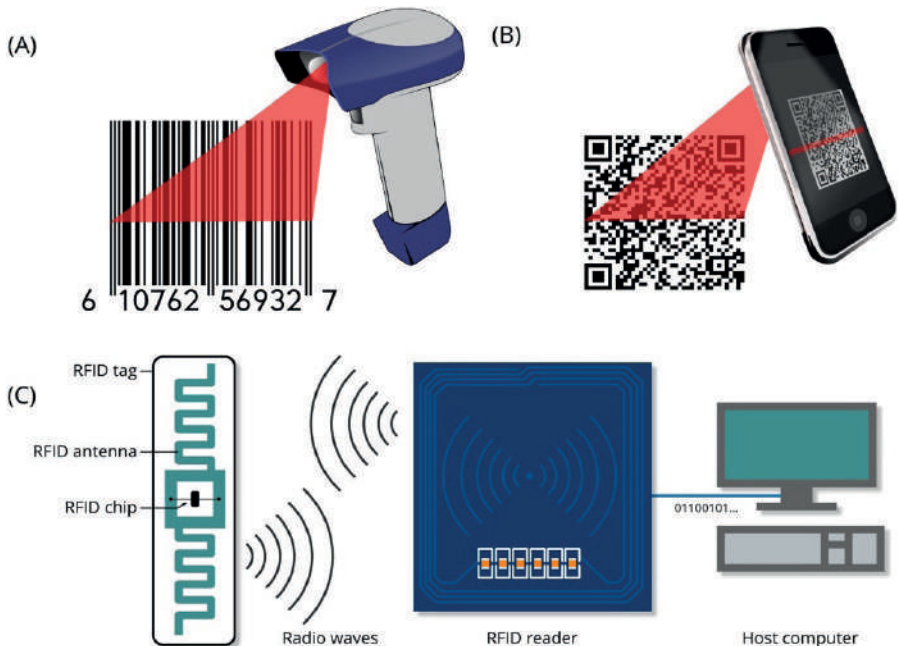


Figure 2.3. Examples of data carriers include: (A) A 1-D barcode (B) A 2-D barcode (C) An RFID tag and its components (Azereido and Correa, 2021).

3. Conclusion

The increasing attention towards bio-based polymers and technologies reflects a growing interest in reducing our reliance on nonrenewable fuel sources and promoting environmentally friendly materials. The emergence of bio-nanocomposites presents exciting opportunities for the development of novel, lightweight, and sustainable nanocomposite materials, which can replace traditional non-biodegradable fossil-based plastic packaging. Advanced food packaging technologies play a crucial role in extending the shelf life of food products and mitigating the risk of bacterial contamination. This review has explored different types of natural and synthetic polymers, focusing on their properties and their ability to meet the requirements of food safety, product quality, and environmental sustainability. Incorporating natural biodegradable additives, such as chitosan, alginate, and starch, into polymeric materials has gained popularity in the food packaging industry. These additives offer improved properties and contribute to the development of eco-friendly packaging solutions. In addition, the integration of active and intelligent packaging systems, along with the utilization of antimicrobial materials, represents an innovative and effective approach to food packaging. These advancements play a significant role in preserving food quality, improving safety, and minimizing environmental impact. By combining sustainable bio-based polymers, nanocomposites, and novel packaging strategies, the food industry can continue to meet the evolving demands for safe, high-quality, and environmentally friendly packaging solutions.

Overall, the exploration of bio-based polymers, nanocomposites, and innovative packaging technologies in this review highlights the ongoing efforts to create sustainable, safe, and efficient packaging solutions for the food industry. Continued research and development in this field are vital to meet the evolving demands of food safety, quality, and environmental stewardship. (Biji et al., 2015; “The role of smart packaging system in food supply chain - Chen - 2020 - Journal of Food Science - Wiley Online Library,” n.d.)

References:

- Acquah, C., Zhang, Y., Dubé, M.A., Udenigwe, C.C., 2020. Formation and characterization of protein-based films from yellow pea (*Pisum sativum*) protein isolate and concentrate for edible applications. *Current Research in Food Science* 2, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2019.11.008>
- Ansorena, M.R., Zubeldía, F., Marcovich, N.E., 2016. Active wheat gluten films obtained by thermoplastic processing. *LWT - Food Science and Technology* 69, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.020>
- Antimicrobial nanoparticles and biodegradable polymer composites for active food packaging applications - Omerović - 2021 - *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* - Wiley Online Library [WWW Document], n.d. URL <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.12727> (accessed 7.9.23).
- Application of smart packaging for seafood: A comprehensive review - Abedi-Firoozjah - 2023 - *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* - Wiley Online Library [WWW Document], n.d. URL <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.13117> (accessed 7.10.23).
- Applications and Perceptions of Date Labeling of Food - Newsome - 2014 - *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* - Wiley Online Library [WWW Document], n.d. URL <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.12086> (accessed 7.10.23).
- Azevedo, V., Borges, S., Marconcini, J., Yoshida, M., Neto, A., Pereira, T., Pereira, C., 2016. Effect of replacement of corn starch by whey protein isolate in biodegradable film blends obtained by extrusion. *Carbohydrate Polymers* 157. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.046>
- Bascou, R., Hardouin, J., Ben Mlouka, M.A., Guénin, E., Nesterenko, A., 2022. Detailed investigation on new chemical-free methods for silk sericin extraction. *Materials Today Communications* 33, 104491. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104491>
- Bastarrachea, L., Dhawan, S., Sablani, S.S., 2011. Engineering Properties of Polymeric-Based Antimicrobial Films for Food Packaging: A Review. *Food Eng Rev* 3, 79–93. <https://doi.org/10.1007/s12393-011-9034-8>
- Bayer, I., 2021. Zein in Food Packaging. pp. 199–224. <https://doi.org/10.1002/9783527820078.ch7>
- Biji, K.B., Ravishankar, C.N., Mohan, C.O., Srinivasa Gopal, T.K., 2015. Smart packaging systems for food applications: a review. *J Food Sci Technol* 52, 6125–6135. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1766-7>
- Çakmak, H., Özselek, Y., Turan, O.Y., Fıratlıgil, E., Karbancıoğlu-Güler, F., 2020. Whey protein isolate edible films incorporated with essential oils: Antimic-

- robial activity and barrier properties. *Polymer Degradation and Stability* 179, 109285. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109285>
- Cassens, A.M., Ramanathan, R., VanOverbeke, D.L., Mafi, G.G., 2021. Effects of Pork Quality Types, Packaging, and Degree of Doneness on Trained Sensory and Instrumental Tenderness, Color, and Consumer Perception. *Meat and Muscle Biology* 5. <https://doi.org/10.22175/mmb.11598>
- Cherpinski, A., Gozutok, M., Sasmazel, H.T., Torres-Giner, S., Lagaron, J.M., 2018. Electrospun Oxygen Scavenging Films of Poly(3-hydroxybutyrate) Containing Palladium Nanoparticles for Active Packaging Applications. *Nanomaterials* 8, 469. <https://doi.org/10.3390/nano8070469>
- Chevalier, E., Chaabani, A., Assezat, G., Prochazka, F., Oulahal, N., 2018. Casein/wax blend extrusion for production of edible films as carriers of potassium sorbate—A comparative study of waxes and potassium sorbate effect. *Food Packaging and Shelf Life* 16, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.01.005>
- Chun, J.-Y., Choi, M.-J., Lee, S.J., Hong, G.-P., 2013. Applications of Time-Temperature Integrator (TTI) as a Quality Indicator of Grounded Pork Patty. *Food Science of Animal Resources* 33, 439–447. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2013.33.4.439>
- Comparison of nano- and microfibrillated cellulose films | SpringerLink [WWW Document], n.d. URL <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-014-0357-5> (accessed 7.7.23).
- Costa, J., Miki, K., Ramos, A., Teixeira-Costa, B., 2020. Development of biodegradable films based on purple yam starch/chitosan for food application. *Heliyon* 6, e03718. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03718>
- De León Zapata, M., Galindo, A., Rojas Molina, R., Rodriguez, R., Jasso Cantú, D., Aguilar, C., 2015. Edible candelilla wax coating with fermented extract of tarbush improves the shelf life and quality of apples. *Food Packaging and Shelf Life* 3. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2015.01.001>
- Deshmukh, R.K., Gaikwad, K.K., 2022. Natural antimicrobial and antioxidant compounds for active food packaging applications. *Biomass Conversion and Biorefinery* 1–22.
- Drago, E., Campardelli, R., Pettinato, M., Perego, P., 2020. Innovations in Smart Packaging Concepts for Food: An Extensive Review. *Foods* 9, 1628. <https://doi.org/10.3390/foods9111628>
- Electrospinning of nanofibers: Potentials and perspectives for active food packaging - Zhang - 2020 - Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety - Wiley Online Library [WWW Document], n.d. URL <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.12536> (accessed 7.9.23).

- Fasihnia, S.H., Peighambardoust, S.H., Peighambardoust, S.J., Oromiehie, A., Soltanzadeh, M., Pateiro, M., Lorenzo, J.M., 2020. Properties and Application of Multifunctional Composite Polypropylene-Based Films Incorporating a Combination of BHT, BHA and Sorbic Acid in Extending Donut Shelf-Life. *Molecules* 25, 5197. <https://doi.org/10.3390/molecules25215197>
- Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review - ScienceDirect [WWW Document], n.d. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X11000427> (accessed 7.7.23).
- Ghaani, M., Cozzolino, C.A., Castelli, G., Farris, S., 2016. An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. *Trends in Food Science & Technology* 51, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.02.008>
- Giannakas, A., 2020. Na-Montmorillonite Vs. Organically Modified Montmorillonite as Essential Oil Nanocarriers for Melt-Extruded Low-Density Poly-Ethylene Nanocomposite Active Packaging Films with a Controllable and Long-Life Antioxidant Activity. *Nanomaterials* 10, 1027. <https://doi.org/10.3390/nano10061027>
- González, A., Alvarez Igarzabal, C.I., 2015. Nanocrystal-reinforced soy protein films and their application as active packaging. *Food Hydrocolloids* 43, 777–784. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.08.008>
- Goulas, A.E., Chouliara, I., Nessi, E., Kontominas, M.G., Savvaidis, I.N., 2005. Microbiological, biochemical and sensory assessment of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) stored under modified atmosphere packaging. *Journal of Applied Microbiology* 98, 752–760. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02512.x>
- Gouvêa, D.M., Mendonça, R.C.S., Soto, M.L., Cruz, R.S., 2015. Acetate cellulose film with bacteriophages for potential antimicrobial use in food packaging. *LWT - Food Science and Technology* 63, 85–91. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.014>
- Grebitus, C., Jensen, H.H., Roosen, J., 2013. US and German consumer preferences for ground beef packaged under a modified atmosphere – Different regulations, different behaviour? *Food Policy* 40, 109–118. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.02.005>
- Hamzah, H.M., Osman, A., Tan, C.P., Mohamad Ghazali, E., 2013. Carrageenan as an alternative coating for papaya (*Carica papaya* L. cv. Eksotika). *Postharvest Biology and Technology* 75, 142–146. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.08.012>
- Han, J.-W., Ruiz-Garcia, L., Qian, J.-P., Yang, X.-T., 2018. Food Packaging: A Comprehensive Review and Future Trends. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17, 860–877. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12343>

- Hosseini, M., Jamshidi, A., Raiesi, M., Azizzadeh, M., 2021. Effect of sodium alginate coating containing clove (*Syzygium Aromaticum*) and lemon verbena (*Aloysia Citriodora*) essential oils and different packaging treatments on shelf life extension of refrigerated chicken breast. *Journal of Food Processing and Preservation* 45, e14946. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14946>
- Jahromi, M., Niakousari, M., Golmakani, M.T., Mohammadifar, M.A., 2020a. Physicochemical and structural characterization of sodium caseinate based film-forming solutions and edible films as affected by high methoxyl pectin. *International Journal of Biological Macromolecules* 165, 1949–1959. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.057>
- Jahromi, M., Niakousari, M., Mohammadifar, mohammad amin, 2020b. Physicochemical and structural characterization of sodium caseinate based film-forming solutions and edible films as affected by high methoxyl pectin. *International Journal of Biological Macromolecules* 165. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.057>
- Jiang, Y., Lan, W., Sameen, D., Ahmed, S., Qin, W., Zhang, Q., Chen, H., Dai, J., He, L., Liu, Y., 2020. Preparation and characterization of grass carp collagen-chitosan-lemon essential oil composite films for application as food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules* 160. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.202>
- Kargwal, R., Garg, M.K., Singh, V.K., Garg, R., Kumar, N., 2020. Principles of modified atmosphere packaging for shelf life extension of fruits and vegetables: An overview of storage conditions. *Int. J. Chem. Stud.* 8, 2245–2252. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i3af.9545>
- Kerry, J.P., O'Grady, M.N., Hogan, S.A., 2006. Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat Science*, 52nd International Congress of Meat Science and Technology (52nd ICoMST) 13-18 August 2006 Dublin, Ireland 74, 113–130. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.024>
- Khwaldia, K., Arab-Tehrany, E., Desobry, S., 2010. Biopolymer Coatings on Paper Packaging Materials. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 9, 82–91. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00095.x>
- Kim, K., Kim, E., Lee, S.J., 2012. New enzymatic time–temperature integrator (TTI) that uses laccase. *Journal of Food Engineering* 113, 118–123. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.05.009>
- Kowalczyk, D., Szymanowska, U., Skrzypek, T., Basiura-Cembala, M., Łupina, K., Biendl, M., 2021. Edible films based on gelatin, carboxymethyl cellulose, and their blends as carriers of potassium salts of iso- α -acids: Structural, physicochemical and antioxidant properties. *Food Hydrocolloids* 115, 106574. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106574>

- Kuorwel, K., Cran, M., Orbell, J., Buddhadasa, S., Bigger, S., 2015. Review of Mechanical Properties, Migration, and Potential Applications in Active Food Packaging Systems Containing Nanoclays and Nanosilver. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 14. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12139>
- Liu, Y., Ahmed, S., Sameen, D., Wang, Y., Lu, R., Dai, J., Li, S., Qin, W., 2021. A review of cellulose and its derivatives in biopolymer-based for food packaging application. *Trends in Food Science & Technology* 112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.016>
- Liu, Z., Yang, J., Shi, Z., Chen, L., Zheng, B., 2021. Effect of stearic acid on the microstructural, rheological and 3D printing characteristics of rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules* 189, 590–596. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.174>
- Lourenço, S.C., Moldão-Martins, M., Alves, V.D., 2019. Antioxidants of Natural Plant Origins: From Sources to Food Industry Applications. *Molecules* 24, 4132. <https://doi.org/10.3390/molecules24224132>
- Lu, F., Liu, D., Ye, X., Wei, Y., Liu, F., 2009. Alginate–calcium coating incorporating nisin and EDTA maintains the quality of fresh northern snakehead (*Channa argus*) fillets stored at 4 °C. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89, 848–854. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3523>
- Malhotra, B., Keshwani, A., Kharkwal, H., 2015. Antimicrobial food packaging: potential and pitfalls. *Frontiers in Microbiology* 6.
- Maryam Adilah, Z.A., Jamilah, B., Nur Hanani, Z.A., 2018. Functional and antioxidant properties of protein-based films incorporated with mango kernel extract for active packaging. *Food Hydrocolloids* 74, 207–218. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.017>
- Meng, J., Qian, J., Tang, Y., 2018. A solid-state time-temperature indicator used in chilled fresh pork monitoring. *Packaging Technology and Science* 31, 353–360. <https://doi.org/10.1002/pts.2328>
- Moore, C.J., 2008. Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research, The Plastic World* 108, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>
- Motelica, L., Fikai, D., Fikai, A., Oprea, O.C., Kaya, D.A., Andronescu, E., 2020. Biodegradable Antimicrobial Food Packaging: Trends and Perspectives. *Foods* 9, 1438. <https://doi.org/10.3390/foods9101438>
- Mujtaba, M., Morsi, R.E., Kerch, G., Elsabee, M.Z., Kaya, M., Labidi, J., Khawar, K.M., 2019. Current advancements in chitosan-based film production for food technology; A review. *International Journal of Biological Macromolecules* 121, 889–904. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.109>

- OZDEMIR, M., FLOROS, J.D., 2004. Active Food Packaging Technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44, 185–193. <https://doi.org/10.1080/10408690490441578>
- Pan Y., Farmahini-Farahani M., O’Hearn P., Xiao H., Ocampo H., 2016. An overview of bio-based polymers for packaging materials. *JBB* 1, 106–113. <https://doi.org/10.21967/jbb.v1i3.49>
- Park, H.R., Kim, Y.A., Jung, S.W., Kim, H.C., Lee, S.J., 2013. Response of microbial time temperature indicator to quality indices of chicken breast meat during storage. *Food Sci Biotechnol* 22, 1145–1152. <https://doi.org/10.1007/s10068-013-0196-4>
- Pennanen, K., Focas, C., Kumpusalo-Sanna, V., Keskitalo-Vuokko, K., Matullat, I., Ellouze, M., Pentikäinen, S., Smolander, M., Korhonen, V., Ollila, M., 2015. European Consumers’ Perceptions of Time–Temperature Indicators in Food Packaging. *Packaging Technology and Science* 28, 303–323. <https://doi.org/10.1002/pts.2105>
- Ponnusamy, P.G., Mani, S., 2022. Material and Environmental Properties of Natural Polymers and Their Composites for Packaging Applications—A Review. *Polymers* 14, 4033. <https://doi.org/10.3390/polym14194033>
- Prabha, G., Malar, L., David, S., 2014. SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL CITRIC - ACID DERIVED POLYESTERS FROM LINSEED OIL.
- Realini, C.E., Marcos, B., 2014. Active and intelligent packaging systems for a modern society. *Meat Science, Meat Science, Sustainability & Innovation: ‘60th International Congress of Meat Science and Technology 17-22 August 2014, Punta del Este, Uruguay’* 98, 404–419. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.031>
- Rocca-Smith, J.R., Marcuzzo, E., Karbowski, T., Centa, J., Giacometti, M., Scapin, F., Venir, E., Sensidoni, A., Debeaufort, F., 2016. Effect of lipid incorporation on functional properties of wheat gluten based edible films. *Journal of Cereal Science* 69, 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.04.001>
- Rodrigues, D.C., Cunha, A.P., Brito, E.S., Azeredo, H.M.C., Gallão, M.I., 2016. Mesquite seed gum and palm fruit oil emulsion edible films: Influence of oil content and sonication. *Food Hydrocolloids* 56, 227–235. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.12.018>
- Rydz, J., Musioł, M., Zawidlak-Węgrzyńska, B., Sikorska, W., 2018. Present and future of biodegradable polymers for food packaging applications. *Biopolymers for food design* 431–467.
- Saber, B., Vuong, Q.V., Chockchaisawasdee, S., Golding, J.B., Scarlett, C.J., Stathopoulos, C.E., 2017. Physical, Barrier, and Antioxidant Properties of Pea Starch-Guar Gum Biocomposite Edible Films by Incorporation

- of Natural Plant Extracts. *Food Bioprocess Technol* 10, 2240–2250. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1995-z>
- Salgado, P.R., Di Giorgio, L., Musso, Y.S., Mauri, A.N., 2021. Recent Developments in Smart Food Packaging Focused on Biobased and Biodegradable Polymers. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5.
- Sharma, S., Ramana Rao, T.V., 2015. Xanthan gum based edible coating enriched with cinnamic acid prevents browning and extends the shelf-life of fresh-cut pears. *LWT - Food Science and Technology* 62, 791–800. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.050>
- Singh, S., Gaikwad, K.K., Lee, M., Lee, Y.S., 2018. Temperature sensitive smart packaging for monitoring the shelf life of fresh beef. *Journal of Food Engineering* 234, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.04.014>
- Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., Rosa, M.D., 2008. Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Science & Technology* 19, 634–643. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.07.003>
- Sousa, A.M.M., Souza, H., Latona, N., Liu, C.-K., Gonçalves, M., Liu, L., 2014. Choline chloride based ionic liquid analogues as tool for the fabrication of agar films with improved mechanical properties. *Carbohydrate Polymers* 111. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.04.019>
- Sun, Y., Liu, Z., Zhang, L., Wang, X., Li, L., 2019. Effects of plasticizer type and concentration on rheological, physico-mechanical and structural properties of chitosan/zein film. *International Journal of Biological Macromolecules* 143. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.035>
- The role of smart packaging system in food supply chain - Chen - 2020 - *Journal of Food Science* - Wiley Online Library [WWW Document], n.d. URL <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.15046> (accessed 7.10.23).
- Thivya, P., Bhosale, Y.K., Anandakumar, S., Hema, V., Sinija, V.R., 2022. Study on the characteristics of gluten/alginate-cellulose/onion waste extracts composite film and its food packaging application. *Food Chemistry* 390, 133221. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133221>
- Totosaus, A., Godoy, I., Ariza-Ortega, T., 2020. Structural and mechanical properties of edible films from composite mixtures of starch, dextrin and different types of chemically modified starch. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization* 25, 1–12. <https://doi.org/10.1080/1023666X.2020.1812937>
- Vasile, C., 2018. Polymeric Nanocomposites and Nanocoatings for Food Packaging: A Review. *Materials* 11, 1834. <https://doi.org/10.3390/ma11101834>
- Vilela, C., Moreirinha, C., Domingues, E.M., Figueiredo, F.M.L., Almeida, A., Freire, C.S.R., 2019. Antimicrobial and Conductive Nanocellulose-Ba-

- sed Films for Active and Intelligent Food Packaging. *Nanomaterials* 9, 980. <https://doi.org/10.3390/nano9070980>
- Vital, A.C.P., Guerrero, A., Ornaghi, M.G., Kempinski, E.M.B.C., Sary, C., Monteschio, J. de O., Matumoto-Pintro, P.T., Ribeiro, R.P., do Prado, I.N., 2018. Quality and sensory acceptability of fish fillet (*Oreochromis niloticus*) with alginate-based coating containing essential oils. *J Food Sci Technol* 55, 4945–4955. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3429-y>
- Wang, S., Liu, X., Yang, M., Zhang, Y., Xiang, K., Tang, R., 2015. Review of Time Temperature Indicators as Quality Monitors in Food Packaging. *Packaging Technology and Science* 28, 839–867. <https://doi.org/10.1002/pts.2148>
- Werten, M.W.T., Eggink, G., Cohen Stuart, M.A., de Wolf, F.A., 2019. Production of protein-based polymers in *Pichia pastoris*. *Biotechnology Advances* 37, 642–666. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.03.012>
- Xu, F., Ge, L., Li, Z., Lin, H., Mao, X., 2017. Development and application of a tyrosinase-based time-temperature indicator (TTI) for determining the quality of turbot sashimi. *J. Ocean Univ. China* 16, 847–854. <https://doi.org/10.1007/s11802-017-3220-0>
- Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M.K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B., Coma, V., 2018. Active Packaging Applications for Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17, 165–199. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12322>
- Yousefi, H., Su, H.-M., Imani, S.M., Alkhalidi, K., M. Filipe, C.D., Didar, T.F., 2019. Intelligent Food Packaging: A Review of Smart Sensing Technologies for Monitoring Food Quality. *ACS Sens.* 4, 808–821. <https://doi.org/10.1021/acssensors.9b00440>
- Zhai, X., Li, Z., Zhang, J., Shi, J., Zou, X., Huang, X., Zhang, D., Sun, Y., Yang, Z., Holmes, M., Gong, Y., Povey, M., 2018. Natural Biomaterial-Based Edible and pH-Sensitive Films Combined with Electrochemical Writing for Intelligent Food Packaging. *J. Agric. Food Chem.* 66, 12836–12846. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b04932>
- Zhou, W., He, Y., Liu, F., Liao, L., Huang, X., Li, R., Zou, Y., Zhou, L., Zou, L., Liu, Y., Ruan, R., Li, J., 2021. Carboxymethyl chitosan-pullulan edible films enriched with galangal essential oil: Characterization and application in mango preservation. *Carbohydrate Polymers* 256, 117579. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117579>

Gerçek Zamanlı Üretim İzleme Sistemleri: Mimari Çözüm Örneği

Fatih YÜCALAR¹

1. GİRİŞ

İşletmelerin dijitalleşmesi ve yüksek teknolojiyle donatılması olarak ifade edilen Endüstri 4.0 kavramı ile son yıllarda bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan gelişmelerin üretim süreçlerine entegrasyonu, tedarik zincirinin tüm aşamaları için önemli yararlar sağlamıştır. Son yıllarda işletmeler dijital dönüşüm sürecini göz önünde bulundurarak yönetim stratejilerini ve iş yapış şekillerini yeniden değerlendirmek zorunda kalmışlardır. Dijital dönüşüm, teknolojinin işletme çalışanları, müşteriler ve iş ortakları dahil olmak üzere tüm paydaşlar tarafından artan bir oranda kullanılmasını ve işletme varlıklarının dijitalleşmesini gerektirmektedir. Dijitalleşme ile işletmeler iş yapış şekillerindeki pek çok işlevsel gereksinime yönelik çeşitli yazılım çözümleri kullanmaya başlamışlardır. İşletme içerisinde kullanılan yazılım çözümlerinin çeşitliliği arttıkça karmaşıklık da beraberinde artmıştır. Gerek şimdiki gerekse de geleceği daha etkin yönetmek isteyen işletmeler bütünü görmek ve bu doğrultuda alacakları kararları şekillendirmek isterler. İşletmeler bütünü görebilmek için geçerli ve doğru bilginin işletme içerisinde dolaşmasını imkân sağlayan birbirine entegre olmuş sistemlerin kullanımına ihtiyaç duymaktadırlar. Bu noktada işletme değerlerini bütüncül olarak ele alan ve konumlandıran kurumsal uygulamalar devreye girmektedirler. Kurumsal uygulamalar, işletme içerisinde yer alan iş süreçlerinin otomatize edilmesini gerçekleştirmek ve desteklemek üzere geliştirilen, genelde karmaşık ilişkilere sahip büyük miktardaki verinin görüntülenmesini, işlenmesini ve saklanmasını sağlayan uygulamalardır. Bu uygulamalar bireysel kullanımdan çok organizasyonel ihtiyaçlara cevap veren uygulama yazılımlarıdır. İşletme içerisinde karmaşık ilişkilere sahip veri miktarının fazlalığı, belirli bir iş

1 Dr. Öğr. Üyesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi Yazılım Mühendisliği Bölümü, fatih.yucalar@cbu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1006-2227

alanına yönelik olma, dağıtık bir sistem yapısına sahip olma, diğer sistemlere entegrasyon, verilere eş zamanlı olarak erişim ve sistem kullanıcılarına yönelik çoklu arayüz desteği sağlama gibi özellikler kurumsal uygulamaların ortak özellikleridir (Lasi vd., 2014).

İşletmelerde yer alan üretim hatlarındaki kaynakların iyi kullanılmaması verimliliğin ve doğruluğun düşmesine sebep olur. Üretimdeki çeşitli arızaları tanımlamak, oluşan sorunları hemen düzeltmek ve üretimin gidişatını takip etmek için mevcut veriler doğru bir şekilde yorumlanmalıdır (Mörth vd., 2020). Doğru bir veri yönetimi ve üretim izleme sistemi olmadan üretim performansının iyileştirilmesi zorlaşır. Manuel veri toplamak hem tutarsızlıklara hem de yanlışlıklara yol açmaktadır. Bilgilerin hatalı toplanıp yönlendirilmesi ile üretimdeki verimlilik düşer. Üretim aşamasında operatörlerin anlık bilgileri zamanında elde edememesi veya uzun süre üretim yapan endüstriyel makinaların bakım süresi, takibinin doğru yapılamaması gibi konular üretim sürecini yavaşlatan önemli etkenlerdir.

Bu çalışmanın amacı üretim hattındaki kayıpları önlemek ve bunun yanında üretim kalitesini arttırmaktır. Üretim hattında üretim kayıplarının asgari düzeyde tutulması üretim maliyeti açısından büyük önem arz etmektedir. Üretim aşamasında kayıpların azaltılması ve üretimin en az kayıp ile devam etmesi için ilgili müdahalenin zamanında yapılması gerekir. Bu doğrultuda insan faktörü kaynaklı yanlış karar alma ve zamanlama sorunları ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında üretim kalitesinin artırılması ve kaynakların doğru kullanılması üretim verimliliğini etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Üretim aşamasında üretilen ürün kalitesinin düşmesi istenmeyen bir durumdur ve önüne geçilmesi mümkündür. Bir sistem tarafından izlenen kalite ölçüm verilerinin en uygun düzeyde olması için personelin bir uyarı sistemi ile bilgilendirilmesi büyük kolaylık sağlamakta ve verimliliğin artışında önemli bir rol oynamaktadır. Bir kurumsal bilgi sistemi uygulaması olan gerçek zamanlı üretim sistemleri üretim aşamasında operatörlerin, teknik personelin ve yöneticilerin anlık olarak makine verilerini grafikler ve tablolar üzerinden izleyebilmesini, aynı zamanda olası bir olumsuz durumda daha hızlı aksiyon alarak üretim kayıplarının azaltılmasına ve daha verimli bir üretim sürecinin yönetilmesine katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada gerçek zamanlı bir üretim sisteminin geliştirilmesi için gerekli analiz ve tasarım süreçleri ile mimari çözüm önerileri ele alınmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde üretim hatlarındaki kaynakların etkin bir biçimde kullanılması, üretim kayıplarının azaltılması ve daha verimli bir üretim

sürecinin yönetilmesine katkı sağlamak amacıyla ele alınan pek çok çalışma yer almaktadır.

Kayar ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada (Kayar vd., 2018) kontrol yönetim sistemleri, Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalardaki üretim süreci zorlukları incelenmiştir. Çalışma ekibi tarafından üretim sürecinde gerçekleşen ve gerçekleşmesi muhtemel olan hatalar üzerinde kestirimci bakım yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda akıllı fabrikaların topluma sağlayacağı faydalara değinilmiştir.

2016 yılında Ercan ve Kutay tarafından gerçekleştirilen çalışmada (Ercan ve Kutay, 2016) ise endüstriyel üretim aşamasındaki çalışmalar incelenmiştir. IoT kavramının getirmiş olduğu avantajlar tartışılmış ve geliştirilecek konular hakkında açıklamalar yapılmıştır. Çalışma içerisinde akıllı ev ve fabrikalar ile sağlık ve tarım alanlarında gerçekleştirilen IoT uygulama örneklerine yer vermişlerdir.

Kovalev ve arkadaşları tarafından 2022 yılında bulut teknolojisi ve OPC (Open Platform Communications – Açık Platform İletişimleri) (KEPServerEX Connectivity Platform, 2023) protokolünü kullanarak bir CNC (Computer Numeric Control – Bilgisayar Destekli Nümerik Kontrol) sisteminden veri toplamaya yönelik bir çözüm incelenmiştir (Kovalev vd., 2020). HMI ekranlarını yapılandırma yeteneği ile FRED (Front-End for Node-Red – Node Red İçin Ön Yüz Geliştirme) bulut platformuna dayalı veri görselleştirme hakkında bir çalışma yapılmıştır. OPC web istemcisine dayalı bir uzak Node-RED kullanıcı terminali ve MQTT (Message Queuing Telemetry Transport – Mesaj Kuyruğu Telemetri Aktarımı) platformunu kullanarak CNC sisteminin OPC sunucusundan FRED bulutuna veri göndermiştir (Kovalev vd., 2020).

Allahloh ve Mohammad (Allahloh ve Mohammad, 2018) tarafından 2018 yılında IIoT (Industrial Internet of Things – Endüstriyel Nesnelerin İnterneti) kullanarak akıllı petrol sahasının geliştirilmesi için Siemens S7-300 tipi bir PLC'ye dayanan bir FCS (Facility Control System – Tesis Kontrol Sistemi) gerçekleştirilmiştir. FCS için SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition – Denetim Kontrolü ve Veri Toplama) işlevini yürütmek üzere WinCC yazılımı kullanılmıştır. Küresel enerji talebindeki artan artış göz önüne alındığında, yüksek kaliteli bir ürünü daha düşük maliyetle elde etmek için IoT teknolojisinin petrol ve gaz alanlarına nasıl entegre edileceğine odaklanılmıştır.

2018 yılında Kumar ve arkadaşları tarafından üretim sektöründeki orta çaplı işletmelerin üretkenliğini artırmak için yalın üretim sistemine dayalı

bulut tabanlı bir çalışma yapılmıştır (Kumar vd., 2018). Bulut ve yalın üretimin bu birleşimi ve elektronik sistem yardımıyla kısmi bir otomasyon sistemi kurulmuştur. Bu çalışmada stok ve makine donanım takibi yapılmıştır. Bunun yanında üretim hattı genel bilgileri, ürün atık miktarı gibi veriler PLC (Programmable Logic Controller – Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)’den toplanmıştır. Toplanan bu veriler operatörlerin takibini kolayca yapabileceği şekilde görüntülenmiştir (Kumar vd., 2018).

2002 yılında Çil tarafından yapılan çalışmada (Çil, 2002) bilgi tabanlı imalat karar destek sistemleri hakkındaki araştırma makalelerine yer verilmiş ve endüstri alanında karar destek sisteminin örnek bir çalışması yapılmıştır. Bilgi tabanlı karar destek sisteminin uygulandığı çalışma Federal elektrik firması için hazırlanmıştır. Şartel ve sigorta gibi elektrik malzemeleri üreten bu işletme ISO-9000 belgesine sahip ve 15.000 m2 kapalı alanda faaliyet göstermektedir. Üretimde meydana gelen sipariş artışından ve üretim hattında üretilen ürün değişimlerinden kaynaklanan problemlere çözüm bulunmuştur. Sistemin beş ana grupta toplanan kararlardan birini önermesi ile birlikte imalat yöneticisinin daha hızlı ve doğru karar vermesi sağlanmıştır (Çil, 2002).

Javaid ve Haleem tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada (Javaid ve Haleem, 2019) Endüstri 4.0’ın tıp alanındaki araştırma makalelerine yer verilmiş ve Endüstri 4.0 teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilen on dokuz önemli uygulama incelenmiştir. Son yıllarda üretilen tıbbi cihazlar Endüstri 4.0 teknolojilerine uygun ve yüksek kaliteli cihazlardır. Yeni üretim teknolojileri, yazılımlar, sensörler ve robotların bilgi teknolojileri ve IoT yardımı ile bağlantı ve veri alışverişini yaratır. Bu sayede Endüstri 4.0 gelecekte hasta bakımı ve sağlık sektörü için yeni fırsatlar ve yenilikçi yaklaşımlar yaratmaktadır (Javaid ve Haleem, 2019).

3. GERÇEK ZAMANLI ÜRETİM İZLEME SİSTEMİ

Gerçek zamanlı üretim izleme sistemi, üretim gerçekleşirken üretim hattındaki bilginin toplamasına ve ilgili tüm kişilere dağıtılmasına yardımcı olan bir üretim aracıdır (Saez vd., 2018). Bu üretim aracı, endüstrilerin kısıtlı üretim sürecinde verimi artırarak gerçekçi üretim hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olması için gereklidir. Şekil 1’de gerçek zamanlı bir üretim izleme sistemi içerisinde yer alan temel bileşenler görülmektedir.

Üretim hatlarındaki verimlilik ve doğruluk mevcut kaynakların daha iyi kullanılmasını sağlar (Mustafha vd., 2020). Üretimdeki çeşitli arızaları tanımlamak ve verimliliği artırmak için mevcut veriler doğru bir şekilde yorumlanmalıdır. Üretim izleme sistemleri doğru veri yönetimi ile üretim

performansının iyileştirilmesinde önemli bir rol almaktadır. Bazı üretim hatlarında çeşitli raporlar üretmek için manuel veri toplama yöntemleri kullanılmaktadır. Veriler bir üretim izleme sistemi yardımı olmadan toplandığında hem tutarsızlıklara hem de yanlışlıklara yol açar. Verilerin kaydedilmesi veya toplanması üzerinde insan müdahalesi olduğunda toplanan verilerin doğruluğu yeterince güvenilir değildir (Yücalar ve Kılınç, 2020).



Şekil 1. Gerçek Zamanlı Üretim İzleme Sistemi Temel Bileşenleri

Gerçek zamanlı üretim izleme sistemi, ilgili personele doğru zamanda doğru bilgileri sağlamalıdır. Üretim personeline veya operatörlere çok fazla üretim bilgisi sunmak görevleri açısından gerekli değildir. İlginin olmadığı çok fazla bilgi atıldığında işçiler veya operatörler mevcut üretim çıktılarında değişiklik yapmak için gerekli olanları ayırt edip algılayamazlar (Tarallo vd., 2018). Süpervizörlere çok az bilgi sunmakla birlikte, destek departmanları ve yöneticiler üretim operasyonlarını daha geniş açıdan takip etmektedirler. Endüstriyel sahada her seviyenin belirlenen hedeflere ulaşmada rolü vardır.

Herhangi bir veri toplama ve raporlama sisteminin ekonomik olması, doğru sonuçlar üretmesi ve üretim hattındaki kurulumunun kolay olması oldukça önemlidir (Yılmaz vd., 2017). Anahtarlara, sensörlere, PLC

(Bouraiou vd., 2021) çıkışlarına ve diğer yaygın endüstriyel ekipmanlara doğrudan bağlantı sağlayabilen bir üretim izleme sistemi büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Bir üretim hattındaki her iş istasyonuna ve makineye kolayca bağlanabilirse elde ettiği bu kritik veriler için yönetim ihtiyaçları kolayca karşılanabilir. Gerçek üretim verileri otomatik olarak yakalanabilir, operatörlere basit ve anlaşılır bir şekilde sunulabilirse, iyileştirme sürecinin önemli bir parçası haline gelecektir. Etkili bir sistem aşağıdaki üç unsurdan oluşmalıdır:

- **Veri Toplama:** Bu aşamanın en temel kısmı veri toplama aşamasıdır. En az insan müdahalesi ile veya hiç müdahale etmeden veri toplamak ve saklamak için üretimdeki çeşitli sistemler ile iletişime geçilmektedir. Bu kritik veriler elde edildikten sonra veritabanı sistemlerinde kayıt altına alınmaktadır.
- **Görüntüleme:** İlgili üretim bilgileri operatörlere, hat liderlerine, süpervizörlere, destek departmanlarına ve yönetime sunulmaktadır. Günümüzde bilgisayarlı dokunmatik monitörler birçok endüstrinin tercih edilen yöntemi haline gelmiştir. Bu monitörlerde üretim bilgileri, grafikler ve özet raporların gösterimi aynı zamanda acil destek çağruları, ekipman takibi ve karar destek sistemleri ile operatörlerin yönlendirilmesi gibi birçok verimli işlevler gerçekleştirilebilmektedir.
- **Analiz:** Üretim sahasındaki cihazlardan toplanan veriler ile analiz yapılabilmesi için bu veriler kayıt altına alınmalıdır. Cihaz ve makinalardan alınan bu ham veriler ön işlemden geçmemiş verilerdir. Kayıt altına alınan bu veriler öncelikle ön işlemden geçerek ölçümlendirilmektedir. Ardından verilerin görselleştirilmesi için uygun hale getirilmektedir. Örneğin günlük, haftalık, aylık trendler, vardiya sonlarındaki özet raporlar, anlık veriler grafiksel olarak gösterilirken hatalı verilerin ayıklanması, kümüle verilerin oluşturulması gibi analizler sistem tarafından yapılmaktadır.

4. SİSTEM MİMARİSİ VE TASARIMI

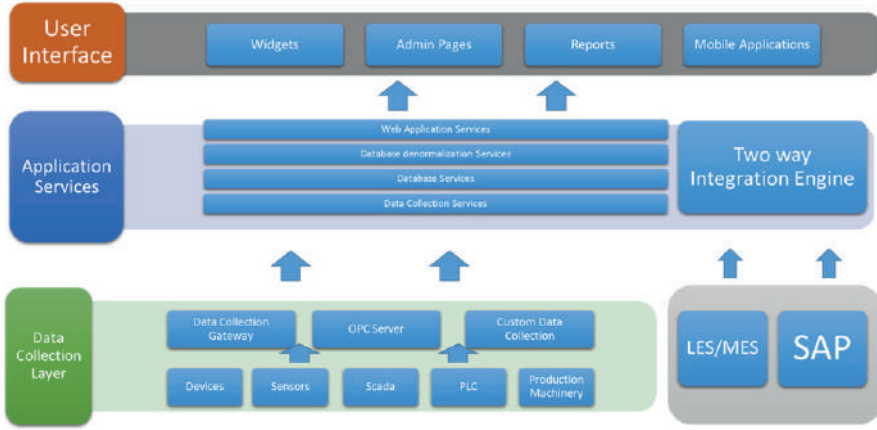
Gerçek zamanlı bir üretim izleme sistemi için önerilen mimari tasarım, veri toplama servisleri, veritabanı yapısı ve proje katmanları bu bölüm içerisinde ele alınmıştır.

4.1. Mimari Tasarım

Gerçek zamanlı bir üretim izleme sistemi için önerilen mimari tasarımda veri elde etme ve işleme katmanı, kullanıcı arayüz katmanı ve uygulama katmanı olarak üç temel katman yer almaktadır. Şekil 2'de görüldüğü üzere

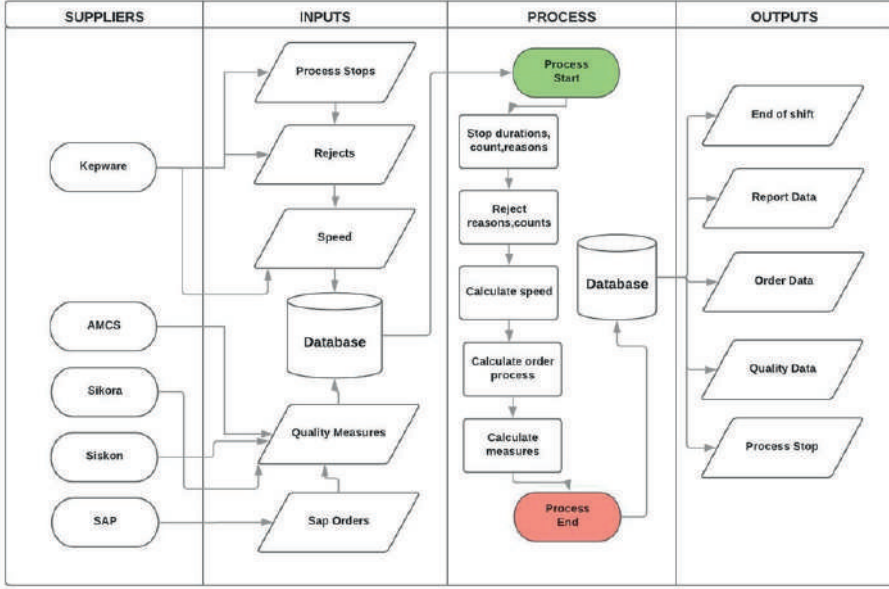
veri toplama katmanında PLC, OPC sunucusu, sensörler ve cihazların yanı sıra LES (Logistics Execution System – Nakliye Yürütme Sistemi) (Qu vd., 2014), MES (Manufacturing Execution System – Üretim Yürütme Sistemi) (Almada-Lobo, 2015) ve SAP (System Applications and Product – Sistem Uygulamaları ve Ürün) (Profesyonel Yönetim Sağlayan SAP ERP Programı, 2023) gibi kaynaklar da yer almaktadır.

Uygulama katmanında ise veri toplama servisi, veritabanı hizmetleri ve web uygulaması yer almaktadır. Kullanıcı katmanında arayüz katmanında ise son kullanıcının eriştiği gereçler, raporlar ve uygulamalar bulunmaktadır.



Şekil 2. Sistem Arayüzü

Şekil 3'te görüldüğü üzere beş farklı kaynaktan veri toplanacaktır. Bu toplanan veriler veri servisi aracılığı ile uygulama veritabanında ön işlemden geçirilerek saklanacaktır. Son aşamada ise son kullanıcıya işlemden geçen bilgiler sunulacaktır.



Şekil 3. Önerilen Gerçek Zamanlı Üretim İzleme Sistemi Akış Şeması

4.2. Veri Toplama ve İşleme Katmanı

Bu katmanda birden fazla kaynaktan toplanan veriler ön işlemlerden geçer ve ön işlemde geçen veriler kayıt ortamına aktarılır. Bu aşamada öncelikle veri kaynaklarına ulaşım ve veri toplama sıklığının öneminden bahsedebiliriz. Uygulama için oluşturulan ve planlanmış zamanlarda çalışan SQL (Structured Query Language – Yapısal Sorgulama Dili) job'lar veri kaynaklarına ulaşır. Bu şekilde veri kaynaklarını bir dakikayı geçmeyecek şekilde kontrol ederek geçici alanlarda saklar. AMCS, Sikora, Siskon gibi kalite ölçüm sistemlerinin verileri kendi kaynaklarından toplar. Atık, üretim miktarı, duruş gibi makinadan doğrudan alınabilecek veriler ise KEPWARE OPC sunucusu tarafından uygulama veritabanına gönderilir. Uygulama veritabanında saklanan veriler Windows Servis aracılığı ile ön işlemde geçerek raporlama, makinanın durum değişikliği ve anlık takip verileri için anlamlı bilgiler elde edilmektedir.

4.3. Temel Sınıfların ve Metotların Tasarlanması

Bu adımda uygulama içinde kullanılacak temel sınıflar ve metotlar tasarlanarak tanımlanmaktadır. Tablo 1'de uygulama içinde kullanılacak sınıflardan birkaçı açıklamaları ile birlikte örnek olarak verilmiştir.

Tablo 1. Temel Sınıf ve Açıklamalarına Örnekler

Sınıf Adı	Sınıf Açıklaması
FeedRepository.cs	Zaman tüneli veri işlemlerinin yapıldığı sınıftır.
HomeController.cs	Makina profil sayfalarının oluşturulduğu sınıftır.
AlarmEmails.cs	Kullanıcıya gidecek alarmları e-mail ile gönderen sınıftır
PlannedVolume.cs	Planlı üretim verilerinin sisteme yüklendiği ve listelendiği sınıftır.
ProcessStopsVM.cs	Duruş grafiğinin oluşturulması için kullanılan sınıf modelidir.
LogMessage.cs	Sistem üzerinde meydana gelen olayların kaydedildiği sınıftır.

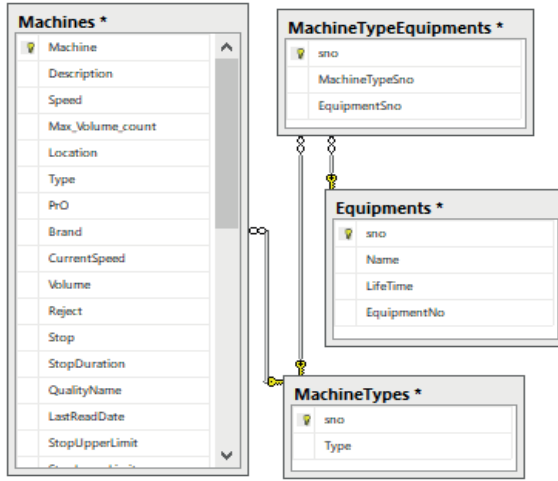
Tablo 2’de ise uygulama içinde kullanılacak olan metotlardan birkaçı örnek olarak açıklamaları ile birlikte verilmiştir.

Tablo 2. Temel Metot ve Açıklamalarına Örnekler

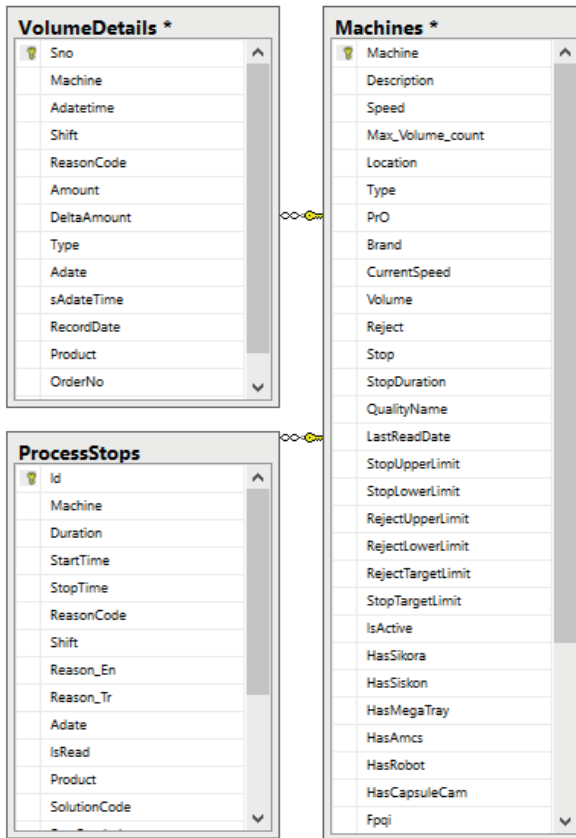
Metot Adı	Metot Açıklaması
public async Task<bool> CheckMachineCleaning(string machine)	Makine temizliği kontrolü metodu
public async Task<List<NotificationVM>> CheckNotification(string machine)	Uyarı kontrolü yap metodu
public async Task<CheckProcessStopsVM> CheckProcessStops(string machine)	Proses duruşu kontrolü metodu
public bool CheckStopsSendInfo(ProcessStopsModel item)	Duruşu kontrol et bilgi gönder metodu
public string SendSms(string Machine, int ReasonSno, string Comment)	Sms gönder metodu
public MachineVM Volume(string Machine)	Üretim hesaplama metodu
public async Task<MachineOrderVM> MachineOrder(string Machine)	Makinelere iş atama ve takip etme metodu

4.4. Temel Varlıklara ait Veritabanı Tasarımının Yapılması

Oluşturulacak veritabanı nesnelere arasında ilişki kurarak, nesnelere özelliklerini ortaya koyan modele ER (Entity Relationship – Varlık İlişki) model denir (Li ve Chen, 2009). Gerçek zamanlı bir üretim izleme sistemine ilişkin veritabanı tasarlanırken ER modelleri oluşturulmalıdır. Bu veritabanının görsel bir sunumunun ortaya çıkarılmasını sağlar. Şekil 4’te makina, ekipman ve makina türü arasındaki ilişki gösterilmiştir. Makine tipi tablosu ile makine tablosu arasında 1-1 ilişki bulunmaktadır. Makine tipi ile makine ekipman tablosu arasında 1-n ilişki bulunmaktadır. Şekil 5’te ise makine, üretim hacmi ve makina duruşları ile ilgili tablolara yer verilmiştir. Makine tablosu ile diğer tablolar arasında 1-n ilişki bulunmaktadır.



Şekil 4. Veritabanı ER Diyagramı Örneği-1



Şekil 5. Veritabanı ER Diyagramı Örneği-2

Gerçek zamanlı bir üretim izleme sisteminde Şekil 4 ve Şekil 5'te örnek olarak verilen ER diyagramlarına benzer şekilde makine tablosu ile ilişkili makine temizlik, üretim hacmi, makina duruşları, bildirim, makinenin zaman tüneline gösterilecek sistem gönderilerinin bulunduğu tablolar, yapılan beğenilerin ve yorumların tutulduğu tablolar arasında ER diyagramları çizilerek veritabanı mimarisi görselleştirilebilir.

4.5. Kullanıcı Arayüz Katmanı

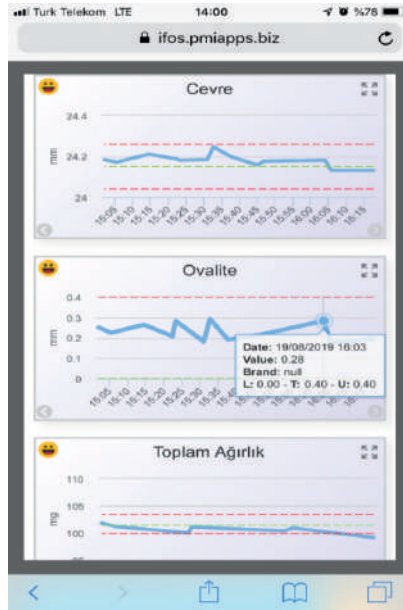
Kullanıcı arayüz katmanını web ve mobil arayüz olmak üzere iki temel başlıkta ele almak gerekir. Genel olarak web arayüzü üzerinden raporlama, veri izleme, kullanıcı işlemleri ve tanımlamalar ile ilgili işlemler gerçekleştirilmektedir. Mobil arayüz üzerinde de aynı bileşenler bulunmaktadır ve mobil görünümü elde etmek için yaygın kullanılan Bootstrap ve JQuery framework'leri ön plana çıkmaktadır. Farklı ekran çözünürlüklerinde bileşenlerin genişlikleri, yükseklikleri, fontları gibi özellikler otomatik olarak ölçeklendirilmektedir (Responsive web development using the Twitter Bootstrap framework, 2023).

Web arayüzünün geliştirilmesi noktasında Visual Studio ortamında ASP. Net MVC yapısına uygun Razor görüntüleme motoru kullanılarak dinamik HTML çıktıları oluşturulabilmektedir. Şekil 6'da bir operatör kullanıcısı için tasarlanmış örnek bir web sayfasının tarayıcı görünümüne ilişkin görsel tasarım yer almaktadır.



Şekil 6. Operatör Sayfa Tasarımı

Şekil 7 ve Şekil 8'de bir operatör kullanıcısı için tasarlanmış örnek mobil arayıcı tasarımları görülmektedir.

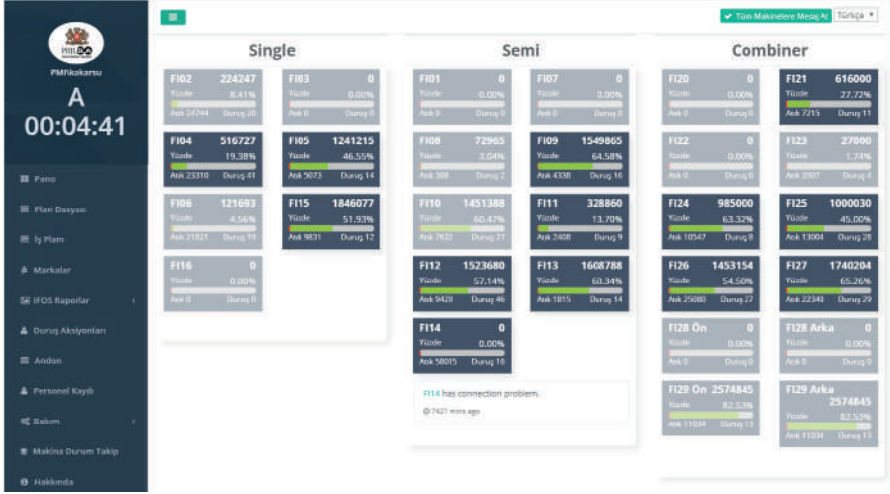


Şekil 7. Operatör Ekranı Mobil Tasarım Örnek-1



Şekil 8. Operatör Ekranı Mobil Tasarım Örnek-2

Şekil 9'da yönetici konumundaki kullanıcıların erişebildiği tüm makinaların vardiya temelli verilerinin gösterildiği ekran tasarımı görülmektedir.

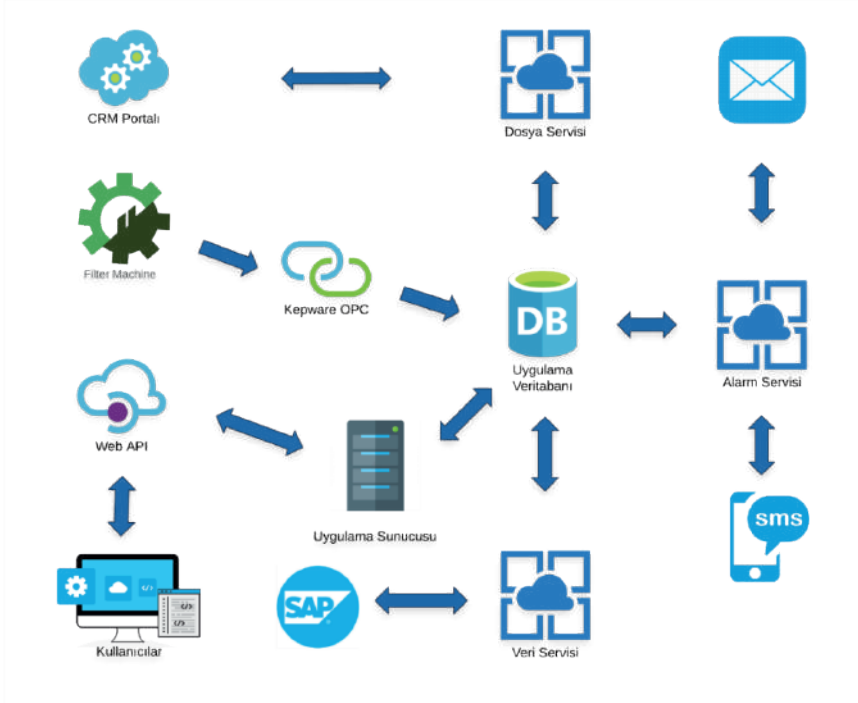


Şekil 9. Yönetici Makine Kontrol Ekran Tasarımı

4.6. Uygulama Katmanı

Bu katmanda Visual Studio ortamında ASP.Net C# dili ile web/windows uygulamaları gerçekleştirilmektedir (ASP.NET: Open-source web framework for .NET, 2023). Üç ana başlıkta Web uygulaması, Windows servisler ve veritabanı uygulamaları olarak bölümlendirilebilir. Web uygulaması katmanlı mimari yapısına uygun olarak gerçekleştirilmekte ve uygulamanın dış kaynaklara veri sağlayabilecek altyapısı oluşturulmaktadır.

Gerçek zamanlı bir üretim izleme sistemi için tasarlanacak bir ürünün altyapısı ve mimarisi yapılandırılarak, sistem altyapısı ve veri servisleri oluşturulmalıdır. Sistem altyapısı ve çatısı oluşturulurken dört temel bölümün dikkate alınması gerekmektedir. Bunlar; veri okuma servisi, dosya servisi, alarm servisi ve kullanıcıların erişebildiği web uygulaması bölümleridir. Şekil 4.10'da görüldüğü üzere web uygulaması, uygulama sunucusunda barındırılan web API (Application Programming Interface – Uygulama Programlama Arayüzü)'ler aracılığı ile veritabanından ihtiyaç duyduğu verilere erişmektedir.



Şekil 10. Sistemin Genel Mimarisi

Veri servisi SAP uygulamasının sağlamış olduğu üretim bilgilerini uygulama veritabanına aktarmaktadır. Aynı zamanda Kepware OPS uygulaması makinenin sahip olduğu PLC'den veri toplar ve uygulama veritabanında saklar (Tundong vd., 2009). Bu saklanan veriler veri servisi tarafından yorumlanarak uygulamanın ihtiyaç duyduğu verilere dönüştürür. Alarm servisi uygulama içinde tanımlanan kurallar doğrultusunda alarm kaydı üretmektedir. Örneğin sıcaklık değeri on dakika boyunca eşik değerin üzerinde bulunursa alarm kaydı üretebilir. Alarm tanımında alarm bildirimini hangi kullanıcıya gönderileceği de belirlenerek kısa mesaj veya eposta bilgileri ile iletilebilir. E-posta gönderimi bir SMTP altyapısı kullanılarak, kısa mesaj gönderimi ise telekomünikasyon firmalarının sağladığı AP'ler aracılığı ile gerçekleştirilir.

Cihazlardan elde edilecek verilerin saklanabilmesi amacıyla dinamik bir veri saklama altyapısı oluşturulmalıdır. Veriler Microsoft SQL Server üzerinde kümüle günlük, aylık vardiyalık olarak oluşturulmuş tablolarda tutulabilir. Veri elde etme aşamasında ise kalite sistemleri, makina PLC'si ve SAP gibi çeşitli uygulamalar ile entegre olan Veri Servisi devreye girmektedir.

Elde edilen veriler dinamik saklama yapısına uygun bir şekilde kayıt altına alınarak, istemcinin hizmetine sunulmalıdır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Üretim izleme sistemi yazılımları hem yönetim hem de üretim ekibi için endüstrilerde önemli bir üretim aracıdır. İnsan müdahalesi olmadan üretim süreci boyunca tüm seviyelerde üretim bilgilerini yakalar ve dağıtır. Toplanan veriler çok önemlidir ve bu gerçek zamanlı bir üretim izleme sistemi kullanılarak toplanabilir. Toplanan verilerle uygun analiz yapıldığında ve aksiyon alındığında gerçekçi üretim hedeflerine ulaşılabilir. Üretim izleme sistemi üretim ekibinin mevcut kaynaklarını verimli bir şekilde optimize etmesini sağlar.

Üretim sürecinde endüstriyel makinaların birtakım sorunlar ile karşı kalması muhtemeldir. Ortaya çıkan bu sorunlar oluştuğu andan itibaren zaman ve maliyet kaybına sebep olur. Bu sebeple mümkün olan en kısa sürede sorun giderilerek hızlı aksiyon alınması gerekmektedir. Gerçek zamanlı bir üretim izleme sistemi ile kaynakların en üst düzeyde kullanılması mümkündür.

Gerçek zamanlı üretim izleme sistemi toplam ekipman etkinliği ile birlikte çalışır. Karar vermede toplam ekipman etkinliğinin farkındalığı çok önemlidir. Şirket üst yönetimleri makinelerinin genel çalışma performansını iyileştirmesine yardımcı olma kabiliyetinde toplam ekipman etkinliğine değer vermektedir. Toplam ekipman etkinliğinin basit ölçümleri, yönetimin gerektirdiği tüm değerli bilgileri ortaya çıkarır.

Endüstrilerin en büyük güçlerinden biri beşerî sermayedir ve sektörlerin gelişiminde en büyük rolü onadığı kabul edilir. Gerçek zamanlı üretim izleme sistemi ile yönetimin işçileri verimli bir şekilde izlemesine ve endüstrilerin gereksinimlerine uygun optimum insan gücü kullanımına yardımcı olur. İnsan gücü kullanımı optimize edildiğinde üretimdeki verimlilik açısından önemli bir konudur. Fabrikalarda insan rolünü makineler üstlenir. Ancak yine de dijital, elektronik ve sanal bir dünya ile insan entegrasyonu kaçınılmazdır. Bu nedenle üretim sistemlerinin güvenilirlik, verimlilik ve güvenlik açısından daha da geliştirilmesi gerekmektedir.

Üretim alanındaki sınırlı kaynaklardan ötürü gerçek zamanlı üretim izleme sistemi kullanımı çok önemlidir. Üretim sektöründe mevcut olan kaynakların boşa harcanmaması ve üretim verimliliğinin artırılması için en uygun şekilde eksiksiz kullanılmalıdır. Bu gerekli adımları atarak endüstriler daha verimli bir üretim hattı geliştirebilir ve sürdürebilir. Üretim alanındaki birçok çalışma, çevresel koşulların insan performansını bir şekilde etkilediğini

zaten kanıtlamıştır. IoT uygulamalarının sağladığı imkanlar dahilinde üretim sistemlerinde iyileştirmelerin önü açılmıştır. Çevresel koşullar üretim sürecinin IoT tabanlı bir izleme sistemine ihtiyaç olduğunu göstermiştir.

Bu çalışma kapsamında temel olarak ölçülenebilir ve uyarlanabilir bir üretim izleme sisteminin nasıl gerçekleştirilebileceği, üretim sürecindeki verim artışının nasıl sağlanabileceğini ele alan bir sistem altyapı ele alınmaya çalışılmıştır. Çeşitli kaynaklardan alınan ölçüm, üretim, duruş ve atık gibi önem arz eden veriler elde edilebilir olduğundan dolayı üretim takibini artırmak ve üretimin en az kayıp ile tamamlanması amacı ile ilgili personellere ulaştırılarak bilgilendirilmesi amaçlanmıştır. Sağlanan bilgiler, bir üretim sisteminin geliştirilebileceği temeli oluşturur. Farklı sensörler ve veri kaynakları kullanılabilirdiğinden farklı bilgiler izlenebilir. Zaman içerisinde toplanan bu veriler büyük veriyi oluşturarak firmaların daha doğru kararlar alıp strateji geliştirmesine de olanak tanımaktadır. Verilerin arasındaki ilişkilerin ve bağlantıların incelenmesi ile çeşitli karşılaştırma yöntemleri kullanılarak daha anlamlı bilgiler elde edilebilmektedir. Bu nedenle gelecekteki çalışmalar, büyük veriden elde edilecek özel ihtiyaçlara dayalı uyarlamaları içerebilir.

KAYNAKÇA

- Allahlloh, A. S. and Mohammad, S. (2018). *Development of the Intelligent Oil Field with Management and Control using IIoT (Industrial Internet of Things)*. Intelligent Control and Energy Systems, 10(11), 815–820.
- Almada-Lobo, F. (2015). *The Industry 4.0 Revolution and the Future of Manufacturing Execution Systems (MES)*. Journal of Innovation Management, 3(4), 16–21.
- ASP.NET: Open-source web framework for .NET, <https://dotnet.microsoft.com/en-us/apps/aspnet>, (Erişim Tarihi: 12.07.2023).
- Bouraiou, A., Neçaibia, A., Motahhir, S., Bouakkaz, M. S., Attoui, I., Boutasseta, N., Dabou, R. and Ziane, A. (2021). *Supervision and Monitoring of Photovoltaic Systems Using Siemens PLC and HMI*. Lecture Notes in Networks and Systems, 211(2), 1147–1157.
- Çil, İ. (2002) *Bilgi Tabanlı İmalat Karar Destek Sistemleri ve Bir Uygulama*. Endüstri Mühendisliği, 13(1), 15-27.
- Ercan, T. ve Kutay, M. (2016). *Endüstride Nesnelerin İnterneti (IoT) Uygulamaları*. AKU J. Sci. Eng., 16(1), 599–607.
- Javaid, M. and Haleem, A. (2019). *Industry 4.0 applications in medical field: A brief review*. Current Medicine Research and Practice, 9(3), 102-109.
- Kayar, A., Ayvaz ve B., Öztürk, E. (2018). *Akıllı fabrikalar; akıllı üretim: endüstri 4.0'a genel bakış*. International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology, 3(2), 1651-1658.
- KEPServerEX Connectivity Platform. <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex>, (Erişim Tarihi: 11.07.2023)
- Kovalev, I., Issa, A., Nikishechkin, P., Chervonnova, N. and Petrov, A. (2020). *Development of a data collection system for a CNC system using cloud FRED technology and OPC UA specification*. MATEC Web Conf., 329(4), 30-43.
- Kumar, M., Vaishya, R. and Parag, S. (2018). *Real-Time Monitoring System to Lean Manufacturing*. Procedia Manufacturing, 20(3), 135–140.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T. and Hoffmann, M. (2014). *Industry 4.0*. Business & Information Systems Engineering, 6(4), 239–242.
- Li, Q. ve Chen, Y.-L. (2009). *Entity-Relationship Diagram*. Modeling and Analysis of Enterprise and Information Systems, 5(6), 125–139.
- Mörth, O., Eder, M., Holzegger, L. ve Ramsauer, C. (2020). *IoT-based monitoring of environmental conditions to improve the production performance*. *Procedia Manufacturing.*, 45(2), 283–288S. M. Metev and V. P. Veiko, Laser Assisted Microtechnology, 2nd ed., R. M. Osgood, Jr., Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1998.
- Mustafha, M. D. A., Thamrin, M. N., Abdullah, S. A. C., and Mohamad, Z. (2020). *An IoT-based production monitoring system for assembly line in*

manufacture, International Journal of Integrated Engineering, vol. 12, no. 2, pp. 38–45, doi: 10.30880/ijie.2020.12.02.005.

Profesyonel Yönetim Sağlayan SAP ERP Programı. <https://www.sap.com/turkey/index.html>, Erişim Tarihi: 11.07.2023).

Qu, T., Lei, S., Chen, Y., Wang, Z., Luo, H. and Huang, G. Q. (2014). *Internet-of-Things-Enabled Smart Production Logistics Execution System Based on Cloud Manufacturing*, I Ocak, , International Manufacturing Science and Engineering Conference.

Responsive web development using the Twitter Bootstrap framework – Theseus. <https://www.theseus.fi/handle/10024/97064>, (Erişim Tarihi: 12.07.2023).

Saez, M., Maturana, F. P., Barton, K. and Tilbury, D. M. (2018). *Real-Time Manufacturing Machine and System Performance Monitoring Using Internet of Things*. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 15(4), 1735–1748

Tarallo, A., Mozzillo, R., Gironimo, G. and Amicis, R. (2018). *A cyber-physical system for production monitoring of manual manufacturing processes*. International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 12(4), 1235–1241.

Tundong, L., Gangquan, C. and Xiafu, P. (2009). *OPC server software design in DCS*, IEEE, 4th International Conference on Computer Science and Education.

Yılmaz, İ.G., Aygün, D. and Tanrikulu, Z. (2017). *Social Media's Perspective on Industry 4.0: A Twitter Analysis*. Social Networking, 6, 251-261.

Yücalar, E., Kılınc, D. (2020). *Uml ile Nesneye Yönelik Sistem Analizi ve Tasarımı*. 1. Baskı, Abaküs Kitap.

Comparative Performance of the Solar Energy Assisted Organic Rankine Cycle For Average Monthly Isparta Data

Serpil ÇELİK TOKER¹

1. INTRODUCTION

The demand for energy has increased globally in recent years as a result of industrial advancement and population growth (Amrutha Raju & Sandeep, 2023). Fossil fuels account for the majority of the energy consumed by industry globally (Pan & Dong, 2023). The increase in the consumption of fossil fuels causes many environmental problems such as environmental pollution and greenhouse gas emissions (Adebayo, 2022). Therefore, it is very important to use reliable and clean alternative energy sources instead of fossil fuels. Solar energy is a great resource of clean energy that lowers emissions of pollutants from fossil fuels (Shahsavari & Akbari, 2018). Photovoltaics and solar thermal power are the two main categories of solar energy technology (Kong et al., 2022). The efficiencies of photovoltaic (PV) solar systems vary between 5-23% (Alami et al., 2022). Due to the low efficiency of PV solar panels, in the electricity generation, solar thermal power production is crucial. Organic Rankine Cycles (ORCs) are the most practical approach due to their capacity to generate power in low or medium temperature solar applications (Haghighi, Pakatchian, Assad, Duy, & Alhuyi Nazari, 2021). ORC systems are more efficient than traditional steam Rankine cycles because they use organic fluids with low boiling temperatures as the working fluid. ORCs are more prominent than other technologies due to their simple structure, reliability and wide temperature range (Eyidogan, Canka Kilic, Kaya, Coban, & Cagman, 2016; Chen et al., 2019). Valerie Evely et al. (Evely, Karunkeyoon, Rodgers, & Al Alili, 2016) examined the integrated system consisting of gas turbine, solid oxide fuel cell system and ORC. The

¹ Research Assistant, Isparta University of Applied Sciences, Mechanical Engineering, Turkey, serpilcelik@isparta.edu.tr ORCID: 0000-0003-3572-7907

system's performance was investigated by using various working fluids including toluene, benzene, cyclohexane, cyclopentane, R123 and R245fa in the ORC, which is the bottom cycle. Yu et al. (Yu, Kim, & Gundersen, 2019) assessed the ORC's performance for different working agents. The most energy-efficient fluids, according to the results, were R125, R143a, R290, and R1270 for applications waste heat utilization. Thuraiiraja et al. (Thuraiiraja, Wijewardane, Jayasekara, & Ranasinghe, 2019) investigated the ORC's performance for various working agents. Cao et al. (Cao et al., 2020) were performed thermodynamic and exergo-economic analyzes of an ORC with geothermal energy considering different working fluids. Ustaoglu et al. (Ustaoglu, Torlaklı, Ergün, Erdoğan, & Emin Akay, 2022) evaluated the cogeneration system's performance including an ORC system. They examined the performance of the system using various working agents: isopentane, n-pentane, n-octane, n-heptane, R141b, R123, methanol and water. The ORC's performance comparison utilizing various working agents R600, R245fa, R290, R134a, R123 and R600a was investigated by Thangavel et al. (Thangavel, Verma, Tarodiya, & Kaliyaperumal, 2021). Elmaihi et al. (Elmaihi, Rashad, Elweteedy, & Nessim, 2023) numerically investigated the ORC's energy and exergy analyzes utilizing various working fluids. They calculated the highest cycle efficiency for R245fa and R123 working fluid. Polanco-Pinerez et al. (Piñerez, Ochoa, & Duarte-Forero, 2021) studied the energy, exergy and environmental analysis of the solar energy driven ORC. The highest cycle's energy and exergy efficiencies were founded for the toluene working agent. Pourmoghadam et al. (Pourmoghadam, Farighi, Pourfayaz, & Kasacian, 2021) done an annual transient analysis of the parabolic solar collector assisted ORC.

This paper's aim is to examine the thermodynamic performance of the solar energy-based ORC utilizing different organic working fluids. For this purpose, five different organic fluids are analyzed in terms of the first and second laws of thermodynamics. These organic fluids are R113, R123, R134a, R141b, R245fa. Thermodynamic modeling of solar-based ORC is based on the first law of thermodynamics and subsequently the effect of various ORC working agents on cycle performance. In addition, the monthly performance of the solar energy driven ORC utilizing the meteorological data of Isparta province is analyzed.

2. SYSTEM DESCRIPTION

The Figure 1 displays the solar energy assisted ORC's schematic representation. The integrated plant comprises of the evacuated solar collector, turbine, condenser and pump. The collector system comprises of a

total of 30 evacuated U-tube solar collectors, 20 in series and 10 in parallel. In the ORC, organic working agent is compressed from low pressure to high pressure (1-2) and then heated to supercritical steam in an evacuated tube solar collector (2-3). The working fluid is expanded to generate power in the turbine (3-4). Pressure dropped working agent condenses in the condenser (4-1). Thus, the plant is completed.

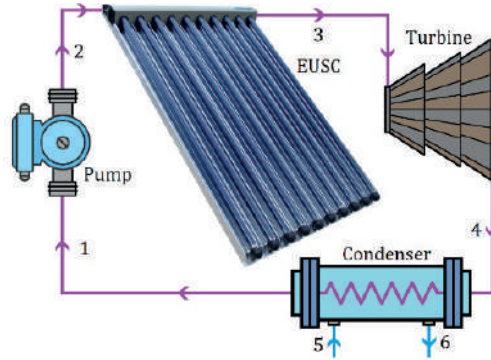


Figure 1. Evacuated solar collector-based ORC

3. THERMODYNAMIC ANALYSIS

The performance of the solar energy assisted ORC is monthly compared for five organic fluids in this study using Isparta meteorological data. Several assumptions must be made for the combined system's analysis:

- The cycle operates at the steady-state condition.
- Pressure drops, and heat losses through pipelines are neglected.
- The pump and turbine operations are assumed to be adiabatic.
- The fluid entering the pump is considered to be saturated liquid.

The mass and energy balance equation for steady-state and steady-flow processes can be written as (Dincer & Rosen, 2013):

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \quad (1)$$

$$\sum \dot{m}_{in} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_{in} + \sum \dot{Q}_{in} + \sum W_{in} = \sum \dot{m}_{out} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_{out} + \sum \dot{Q}_{out} + \sum W_{out} \quad (2)$$

here, \dot{Q} shows the heat transfer ratio, \dot{W} demonstrates power, h is the specific enthalpy, v exhibits the velocity, z displays the altitude, g is the gravitational acceleration. For the second law of thermodynamics, the entropy and exergy balance are defined as follows (Dincer & Rosen, 2013):

$$\sum \dot{m}_{in} s_{in} + \sum \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen} = \sum \dot{m}_{out} s_{out} \quad (3)$$

$$\sum \dot{m}_{in} \dot{e}x_{flow} + \sum \dot{E}x_{in}^Q + \sum \dot{E}x_{in}^W = \sum \dot{m}_{out} \dot{e}x_{flow} + \sum \dot{E}x_{out}^Q + \sum \dot{E}x_{out}^W + \dot{E}x_{dest} \quad (4)$$

where, s presents entropy, \dot{S}_{gen} is the entropy generation, $\dot{e}x_{flow}$ is the flow exergy rate, and $\dot{E}x_{dest}$ is the exergy irreversibility. Each term given in the previous equation is described as follows:

$$\dot{e}x_{flow} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5)$$

$$\dot{E}x^Q = \dot{Q} \left(\frac{T - T_0}{T} \right) \quad (6)$$

$$\dot{E}x^W = \dot{W} \quad (7)$$

$$\dot{E}x_{dest} = T_0 \dot{S}_{gen} \quad (8)$$

The thermodynamic balance equations for each system component are listed in Table 1 after applying the general equilibrium thermodynamic equations for ORC.

Table 1. Equilibrium equations of thermodynamics for components of the solar energy-based ORC

Component	Mass	Energy	Exergy	Entropy
Pump	$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$	$\dot{m}_1 h_1 + \dot{W}_p = \dot{m}_2 h_2$	$\dot{E}x_1 + \dot{W}_p = \dot{E}x_2 + \dot{E}x_{dest,P}$	$\dot{S}x_1 + \dot{S}_{gen,P} = \dot{S}x_2$
Solar Collector	$\dot{m}_2 = \dot{m}_3$	$\dot{m}_2 h_2 + \dot{Q}_{SC} = \dot{m}_3 h_3$	$\dot{E}x_2 + \dot{E}x_Q = \dot{E}x_3 + \dot{E}x_{dest,SC}$	$\dot{S}x_2 + \dot{S}x_Q + \dot{S}_{gen,SC} = \dot{S}x_3$
Turbine	$\dot{m}_3 = \dot{m}_4$	$\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_4 h_4 + \dot{W}_T$	$\dot{E}x_3 = \dot{E}x_4 + \dot{W}_T + \dot{E}x_{dest,T}$	$\dot{S}x_3 + \dot{S}_{gen,T} = \dot{S}x_4$
Condenser	$\dot{m}_4 = \dot{m}_5$ $\dot{m}_5 = \dot{m}_6$	$\dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_5 h_5 = \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_6 h_5$	$\dot{E}x_4 + \dot{E}x_5 = \dot{E}x_6 + \dot{E}x_5 + \dot{E}x_{dest,Con}$	$\dot{S}x_4 + \dot{S}x_5 + \dot{S}_{gen,Con} = \dot{S}x_6 + \dot{S}x_5$

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

This paper presents thermodynamic analysis of the evacuated solar collector assisted ORC. The EES was used for determining the thermodynamic properties of the working fluid. Figure 2 displays the net power generation, exergy irreversibility, energy and exergy efficiencies for different working fluids. The working fluids that enable the ORC system to have the highest net power generation are R134a and R113, respectively. The highest and lowest energy efficiency amounts were found as 5.348 % and 5.132% for R134a and R141b, respectively. The highest exergy destruction was calculated for R113 and the lowest exergy destruction was founded for R134a.

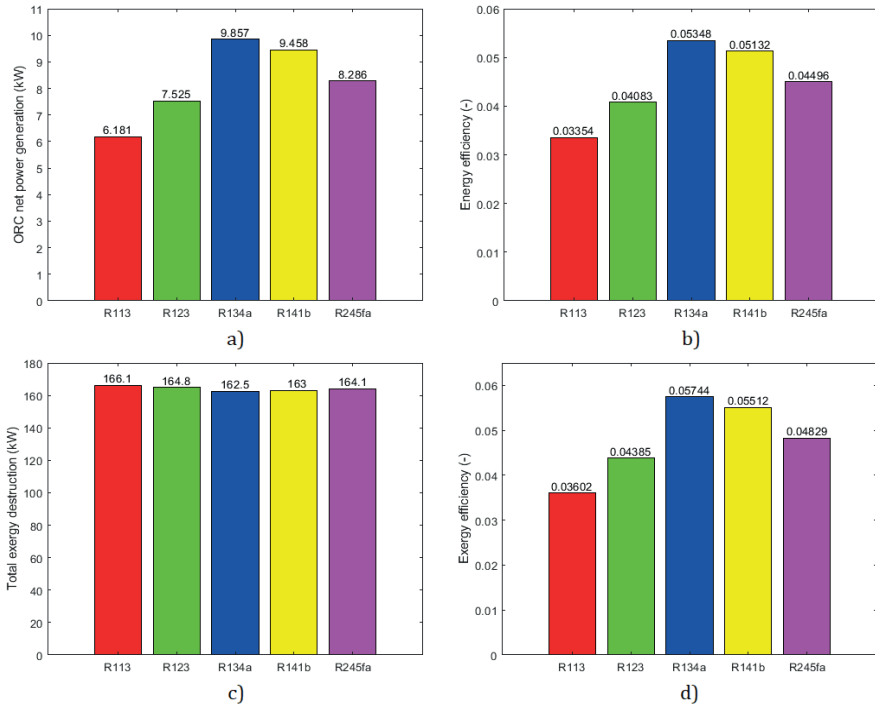


Figure 2. Monthly net power generation, exergy destruction, energy and exergy efficiencies of the solar energy-based orc for different organic fluid

Figure 3 illustrates the exergy destruction rates of each system component of examined solar energy assisted ORC. As seen from the figure, the highest exergy irreversibility was found to be in the solar collector, with almost 96.43 % of the total irreversibility. In the absence of solar collector, the highest exergy irreversibility was calculated in the turbine with 5.314 kW. Due to the nature of solar systems, which convert a small percentage of incoming energy into useful energy, this substantial exergy destruction is caused.

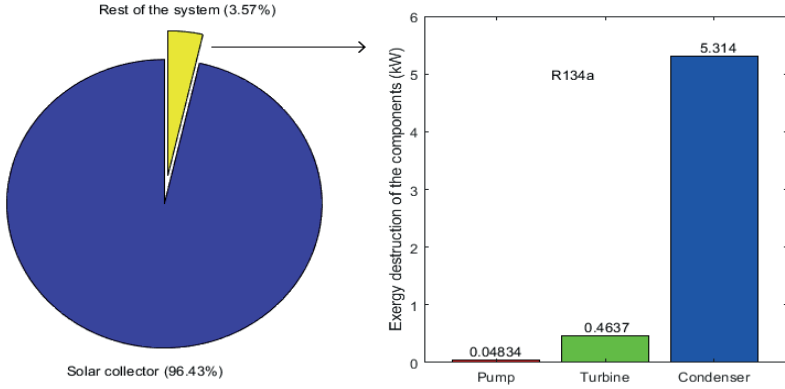


Figure 3. Exergy destruction rate of the whole elements of the solar energy-based ORC

The solar irradiation and the air temperature have a major effect on the cycle's performance in systems that use solar energy. Figure 4 displays the monthly average solar radiation and air temperature for Isparta city. As can be seen from the figure, the highest solar irradiation with 974 W/m^2 is in August, and the lowest solar irradiation with 497 W/m^2 is in January. The data illustrates that the ambient temperature ranges from $1.8 \text{ }^\circ\text{C}$ to $23.5 \text{ }^\circ\text{C}$.

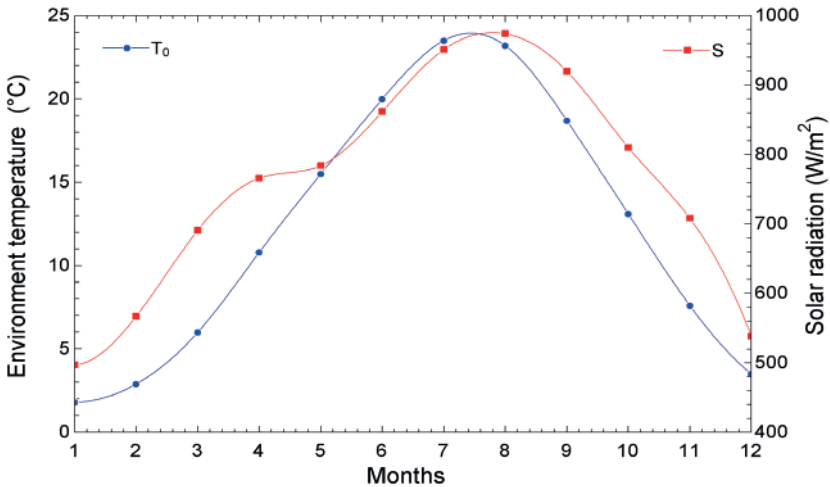


Figure 4. Monthly solar irradiation and air temperature variations

Figure 5 demonstrates the variation of CO₂ outlet temperature according to monthly for different solar radiation and air temperatures. It is clear from the figure that the CO₂ temperature increases with the increase of solar irradiation. CO₂ outlet temperature rise from January to August and reach a maximum value in August for each working fluid. R141b has the lowest outlet temperature, whereas R113 has the highest exit temperature from solar collector.

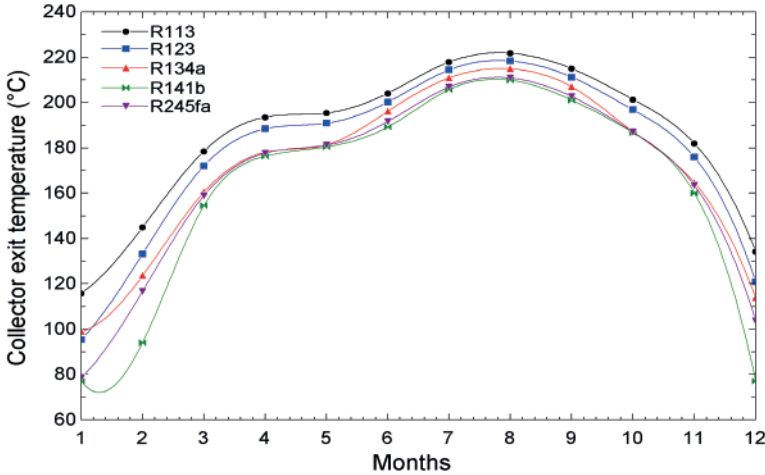


Figure 5. Monthly collector outlet temperature variations for different organic fluid

The alteration of collector efficiency by months for different organic fluids is given in Figure 6. As seen from the figure, the highest solar collector efficiency was obtained for R141b. For all organic fluids, solar collector efficiency is low in summer months when solar radiation value is high, while collector efficiency is higher in winter months. The reason for this is that with the increase of solar radiation, the heat loss to the environment increases and this causes the collector efficiency to decrease.

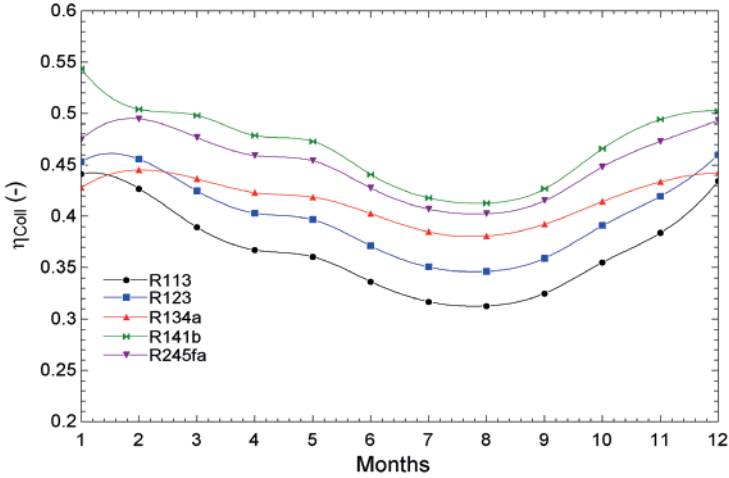


Figure 6. Monthly collector efficiency variations for different organic fluid

The monthly net power generation of the solar energy-based system is displayed in Figure 7 for each working fluid. The highest monthly net power generation occurs in August and the lowest one in January. R113 has the lowest net power generation, whereas R134a has the highest amount of net power generations. Figure 8 shows the monthly cycle energy efficiency variations for different organic fluid. With the rise in solar radiation, the amount of net power generation raised, while the energy efficiency of the cycle decreased. The reason for the decrease in energy efficiency is that the amount of increase in net power according to solar radiation is less than the amount of thermal power falling on the solar collector.

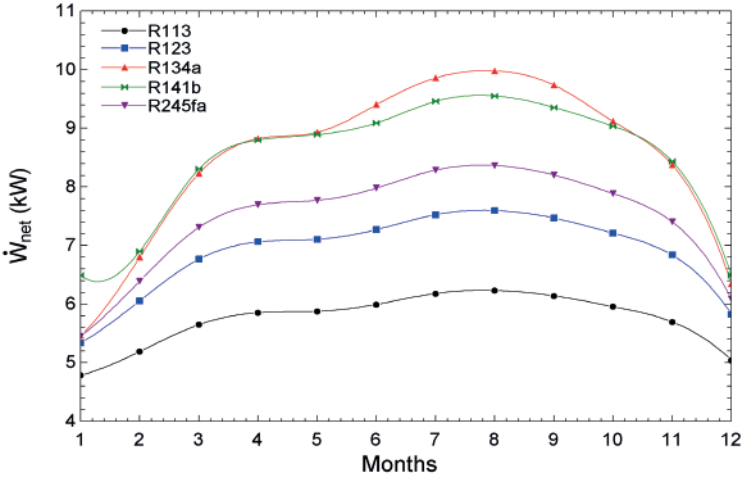


Figure 7. Monthly net power variations for different organic fluid

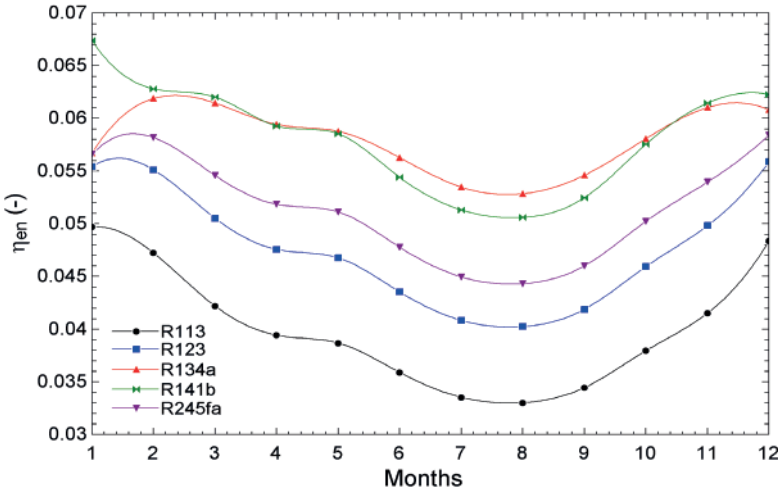


Figure 8. Monthly cycle's energy efficiency variations for different organic fluid

The second law of the solar energy assisted ORC is provided in Figure 9. While the exergy irreversibility in the cycle is high in the months when the solar irradiation is high, the exergy destruction is low in the months when the radiation value is low. In addition, the highest exergy destruction was found for R113 fluid, and the lowest exergy destruction was found

for R134a fluid. Figure 10 exhibits the exergy efficiency of the ORC based on the average monthly solar radiation for different organic fluids. As with energy efficiency, exergy efficiency also decreases with solar irradiation. The best exergy efficiency of the solar energy-based ORC was obtained by using R134a followed by R141b, R245fa, R123, and R113.

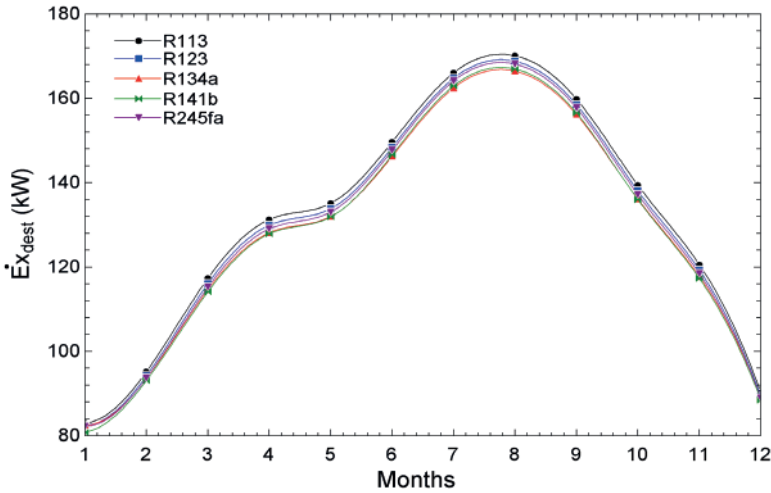


Figure 9. Monthly cycle's exergy destruction variations for different organic fluid

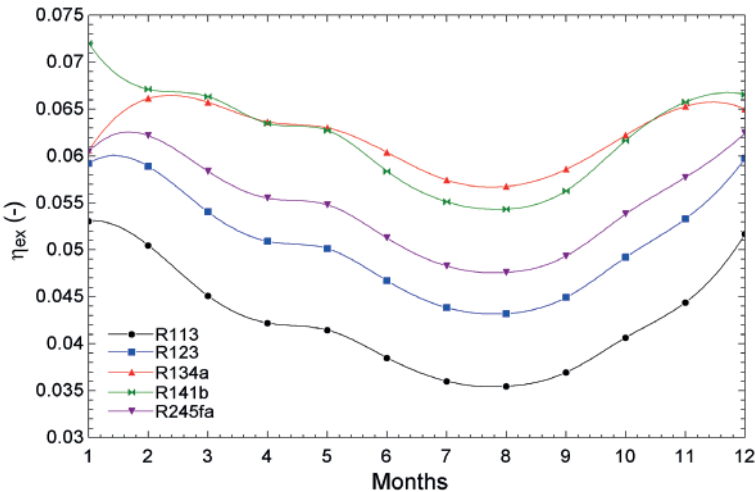


Figure 10. Monthly cycle's exergy efficiency variations for different organic fluid

5. CONCLUSIONS

In this study, the performance of the solar energy-based ORC using different organic fluid has been investigated. Analyses were made for five different organic fluids which R113, R123, R134a, R141b and R245fa. The results of the analyses were showed that the best energy efficiency of the solar energy-based ORC was obtained by using R134a followed by R141b, R245fa, R123, and R113. The highest net power generation is obtained using R134a, while the lowest net power generation was founded when utilizing R113. The results showed that the energy and exergy efficiency is low in the summer months when the solar radiation value is high, and the energy and exergy efficiency is high in the winter months when the solar radiation value is low.

REFERENCES

- Adebayo, T. S. (2022). Environmental consequences of fossil fuel in Spain amidst renewable energy consumption: a new insights from the wavelet-based Granger causality approach. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 29(7), 579–592. <https://doi.org/10.1080/13504509.2022.2054877>
- Alami, A. H., Rabaia, M. K. H., Sayed, E. T., Ramadan, M., Abdelkareem, M. A., Alasad, S., & Olabi, A. G. (2022). Management of potential challenges of PV technology proliferation. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 51, 101942. <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2021.101942>
- Amrutha Raju, B., & Sandeep, V. (2023). A chance constraint microgrid energy management with phase balancing using electric vehicle demand aggregation. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 45(1), 111–139. <https://doi.org/10.1080/15567036.2022.2164812>
- Cao, Y., Haghghi, M. A., Shamsaiee, M., Athari, H., Ghaemi, M., & Rosen, M. A. (2020). Evaluation and optimization of a novel geothermal-driven hydrogen production system using an electrolyser fed by a two-stage organic Rankine cycle with different working fluids. *Journal of Energy Storage*, 32, 101766. <https://doi.org/10.1016/J.EST.2020.101766>
- Chen, J., Zheng, X., Guo, G., Luo, X., Chen, Y., & Yang, Z. (2019). A flexible and multi-functional organic Rankine cycle system: Preliminary experimental study and advanced exergy analysis. *Energy Conversion and Management*, 187, 339–355. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2019.03.050>
- Dincer, I., & Rosen, M. A. (2013). Exergy and Energy Analyses. *Exergy*, 21–30. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097089-9.00002-4>
- Elmailhy, A., Rashad, A., Elweteedy, A., & Nessim, W. (2023). Energy and exergy analyses for organic Rankine cycle driven by cooling water of passenger car engine using sixteen working fluids. *Energy Conversion and Management: X*, 20, 100415. <https://doi.org/10.1016/J.ECMX.2023.100415>
- Eveloy, V., Karunkeyoon, W., Rodgers, P., & Al Alili, A. (2016). Energy, exergy and economic analysis of an integrated solid oxide fuel cell – gas turbine – organic Rankine power generation system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(31), 13843–13858. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2016.01.146>
- Eyidogan, M., Canka Kilic, F., Kaya, D., Coban, V., & Cagman, S. (2016). Investigation of Organic Rankine Cycle (ORC) technologies in Turkey from the technical and economic point of view. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 885–895. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.12.158>
- Haghghi, A., Pakatchian, M. R., Assad, M. E. H., Duy, V. N., & Alhuyi Nazari, M. (2021). A review on geothermal Organic Rankine cycles: modeling

- and optimization. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 144(5), 1799–1814. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-10357-y>
- Kong, L. gang, Chen, X. long, Gong, J. hu, Fan, D. jin, Wang, B. li, & Li, S. (2022). Optimization of the hybrid solar power plants comprising photovoltaic and concentrating solar power using the butterfly algorithm. *Energy Conversion and Management*, 257, 115310. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2022.115310>
- Pan, Y., & Dong, F. (2023). Green finance policy coupling effect of fossil energy use rights trading and renewable energy certificates trading on low carbon economy: Taking China as an example. *Economic Analysis and Policy*, 77, 658–679. <https://doi.org/10.1016/J.EAP.2022.12.014>
- Piñerez, G. P., Ochoa, G. V., & Duarte-Forero, J. (2021). Energy, exergy, and environmental assessment of a small-scale solar organic Rankine cycle using different organic fluids. *Heliyon*, 7(9), e07947. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2021.E07947>
- Pourmoghadam, P., Farighi, M., Pourfayaz, F., & Kasaeian, A. (2021). Annual transient analysis of energetic, exergetic, and economic performances of solar cascade organic Rankine cycles integrated with PCM-based thermal energy storage systems. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 101388. <https://doi.org/10.1016/J.CSITE.2021.101388>
- Shahsavari, A., & Akbari, M. (2018). Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 275–291. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2018.03.065>
- Thangavel, S., Verma, V., Tarodiya, R., & Kaliyaperumal, P. (2021). Comparative analysis and evaluation of different working fluids for the organic rankine cycle performance. *Materials Today: Proceedings*, 47, 2580–2584. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.05.064>
- Thurairaja, K., Wijewardane, A., Jayasekara, S., & Ranasinghe, C. (2019). Working Fluid Selection and Performance Evaluation of ORC. *Energy Procedia*, 156, 244–248. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2018.11.136>
- Ustaoglu, A., Torlaklı, H., Ergün, A., Erdoğan, E., & Emin Akay, M. (2022). Advanced exergy analysis of an integrated solid waste fueled cogeneration system based on organic Rankine Cycle for different working fluids. *Energy Conversion and Management*, 270, 116294. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2022.116294>
- Yu, H., Kim, D., & Gundersen, T. (2019). A study of working fluids for Organic Rankine Cycles (ORCs) operating across and below ambient temperature to utilize Liquefied Natural Gas (LNG) cold energy. *Energy*, 167, 730–739. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2018.11.021>

Mühendislik Alanında Akademik Analiz ve Tartışmalar

Editörler

Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR

Doç. Dr. Rukiye UZUN ARSLAN

 ÖZGÜR
YAYINLARI

ISBN 978-975-447-686-6

9 789754 476866