

OCTOBER 2025

MÜHENDİSLİK

ALANINDA ULUSLARARASI AKADEMİK ARAŞTIRMA VE ÇALIŞMALAR

EDITORS

PROF. DR. COŞKUN ÖZALP

PROF. DR. SELAHATTİN BARDAK

 **SERÜVEN**
YAYINEVİ

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi

Birinci Basım / First Edition • © Ekim 2025

ISBN • 978-625-5737-62-5

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.seruyenyayinevi.com

e-mail: seruyenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

MÜHENDİSLİK

ALANINDA ULUSLARARASI AKADEMİK
ARAŞTIRMA VE ÇALIŞMALAR

EKİM 2025

EDİTÖRLER
PROF. DR. COŞKUN ÖZALP
PROF. DR. SELAHATTİN BARDAK

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

6831 SAYILI ORMAN KANUN'UNUN EK 16. MADDESİ KAPSAMINDA
ORMAN SINIRLARI DIŞINA ÇIKARTMA İŞLEMLERİNE İLİŞKİN
YAPILAN ÇALIŞMALAR: NURDAĞI (KUZOLUK MAHALLESİ) ÖRNEĞİ

Fazıl NACAR 1

BÖLÜM 2

AKADEMİK DÜRÜSTLÜKTE CHATGPT KULLANIMI

Bahaddin ERDEM 15

BÖLÜM 3

TÜRKİYE'DE ARAZİ TOPLULAŞTIRMA PROJELERİNİN KIRSAL
KALKINMA AMAÇLI YAPILMASI GEREKLİLİĞİ ÜZERİNE BİR
ÇALIŞMA

Şaban İNAM..... 33

Halil Burak AKDENİZ 33

BÖLÜM 4

ET EMÜLSİYONLARINDA FARKLI GIDA KAYNAKLI BİLEŞENLERİN
KULLANIMI

Şükrü KURT 53

BÖLÜM 5

OTOYOLLARDA KULLANILAN TAŞITLARIN TASARIMI VE
GELİŞTİRİLMESİ YÖNTEMLERİ

Haluk GÜNEŞ..... 69

Mehmet Akif KUNT 69

BÖLÜM 6

KÜRESEL BİR ÇEVRE SORUNU: MİKROPLASTİKLER

Saadet HACISALİHOĞLU..... 81

Merve ÖZKALELİ AKÇETİN 81

BÖLÜM 7

İŞIKKARA (KÜTAHYA) BAZALTLARININ JEOLojİK VE MİNERALojİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Metin BAĞCI..... 97

Mustafa BAYHAN..... 97

BÖLÜM 8

DERİVASYON TÜNELLERİNDE SU SIZINTILARININ KONTAKT VE KONSOLİDASYON ENJEKSİYONU İLE İYİLEŞTİRİLMESİ, ENJEKSİYON KARIŞIM TESTLERİ VE UYGULAMA AŞAMALARI

Veli KESKİN..... 109

BÖLÜM 9

DOĞAL ÇİÇEK BALININ TERAPÖTİK AKTİVİTESİNDE ETKİLİ FİZİKOKİMYASAL VE BİYOAKTİF ÖZELLİKLERİ

Seda OĞUR 139

BÖLÜM 10

FOTOVOLTAİK MODÜLLERDEKİ KİRLENMENİN VERİM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Okan UYKAN..... 171

Güray ÇELİK..... 171

Aşkın BİRGÜL 171

BÖLÜM 11

TEKSTİL SEKTÖRÜNDE ERGONOMİK RİSKLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Betül TURANOĞLU ŞİRİN..... 185

BÖLÜM 12

KARAYOLU ZEMİNLERİNİN TAŞIT KAYNAKLI YIPRANMASI VE KARAYOLU KULLANIM ÖMRÜNÜN ARTIRILMASI İÇİN TAŞIT KAYNAKLI TEDBİRLER

M. Akif KUNT..... 199

Haluk GÜNEŞ..... 199

BÖLÜM 13

SOSYAL AĞ KULLANIM DÜZEYİNİN BELİRLENMESİNDE
VERİ MADENCİLİĞİ SINIFLANDIRMA ALGORİTMALARININ
PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

***Bahaddin ERDEM* 213**

BÖLÜM 14

6831 SAYILI ORMAN KANUN’UNUN EK 16.ORMAN SINIRLARI
DIŞINA ÇIKARTMA İŞLEMLERİNE 6 İLİŞKİN YAPILAN ÇALIŞMALAR:
NURDAĞI (KARTAL MAHALLESİ) ÖRNEĞİ

***Fazıl NACAR* 229**

BÖLÜM 15

GEMİ PERVANELERİNDE KAVİTASYON, EROZYON VE
KOROZYONUN BİRLİKTE ETKİSİ: MALZEME SEÇİMİ, KAPLAMALAR
VE ÖMÜR TAHMİNİ

***Hasan YILMAZ* 243**



**6831 SAYILI ORMAN KANUN'UNUN EK 16.
MADDESİ KAPSAMINDA ORMAN SINIRLARI
DIŞINA ÇIKARTMA İŞLEMLERİNE İLİŞKİN
YAPILAN ÇALIŞMALAR: NURDAĞI (KUZOLUK
MAHALLESİ) ÖRNEĞİ**

“ ”

Fazıl NACAR¹

¹ Doç. Dr., fazılncar@osmaniye.edu.tr, ORCID:0000-0001-8434-5038

1.GİRİŞ

Devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan ormanlar, özel yasa kurallarına bağlıdırlar (3402 sayılı Kadastro Yasası, Madde: 16/D). Ormanın hazine adına tapuya tescil edilmesi, herhangi bir harç, vergi veya resim ödenmeksizin (6831 sayılı Orman Kanunu, Madde 11), ormanla ilgili kuralları değiştirmez ve ormanın kamu malı olma özelliğini kaybetmesine neden olmaz. Ayrıca, yetkili kurum (Orman Genel Müdürlüğü) tarafından kamu malından çıkarılmadan, gerçek kişiler adına tapuya tescil edilmesi veya zamanaşımı yoluyla edinilmesi mümkün değildir. (Köktürk,E.(2024)

“Türkiye’de Genel Hayata ETKİLEYEN Afetler Nedeniyle Alınacak Önlemler Yapılacak Yardımlara Dair Kanun”,(7269 sayı,1959 tarih) tabii afetler sonucu, umumî hayatı etkileyecek derecede yapı ve tesislerin hasar gördüğü veya hasar görme ihtimalinin bulunduğu yerlerde alınacak tedbirler ve yapılacak yardımlara ilişkin esasları belirlemektedir. Dolayısıyla afetten önce ve afetten sonra yapılacak yardım ve afete maruz kalanların yeniden iskânlarının sağlanmasını gerçekleştirmek üzere yetkilendirilen kamu idaresinin de görev ve yetkilerini belirlemektedir. İskân faaliyeti deyince haliyle afete maruz kalan kişi veya kurumların yeniden yerleştirileceği güvenli alanlar akla gelmektedir. Tam da burada ormanların kamu yararına konu olan barınma fonksiyonu ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda 7269 sayılı kanuna ilaveten 1999 yılında Ek 10. Madde eklenmiştir. Buna göre: “Orman Bakanlığınca, Orman sınırlarından çıkarılmış veya çıkarılacak olan, orman olarak korunması bilimsel ve teknik açıdan olanaksız olan ve tarımsal arazi olarak dönüşmesi olanaklı olmayan alanlar, kamu hayatını etkileyen doğal afet bölgelerinde devlet kurumları ile diğer afetzedelerin iskânını sağlamak üzere ilgili bakanlığa devredilebilir.” denilmektedir. (AFAD, 2015; Tolunay, A., Karahan, E., Türkoğlu, T. (2024).)

Öte yandan, henüz sınırlandırma ve tescil işlemleri tamamlanamamışken 1970 yılında 1255 Sayılı Kanun ile yapılan Anayasa değişikliği ve 1973 yılında 6831 Sayılı Orman Kanun’unda 1744 Sayılı Kanun ile yapılan değişikliklerle orman niteliğini kaybeden alanların orman rejimi dışına çıkarılması işlemleri başlatılmıştır (Türker, 2003). 2/B olarak bilinen bu uygulamalar ilerleyen yıllarda 2896 ve 3302 sayılı kanunlarla bazı değişikliklere uğrayarak günümüze kadar süre gelmiştir. ilk olarak 1744 sayılı kanunla; 15.10.1961 tarihinden önce bilim ve fen bakımından orman niteliğini tam olarak kaybetmiş yerlerin orman sınırı dışına çıkartılmasına olanak sağlanmıştır. Bu uygulamalar sonucunda 1.025,6 km² alan orman sınırı dışına çıkarılmıştır (Köktürk ve Köktürk, 2004). 2007; URL-2, 2005)

2/B uygulamaları sonucunda 3302 sayılı kanunla birlikte (3.438,29 km²) toplam 4.734,19 km² alan orman sınırları dışına çıkarılmıştır (Köktürk ve Köktürk, 2004). Öz bir ifadeyle, 2/B uygulamaları ile günümüze kadar or-

man varlığımızın yaklaşık %3'ü orman sınırları dışına çıkartılmıştır. Başlangıçtaki amacı, orman köylülerine yerleşim ve tarımsal etkinlikler için yer sağlayarak köylünün yaşam koşullarını iyileştirmek olarak belirlenebilen 2/B uygulamaları; günümüzde bütçeye önemli bir parasal kaynak sağlayıcı olarak görülmektedir.

1.369 adet birimde Orman yasası (6831) 2. Maddesinin b fıkrası çalışmaları bitirilmiş, 626 adet birimde ise Orman Kanun'una (6831) göre orman kadastro yapılan birliklerde teknik hataların düzeltilmesi ve tescile hazır hale getirilmesi işlemleri tamamlanmıştır. 2024 yılında; 3302 sayılı Kanunla değişik Orman yasası (6831) 2. Maddesinin b fıkrası kapsamında 12.000 hektar, - Orman yasasının (6831) Ek 16ncı maddesi kapsamında 905,45 hektar, - Genel Hayata Etken Afetler Nedeniyle Alınacak Önlemlerle Yapılacak Yardımlar Hakkında Kanunun Ek 10 uncu maddesi kapsamında 905,45 hektar, 25,02 hektar – 6292 sayılı Orman Köylülerinin Kalkınmalarının Desteklenmesi ve Hazine Adına Orman Sınırları Dışına Çıkarılan Yerlerin Değerlendirilmesi ve Hazineye Ait Tarım Arazilerinin Satışı Hakkındaki Kanunun 4. maddesi kapsamında 24 hektar tahsis yapılmıştır. – Cumhurbaşkanlığı 6785 sayı ve 08/02/2023 tarihli Kararnamesi ile ilan edilen olağanüstü hal kapsamındaki illerde iskân ve yapılaşmaya ilişkin bazı tedbirlerin alınmasına dair 7452 sayılı Kanun kapsamında 975,13 hektar tahsis yapılmıştır. (ogm 2024 faaliyet raporu)

Ek 4: Orman Kadastro Projesi Uygulama Sonuçlarının Orman Bölge Müdürlükleri Dağılımı, 2024

BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ	6831 SAYILI ORMAN KANUNU KAPSAMINDA YAPILAN 20 UYGULAMASI			6831 SAYILI ORMAN KANUNUNA GÖRE ORMAN KADASTROSU YAPILAN BİRİMLERİN FENİ HATALARININ GİDERİLEREK TESCİLE HAZIR HALE GETİRİLMESİ			UYGULAMA SONUCU	
	YIL SONU PROGRAM		UYGULAMA	YIL SONU PROGRAM		UYGULAMA		
	Adet/Birim	TL		Adet/Birim	TL			
1 ADANA	13	780.000	13	9	540.000	9	22	1.033.825
2 AMASYA	66	3.960.000	66	73	4.380.000	121	187	3.208.980
3 ANKARA	120	7.200.000	120	11	660.000	11	131	8.345.917
4 ANTALYA	11	660.000	11	18	1.080.000	29	40	882.952
5 ARTVİN	15	900.000	15	25	1.500.000	33	48	362.472
6 BALIKESİR	13	780.000	13	2	120.000	2	15	2.909.085
7 BOLU	77	4.620.000	77	3	180.000	3	80	3.692.714
8 BURSA	30	1.800.000	21	8	480.000	8	29	2.091.407
9 ÇANAKKALE	43	2.580.000	13	4	240.000	4	17	714.470
10 DENİZLİ	30	1.800.000	24	10	600.000	10	34	1.875.791
11 ELAZIĞ	243	14.580.000	243	10	600.000	10	253	12.828.870
12 ERZURUM	96	5.760.000	87	14	840.000	12	99	4.054.428
13 ESKİŞEHİR	27	1.620.000	27	6	360.000	6	33	804.500
14 GİRESUN	48	2.880.000	46	80	4.800.000	103	149	1.411.879
15 HATAY	12	720.000	12	17	1.020.000	17	29	869.169
16 ISPARTA	21	1.260.000	21	5	300.000	5	26	2.827.420
17 İSTANBUL	59	3.540.000	38	5	300.000	5	43	3.247.650
18 İZMİR	47	2.820.000	42	12	720.000	12	54	1.501.370
19 KAHRAMANMARAŞ	38	2.280.000	24	4	240.000	4	28	2.593.573
20 KASTAMONU	37	2.220.000	35	21	1.260.000	21	56	1.277.083
21 KAYSERİ	13	780.000	8	18	1.080.000	18	26	1.625.156
22 KONYA	23	1.380.000	20	8	480.000	8	28	554.763
23 KÜTAHYA	37	2.220.000	32	9	540.000	9	41	2.112.977
24 MERSİN	36	2.160.000	36	4	240.000	4	40	786.641
25 MUĞLA	112	6.720.000	112	13	780.000	13	125	10.591.249
26 SAKARYA	51	3.060.000	38	9	540.000	9	47	3.878.855
27 SİNOP	12	720.000	12	15	900.000	15	27	315.709
28 ŞANLIURFA	108	6.480.000	101	2	120.000	2	103	4.399.747
29 TRABZON	49	2.940.000	49	22	1.320.000	22	71	1.608.318
30 ZONGULDAK	13	780.000	13	63	3.780.000	101	114	444.856
TOPLAM	1.500	90.000.000	1.369	500	30.000.000	626	1.995	82.705.827
MERKEZ					10.000.000			3.982.202
TAPU VE KADASTRO GENEL MÜDÜRLÜĞÜ								358.000.000
GENEL TOPLAM	1.500	90.000.000	1.369	500	40.000.000	626	1.995	444.688.029

Şekil 1. Türkiye orman kadastro çalışmaları (URL.5)

OGM tarafından henüz 7269 Sayılı Kanun'un Ek 10. Maddesi Uygulama Yönetmeliği yayımlanmamış olsa da teamüller ve diğer ormandan çıkarma uygulamaları ışığında afetzedelere ormandan yer tahsis yapılmaya devam etmektedir. Kapsamlı bir mevzuat çalışması yapılarak, çıkarılacak olan uygulama yönetmeliği ile afetzedelere ormandan yer tahsis yapıldığı takdirde orman alanları üzerindeki insan baskısının ormana olan zararları da ortaya konulmalıdır. Ayrıca afetzedelerin iskânı için ormandan çıkarılan alanlara karşılık en az iki katı büyüklükte alan olmak koşulu ile tapuya kayıtlı Maliye Hazinesi arazilerinden ağaçlandırmaya uygun olan yerler tespit edilip ağaçlandırılmak üzere orman vasfıyla tescil edilmelidir. Hepsinden önemlisi; olası afet durumlarında yöre halkının yeniden iskâna tabi tutulacağı alanlar afet eylem planı ile önceden belirlenmeli, tapuda Maliye Hazinesi adına "Ham Toprak", "Mera" ve "Orman" vasfıyla tescilli parsellerden yerleşime uygun alanlar belediyelerin ilgili yöneticileri ile muhtarların da görüşleri alınmak suretiyle tespit edilerek ilgili Bakanlıklar arasında yapılacak protokollerle rezerv alanı olarak ilan edilmelidir. İlan edilecek alanların tapu sicilinin beyanlar ve şerhler hanesinde hiçbir surette başka bir amaca tahsis edilemeyeceği ve afet sonrası iskân yeri rezerv alanı olduğu belirtilmelidir. Böylece afetin meydana geldiği yerlerde yöre halkının afet sonrası yerleştirilecekleri alanlarla ilgili iskâna uygun alanları tespit etmek ve yer seçimi yapmak için zaman kaybedilmemiş olacaktır (Tercan, 2020; Tolunay, A. ve ark., 2024).

Orman sınırlarından çıkarma süreci, Nisan 2018'de torba yasa ile yürürlüğe giren Orman Kanunu'na 16. maddenin eklenmesiyle yeni bir boyut kazanmıştır ve Cumhurbaşkanı'na dilediği orman alanını orman rejiminden çıkarma yetkisi verilerek orman sınırlarından çıkarma süreci yeni bir boyut kazanmıştır. 2018 yılına kadar iskân edilmiş orman alanlarının orman sınırlarından çıkarılması mümkün hale gelmiştir. (Uysal, B., Birben, Ü. 2023.)

Gaziantep ilinin orman varlığı 2024 yılı itibarıyla 112.617 ha alanla il yüzölçümünün %0,48 ine karşılık gelmektedir. Nurdağı ilçesinde 13949,9 ha verimli, 10860 ha verimsiz ve 47979,4 ha açık alan olmak üzere 72789,2 ha orman alan bulunmaktadır.

Bu çalışmada Nurdağı ilçesi sınırlarındaki ormanla iç içe olan Kuzuluk mahallesinde Ek.16 madde kapsamında yapılan çalışmalar ve orman ve milli emlak teşkilatına yapılan başvurular örnekleriyle değerlendirilmiş ve yapılan hazırlık çalışmaları örnekleriyle açıklanmıştır.

2.ÇALIŞMA ALANI

Nurdağı ilçesi Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinin kesişme noktasında yer alan bir komundadır. İlçenin doğusu Şahinbey ve Şehitkamil merkez ilçeleri (Gaziantep), batısı Bahçe ilçesi (Osmaniye), kuzeyi Türkoğlu ve Pazarcık ilçeleri (Kahramanmaraş), güneyi İslahiye ilçesi (Gaziantep) ile çevrilidir. (URL-1; URL-2). İlçenin TÜİK verilerine göre 2022 yılı nüfusu

TABLO 1. Nurdağı ilçesi orman ya da ormana komşu köy listesi.

NURDAĞI ORMAN İŞLETME ŞEFLİĞİ SINIRLARINDA KALAN ORMAN YA DA KOMŞU KÖYLER					
SIRA NO	İL	İLÇE	MAHALLE ADI	31. VE 32. MADDE	NÜFUS
1	GAZİANTEP	NURDAĞI	KATRANCI(TORUNLAR)	ORMAN İÇİ	142
2	GAZİANTEP	NURDAĞI	KARABURÇLU	ORMAN İÇİ	98
3	GAZİANTEP	NURDAĞI	ATMALI	ORMAN İÇİ	306
4	GAZİANTEP	NURDAĞI	BAŞPINAR	ORMAN İÇİ	498
5	GAZİANTEP	NURDAĞI	DURMUŞLAR	ORMAN İÇİ	240
6	GAZİANTEP	NURDAĞI	GÖKCEDERE	ORMAN İÇİ	492
7	GAZİANTEP	NURDAĞI	HAMİDİYE	ORMAN İÇİ	388
8	GAZİANTEP	NURDAĞI	KIRKPINAR	ORMAN İÇİ	334
9	GAZİANTEP	NURDAĞI	BADEMLİ	ORMAN İÇİ	429
10	GAZİANTEP	NURDAĞI	KUZOLUK	ORMAN İÇİ	283
11	GAZİANTEP	NURDAĞI	KARTAL	ORMAN İÇİ	1784
12	GAZİANTEP	NURDAĞI	TANDIRLI	ORMAN İÇİ	111
13	GAZİANTEP	NURDAĞI	OLUCAK	ORMAN İÇİ	404
14	GAZİANTEP	NURDAĞI	BALIKALAN	ORMANA KOMŞU	184
15	GAZİANTEP	NURDAĞI	BELPINAR	ORMANA KOMŞU	145
16	GAZİANTEP	NURDAĞI	DEMİRLER	ORMANA KOMŞU	101
17	GAZİANTEP	NURDAĞI	EMİRLER	ORMANA KOMŞU	142
18	GAZİANTEP	NURDAĞI	GEDİKLİ	ORMANA KOMŞU	367
19	GAZİANTEP	NURDAĞI	GÖZLÜHÜYÜK	ORMANA KOMŞU	554
20	GAZİANTEP	NURDAĞI	İKİZKUYU	ORMANA KOMŞU	152
21	GAZİANTEP	NURDAĞI	İNCEGEDİK	ORMANA KOMŞU	191
22	GAZİANTEP	NURDAĞI	İNCİRLİ	ORMANA KOMŞU	512
23	GAZİANTEP	NURDAĞI	KÖMÜRLER	ORMANA KOMŞU	415
24	GAZİANTEP	NURDAĞI	KURUDERE	ORMANA KOMŞU	1203
25	GAZİANTEP	NURDAĞI	MESTHÜYÜK	ORMANA KOMŞU	173
26	GAZİANTEP	NURDAĞI	ÇİMLER	ORMANA KOMŞU	187
27	GAZİANTEP	NURDAĞI	NOGAYLAR	ORMANA KOMŞU	435
28	GAZİANTEP	NURDAĞI	TERKEN	ORMANA KOMŞU	654
29	GAZİANTEP	NURDAĞI	TOPLAMALAR(ALTINOVA)	ORMANA KOMŞU	290
30	GAZİANTEP	NURDAĞI	ATAKÖY	ORMANA KOMŞU	88
31	GAZİANTEP	NURDAĞI	ÇAKMAK	ORMANA KOMŞU	209
32	GAZİANTEP	NURDAĞI	İÇERİSU	ORMANA KOMŞU	470
33	GAZİANTEP	NURDAĞI	TÜLLÜCE	ORMANA KOMŞU	286
34	GAZİANTEP	NURDAĞI	YAYLACIK	ORMANA KOMŞU	92
35	GAZİANTEP	NURDAĞI	SAKÇAGÖZÜ	ORMANA KOMŞU	4621
36	GAZİANTEP	NURDAĞI	ŞATIRHÜYÜK	ORMANA KOMŞU	2658
37	GAZİANTEP	NURDAĞI	KIRIŞKAL	ORMANA KOMŞU	284
38	GAZİANTEP	NURDAĞI	ATALAR	ORMANA KOMŞU	2224

Tablo 1 de görüldüğü gibi Nurdağı ilçesinin 50 mahallesinin 13 ü orman içi mahalle ve 25'i de ormana komşu mahalle statüsündedir.

Nurdağı ilçesi kırsal mahallerinde ormanla ilişkili olan on (10) mahallede orman sınırı dışına çıkartma ile konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Orman yasasının Ek.16. maddesi gereği yapılan ve başka şehirlerde uygulamaları bulunan bu çalışma için sınırlandırma haritaları hazırlanarak müracaat da bulunulmuştur. (Tablo 2)

TABLO 2. Nurdağı ilçesi Ek.16 talebinde bulunulan köy listesi

Sıra no	Mahalle adı	Ev sayısı
1	ATMALI	4
2	BAŞPINAR	9
3	BELPINAR	10
4	HAMİDİYE	4
5	HİSAR	17
6	KARTAL	150
7	KURUDERE	10
8	KUZOLUK	8
9	OLUCAK	1
10	TERKEN	1

Çalışma yapılan kırsal mahallelerde 214 adet konut orman arazisinde kalmakta olup bu uygulama yapıldığında bu yapıların yıkılması durdurulmuş olacaktır. Arazi öncelikle maliye hazinesi adına tescil olacak ve sonrada kullanıcısına satışı yapılabilecektir.

Orman işletme şefliğinden alınan verilere göre Kartal şefliğinde 164 adet 2018 sonrası yapı için, 244 adet yapının da 2018 öncesi zaptı tutulmuştur. Ayrıca Nurdağı şefliğinin ise 76 adet yapı için 2018 öncesi ve 27 adet yapının zaptı ise 2018 sonrası tutulmuştur. Toplamda 511 yapının zaptı tutulmuştur. Bu yapıların 214 adedi Ek. 16 kapsamında orman sınırı dışına çıkarma kapsamı da kalmaktadır.

3. UYGULAMA

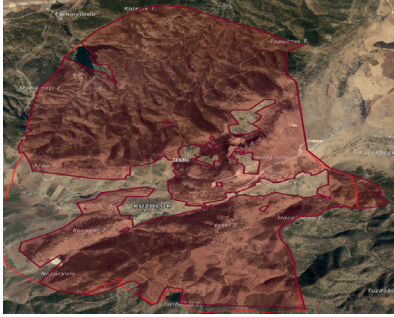
3.1 Kuzoluk Mahallesi Ek. 16 çalışmaları

Kuzoluk mahallesi (köyü) Nurdağı ilçe merkezine araçla 27 km mesafede orman içi bir yerleşim yeridir. Kuzoluk köyünün nüfusu yaklaşık 348 kişidir.



Şekil 3. Kuzuluk mahallesi sınırı (parsel sorgu sistemi)

Kuzuluk mahallesi 2160 hektarlık alansal büyüklüğü sahiptir. Bu alanın yüzde 85'i ormandan oluşmaktadır. Kuzuluk mahallesinde 2018 sonrası 8 konut ormanda kalmakta olup bu konutların orman sınırı dışına çıkarılması için Nurdağı belediyesi tarafından milli emlak şefliğine müracaat da bulunulmuştur.



TAPU KAYIT BİLGİSİ		
Zemin Tipi:	Ana Tapırmaz	Ada/Parsel:
Tapınmaz Kimlik No:	124464515	AT Yüzölçümü(m2):
İl/İlçe:	GAZİANTEP/NURDAĞI	18094142.23
Kurum Adı:	Nurdağı	Bağimsiz Bölüm Nitelik:
Mahalle/Köy Adı:	KUZOLUK Mah.	Bağimsiz Bölüm Brüt Yüzölçümü:
Merkül:	-	Bağimsiz Bölüm Net Yüzölçümü:
Cilt/Sayfa No:	3/291	Blok/Katı/Giriş/BBNo:
Kayıt Durum:	Akif	Arsa Payı/Payda:
		Arsa Tapınmaz Nitelik:
		Orman

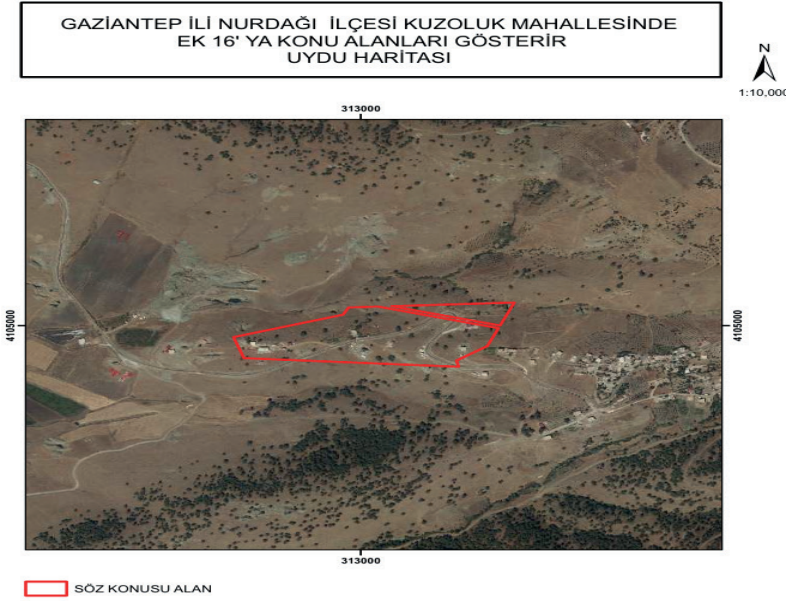
MÜLKİYET BİLGİLERİ							
(Hisse) Sistem No	Malik	El Birliği No	Hisse Payı Payda	Metrekare	Toplam Metrekare	Edinme Sebebi-Tarih Yemyiye	Türkin Sebebi-Tarih Yemyiye
698442500	(SN:47) MALİYE HAZİNESİ YKN6110312806	-	1/1	18094142.23	18094142.23	3402 S.Y.mn 22/A Md. Gerebince	-

a)

B)

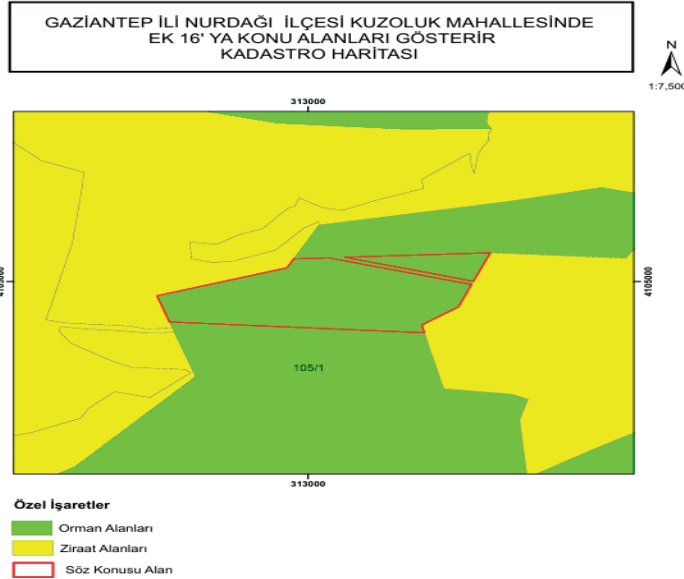
Şekil 5. Kuzuluk mahallesi 105 ada 1 nolu parsel

Şekilde Kuzuluk mahallesi orman vasıflı 105 ada 1 nolu parselin krokisi (a) ve tapu kaydı (b) gözükmemektedir.



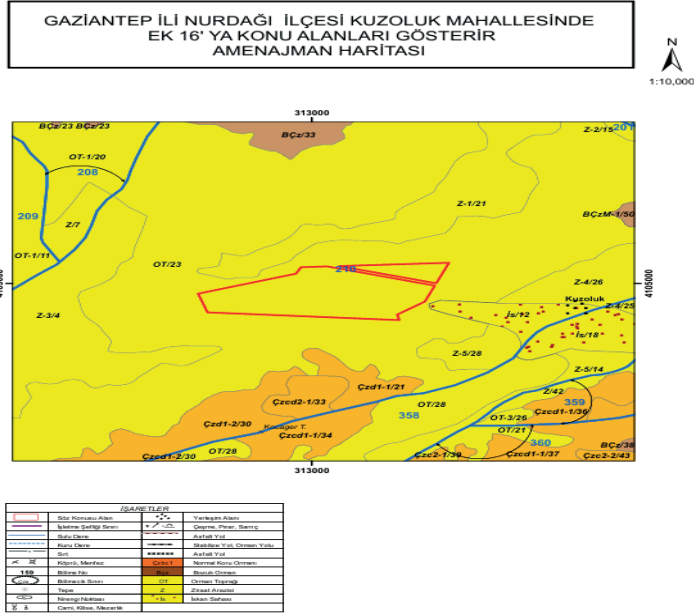
Şekil 5. Kuzoluk mahallesi ek.16 sınırları

Şekil 5 de Kuzoluk mahallesi ek.16 çalışması kapsamında orman sınırı dışına çıkarılması talep edilen alanlar gözükmemektedir. Bu alan iki parça halinde ve 193199 m² ve 12142m² kadardır. Şekil de konutlar detaylı gözükmemektedir.



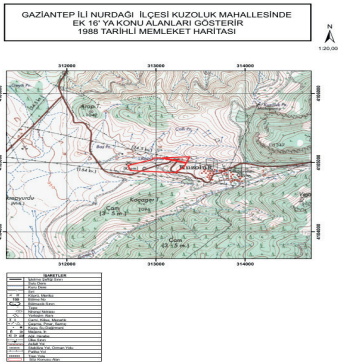
Şekil 6. Kuzoluk mahallesi orman kadastrosu haritası

Şekilde Kuzoluk mahallesi orman arazi ve ek.16 için çalışma yapılan yerler gözükmektedir. Orman kadastro haritasında sarı renkler ziraat arazisini, yeşil renkler orman arazisini göstermektedir. Yine Ek.16 ya göre orman sınırı dışına çıkarılacak arazide kırmızıyla çizilmiştir. Görüldüğü gibi araziler tamamen yeşil renkli alanda kalmaktadır. Yani orman arazisidir.



Şekil 7. Kuzoluk mahallesi orman amenajman haritası

Şekilde Kuzoluk mahallesi amenajman haritası gözükmektedir. Sarı alanlar (Z) ziraat arazisi, (OT) orman toprağı, kahverengi bozuk orman ve kırmızı noktalar iskan sahasını göstermektedir.



a)

SIRA NO	İLCE	KOY	f	
1	NURDAĞI	KUZULUK	A	313234.83 4104875.46
2	NURDAĞI	KUZULUK	A	313240.40 4104853.17
3	NURDAĞI	KUZULUK	A	312713.11 4104884.27
4	NURDAĞI	KUZULUK	A	312687.17 4104959.29
5	NURDAĞI	KUZULUK	A	312956.20 4105039.13
6	NURDAĞI	KUZULUK	A	312970.29 4105064.99
7	NURDAĞI	KUZULUK	A	313042.61 4105068.16
8	NURDAĞI	KUZULUK	A	313113.64 4105049.52
9	NURDAĞI	KUZULUK	A	313246.33 4105015.17
10	NURDAĞI	KUZULUK	A	313338.13 4104991.21
11	NURDAĞI	KUZULUK	A	313310.97 4104927.49
12	NURDAĞI	KUZULUK	A	313234.83 4104875.46
13	NURDAĞI	KUZULUK	B	313377.17 4105082.80
14	NURDAĞI	KUZULUK	B	313342.10 4105000.51
15	NURDAĞI	KUZULUK	B	313342.09 4105000.51
16	NURDAĞI	KUZULUK	B	313248.85 4105024.85
17	NURDAĞI	KUZULUK	B	313116.16 4105059.20
18	NURDAĞI	KUZULUK	B	313076.38 4105069.63
19	NURDAĞI	KUZULUK	B	313377.17 4105082.80

b)

Şekil 8. Kuzuluk mahallesi koordinat listesi (b) ve 1/25000'lik harita üzerindeki görüntüsü(a)

Şekilde Kuzuluk mahallesinin Ek.16 çalışmalarının koordinatları gösterilmiştir. Ayrıca 1/25000 ölçekli memleket haritası üzerine kırmızı renkle çizilmiş ek.16 sınırları görülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

7139 Sayılı Orman Kanun'unun Ek 16.ncı Maddesi Kapsamında orman olarak korunmasında fayda görülmeyen tarım alanına dönüşmesi mümkün olmayan arazilerin orman sınırı dışına çıkarılması ön görmektedir. Bu arazilerin üzerinde 2018'den önce yerleşim yeri olması ya da taşlık kayalık, verimsiz ve halen orman vasfında olmayan arazilerden olması şartı aranmaktadır. Hazine orman sınırı dışına çıkarılan yerlerin yüzölçümünün iki katı kadarını orman için tahsis yapılmaktadır.

Bu olay görünüşte orman alanlarını küçülmesinin aksine büyümesini sağlıyor gibi gözükse de 2018'den önce yapılan orman tahribatına bir nevi af getirmektedir. 2-b çalışmalarıyla orman vasfını kaybeden araziler kullanıcılarına satılırken yeni düzenleme ile (ek.16) tarih daha da güncellenmiş olmaktadır. Ayrıca bu olay orman tahribatını artmasına neden olmaktadır.

Çalışma bölgemizin deprem bölgesi olması, depremin etkisiyle birçok orman alanı mücbir sebep gösterilerek olağan üstü hal kapsamında orman vasfını kaybederek arsa vasfına ve dolayısıyla yapılaşmaya açılmıştır. Depremin etkisinin çok geniş alanda ve büyük olması orman arazilerine konut yapımına (hızlı ve daha az maliyetli olduğu için) çaresiz olarak yol açmıştır.

Bu çalışmada Ek. 16 için yapılan teknik çalışmalardan örnekler sunulmuştur. Bu işlemlerden sonra milli emlak müdürlüğü, orman teşkilatına başvuracak, orman teşkilatı tarafından kurulan komisyonca arazide inceleme yapılacak ve uygun görülenler Cumhurbaşkanlığının onayı ile orman sınırı dışına çıkarılacaktır. Milli emlak adına tescil yapılacak ve milli emlak bu arazinin iki katı hazine arazisini orman için tahsis yapacaktır.

KAYNAKÇA

- AFAD (2015). Afet ve Acil Durumlara İlişkin Temel Mevzuat, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- KÖKTÜRK Erdal, (2004) Orman Kadastro, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi
- Tercan, B. (2020). Afet bölgelerinde yeniden yerleştirme ve iskân politikaları: doğubazıt depremi örneği. Türk Deprem Araştırma Dergisi, 2(1), 76-91. <https://doi.org/10.46464/tdad.737913>, 17.12.2023
- Tolunay, A . ve ark. (2024). Türkiye’de Umumi Hayata Müessir Afetler Dolayısıyla Orman Alanlarının Tahsisine Yönelik 7269 Sayılı Kanun Uygulamaları: Bingöl, Malatya Ve Ordu İlleri Örneği, Türkiye Mesleki ve Sosyal Bilimler Dergisi, Aralık 2024, Yıl:6, Sayı: 16, 25-37.
- Uysal, B., Birben, Ü. 2023. 6831 sayılı Orman Kanunu’nun 2/B maddesi uygulamaları ve sonuçları (Amasya ili örneği). Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 9(2), 90-100.
- URL-1. Nurdağı Tarihçe. <http://www.nurdagi.gov.tr/> Erişim tarihi: 24.01.2024
- URL-2. Gaziantep İl Afet Risk Azaltma Planı - İRAP. (2021)
<https://gaziantep.afad.gov.tr/kurumlar/gaziantep.afad/E-Kutuphane/Il-Planlari/Gaziantep-IRAP.pdf> Erişim tarihi: 24.01.2024
- URL-3. Nurdağı Nüfus Verileri. <https://www.tuik.gov.tr/> Erişim tarihi: 24.01.2024
- URL4. <https://mefarmuhendislik.com/gaziantep-bolgesi-zemin-etut/>
- URL.5 <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/FaaliyetRaporu/2024%20-%20Orman%20Genel%20M%C3%BCd%C3%BCrl%C3%BC%C4%9F%C3%BC%20Faaliyet%20Raporu.pdf>



AKADEMİK DÜRÜSTLÜKTE CHATGPT KULLANIMI

“ ”

Bahaddin ERDEM¹

¹ Öğr. Gör. Dr. Bitlis Eren Üniversitesi Adilcevaz MYO Bilgisayar Programcılığı
Bölümü. bahaddin2363@gmail.com ORCID No: 0000-0003-3693-0966

Giriş

Günümüzde gelişen teknoloji ile beraber hayatın tüm alanlarının etkilendiği bilinmektedir. Tüm kurumlar bu değişim ve dönüşümden etkilenmediği gibi eğitim kurumları da dijital dönüşümün bir gereği olarak teknolojik imkânlar ölçüsünde çevrimiçi ortamlara uyum göstermek zorunda kalmıştır. Teknolojik araçların eğitime adapte edilmesiyle birlikte bütün öğrenme durumları ve değerlendirme unsurları bir akademik bütünlük oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Uzaktan eğitim olarak tabir edilen bu durum bireylerin zaman ve mekândan bağımsız bir şekilde kimi zaman bireysel bir tercih olarak kimi zamanda felaket, salgın gibi nedenlere bağlı olarak zorunlu bir tercih olabilmektedir. E-değerlendirme, teknolojik araçlar kullanılarak teknolojik ortamda yapılan veya değişik kapasitelere sahip araçlardan oluşan bir terimdir (Tomas, 2015). Çevrimiçi değerlendirme boyutunda sürekli değerlendirme; geri bildirim, öğrenme hızının kontrolü ve öğrenme kalitesi bakımından önem taşımaktadır (Balta ve Türel, 2013). Çevrimiçi değerlendirme hem öğrencilere hem de öğrenenlere bir takım kolaylıklar sunmaktadır. Öğreticiler açısından daha fazla sayıda öğrenen grubuna sınav uygulaması yapma, kağıt maliyetlerini ortadan kaldırma, sınav veri tabanlarından rahatlıkla sınav sorularını bir araya getirebilme, ölçme değerlendirme ve test istatistiklerini çok kısa bir zaman diliminde gerçekleştirebilme gibi avantajlar söz konusudur. Çalışan, engelli veya ev hanımlarının mekâna ulaşım ve zaman maliyetlerini ortadan kaldırması, sınav ortamlarının oluşturduğu stres, kaygı ve endişeleri azaltması öğrenenler açısından büyük bir önem taşımaktadır. Çevrimiçi sınavlar, sunduğu avantajlar yanı sıra öğrenenleri, öğreticileri ve eğitim kurumlarını tedirgin eden ve etik olmayan davranış örüntülerine de sergileyebilmektedir. Öğrenciler, değerlendirme süreçlerinde bir dersin adil, şeffaf ve hesap verilebilir olmadığına, aynı zamanda güvenilir, geçerli ve kullanışlı olduğuna inanmıyorsa o derse yönelik motivasyonunu da kaybetmektedir (Güvendir, 2021). Çevrimiçi sınavlarda ortaya çıkan ve etik olmayan davranışlar akademik bütünlüğü olumsuz etkileyebilmektedir. Üniversitelerimizde akademik dürüstlük öğrenme, öğretme ve tüm akademik etkinliklerde temel değer olarak kabul edilmektedir (Ayoub/Al-Salim, 2021). Akademik dürüstlüğü suiistimal etmek, gelişen teknolojiler vasıtasıyla hile yapmak, kopya çekmek, intihal yapmak gibi etik olmayan davranışlar ile çok basit bir şekilde yapılabilir. Günümüz sosyal medya platformları, web teknolojileri, iletişim araçları sınav güvenliklerini ve dolayısıyla akademik dürüstlüğü tehlikeye sokabilmektedir. Özellikle günümüz yapay zekâ son teknolojilerinden biri olan ChatGPT, kimi çevreler tarafından sınav güvenliğini tehlikeye düşüren bir araç olarak kullanabilmektedir. ChatGPT'nin internet kaynaklarından ve ilgili veri tabanlarından hızlı yanıtlama sağlaması, ödevlerde intihal desteği sağlaması gibi etik olmayan davranışlara niyetlenen öğrenenler için kaçınılmaz olmuştur.

Amaç

Çalışmanın amacı günümüz yapay zekâ teknolojilerinden biri olan ChatGPT'nin metin tabanlı olarak metin oluşturma kapasitesi ve hızlı yanıtlama yeteneğinin olumsuz kullanımı sonrası olası sonuçları hakkında mevcut literatürü irdeleme ve incelemektir. Amaca bağlı olarak ChatGPT'nin olumsuz kullanımı ile çevrimiçi sınavlar için bir tehdit oluşturup oluşturmadığı ve akademik bütünlüğü önemseyen öğrenenler, öğretenler ile eğitim kurumları için bir takım öneriler geliştirmektir.

Önem

Bu çalışmanın odak noktasını oluşturan ChatGPT teknolojisinin, kopya çekme, intihal yapma gibi davranışlar ile sınavın şeffaflığı, çevrimiçi değerlendirme, akademik dürüstlük ve akademik bütünlük açısından büyük bir ilişki söz konusudur. Eğitim kurumlarının, ChatGPT ve benzeri teknolojiler hakkında gerekli önlemleri alması, çalışanlarına ve öğrenenlere aydınlatıcı eğitimler vererek farkındalık oluşturmaları kurumun itibarı açısından önemsenmektedir. Çalışmada alan yazında ele alınan ilgili yayınların, yine ilgili teknoloji kapsamında incelenip tartışılması akademik bütünlük olarak büyük bir önem taşımaktadır.

Çevrimiçi Değerlendirme ve Akademik Dürüstlük

Ölçme ve değerlendirme, eğitim öğretim program ve yöntemlerinin etkililiği ile öğrenenlerin kendi öğrenme performansları hakkında eğitimin temel bir bileşeni olarak veri toplama sürecidir (Toker'den aktaran Çivril, 2023). Çevrimiçi eğitimde değerlendirme, öğrenme-öğretme sürecini öğrenen bakış açısı ile daha esnek ve daha yenilikçi bir konuma getirerek öğrenci merkezli bir araç olarak anlaşılmaktadır. Çevrimiçi değerlendirmenin sağlıklı sonuçlar vermesi için uzaktan eğitimin tüm boyutlarının ele alınmasında fayda vardır. Öğrenme yönetim sistemlerinin ve içerik yönetim sistemlerinin bir derse yönelik öğrenme çıktılarına çok iyi hizmet etmesi, çevrimiçi değerlendirme için önem taşımaktadır. Çevrimiçi değerlendirme öğrenen ve öğreten açısından birçok fayda ve aynı zamanda sınırlılıklarda içermektedir. Tablo 1.'de Çevrimiçi değerlendirmenin sağladığı avantaj ve dezavantajlar yer almaktadır (Yağcıdan aktaran Arslan, 2020).

Tablo1: Çevrimiçi Değerlendirme Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajlar (Yağcıdan aktaran Arslan, 2020)

Avantajları	Dezavantajları
Hız	Güvenirlik
Zaman	Haberleşmede tutarsızlık
Maliyet	İnternet ve bilgisayar erişim sorunları
Grafik görüntü ve ses desteği	Çevrimiçi sınavların her öğrenme alanını ölçmede uygun olmaması
Anında geri bildirim	Kopyanın tamamıyla engellenememesi
Çok sayıda kişiye erişim	
Tekrar	
Soru havuzu	
Öğrenci takibi	

Çevrimiçi değerlendirmede kullanılan teknolojik araçları eğitsel amaçlı kullanmanın yanı sıra, aynı zamanda etik olmayan davranışlar için de kullanılabilir. Öğrenenlerin sosyal medya platformları üzerinden işbirliği yapmaları, internet erişimli cihazlar ile istenilen bilgiye hızlı bir erişim sağlama veya iletişim araçları aracılığıyla dışarıdan destek alma gibi durumlar ile karşılaşılabilir. Çevrimiçi sınavların güvenilirliğini tehdit eden durumlar aşağıda listelenmiştir (Sindre ve Vegendla, 2015):

1. Kimliğe bürünme: Farklı bir kimlik ile sınava başkasının girmesi.
2. Yardım/İşbirliği: Sınavda yasak olmasına rağmen öğrencilerin diğer adaylardan, dışarıdan ve çalışanlardan yardım alması ya da sınava aykırı işbirlikçi bir çabaya girişmesi.
3. İntihal: Kaynak göstermeden alıntılanan ifadeleri ya da düşünceleri kendine referans göstermesi.
4. İzinsiz yardımcı materyal kullanma: Sınavlarda yasak olmasına rağmen ya da bir kısıtlama olmasına rağmen öğrencinin sözlük, hesap makinesi gibi destek materyallerini kullanması.
5. Zaman ihlali: Öğrencinin izin verilen sürelerden önce sınava başlaması veya kendisine verilen süreyi aşması.
6. Olumlu bir sonuç elde etmek için adayın yalan söylemesi: Gözetmene adayın yalan söyleyerek hasta olduğunu söylemesi ya da bağlantı hatası gibi farklı bir sorunu yaşadığını söyleyerek sınav sonucuna müdahale etmeye çalışması.
7. Soru kaçırmaları: Bazı üniversiteler sordukları soruları farklı dönemlerde tekrar kullanmak için saklarlar. Kimi adaylar sınav sonrası soruları izinsiz edinebilirler. Bazı kurumlarda sınav sorularını yasal olarak erişime açarlar.

Dürüstlük, bireyler tarafından yaşamın tüm alanlarında elde ettikleri bir değer, kazanımdır. Bu değer eğitim kurumlarında karşımıza “akademik dürüstlük” olarak çıkabilmektedir. Eğitim kurumlarında öğrencilere kazandırılan önemli kazanımların başında akademik dürüstlük yer almaktadır (Görmez, 2022). Akademik dürüstlüğü tehdit eden davranışların başında intihal, kopya çekmek, kaynak ve referansları yanlış göstermek, başkalarının fikirlerini çalmak, bireysel çalışmalarda başkalarından destek almak gibi etik olmayan davranışların akademik usulsüzlüğe neden olacağı belirtilmektedir (Özmen, 2020). Tablo 2.’de Akademik dürüstlük kategorisi (St. Petersburg College’den aktaran Boobalan, 2022) yer almaktadır:

Tablo 2. Akademik Dürüstlük Kategorisi (St. Petersburg College’den aktaran Boobalan, 2022)

Akademik Tipleri	Dürüstlük Eylemleri
Hile	- Başkalarının sınavını / ödevini kopyalamasına izin vermek. - Başka bir kişinin sınavını / ödevini kopyalamak. - Başkasının adına sınava girmek. - Sınav esnasında kaynaklara yetkisiz erişim sağlamak. - Eğitmenin izni olmadan sınavlarda / ödevlerde işbirliği yapmak.
Rüşvet	- Geçer not için profesöre rüşvet teklif etmek (Öğrencinin bakış açısı). - Öğrenciden, geçer not vermek için rüşvet almak (profesörün bakış açısı).
Yanlış Beyan	- Yeniden değerlendirme için düzeltilmiş cevapların yer aldığı başka bir cevap kâğıdının gönderilmesi - Akademik Dürüstlük ile suçlandığında profesöre yalan söylemek
Sahtesini Üretme	Projelerin yeterliliklerini karşılamak için veri oluşturma/değiştirme
Tekrarlanan Gönderim	Profesörlerin izni dışında aynı çalışmayı birden fazla farklı ödevler için göndermek.
Akademik Suiistimal	- Sınavdan önce sınav kâğıdına erişim. - Sınavdan önce soru kâğıdının dağıtılması.
İntihal	- Bilginin kaynağı belirtilmeden kopyala yapıştır yapılması. - Araştırma makalelerini yasadışı paralı içerik üreten web sitesi gibi yerlerden satın almak.

ChatGPT

Günümüzde kullanılan teknolojiyi işlevsel duruma getiren yazılımların her geçen gün daha da önemi artmaktadır. Bu yazılımlardan biri de; insanlar tarafından geliştirilen, derin öğrenmeyi kullanan, metin ve içerik üretmek için tasarlanan ve yine insanlar tarafından geliştirilen içerik ve metinlerden ayırt edilemeyecek içerik ve metinler üreten sohbet robotu ChatGPT, Generative Pretrained Transformer (GPT) gelişmiş bir dil modelidir (McGee, 2023; Keskin, 2023). Kasım 2022 tarihinde kullanıma sunulan ve yapay zekâ taban-

lı olan ChatGPT, kullanıcı veri girdilerine tutarlı ve insan benzeri cevaplar oluşturma yeteneği ile kapasitesine sahip bir sohbet robotudur (Lo, 2023). ChatGPT'nin sahip olduğu özellikler aşağıda yer almaktadır (branding.com):

- Soru cevap
- Matematiksel denklem çözümü
- Hata ayıklama
- Metin yazma
- Diller arası çeviri
- Metnin anahtar kelimelerini tespit etme
- Metni özetleme
- Sınıflandırma
- Tavsiyede bulunma

ChatGPT eğitim, akademik yazım, hukuk, sağlık, finans gibi yaşamın birçok alanında kullanılabilir. Özellikle eğitim alanında öğrenenlerin sorularına hızlı yanıtlar vermesi, metinsel ifadeleri bir araya getirme, herhangi bir alanda soru üretme, araştırmalarda kullanımı gibi birçok yeteneklere sahiptir. Yazılım dünyasında yazılımcılara rakip olarak yazılım yazıp hata ayıklayabilmesi, müzikler yazarak bestecileri tehdit edebilmesi, insan zekâsını her an aşması gibi başka yeteneklerde söz konusudur (McGee, 2023). ChatGPT teknolojisi birçok avantaja sahiptir. Bunlardan bir kısmı aşağıda yer almaktadır (Baidoo-Anu, 2023):

Kişiselleştirilmiş Ders: ChatGPT, öğrenenlere bireysel öğrenme gereksinimlerini, ilerlemelerini ve çabalarına dönüt sağlamak için kullanılabilir.

Otomatik Makale Notlandırma: ChatGPT, öğrenci makalelerini değerlendirmede kullanılabilir. Bu amaçla ChatGPT eğitim verisi üzerinde eğitilerek makalelere not verip öğretmenlere daha fazla zaman kazandırabilir.

Dil Çevirisi: ChatGPT, eğitimde kullanılan materyalleri, geliştirilmiş bir dil modeli oluştundan dolayı farklı dillere çevirebilir ve bu çıktıları daha geniş kitleler için erişilebilir hale getirebilir.

Etkileşimli Öğrenme: ChatGPT, sanal ortamda yüz yüze eğitimde benzeri bir etkileşim ortamı oluşturarak öğrenenlerin sanal bir öğretici ile etkileşimini sohbet aracılığıyla gerçekleştirebilir.

Uyarlanabilir Öğrenme: ChatGPT, eğitim ve öğretimde kullanılan strateji, yöntem ve teknikleri öğrenenlerin bireysel performansına ve ilerlemesine göre ayarlayabilir (ChatGPT'ye göre 24 Ocak 2023 aktaran Baidoo-Anu, 2023).

ChatGPT'nin sahip olduğu dezavantajlar ise aşağıda yer almaktadır (Baidoo-Anu, 2023):

İnsan Etkileşimi Eksikliği: ChatGPT ve diğer yapay zekâ modelleri, eğitim öğretim durumlarında öğretene ve öğrenen arasında gerçek bir insan etkileşiminden bahsedilemez. Öğrenenlerin öğrenme arzusuna destek olacak olan bir duygusal bağ, öğrenme çevresi için önemlidir.

Sınırlı Anlama: Yapay zekâ modelleri, girdi olarak aldıkları eğitim verisi üzerinde bir takım sonuçlar üretirler ve bunlar istatistiksel kalıplara dayanmaktadır. Bireyin ihtiyaçlarını karşılamada ve geri bildirimler sağlamada gerçek bir anlayış söz konusu değildir.

Eğitim Verileri: Makine öğrenmesini esas alan modeller, eğitildikleri eğitim verisi önyargılı ise çıktı olarak ta önyargılı modeller üretilecektir.

Yaratıcılık Eksikliği: ChatGPT ve üretken modeller sadece eğitim verisine dayalı yanıtlar üretebilir. Bu durum elde edilen yanıtların yaratıcılığını sınırlayabilir.

Verilere Bağlılık: Yapay zekâyâ dayalı modeller çok büyük miktardaki eğitim verisi üzerinde eğitilir. Eğer veri miktarı yeterli ve araştırılan konuyu kapsıyorsa üretilecek model de kaliteli olur.

Bağlamsal Anlama Eksikliği: Makine öğrenmesine dayalı modeller, kimi zaman ilgisiz ve uygunsuz yanıtlamalarından dolayı durum ve bağlamı anlama becerisinden yoksundurlar.

Öğretimi kişiselleştirme konusunda sınırlı yetenek: ChatGPT ve diğer yapay zekâ modelleri herkes için genel yardım ve bilgi sağlayabilir fakat öğretimi öğrenenlerin bireysel gereksinimlerini karşılayacak düzeyde kişiselleştiremeyebilirler.

Gizlilik: Kullanılan birçok teknoloji gibi eğitimde kullanılan ChatGPT ve yapay zekâ modelleri de veri güvenliği ve gizlilik konusunda endişelere sahiptir.

Genel bir ifadeyle, ChatGPT gibi yapay zekâ modelleri, eğitim ve öğretimi geliştirmek için istifade edilebilen güçlü araçlardır. Bazı sınırlamalarının farkında olmak ve bunları dikkatli bir şekilde birey etkileşimi ve anlayışını vurgulayan, akademik performans ve ilerlemesine destek olabilecek diğer öğretim yöntemleriyle birlikte kullanmak önemlidir (ChatGPT 23 Ocak 2023 aktaran Baidoo-Anu, 2023).

Kavramsal Çerçeve ve Tartışma

ChatGPT'nin olağanüstü yetenekleri ve yapay zekâdaki ilerlemeler eğitim sahasındaki karmaşık görevleri yürütme konusundaki başarısı eğitimcileri endişelendirmektedir (Sallam, 2023; George, 2023; Baidoo-Anu, 2023).

Öğrenenlerin ChatGPT teknolojisini kullanarak sınavlarda ve ödevlerde etik olmayan davranışlar göstermesi de beklenilmektedir. Bu durum diğer öğrenenleri, öğretmenleri ve eğitim kurumlarını ciddi olarak kaygılandırmaktadır.

Literatürde yakın zamanda geliştirilen bir yapay zekâ aracı olan ChatGPT'nin üst düzey bilişsel görevleri yerine getirme ve insan tarafından oluşturulan metinden ayırt edilemeyen metin üretme yeteneğinin değerlendirildiği bir çalışmada, çevrimiçi sınavlarda akademik dürüstlüğü ihmal etme noktasında potansiyel bir tehdit olarak endişeleri artırmaktadır. Yapılan çalışmada yürütülen deneysel kanıtlarda, ChatGPT'nin eleştirel düşünme yeteneklerini sergileyebildiğini ve en az girdiyle son derece mükemmel metinler üretebildiğini ve bu durumundan dolayı yükseköğretim kurumlarında çevrimiçi sınavların akademik bütünlüğünü tehdit ettiği tespit edilmiştir. Sözlü sınavlara ve gözetmenli ortamlara geri dönmenin çözüm oluşturabileceği, gözetmenlik tekniklerinin daha da geliştirilebileceği, hile tehdidine karşı stratejiler geliştirilebileceği ve üretken modellerin metin çıktısı algılayıcılarının bu tür problemlerin çözümünde etkili olabileceği açıklanmıştır. Çalışmanın son kısmında ise eğitimcilere ve kurumlara, ChatGPT'nin bir kopya aracına dönüşebileceği konusunda farkındalık oluşturmaları ve sınav güvenliği ile akademik bütünlüğü koruma açısından engelleyici tedbirlerin alınması önerilmektedir (Susnjak, 2022).

Alkhaqani (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, ChatGPT'nin sağlık bilimleri alanında öğrenim gören öğrenenlerin akademik performanslarını artırabileceği ve deneyimlerine yardımcı olabileceği tartışılmaktadır. Ancak çalışmada teknolojik gelişmeye dayalı bir şekilde yükseköğretim kurumlarında endişelerin varlığı da belirtilmektedir. Çalışmada en temel problem olarak öğrenenlerin intihal potansiyeline sahip olmaları görülmektedir. Her teknolojik gelişmede olduğu gibi yapay zekânın yükseköğretimde kullanımına ilişkin bazı endişeler var. Çalışmada diğer bir problem ise ChatGPT'nin kullanımı ile ilgili teknik bilgi eksikliğidir. Teknik olarak yapay zekâ araçlarının etkin kullanımı için kurumların profesyonel eğitimcilere yatırım yapmaları gerektiği açıklanmıştır. Öğrenenler ChatGPT kullanırken bireysel farklılıklardan dolayı bir takım öğrenme güçlükleri çekebilmektedir. Öğrencilerin ChatGPT'yi etkili ve verimli kullanımı için kurumların pratik eğitimler sağlaması önerilmektedir (Alkhaqani, 2023).

Literatürde, ChatGPT'nin akademik yazım kurallarına uygunluğunu ve bilimsel makale yazma yeteneğinin araştırıldığı bir makalede bulgular akademik dergilerde standartları karşılayan gerekli makaleler üretilmese de gramer yapıya uygun yazılar üretilbildiği tespit edilmiştir. Çalışmada enteresan olan bir durumda makalenin bir kısmının ChatGPT tarafından yazılmış olması ve makalenin kalan kısmının araştırmacılar tarafından revize edilmiş olmasıdır. Çalışmada üretken modellerin insan çalışmalarının yerini almakta ziyade insan çabalarını destekleyen araçlar olduğu belirtilmektedir. Gö-

revleri yazma kalitesini artırmaya ve tamamlamaya yardımcı olabilseler de, eleştirel yazma ve düşünme noktasında insanın uzmanlığının yerini alamazlar. Bundan dolayı, yapay zekânın öngörülen sınırlarını bir araç olarak kabul etmek çok önemlidir (Mijwil, 2023).

İngilizce öğrenen 67 öğretmen adayı üzerinde anket ve röportajlar aracılığıyla elde edilen bir çalışmada akademik sahtekârlık algıları incelenmiştir. Elde edilen bulgularda, üretken model teknolojilerinin bazı öğretmenler arasında öğrenenler için faydalarına yönelik karışık bir algıya işaret ederken; bazı öğretmen adayları avantajları kabul etmekte diğerleri ise bu teknolojinin akademik dürüstlük üzerindeki etkisine ilişkin bir takım endişelerini dile getirmektedir. Öğretmen adayları makineye dayalı teknolojinin öğrenenlerin sahtekârlığa olanak sağlayan akademik dürüstlüğü olumsuz etkilediklerini oybirliğiyle ifade etmektedirler. Çalışma, öğretmenlerin üretken modeller tarafından üretilen ödevleri tespit etmedeki rolünü vurguluyor ve etik sonuçların dikkate alınması ihtiyacını vurgulamaktadır. Bazı öğretmen adayları yapay zekâyla ilişkili akademik sahtekârlığı ortaya çıkarmada zorluklar olduğunu kabul ederken aynı zamanda etkili kullanım için kapsamlı bir eğitim ve desteğe olan ihtiyacı da belirtmektedirler. Çalışmanın sonunda, ilgili kurumlara etik ilkeler ve yapay zekânın eğitimde kullanımı ile ilgili yönergeler geliştirmeleri önerilmektedir (Mohammadkarimi, 2023).

ChatGPT'nin araştırma ve eğitim amaçlı kullanılmasına ilişkin yararları ve risklerinin tartışıldığı bir makalede, ChatGPT'nin pedagojik uygulamayı geliştirmek, öğrenme değerlendirmesi oluşturmak, sanal bireysel ders sunmak, beyin fırtınası yapmak ve bir taslak oluşturmak gibi beş temel faydası olduğunu savunmaktadır. Aynı zamanda dürüst olmayan öğrenme değerlendirmesi, akademik dürüstlük sorunları, yapay zekâyı fazlasıyla güvenme ve yanlış bilgi ile ilgili risklerinden bahsedilmektedir. Çalışmanın son kısmında ise, ChatGPT'nin araştırma ve eğitim amaçlı etkin kullanımı için öneriler sıralanmıştır. Bu önerilerden birincisinde, bazı eğitim kurumları üretken modelleri engellemiş olsa da, ChatGPT aracının araştırma ve eğitimde dikkate alınması gerektiği belirtilmektedir. Araştırmacılar, öğrenenler ve öğreticiler, ChatGPT'den maksimum yararı elde etmek için kullanımının keşfedilmesi gerektiği teşvik edilmelidir. Ancak ChatGPT'nin adil, kapsayıcı, etik ve şeffaf kullanımını garanti altına almak için çok dikkatli olunması belirtilmektedir. İkincisi, öğrencilerin etkinliklerini değerlendirmek için bu teknolojinin kullanılması açısından, eğitim liderlerinin, eğitim politika yapıcılarının ve öğretmenlerin dürüst olmayan öğrenme değerlendirmesini engellemek amacıyla değerlendirme standartlarını tekrar gözden geçirmek için birlikte çalışmaları çok önemlidir. Üçüncüsü, eğitim kurumlarının, üretken modelleri verimli ve etkin bir şekilde kullanabilmeleri için eğitici içerikler geliştirmeleri ve bunları hem öğrenenlere hem de öğreticilere sunmaları, aynı zamanda akademik bütünlüğü sağlamak için adilliği, şeffaflığı ve etiği korumaları önemlidir.

Dördüncüsü, yükseköğretim kurumları ve okulların eğitim seviyesini artırabilmeleri için bu teknolojik uygulamanın eğitime uyarlanması verimliliğini ve etkililiğini daha fazla inceleyen araştırmalar yapılmalıdır. Bu amaçla, ChatGPT gibi üretken modellerin araştırma ve eğitim için maksimum fayda için araştırmalara yönelik daha fazla finansman kullanılabilir hale getirilme-
lidir. Beşincisi, öğrenenler ChatGPT’den çeşitli destekler alırken, daha dikkatli olmaları önerilir. Yapay zekâ tarafından üretilen yanıtların doğruluğundan emin olmak için kontrol, analiz ve düzenleme yapılması faydalı olabilir. Aynı zamanda öğrenenlerin temel noktada avantaj ve dezavantajlar hakkında genel bir bilgilendirmeye sahip olarak, akademik dürüstlük kural ve ilkelerini ile bunların akademik sahtekârlığa yansımalarını önemsemelidir (Sok, 2023).

ChatGPT’nin akademik sahtekârlık amacıyla konular ve makaleler üreten öğrenenler için nasıl kullanılabileceğine ile ilgili soruları sık sık gündeme gelmektedir. Ventayen’in (2023) yaptığı bir çalışmada, ChatGPT’nin, özellikle yükseköğretim ortamlarında, gönderilen makalelerin bütünlüğü açısından bir risk oluşturduğunu tespit etmiştir. Bu çalışmada ChatGPT tarafından üretilen sonuçların benzerlik indeksi Turnitin kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuç olarak oluşturulan makalelerin benzerlik indeksi kurumun standart olarak belirlediği benzerlik indeksini aştığını ve akademik bütünlüğü tehdit ettiğini belirlemiştir. Yükseköğretim kurumu, akademik sahtekârlıkta böyle bir modelin kullanılmasını önlemek için değerlendirme metodolojisini revize edebilir (Ventayen, 2023).

Literatürde akademik dürüstlük rollerinin belirlenmesinde etken olan ChatGPT kullanmaya neden olan motivasyonlar ile benimseme davranışlarının ele alındığı bir çalışmada Academia.edu ve ResearchGate kullanıcılarına yönelik 702 akademik personele anket uygulaması yapılmıştır. Uygulanan ölçek bulgularına göre ChatGPT kullanımının, akademik öz yeterlik, zamandan tasarruf özelliği, e-word, algılanan stres ve akademik öz saygı tarafından olumlu olarak karşılandığı, fakat ChatGPT kullanımında akademik dürüstlük ve akran etkisi açısından olumsuz bir tutum ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, üretken dil modelleri programcıları, yayıncılar ve akademik kurumlar da dâhil olmak üzere tüm paydaşların, araştırma ve akademik çalışmalarda ChatGPT’ye yönelik etik kullanım ile ilgili gerekli yönergeleri saptamak için birlikte çalışmalarını öneriyoruz (Bin-Nashwan, 2023).

Başka bir çalışmada yükseköğretimde yapay zekâ potansiyelini ve gerçek insan öğretmen yerini alma veya onlara destek olma kapasitesi araştırılmaktadır. Çalışma kapsamında Hong Kong üniversitelerindeki öğrenenlerden ve öğreticilerden öğrenme ve öğretmede makineye dayalı yapay zekânın kullanımı ve kullanıcıların algılarına yönelik veri toplamak için çevrimiçi bir anket tasarımı kullanılmıştır. Çevrimiçi ankette ChatGPT’nin yükseköğretime entegre edilmesi, potansiyel riskler ve bunların eğitim öğretime etkilerinin araştırıldığı soru kombinasyonları 384 yüksek lisans ve lisans öğrencileri ile

144 öğretim elemanına uygulanmıştır. Çalışmanın temelinde eğitimcilerin gelişen teknoloji karşısında gelecekteki rolleri hakkında bir bakış açısı vermektedir. Elde edilen bulgularda, bazı katılımcıların ChatGPT'nin eninde sonunda eğitimcilerin yerini alabileceğine inanmasına rağmen, çoğu katılımcı insan öğretmenlerin duygular, eleştirel düşünme ve yaratıcılık gibi yeri doldurulamayan benzersiz özelliklere sahip olduğunu öne göstermiştir. Çalışmada aynı zamanda üretken model teknolojilerinin kopyalayamadığı insan etkileşimleri aracılığıyla geliştirilen sosyal-duygusal özelliklerin önemi de vurgulanmaktadır. Araştırmada elde edilen başka bir bulgu ise, öğretmenlerin ChatGPT'yi bir alternatif olarak görmeden öğrenme ve öğretmeyi geliştirmek için öğretim ortamlarına etkili bir şekilde uyarlayabileceklerini belirtmektedirler. Bu amaçla eğitimcilerin ChatGPT'nin öğrenciler ve öğrenenlerle nasıl iyi çalışabileceğini, potansiyel tuzaklardan sakınmalarını, veri okuma ve ChatGPT okuryazarlığını geliştirmeleri, gizlilik ve etik ve gibi uygulamalı konuları dikkate almaları gerektiği belirtilmektedir. Araştırmada, üretken modeller eğitim ve öğretimde fazla yaygın olsa bile, öğrenenlerin insan eğitimcilere saygı duyduğunu ve değer verdiğini ortaya koymaktadır. Çalışmada aynı zamanda bir yol haritası çizilerek, öğrenenler, öğrenciler ve yükseköğretim kurumları için insan eğitimcilerinin güçlü yönlerini geliştirmek, öğretme becerilerini geliştirmek ve kişisel bağlantıları yapay zekâ teknolojileriyle verimli bir şekilde dengeleyen öğretim süreçlerini tasarlamak önemli rehber görev olarak görülmektedir (Chan, 2023).

Yükseköğretim kurumlarında ChatGPT'yi kullanmanın potansiyel avantaj ve dezavantajları ile ChatGPT'nin araştırma, öğrenme, öğretme ve öğrenci değerlendirmesini araştırmayı amaçlayan başka bir çalışmada Avrupa, Kuzey Amerika ve Asya'nın yükseköğretim kurumlarında çalışan on iki başarılı akademisyen ile yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular ChatGPT'nin öğrenmeyi, eğitimsel üretkenliği, fikir üretimini ve yaratıcılığı artırabileceğini göstermiştir. Ancak ChatGPT'ye aşırı güvenme ve akademik dürüstlük ile ilgili etik esaslar tartışılmaya açılmıştır. Bulgular ayrıca ChatGPT'yi yükseköğretimde kullanmanın politika yapıcılara, araştırmacılara ve eğitimcilere bir iç görüş kazandırılacağı belirtilmektedir. Ayrıca ChatGPT'nin akademik ortamlarda etik ve sorumlu kullanımı sağlamaları tavsiye edilmiştir (Malik, 2023).

Çin akademik ortamlarında, akademik bütünlüğü ve etik standartları korumak için ChatGPT'nin avantaj ve dezavantajlarının araştırıldığı bir çalışmada Çin'de üretilen 40 makale analiz edilmiştir. Bazı yayınlarda öğrencilerin ChatGPT'yi akademik kopya amaçlı kullandıklarından endişe etmişlerdir. Ancak bazı yayınlarda ise ChatGPT kullanmanın akademik çıktıların kalitesini artırabileceklerinden ve akademik ortama entegre edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. ChatGPT'nin sahip olduğu faydalar ve üretken modellerin kullanımının yasaklanmasının neredeyse mümkün olmadığı Çin

akademisinde daha fazla düzenlemeye ihtiyaç olduğu çalışmada vurgulanmıştır. Ayrıca öğretmenlerin ChatGPT'nin etkin ve verimli kullanımı için öğrenenlere rehberlik etmesi gerektiği önerilmiştir (Hung, 2023). Tablo 3.'te Literatürde yer alan bazı yayınların ChatGPT kullanımı ile ilgili analizi verilmiştir.

Tablo 3. ChatGPT'nin Öğretim Ortamındaki Avantaj, Tehdit, Çözüm ve Önerileri

Makale Yazarı	ChatGPT'nin Öğretimdeki Avantajları	Avantajlardan Olası Tehditlerin Ortaya Çıkması	Çözümler	Öneriler
Ssunjak, 2022	- Eleştirel düşünme becerisine sahip olması. - En az girdiyle gerçekçi metinler üretmesi.	Çevrimiçi sınavların bütünlüğüne yönelik bir tehdit oluşturması.	- Sözlü ve gözetmenli sınavlara dönüş yapmak. - Gelişmiş gözetmenlik teknikleri - Yapay zekâ metin çıktısı algılayıcıları - Hile yapma riskine karşı stratejiler geliştirmek.	- Kurumların ve eğitimcilerin, ChatGPT'nin bir kopya aracı olma olasılığının farkında olması. - Sınavların akademik bütünlüğünü koruyacak önlemlerin araştırması.
Alkhaqani, 2023	- Öğrenenlerin öğrenme deneyimlerini geliştirmek. - Öğrenenlerin akademik performanslarını iyileştirmeye yardımcı olmak.	- ChatGPT'nin kolaylaştırdığı intihal potansiyeli. - ChatGPT'nin etkili bir şekilde nasıl kullanılacağı ile ilgili teknik bilgi eksikliği. - Öğrenenlerin ChatGPT ile iletişim kurmada öğrenme güçlüğü çekmeleri.	- Öğretmenlerin intihal tespit eden yapay zekâ araçlarını kullanarak ilgili yetkililere bildirim yapması. - Kurumların, yapay zekâyı kullanabilecek eğitimli personellere yatırım yapması. - Eğitimciler yapay zekâyı kullanırken öğrenen grubunun çeşitliliğine dikkate almaları.	- Öğretmenler yöneticiler ChatGPT'nin etik, etkili ve en mükemmel özelliklerini keşfederek kullanılmasını sağlamak. - Yöneticiler ve eğitimcilerin dersler de dikkatli bir şekilde yapay zekâ kullanımına karar vermesi.
Mijwil, 2023	- Bilimsel makale üretme. - Akademik yazım kurallarına uygunluk.	Eleştirel düşünme ve insan çabası yerine geçme tehdidi.	Yapay zekânın sınırlarını kabul etmek.	İnsan çabası yerine onu destekleyen bir araç olduğunun farkına varmak.
Mohammadkarimi, 2023	Literatürdeki avantajların kabul görmesi.	Akademik dürüstlüğü olumsuz etkilenmesi.	- Kapsamlı eğitim - Teknik Destek	- Etik ilkeler geliştirilmesi. - Kullanım ile ilgili yönergeler geliştirilmesi.

Sok, 2023	• Pedagojik uygulamayı geliştirmek. • Öğrenme değerlendirme oluşturmak. • Sanal bireysel ders sunmak. • Beyin fırtınası yapmak. • Taslak oluşturmak.	• Dürüst olmayan öğrenme değerlendirme. • Akademik dürüstlük sorunları. • Yapay zekâya fazla güvenme. • Yanlış bilgi.	• Etkin kullanımının keşfedilmesi. • Değerlendirme standartlarının gözden geçirilmesi. • Özetleyici değerlendirmeden ziyade biçimlendirici değerlendirme yapılması.	• Eğitim ve araştırmada dikkate alınması. • değerlendirme standartlarını gözden geçirmek. • Eğitici içerikler geliştirmek. • ChatGPT'nin eğitimde verimli kullanımı için araştırmalar yapılması. • Elde edilen yanıtların doğruluğu için kontrol mekanizmalarının devreye alınması.
Ventayen, 2023	• Akademik makale üretme	• Akademik sahtekârlık.	• Benzerlik indeksine göre çalışan teknolojilerin kullanılması.	• Kurumların değerlendirme metodolojisini güncellemeleri önerilir.
Bin-Nashwan, 2023	• Zamandan tasarruf sağlama. • Akademik öz yeterlilik. • e-word. • Algılanan stres. • Akademik öz saygı	• Akademik dürüstlük. • Akran etkisi.		• Tüm paydaşlar tarafından ChatGPT'nin kullanımı ile ilgili etik yönergelerin belirlenmesi.
Chan, 2023	• ChatGPT'nin eğitimde etkin kullanılması.	• ChatGPT'nin ileride insan eğitimcilerin yerini alması.	• ChatGPT'nin eğitim ve öğretime etkin bir şekilde entegre edilmesi.	• Eğitimcilerin eğitim öğretim süreçlerinde çok güçlü beceri ve yeteneklere sahip olması önerilir.
Malik, 2023	• Öğrenmeyi artırma. • Eğitimsel üretkenliği artırma. • Fikir üretimini artırma. • Yaratıcılığı artırma.	• ChatGPT'ye aşırı güvenme. • Akademik dürüstlük ile ilgili etik hususlar.	• Yükseköğretimde ChatGPT kullanımı tüm paydaşlara bir iç görüş kazandıracaktır.	• Akademik ortamlarda etik ve sorumlu kullanımı
Hung, 2023	• Akademik çıktılarının kalitesini artırmak.	• Akademik kopya amaçlı kullanmak.	• ChatGPT'nin daha fazla düzenlenmesi.	• Eğitimcilerin ChatGPT kullanımında öğrencilere rehberlik etmesi.

Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışmalarda da tespit edildiği gibi ChatGPT, üretken modeller, yapay zekâ veya makineye dayalı dil modeli şeklinde tanımlanan teknolojik yazılımların özellikle yükseköğretim ortamlarında, eğitim öğretim süreçlerinin yürütülmesinde, akademik yazımlarda, dil becerisi geliştirmede, metin tamamlama çalışmalarında, akademik de-

ğerlendirmelerde çok sık başvuru alan ve faydalarının tartışılmaz olduğu bir gerçektir. Ayrıca makaleler incelendiğinde yüksek öğrenimde cazibesi artan, etkin bir öğrenci katılımı, erişilebilirlik ve işbirliği becerilerini artıran, uygun geri bildirimler sağlayarak, öğrenenlere kendi hızlarında öğrenme ortamı oluşturma potansiyeline sahip olduğu anlaşılmaktadır. Yapay zekâyâ dayalı bu modeller en az girdi ile yüksek tahminlerde bulunma veya sahip olduğu büyük veri miktarını eğiterek, konu ile ilgili sağlıklı çıktılar ürettiği bilinmektedir. Bu özellikleriyle öğrenenler için eleştirel düşünme becerisi kazandırma, gerçekçi metinler üretme yeteneği sağlama, öğrenenlere deneyimler kazandırma, akademik performanslarını geliştirmeye destek olma, eğitimsel üretkenliklerini artırma ve yaratıcılıklarını geliştirmede faydalar sağladığı bilinmektedir.

ChatGPT gibi üretken modellerin ortaya çıkmasının, özellikle yükseköğretim ortamlarında çevrimiçi sınavların her geçen gün giderek yaygınlaştığı, öğrenme yaşantılarının ve öğrenme durumlarının dijitalleştiği günümüzde, ödevler, akademik tezler, etkinlikler ve çevrimiçi sınavlar bağlamında akademik bütünlüğe bir tehdit oluşturduğu belirtilmektedir. Bu durum yükseköğretim kurumları, öğretimci ve öğrenenler tarafından endişe ile karşılanmaktadır. Çünkü bu modeller çok az veri girdisiyle mükemmel metinsel sonuçlar üretebilir, eleştirel düşünceler sergileyebilir, bilimsel makaleler üretebilir, kopya çekmede destek sağlayabilir. Yükseköğretim kurumlarında kopya çekmek, intihale başvurmak, usulsüz akademik tez yazmak gibi akademik dürüstlüğü suiistimal eden etik olmayan davranış örüntüleri öğrenenler arasında rekabetçi, yaratıcı, eleştirel düşünme ve işbirliği becerilerinde bir haksızlık oluşturabilir. Aynı zamanda öğretimci, öğrenenlerin öğrenme alanlarını, eğitsel süreçlerini değerlendirmede zorluklar yaşayabilir. Yükseköğretim kurumları açısından bakıldığında kurumun akademik bütünlüğü sağlamada adil, şeffaf ve dürüst davranmada itibar kaybetmesi de söz konusudur.

Eğitim kurumları bu araçları kullanmanın ortaya çıkarabileceği avantajları, olası riskleri, tehditleri dikkatlice değerlendirmelidir. Tüm paydaşların endişe ettiği hususlarda; gelişmiş gözetmenlik tekniklerini kullanmak, ChatGPT çıktı algılayıcılarını kullanmak, hileye karşı stratejiler geliştirmek, intihali tespit eden alternatif teknolojiler kullanmak, kurumlarda uzman teknologlar bulundurmak, kurum çalışanlarına ve öğrencilere teknoloji okuryazarlık eğitimi sunmak ve ChatGPT gibi teknolojiler için bir farkındalık oluşturmak çözümü mümkün kılabilir.

ChatGPT'yi verimli ve etkin kullanan eğitim kurumları, eğitimciler ve öğrenenler teknoloji kullanmanın oluşturacağı risklerin farkında olarak sorumluluk almaları gerekmektedir. Teknoloji kullanımındaki tüm paydaşlara bazı önerilerin sunulmasında fayda vardır. Yükseköğretim kurumları, teknoloji kullanımı ile ilgili olası riskler için önleyici tedbirler alması, hizmetiçi eğitimler vermesi, uzman personel bulundurması ve akademik dürüstlük ile

ilgili etik ilkeler ve prosedürler belirlemeleri beklenmektedir. Öğretenler ise teknoloji kullanımında öğrenenlere rehberlik etmesi, eğitim öğretim süreçlerinde teknoloji kullanımında daha dikkatli olmaları gerekmektedir. Öğrenenler açısından bakıldığında, akademik sahtekârlığın farkında olmaları, çevrimiçi uygulamalarda teknolojiyi eğitsel amaçlı kullanmaları, kurumların ve öğretmenlerin talimatlarına uymaları önerilir.

Gelecek çalışmalar için araştırmacılara; ChatGPT ve benzeri teknolojilerin kullanımındaki akademik dürüstlüğü araştırmak için nitelik ve nicelik bakımından literatürde yer alan daha çok yayın çalışmaya dâhil edilebilir. Anket çalışması yapılarak tüm paydaşların görüşlerine başvurulabilir.

KAYNAKÇA

- Alkhaqani, A. L. (2023). ChatGPT and academic integrity in nursing and health sciences education. *J Med Res Rev*, 1(1), 5-8.
- Arslan, K., & Yetgin, G. (2020). Çevrimiçi değerlendirme sistemlerinin eğitimde kullanımı: bir içerik analizi. *Turkish Studies*, 15, 2.
- Ayoub/Al-Salim, M. I., & Aladwan, K. (2021). The relationship between academic integrity of online university students and its effects on academic performance and learning quality. *Journal of Ethics in Entrepreneurship and Technology*, 1(1), 43-60.
- Baidoo-Anu, D., & Ansah, L. O. (2023). Education in the era of generative artificial intelligence (AI): Understanding the potential benefits of ChatGPT in promoting teaching and learning. *Journal of AI*, 7(1), 52-62.
- Balta, Y., & Türel, Y. K. (2013). Çevrimiçi Uzaktan Eğitimde Kullanılan Farklı Ölçme Değerlendirme Yaklaşımlarına İlişkin Bir İnceleme. *Electronic Turkish Studies*, 8(3).
- Bin-Nashwan, S. A., Sadallah, M., & Bouteraa, M. (2023). Use of ChatGPT in academia: Academic integrity hangs in the balance. *Technology in Society*, 102370.
- Boobalan, S., & Jain, A. (2022). Academic Dishonesty During The COVID-19 Pandemic: Causes and Consequences.
- Chan, C. K. Y., & Tsi, L. H. (2023). The AI Revolution in Education: Will AI Replace or Assist Teachers in Higher Education?. *arXiv preprint arXiv:2305.01185*.
- Çivril, H., & Aruğaslan, E. (2023). A Study on Face-to-Face Exam Experiences of Distance Education Students. *The Journal of Limitless Education and Research*, 8(1), 117-157.
- George, A. S., George, A. H., & Martin, A. G. (2023). The Environmental Impact of AI: A Case Study of Water Consumption by Chat GPT. *Partners Universal International Innovation Journal*, 1(2), 97-104.
- Görmez, E., & Merey, Z. (2022). Ortaokul öğrencilerinin akademik dürüstlük değeri hakkındaki görüşleri. *Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi*, 17(33), 160-177.
- Güvendir, M. A., & Özkan, Y. Ö. (2021). Uzaktan Eğitimin Değerlendirmeye Yansımaları: Çevrim İçi Sınavlar mı Sınıf İçi Sınavlar mı?. *Journal of Digital Measurement and Evaluation Research*, 1(1), 22-34.
- Hung, J., & Chen, J. (2023). The benefits, risks and regulation of using ChatGPT in Chinese academia: A content analysis. *Social Sciences*, 12(7), 380.
- Keskin, E. K. (2023). Yapay Zekâ Sohbet Robotu ChatGPT ve Türkiye İnternet Gün-
deminde Oluşturduğu Temalar. *Yeni Medya Elektronik Dergisi*, 7(2), 114-131.
- Lo, C. K. (2023). What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature. *Education Sciences*, 13(4), 410.
- Malik, A., Khan, M. L., & Hussain, K. (2023). How is ChatGPT transforming academia?

- Examining its impact on teaching, research, assessment, and learning. *Examining its Impact on Teaching, Research, Assessment, and Learning* (April 9, 2023).
- McGee, R. W. (2023). Is chat gpt biased against conservatives? an empirical study. *An Empirical Study* (February 15, 2023).
- McGee, R. W. (2023). What Are the Top 20 Questions in Philosophy? A ChatGPT Reply. *A Chatgpt Reply* (April 9, 2023).
- Mijwil, M. M., Hiran, K. K., Doshi, R., Dadhich, M., Al-Mistarehi, A. H., & Bala, I. (2023). ChatGPT and the future of academic integrity in the artificial intelligence era: a new frontier. *Al-Salam Journal for Engineering and Technology*, 2(2), 116-127.
- Mohammadkarimi, E. (2023). Teachers' reflections on academic dishonesty in EFL students' writings in the era of artificial intelligence. *Journal of Applied Learning and Teaching*, 6(2).
- Sallam, M. (2023). The utility of ChatGPT as an example of large language models in healthcare education, research and practice: Systematic review on the future perspectives and potential limitations. *medRxiv*, 2023-02.
- Sindre, G., & Vegendla, A. (2015). E-exams versus paper exams: A comparative analysis of cheating-related security threats and countermeasures. In *Norwegian Information Security Conference (NISK)* (Vol. 8, No. 1, pp. 34-45).
- Sok, S., & Heng, K. (2023). ChatGPT for education and research: A review of benefits and risks. *Available at SSRN 4378735*.
- Susnjak, T. (2022). ChatGPT: The end of online exam integrity?. *arXiv preprint arXiv:2212.09292*.
- Özmen, S., & Yurttaş, A. (2020). Hemşirelik öğrencilerinde akademik usulsüzlük. *Türkiye Biyoetik Dergisi*, 7(1), 21-28.
- Tomas, C., Borg, M., & McNeil, J. (2015). E-assessment: Institutional development strategies and the assessment life cycle. *British Journal of Educational Technology*, 46(3), 588-596.
- Ventayen, R. J. M. (2023). OpenAI ChatGPT generated results: Similarity index of artificial intelligence-based contents. *Available at SSRN 4332664*.



TÜRKİYE’DE ARAZİ TOPLULAŞTIRMA PROJELERİNİN KIRSAL KALKINMA AMAÇLI YAPILMASI GEREKLİLİĞİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

“ ”

Şaban İNAM¹
Halil Burak AKDENİZ²

1 Dr. Öğr. Üyesi Şaban İNAM, Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, sinam@ktun.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-9101-6109

2 Araş. Gör. Halil Burak AKDENİZ, Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, hbakdeniz@ktun.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-9504-051X

GİRİŞ

Kırsal kalkınma, yalın haliyle “kırsal alanda yaşayan nüfusun yaşam standartlarının yükseltilmesi, iktisadi faaliyetlerin geliştirilmesi ve doğal çevrenin korunmasına yönelik faaliyetler” olarak ifade edilirken (Vitikainen, 2004); en genel anlamıyla ise kırsal alanlarda yaşayan bireylerin sosyal, kültürel ve ekonomik şartlarının iyileştirilmesi, tarım ve hayvansal üretime yönelik faaliyetlerin desteklenmesi ve doğal çevre ile kültürel değerlerin korunarak gelecek nesillere aktarılmasını amaçlayan arazi yönetimi kararları ve uygulamalarının bütünü olarak tanımlanabilir. Bu anlamda kırsal kalkınma; küçük toplulukların ekonomik, toplumsal ve kültürel koşullarını iyileştirme çabalarının devletin politikalarıyla bütünleşmesi, bu toplulukların ulusal yapıyla kaynaştırılması ve kalkınma sürecine etkin biçimde katılımının sağlanmasıdır. Kırsal kalkınma hedeflerine ulaşmak ise çok aktörlü ve disiplinler arası bir yaklaşımı; doğal ve yapay tüm potansiyel unsurların eşgüdümlü kullanımını gerektirir (Lazíková ve Lazíková, 2018).

Arazi toplulaştırma (AT) projeleri, bu süreçte “birleştirici proje” niteliğiyle kırsal kalkınmaya katkı sunan önemli araçlardan biridir. AT projeleri yalnızca tarım parsellerinin modern tarım işletmeciliği ilkelerine göre yeniden düzenlenmesiyle sınırlı olmayıp; aynı zamanda yerel potansiyellerin harekete geçirilmesi, toplumsal hizmetlerin geliştirilmesi ve insan kaynaklarının güçlendirilmesi açısından da önem taşımaktadır (Akdeniz vd., 2022; Akdeniz vd., 2023; Bengin ve Acar, 2018; Çay ve Sözen, 2023).

Türkiye’de ise AT projeleri çoğunlukla dar kapsamlı bir anlayışla uygulanmaktadır (Acar ve Akdeniz, 2023). Tarımsal faaliyetlere ekonomik açıdan imkân tanımayan, parçalanmış ve düzensiz geometrik yapılara sahip parsellerin bir araya getirilmesi, yol ve sulama ağıyla donatılması ve tarla içi geliştirme hizmetleriyle düzenlenmesi AT’nin ana hedefi olarak görülmektedir. Halbuki, kırsal alanda kurumsal etkileşim içerisinde yapılacak geniş tanımlı AT projeleriyle, bütünlük bir kırsal kalkınma altyapısının (sisteminin) oluşturulması gerekmektedir (Acar ve Bengin, 2018; Çay ve Acar, 2025; Çay vd., 2025).

Bu çalışma, arazi toplulaştırma projelerinin Türkiye’nin kırsal kalkınmasına olan katkılarını çok boyutlu bir bakış açısıyla incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada öncelikle kırsal alanlardaki mevcut arazi durumu ve temel sorunları ortaya konulacaktır. Ardından, arazi toplulaştırma uygulamalarının kırsal kalkınmaya sağlayabileceği ekonomik, yönetsel ve sosyo-kültürel etkiler ayrıntılı olarak değerlendirilecektir. Böylece, arazi toplulaştırmasının yalnızca tarımsal üretim verimliliğini artıran bir teknik müdahale değil, aynı zamanda kırsal kalkınma politikalarının etkin bir bileşeni ve sürdürülebilir kırsal gelişim için vazgeçilmez bir araç olduğu ortaya konulacaktır.

MATERYAL METOT

Bu çalışmada, kırsal alanlardaki arazilerin mevcut durumu ve karşılaşılan sorunlar ele alınarak, arazi toplulaştırma projelerinin bu sorunların çözümüne ve kırsal kalkınmaya katkısı incelenmiştir. Araştırmada nitel yöntem benimsenmiş ve yöntem olarak doküman analizi tekniği kullanılmıştır. Bu kapsamda, ilgili strateji belgeleri, yasal düzenlemeler, akademik çalışmalar ve teknik raporlar sistematik biçimde analiz edilmiştir. Bu yaklaşım, arazi toplulaştırmasının Türkiye'nin kırsal kalkınma stratejilerindeki rolünün bütüncül bir çerçevede değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

BULGULAR

Bu bölümde ulaşılan bulgular, kırsal alandaki mevcut arazi sorunlarını ve bu sorunlara yönelik çözüm aracı olarak arazi toplulaştırmasının kırsal kalkınmaya etkilerini kapsamaktadır. İnceleme hem yapısal sorunlara hem de toplulaştırmanın ekonomik, yönetsel ve sosyo-kültürel katkılarına ilişkin bulguları içermektedir.

Kırsal Alandaki Arazilerin Kullanım Durumu ve Verimliliği

5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanım Kanunu'nda *“Mineral ve organik maddelerin parçalanarak ayrışması sonucu oluşan yeryüzünü ince bir tabaka halinde kaplayan, canlı ve doğal kaynak; tarım arazisi toprak, topografya ve iklimsel özellikleri tarımsal üretim için uygun olup, halihazırda tarımsal üretim yapılan veya yapılmaya uygun olan veya imar, ihya, ıslah edilerek tarımsal üretim yapılmaya uygun hale dönüştürülebilen arazi”* olarak tanımlanan toprak; aynı zamanda “bitki örtüsünün beslendiği kaynakların ana deposu”, “dünya üzerinde yaşamın devam etmesi için gerekli olan üç kaynaktan birisi” ve “üzerinde yaşayan canlılara hava, su, mineral ve çeşitli besin maddelerini sağlayan, onlara uygun bir yaşam alanı sunan tabiat örtüsü” olarak kabul edilir. Buradan hareketle, kırsal mekânda yer alan arazileri “kırsal kalkınma” konusu kapsamında ve kullanım amaçlarına göre şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Halihazırda tarımsal üretim yapılan araziler; emek ve sermaye kullanılarak ekim-dikim ve bakım faaliyetleri ile tarla, bağ ve bahçe tarımının gerçekleştirildiği araziler;

- Çayır, mera, yaylak ve kışlaklar; insanlar tarafından doğrudan işlenmeyen, doğal bitki örtüsüne sahip olan, hayvan otlatma ve ot elde etme amacıyla kullanılan araziler;

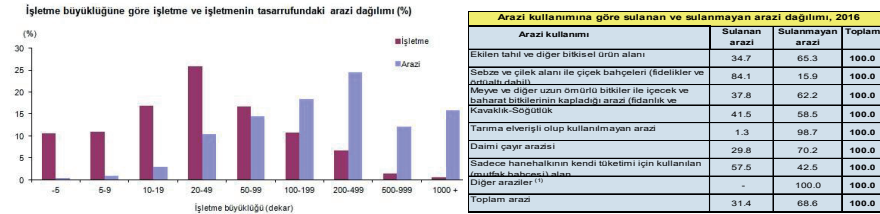
- Tarımsal üretime açılacak araziler; üzerinde halihazırda tarımsal faaliyette bulunulmayan ancak imar ve ihya yoluyla tarıma kazandırılması mümkün, üretime elverişli araziler, olarak arazi kullanımına tahsis edilirler.

Ancak, bir husus vardır ki, Türkiye’de kırsal alanda yer alan bütün arazilerin ‘kamu yararı (ya da üstün kamu yararı)’ kavramı esas alınarak ve mutlak surette “kırsal kalkınma odaklı arazi yönetimi” çalışmaları kapsamında “mekânsal planlama ve taşınmaz geliştirme” işlemlerine konu edilmek suretiyle “potansiyelleri ve kullanım amaçları” doğrultusunda tahsis edilerek optimum verimlilikte toplumsal yaşama araç edilmeli, kamu maliyesine katma değer üreten hale getirilmelidir.

Bu bağlamda, ilçe idari sınırları içerisindeki kırsal alanda yer alan araziler üzerinde önce üst/küçük ölçekte “kırsal kalkınma odaklı reorganizasyon kapsamında ‘verimlilik’ ve ‘fayda-maliyet’ esaslı çalışmalar” ile en uygun yerleşim alanlarının yer seçiminin yapılması, bu yerleşmelerde yaşayacak kırsal nüfusun ve işletmelerin ihtiyaç duyacağı çayır- mera alanlarının planlanması ve ihya edilmesi, ormanlar- korunacak alanlar- sit alanları- sulu ve kuru tarım arazileri gibi unsurların verimlilik esasında en uygun yerlerinin yeniden belirlenmesi” sağlanarak ‘kırsal mekânsal planlama’ çalışmalarının yapılması; akabinde de alt/büyük ölçekte ve öncelikli uygulama etapları halinde “kırsal/tarımsal mekânsal planlama ve arazi kullanım planlaması” yapılarak sonuca gidilmelidir. Bu da ancak ilçe bazında ve kırsal kalkınma odaklı yapılacak “AT ve Tarla İçi Geliştirme Hizmetleri (TİGH) projesi” çalışmaları ile mümkün olacaktır.

Kırsal Alandaki Tarımsal İşletmelerin Durumu

Kırsal alanda yer alan tarımsal işletmeler; “Yasal durumu ne olursa olsun, sahip olduğu, ortakçılık, yarıcılık ya da kiralama şeklinde işlediği arazinin büyüklüğüne bakılmaksızın kendi adına bitkisel üretim yapan ya da küçükbaş veya büyükbaş hayvan besleyen veya hem bitkisel üretim hem hayvancılık yapan tek yönetim altındaki ekonomik birim” olarak kabul edilir; bu işletmeleri diğer tür işletmelerden ayıran en önemli özellik tarımsal üretimin ihtiyaç duyduğu arazi varlığına sahip olmasıdır. TÜİK’in 2016 yılı verilerine göre yapmış olduğu Tarımsal İşletme Yapı Araştırmasına göre; tarımsal işletmelerin %25,9’u 20-49 dekar arası arazi varlığına sahip iken, işletmelerin %24,5’u 200-499 dekar arası arazi varlığına, işletmelerin %80,7’sinin 100 dekardan küçük arazi varlığına sahip olduğu (Şekil 1) görülmektedir (Şenol, 2018).



Şekil 1. İşletme büyüklüklerine göre arazi dağılımı ve sulanma durumu verileri (Şenol, 2018)

TÜİK 2016 verilerine göre tarımsal işletmelerin tasarrufundaki arazilerin %97,1'inin tarımsal amaçlı kullanıldığı, bu arazilerin %31,4'ünde sulu tarım yapıldığı ifade edilmiştir. Bu verilere göre, Türkiye'de kırsal alanların mevcut üretim potansiyelleri ve kırsal kalkınma parametreleri dikkate alınmak suretiyle, AT ve TİGH projeleri kapsamında yeniden mekânsal planlama çalışmalarına konu edilmesi gerektiği söylenebilir.

Tarım Arazilerinin Parçalık Durumu

Türkiye'de kullanılabilir tarım arazileri varlığı dikkate alındığında; 1928 yılında 6,6 milyon hektar alanda tarım yapılmakta iken bu oranın 1950 yılında 25,3 milyon hektara, 1980'lerin sonunda yaklaşık 28 milyon hektara ulaştığı; TÜİK tarafından 2016 yılında yapılan tarımsal işletme yapı araştırmasında “işletme başına düşen tarım parseli sayısı 5,9 adet iken ortalama parsel büyüklüğünün 12,9 dekar olduğu” belirtilmiştir. Buradan hareketle,

- Ülkemizdeki parçalı tarım arazilerinin kontrolsüz bir şekilde küçülme-ye devam ettiği,

- Yürürlükteki mevzuatlarımızda (Medeni Kanun, Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu gibi) bu arazi küçülmesinin engellenmesi için yasal hükümler yer almasına rağmen, yaşanan süreç ve sosyolojik tabanlı gerekçeleri içerisinde tarım arazilerinde “ekonomik bir işletmeciliğe imkân vermeyecek şekilde” parçalanma eğiliminin halen de devam ettiği (Arıcı vd., 2014);

- Bu olumsuzluğu gidermenin ve tarımsal üretimde sürdürülebilirliği sağlamanın en etkin yolunun kırsal kalkınma odaklı çalışılacak “AT ve TİGH projeleri kapsamında tarım parsellerinin birleştirilmesi (toplulaştırılması)”, “toprak ve su kaynaklarının korunması ve verimli kullanımın sağlanmasının planlanması” ve “arazi kullanım (bitki deseni) planlaması” olduğu söylenebilir.

Tarım arazileri ile ilgili bir diğer sorun da ‘paylı mülkiyet kullanımı’ sorunudur. Küsek ve diğerleri (2015) tarafından yapılan bir çalışmada; 24 milyon hektar tarım alanında 40 milyonun üzerinde hisse bulunduğu, buna göre her bir tarım işletmesinin ortalama 13 paydaşa ait arazileri işlediği, çoklu paylı tarım parsellerinde hem toprağı işleyenlerin hem de büyük çoğunluğu kentlerde yaşayan paydaşların mağdur olup beklenen faydaların yeterince alınamadığı, miras ile parçalanmanın ve kontrolsüz parsel hisse satışlarının “kamu yatırımlarını ve tarımsal bütünlüğü” bozucu etki yarattığı ifade edilmiştir.

Kırsal Nüfus, Tarımsal İşletmeler ve Endüstriyel Üretim Planlaması

Türkiye'nin kırsal kesimde yaşayan genç/aktif nüfusun sosyolojik tabanlı gerekçeleri içerisinde sürekli ve artan bir ivme ile kentsel alanlara göç etmiş; 1955 yılında ülke nüfusunun %79,9'u kırsal alanda ve tarımsal üretimle işti-

gal ederken, bu oran 2000 yılında %35,1'e, 2019 yılı sonunda %5,8'e düşmüştür. Kırsal alandaki plansız kullanım ya da yetersizlikler nüfusun sayısal olarak azalmasına ve nitelikli işgücünün kaybına sebep olmuştur. Buna karşın, kentsel alana göç eden nüfus, alternatifinde yer alan endüstri ve hizmetler sektöründe yeterli düzeyde istihdam edilememiştir. Bu durum, kırsal kesimde işgücü ve tarımsal üretim verimliliğinin düşmesine sebep olurken, birey ve işletme bazında yeterli ekonomik gelir sağlanamadığı için kırsal kalkınmanın aleyhinde oluşumların (arazilerin bölünerek satılması, terk edilmesi, kiraya verilmesi vb.) önünü açmıştır (Arıcı vd., 2014). Bu tür olumsuzlukları gidermenin (ya da en aza indirmenin) en etkin yolu "kırsal alanda nitelikli üretim ve arazi kullanım planlaması yapmak suretiyle güçlü tarım işletmeleri oluşturmak, gelir ve istihdam artırıcı alternatifler üreterek kırsal ekonomiyi çeşitlendirmek, istihdamı ve üretimi desteklemek" olacaktır (TUİK, 2020).

Kırsal Alanda Teknik Altyapı Çalışmalarından Kaynaklı Kadastro Fen Arşivi ve Tapu Sicili Verilerinde Yaşanan Teknik Sorunların Mülkiyeti Kullanıma Olumsuz Etkileri

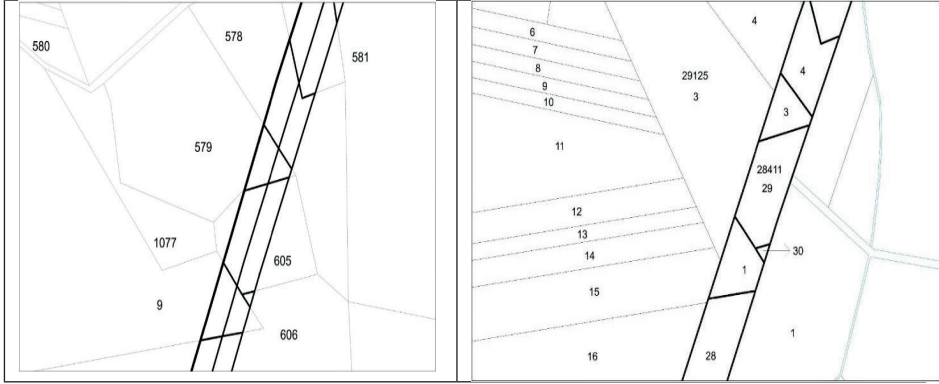
Günümüzde kamu kurum ve kuruluşları tarafından yürütülen teknik altyapı projelerinin önemli bir bölümünü ulaşım ve su ağları ile enerji, içme suyu, kanalizasyon, iletişim, petrol ve doğal gaz hatları oluşturmaktadır. Bu projeler, kentsel ve kırsal alanların ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla belirli bir noktadan diğerine ulaşım veya iletim sağlamaktadır. Kamu kurum ve kuruluşlarının bu tür projeleri gerçekleştirebilmesi için, boyutları ve standartları ilgili hukuki mevzuatla belirlenen tesis alanlarının "daimi kamulaştırma" yoluyla edinilmesi ya da yerüstü ve yeraltındaki projeli hatlar için "irtifak (kullanma) hakkı" kamulaştırmasının yapılması gerekmektedir. Aynı yerde ama kendi amaçları doğrultusunda hizmet üreten birimler/kurumlar arasında eşgüdüm içinde ve bir koordinasyon altında yürütülmeyen bu tür projelendirmelerde tesis yerinin veya hattın isabet ettiği tarım parsellerinde istem dışı bölünmeler ya da tahsisler neticesinde "tarım yapmaya elverişli olmayan küçük ve bozuk geometriye parseller" oluşabilmekte (Şekil 2); hele bir de pafta-zemin uyumuğunun olmadığı ya da tapu sicili verileri bakımından mülkiyeti kullanım sorunu yaşanan parsellerde sorunlar daha da karmaşık hale gelebilmektedir (Aktaş ve İnam, 2024).

Böylesi sorunların yaşanmaması ya da mevcutta var olan "kadastro fen arşivi ve tapu sicili verilerinde yaşanan teknik içerikli sorunların giderilmesi" adına; tesisli teknik altyapı projelerinin ilçe/bölge düzeyinde ve kırsal kalkınma odaklı çalışılması suretiyle AT ve TİGH projeleri bütününde ele alınmasında 'üstün kamu yararı' olacaktır.

Kırsal Nüfusun Düzensiz Demografik Yapısı

Türkiye'de kırsal yerleşmelerde yaşayan nüfus geçmişte ataerkil aile yapısından aldığı güç ile toplumsal yaşam standartlarında yeterli düzeyde zen-

ginliğe sahip olup sergilediği yaşam tarzından mutlu iken; günümüzde hızlı nüfus artışı, kimlik erozyonu, tarım alanlarının miras yoluyla küçük parçalara ayrılması, tarımda makineleşme ile işsizliğin oluşması, merkezi yönetimin ‘endüstriyel alanlar ve insan kaynakları’ planlamasında yetersiz kalınması, kırsalda eğitim- sağlık- altyapı hizmetlerinin sınırlı oluşu, yaşanan iç güvenlik sorunları, iklim ve coğrafi şartların yaşattığı yaşamsal olumsuzluklar, sektörel dağılımda iş imkanlarının sınırlı olması vb. sebepler içerisinde kırsalda yaşayan nüfusun demografik yapısı bozulmuştur (Partigöç, 2018). Günümüz kırsal yerleşmelerinde yaşayan nüfus, her geçen gün sayısal olarak varlığını ve etki değerini kaybetme eğilimi içerisinde “iş gücünden düşen, üretkenlik özelliğini ve beklentilerini yitiren” yaşlı nüfusa dönüşmüştür.



Şekil 2. Örnek bir AT ve TİGH Projesine ait “düzenleme öncesi (soldaki plan)” ve “düzenleme sonrası (sağdaki plan)” kadastro haritalarında parsellerin parçalanma durumu (Aktaş ve İnam, 2024).

Ülkemizde Cumhuriyet döneminde kırsal kalkınma alanında birçok çalışma yapılmasına (Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı-Ulusal Kırsal Kalkınma Stratejisi (2014-2020), Kalkınma Bakanlığı Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018), Kalkınma Bakanlığı On Birinci Kalkınma planı (2019-2023) vb.) ve bu çalışmalarda “kırsal nüfusun demografik yapısının korunması ve geliştirilmesi, düzensiz göçün ve yerleşim yerlerinin dağınıklığının giderilmesine, yoksulluk ve gelir dağılımı düzensizliğinin en aza indirilmesine, çevre düzeni planları kılavuzluğunda kırsal yerleşim planlaması ve uygulamasının yapılmasına vb.” konularda merkezi yönetim birimleri tarafından mevcut sorunların detaylı olarak tespit edilip olası çözüm önerilerinde bulunulmuş olmasına karşın; uygulamada “kırsal nüfusun düzensiz demografik yapısının iyileştirilmesine/planlamasına yönelik henüz yeterli aşamaya ulaştığımız söylenemez.

Kültür ve Tabiat Varlıkları ile Habitat Alanlarının Durumu

Kırsal kalkınma, küçük toplulukların ekonomik, toplumsal ve kültürel koşullarını iyileştirmeye yönelik çabalarının, devletin politikalarıyla bütünleştirilerek ulusal kalkınma sürecine tam katılımın sağlanmasıdır. Bu anlam-

da kırsal kalkınma, salt üretimin ve kişi başına gelirin artırılması demek olmayıp; topyekûn gelişmekte olan bir ülkede, önce “tabiat varlıkları ve habitat alanlarının (ekolojik koridorların, endemik türlerin korunacağı ve gelişme göstereceği alanların, ekolojik turizm alanlarının, jeopark alanların vb.) öncelikle tespit edilip, çevre düzeni planı ile de uyumlu olacak şekilde koruma amaçlı planlama çalışmalarına” konu edilmeli; sonrasında da “ekonomik ve sosyokültürel yapının geliştirilmesi” olarak algılanmalıdır.

Bu bağlamda, kırsal alanda yapılacak arazi toplulaştırma projeleri “yerel zenginlik olarak kabul edilen potansiyel varlıkların disiplinler arası (multidisipliner) çalışmalar ile bütünleştirilmek” suretiyle çok amaçlı projeler halinde kırsal kalkınmaya destek olunmalıdır.

Tescil Harici Alanların Kayıt Altına Alınması ve Kamuya Kazandırılması

Yürürlükteki 3402 sayılı Kadastro Kanunu’muz gereğince, ülke topraklarının tümünün tespit ve sınırlandırılması yapılarak kayıt altına alınması ve ekonomiye (kamu maliyesine) kazandırılması gerekmektedir. Bu nedenle, “09.07.1987 tarihli Kadastro Kanunu’nun yürürlüğe girmesinden önce yapılan tapulama veya kadastro çalışmalarında tespit dışı bırakılan kamu kurum ve kuruluşlarına ait yerler” ile “Devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan veya maliye hazinesinin senetsiz olarak tasarrufunda bulundurduğu yerlerin” idari yoldan tescili Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü’nün sorumluluğu altında önce tespit ve tescil çalışmalarına, sonrasında da kırsal alanda arazi toplulaştırması gibi ‘kamu yatırımı’ içerikli proje çalışmaları kapsamında kamu maliyesine katma değer üretecek şekilde kullanılmalıdır. Türkiye genelinde 31.12.2014 tarihi itibarıyla Devletin hüküm ve tasarrufu altındaki taşınmazlardan işlem görenlerin sayısı 95.877 adet olup, bunların toplam yüzölçümü 9.691.854.105,00m²’dir (Tablo 1).

Tablo 1. Hazine adına kayıtlı taşınmazların tiplerine göre dağılımı (Milli Emlak Genel Müdürlüğü, 2015)

Taşınmazın tipi	Adedi	Toplam adet içindeki payı (%)	Yüzölçümü (m ²)	Toplam yüzölçümü içindeki payı (%)
Tescilli	3.749.420	95,1	229.418.731.608	93,4
Devletin hüküm ve tasarrufu altında	95.877	2,4	9.691.854.105	3,9
Hazine ile ilişkili	97.627	2,5	6.609.727.256	2,7
Toplam	3.942.924	100,0	245.720.312.968	100,0

Türkiye’de Tarım Arazilerinin Amaç Dışı Kullanımı Sorunu

Tarım arazilerinin amaç dışı kullanımı veya boş tutulması, tarımsal üretimde sürdürülebilirliği ve tarımsal üretim politikalarını olumsuz yönde et-

kilemektedir. Her ne kadar merkezi yönetimin ürettiği “ekilmeyen arazilerin Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından resen kiraya verilmesi” gibi alternatif politikalar olsa da Türkiye’de bugüne kadar izlenen politikaların etkisiyle tarım arazilerinin tarım dışı kullanımı önemli bir sorun olarak varlığını korumaktadır. Son 25 yılda nüfusumuz %40 artarken, tarım alanlarımız %14 azalmış; 28 milyon hektardan 24 milyon hektara düşmüştür (Akdeniz vd., 2023).

Özellikle büyük kentlerin çeperinde yer alıp imar planı ile yapılaşmaya açılan (araziden imarlı arsaya dönüştürülen) verimli tarım arazilerinin amaç dışı kullanımı; sanayi, ulaştırma, madencilik ve turizm amaçlı kamu yatırımları ile her geçen gün artma göstermektedir. Bu kapsamda, Kalkınma Bakanlığı Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018) Tarım Arazilerinin Sürdürülebilir Kullanımı Çalışma Grubu Raporu (2014) verilerine göre, tarım arazilerinin tarım dışı kullanımına yönelik sektörel bazlı değerler, sanayi amaçlı 22,4 bin hektar, konut amaçlı 12,4 bin hektar, madencilik amaçlı 7,9 bin hektar, turizm amaçlı 1,2 bin hektar ve ulaştırma amaçlı 650 hektar olmak üzere toplam 44,5 bin hektar olarak gerçekleştirildiği ifade edilmiştir. Bu nedenle, tarım alanlarımızın daha fazla kaybolmaması ve veriminin yok olmaması için ciddi tarım politikalarının uygulamaya konulması; bunun gereği olarak da “kırsal arazi planlaması (çevre düzeni planı), arazi kullanım planlaması ve toprak amenajmanı projelerinin ciddiyetle hazırlanarak hayata geçirilmesi” gerekmektedir.

Kırsal Alandaki Mevcut Potansiyellerin İlçe Bazında ve Kolektif Olarak Aktif Hale Getirilmesi

Kırsal alanlar, tabiatı gereği tarım ve hayvansal üretimin hâkim olduğu, düşük yoğunluklu nüfusun yaşadığı yerlerdir. Kalkınma Bakanlığı On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) Kırsal Kalkınma Özel İhtisas Komisyon Raporunda (2018) kırsal alanların temel göstergeleri ‘düşük nüfus yoğunluğu’ ve ‘şehir merkezlerine uzaklık’ olarak ifade edilse de; bugüne kadar farklı ülkelerde ve günümüze kadar yaşanan süreçte konu edildiği üzere “gelişen sektörel çeşitliliğin de etkisiyle artan nüfus yoğunluğu, korunarak geleceğe taşınması uygun görülen sosyokültürel özellikler (yerleşim yapılaşma mimarisi, gastronomi, örf- adet vb. folklorik değerler gibi), aile ekonomisi içerikli yerel iktisadi oluşumlar (halı-kilim dokumacılığı, taş ve ahşap işleme, maden işleme gibi), merkezi ve yerel yönetimlerin iktisadi içerikli kalkınma politikaları ve planlamaları vb.” pek çok farklı değişken kırsalı tanımlamada bileşen olarak kullanılmıştır.

Bu kapsamda, kırsal alandaki potansiyellerin ilçe bazında değerlendirilmeye alınıp, kolektif olarak aktif hale getirilmesi ve bunun sürdürülebilirliğini sağlamak gerekir. Bu amaçla, ilçe idare sınırları esas alınarak, 1/100 000 ölçekli Mekânsal Strateji Planı ve Çevre Düzeni Planı kararlarının dikkate alındığı kırsal kalkınma odaklı yapılacak etkileşimli AT ve TİGH proje çalışmaları; projenin onay mercii İlçe Kaymakamlığı, projenin bütçesi/finans-

manı ve yönetimi/takibi/kurumsal koordinasyonu İl Valiliği (Yatırım İzleme Koordinasyonu Başkanlığı), sorumluluğunda olmak üzere yürütülmeli; bu koordinasyon içerisinde köy/mahalle biriminde sahaya uygulanacak olan AT ve TİGH projesinin planlama ve değerlendirme sürecinde mutlaka kırsal yaşam standartlarının yükseltilmesi ve sürdürülebilir kalkınmanın kesintisiz devamı sağlanmalıdır.

İlçe Bazında Kırsal Alanın Yeniden Düzenlenmesi

Kırsal alan düzenlemesi, teknik olarak “tarım işletmelerine ait arazinin ıslahı, parçalı parsellerin toplulaştırması, yol ve su ağı altyapısını oluşturma, tarla içi geliştirme ve tarımsal faaliyetlerin çeşitlendirilmesi, gerektiğinde köy yerleşim yerlerinin geliştirilmesi ve değiştirilmesi” gibi unsurlar ile sosyolojik ve ekonomik tabanlı “tarımsal yapının ve kırsal yaşam koşullarının iyileştirilmesi, doğal çevreyi ve ekolojik sistemi koruma ve peyzajı geliştirme, sağlıksız çevre koşullarını ortadan kaldırma, tarihi ve kültürel miras alanlarının korunması, turistik ve küçük el sanatları faaliyetlerinin desteklenmesi, tarımsal üretimin ve alanlarının korunması, köy yerleşim konutlarının kırsal mekana uygun olarak düzenlenmesi, eğitim- sağlık- sosyal- kültürel tesisler inşa etme, tarım ürünlerine yönelik üretim- depolama- işleme- pazarlama olanaklarının geliştirilmesi, termal ve kaplıca turizmini geliştirme ve tanıtma, rekreasyon alanları oluşturma” gibi unsurların birlikte ve etkileşimli olarak çalışılmasını gerektirir (Tülek ve Atik, 2013).

Kırsal kalkınma politikaları ile bu politikalara bağlı uygulama araçları, kırsal bölgelerde barınma, çalışma ve sosyo-kültürel yaşam olanaklarının geliştirilmesini ve sürekliliğinin korunmasını hedeflemektedir (Demirel, 2005). Bu bağlamda, kırsal alan düzenlemesi çalışmalarının kırsal kalkınma hedeflerine erişimde önemli bir araç olduğu; bu sürecin de AT ve TİGH projeleri ile bütünlük olarak çalışılabileceği görülmektedir.

İlçe Bazında Kırsal Kalkınma Odaklı, Mevcut Durumu ve Doğal Çevreyi Esas Alan Mekânsal Planlama Yapılması

Yaşamsal döngüde mekânsal ve sosyolojik bir karşılığı olan kırsal alan, bu mekânın çok sektörlü sosyo-ekonomik karakteristiğini yansıtır. Bu nedenle kırsal kalkınma, “tarımsal faaliyetler ile geleneksel yaşam ve üretim ilişkilerinin baskın olduğu, toplumsal ve ekonomik devrimin kentlere göre yavaş ilerlediği, toplumda iş paylaşımının zayıf ama yüz yüze ilişkilerin yapıcı ve egemen olduğu sosyal bir çevreyi oluşturmak” adına salt tarımsal kalkınmayla değil, buna artı olarak “kırsal alanda yoksulluğun giderilerek yaşam standartlarının iyileştirilmesi, dengeli gelir dağılımının sağlanması, kırsal nüfusun yaşam kalitesini geliştiren toplumsal- kültürel- ekonomik bir sürecin hakim kılınarak kırdaki nüfusun yerinde kalkındırılması” adına teknik-ekonomik- sosyolojik tabanlı çok yönlü (bütüncül) bir mekânsal planlama yaklaşımının esas alınmasını gerektirir (Mansberger ve Walter, 2017). Nite-

kim, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı- Ulusal Kırsal Kalkınma Stratejisi (2018-2022) belgesinde ‘Tarımsal Altyapı ve Kırsal Kalkınma’ başlıklı 4’üncü hedefin amacı, “kırsal ekonomiyi geliştirmek, kırsal alanların tarımsal, sosyal ve fiziki altyapısını iyileştirmek” olarak özetlenmiştir.

Buradan hareketle, geniş anlamda yapılacak bir AT ve TİGH proje çalışmasında; parçalı, dağınık ve şekilleri bozuk arazi parçalarını uygun biçimde düzenlemenin yanı sıra, işletmeciliği ekonomik ve kolay biçime getirmek amacıyla arazilere yol ve su ağının oluşturulması; tarım parsellerinden en üst düzeyde yararlanmak amacıyla sulama- drenaj- arazi tesviyesi ve ıslahı- toprak korunmasının yapılması; üreticilerin yaşam şartlarının iyileştirilmesi amacıyla köy yerleşim yeri yenilemesi, köy gelişme alanlarının belirlenmesi ve köy yerleşim yeri imar planlarının yapılması, kırsal görünüm ve doğal çevrenin iyileştirilmesi için mekânsal planlama çalışmalarının sürdürülebilir biçimde yapılması; devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan tescil hariçi yerlerin ‘proje planlama- geliştirme’ çalışmalarına konu edilerek “tarımsal üretim yapılabilir arazi miktarının arttırılması” gibi bütün kültür teknik önlemlerinin alınması sağlanmalıdır.

Arazi Toplulaştırmasının Toplumsal Huzur ve Olası Sınır Anlaşmazlıkları Üzerine Etkisi

Kırsal kalkınma odaklı yapılacak AT projesi çalışmaları; sosyal adalet ve değer eşitliğinin sağlanmasına katkı verip, güncel olmayan tapu sicilinden kaynaklı mülkiyeti kullanım sorunlarına çözüm getirir. Çok amaçlı yapılan AT çalışmalarında, arazi kullanımında dezavantajlı grupların haklarını korunur, kayıt dışı kullanımlar ortadan kaldırılır; toplumsal denge ve yaşayan nüfusun sosyal uyumu sağlanır; proje bileşeni olan kurumların katılımcı yaklaşımları ve yürütülen şeffaf süreçlerle toplumun çeşitli kesimlerinin arazi yönetimi süreçlerine dahil edilir.

Kırsal alanda arazi mülkiyeti ve toprağa olan sahiplenme duygusu çok değer verilen bir olgudur. Bu nedenle kırsal alanda arazi sahipleri arasında sınır ihtilafları ile yol ve sulama sistemlerinin kullanımına ilişkin anlaşmazlıkların sıkça yargıya taşındığı görülmektedir. AT, bu tür uyuşmazlıkların azaltılmasında ve dolayısıyla sosyal huzurun güçlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Arazi Toplulaştırmasının İşletme Gelirleri Üzerine Etkisi

İşletmeler açısından tarımsal üretimde en önemli ölçüt, en az maliyetle en yüksek verimin sağlanmasıdır. İşletmeler tarafından tarımsal üretim faaliyetlerinde kullanılan mekanizasyon, toplam tarımsal üretim girdilerinin yaklaşık %40-50’sini oluşturur. Bu anlamda, AT projesi kapsamında işletmeler bakımından en uygun hale getirilen tarım parsellerinin “dağılımı, geometrisi, büyüklüğü, yol ve sulama ağından faydalanabilir olması vb.” kul-

lanım özellikleri, mekanizasyonda da maliyetlerin önemli ölçüde düşmesini sağlar.

Bunun yanı sıra, AT ve TİGH çalışması neticesinde “işletme merkezlerinin tarlalara olan uzaklığının azalması, tarım parsellerinin korunması için alınan tedbir maliyetinin azalması, işgücü ve zamandan sağlanan ekonomi, işletmenin net arazi kullanım alanının artmasına bağlı üretim artışı, maki-neleşmede yatırım maliyetinin düşmesi vb.” unsurlar; işletmelerin üretim maliyetinin düşmesine, net gelirlerinin artmasına neden olacaktır (Engindeniz, 2012). Nitekim, Oğuz ve Bayramoğlu (2004) tarafından yapılan “arazi toplulaştırmasının maliyetler üzerine etkisinin araştırılması” çalışmasında, arazi toplulaştırması ile tohum kullanımının %21, çalışma süresinin %20, gübre kullanımının %17 ve yakıt tüketiminin ortalama %12-15 azaldığı sonuçlarını elde ederken; Küsek ve diğerleri (2015) tarafından yapılan benzer araştırmada AT çalışması ile tarımsal işletmelerin toplam gelirinde %25 artış olacağı tespit etmişlerdir.

Arazi Toplulaştırmasının Sulama, Tarımsal Altyapı ve Mekanizasyon Üzerinde Etkileri

En az bir cephesinden kadastro yoluna cephesi olmayan ve/veya tarımsal sulama ağına bağlantısı olmayan tarım parselleri komşu parsellere bağımlı olmakta ve komşu parseller arasındaki yol, sınır ve su anlaşmazlıklarına, istenilen üretimin yapılamamasına, üretim maliyetlerinin kısmen artmasına, üretim yapma şartlarının zorlaşmasına, malikler arasında sosyal huzurun bozulmasına, kimi zaman da parsellerin boş bırakılmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda, AT ve TİGH kapsamında oluşturulan en ergonomik yapıdaki parselasyon neticesinde bütün parsellerin en az bir kenarından yol ve sulama ağına bağlanması, kırsal kalkınmanın öncelikli hedeflerindendir.

Kırsal alanlarda en fazla yüzölçümü kullanım ihtiyacı duyan teknik alt-yapı tesisleri yol ve sulama ağıdır. Bu nedenle, ilçe biriminde ve kırsal kalkınma odaklı yapılacak olan ergonomik bir yol- sulama ağı projesinin AT ve TİGH kapsamında yapılması ve sahaya uygulanması, “proje sahasında ortak tesislere katılım payı” ihtiyacını da en aza indirecektir (Engindeniz, 2012). Nitekim, Küsek (2014) tarafından Bursa-Karacabey DSİ Sulama Projesi üzerinde yapılan değerlendirmede, “bölgede yürütülen AT ve TİGH projeleri kapsamında sahaya uygulanması neticesinde “kanal uzunluklarının kısalması, kanalet boyutlarının küçülmesi ve sanat yapılarındaki azalma” sebebiyle yol- sulama ağı proje maliyetinde %30 oranında tasarruf sağlanabileceği belirlenmiş; sulama projesinin DSİ tarafından AT’den bağımsız olarak yapılması durumunda gündeme gelecek olan kamulaştırma işlemi ve yüksek kamulaştırma bedeli ödentilerinin ortadan kalktığı, AT sonrası oluşturulan kapalı sulama sistemi sonrasında %64 düzeyinde su tasarrufu sağlandığı hesaplanmıştır.

Arazi Topplulaştırmasının Yerel Yatırımlar ve Ekonomik Kalkınma Üzerinde Etkisi

Kırsal alanlarda yapılacak arazi yönetimi çalışmaları; taşınmazlar üzerindeki mülkiyeti kullanımı, taşınmazın değerini ve en etkin kullanımına ilişkin verileri ve kırsal mekânın planlamasını destekleyerek; ekonomik, çevresel ve sosyolojik veriler ile bütünleştirerek; muhtelif ölçekte ve içerikte yapılacak planlama süreçleri ile plan uygulamalarına hız ve kabiliyet kazandırır. Fiziki planların etkileşimli bir şekilde yapılması ve bir kırsal kalkınma programı altında sahaya uygulanmasını sağlayacaktır (Lambin ve Meyfroidt, 2010).

Kırsal mekân kullanımında kamuya hizmet verecek olan yatırımların AT ve TİGH projeleriyle birlikte planlanması ve sahaya uygulanması, yatırım maliyetlerini en ekonomik kılması yanında yatırımların hızlandırılması ile kamu ve özel kaynakların verimli kullanılması bakımından büyük öneme sahiptir. AT projeleri kapsamında oluşturulacak kamu yatırımları (DSİ sulama tesisleri, eğitim kurumları, karayolu, enerji iletim hatları, TCDD hatları vb.), tarımsal üretim verimliliğinin en düşük olduğu yerlerde planlanmak suretiyle verimli tarım arazilerinin korunması sağlanacaktır; maliye hazine-si arazileri kamu yatırımları için tahsis edilebildiği için yatırımlarının hızı artarken kamulaştırma ödentileri ve yatırım maliyetleri en aza indirilecektir; proje sahasındaki kamu mülkiyetindeki parseller, kullanım dışı artık alanlar ve Devletin hüküm ve tasarrufundaki tescil harici alanlar en uygun şartlarda değerlendirilebilecektir.

AT ve TİGH projeleriyle, kırsalda ekonomik kalkınma devlet eliyle desteklenmek suretiyle özel sektör teşvik edilir. Devletin mülkiyetindeki arazilerin kayıt altına alınması, korunması ve taşınmaz geliştirme çalışmaları neticesinde aktif üretime konu edilmesi, hazine arazileri üzerindeki yasadışı yapılanmanın önüne geçilmesi sağlanır. Bu anlamda, arazilerin verimli kullanımına, ekonomik faaliyetlerin çeşitlendirilmesi ve canlanmasına katkıda bulunulur.

Arazi Topplulaştırmasının Orman ve Mera Alanları Üzerinde Etkisi

Türkiye, orman ve mera alanları varlığı açısından zengin sayılabilecek bir ülkedir. Ancak gerek ormanlar gerekse mera alanları kırsal alandaki “özel- özel tüzel- tüzel mülkiyet” elindeki taşınmazların arasında farklı büyüklük ve geometrilerde girişimli durumdadır. Bu hal, kırsal alanda mülkiyet kullanımının “üst ölçekli mekânsal planlar yönlendirmesinde ve kurumsal arazi yönetimi kararları” eşliğinde disiplin altına alınmasını gerektirir. Kırsal alanda kurumsal düzeyde alınan arazi yönetimi kararları, uygulama politikaları ve ilkeleri etkileşiminde çok amaçlı olarak yürütülecek AT ve TİGH projeleri aracılığıyla;

· Su kaynaklarının yönetimi, biyolojik çeşitliliğin korunması ve ekosistem hizmetleri bakımından büyük bir öneme sahip olan ormanların, toplum ve çevre yaşamında önemli olan ‘toprak koruma (erozyonu önleme), su rejimini düzenleme ve çevre (hava, su ve toprak) kirliliğini önleme’ gibi işlevlerini, dolayısıyla ‘orman olma’ vasfını kaybetmiş alanlarda, 6831 Sayılı Orman Kanunu 2/B uygulamaları kapsamında vasıf değişikliği ve Hazine adına tescili yapılmak suretiyle ‘kamu yararı’ ve ‘kamu maliyesi’ bakımından en etkin kullanım haline dönüştürülmesi sağlanır.

· Proje sahasındaki mera alanları varlığı “TÜİK’e kayıtlı hayvansal üretim verileri” dikkate alınarak yeniden değerlendirilir. Mevcut mera alanları; 4342 Sayılı Mera Kanunu esas alınarak, tarım ve hayvansal üretimde optimum verimlilik planlaması yapılmak ve gerekçeleri ‘İl Mera Komisyonu’ Kararına bağlanmak suretiyle “mevcut yerin geliştirilmesi, yerinin değiştirilmesi ve yüzölçümünün büyütülüp- küçültülmesi” yapılarak en ergonomik hale dönüştürülür.

Arazi Topplulaştırmasının Kırsal Alanlarda Yer Alan Akarsu Yataklarının Islahı Üzerinde Etkisi

Akarsu yatakları rehabilite (ıslah) çalışmaları “suyun akışını kontrollü bir biçimde şekillendirerek kararlı bir kanal oluşturmayı, olası plansız yapılanma ve çevre kirliliğinin önüne geçmeyi, afet yönetiminde olası zararı minimize etmeyi vb.” hedefleyip; kırsal yerleşim alanları, ekilebilir araziler ve tarımsal işletmelere zarar vermesini önlemek amacıyla yapılır. Bu anlamda, akarsularda yatak ıslahı çalışmaları, arazi yönetimi kararları doğrultusunda ve bir mekânsal planlama eşliğinde doğru biçimde uygulandığında, akan suyu ve tortuları taşıırken ‘kanal yapısının bozulmasını engelleyen’ bir sistemin de elde edilmesini sağlayacaktır. Nitekim, Antalya Aksu Çayı Taşkın Korumaya Projesinde kamu yatırımları AT ve TİGH projesiyle birlikte değerlendirilerek; toprak ve su kaynaklarının korunması, kullanılamaz duruma gelen artık parsellerin tarıma kazandırılması, taşkın sahalarının ve doğal hayatın korunması gibi durumlar “çok amaçlı toplulaştırma uygulaması” ile oluşturulmuştur (Sert vd., 2011).

Bu bağlamda, DSİ idaresi tarafından, ilçe birimi esas alınarak yapılacak “taşkın sahalarının ve doğal hayatın korunması” içerikli proje verileri dikkate alınarak hazırlanan ‘yol ve sulama’ ağına sahip bir AT ve TİGH projesi, kırsal kalkınmaya çok amaçlı hizmet verecektir.

SONUÇ

Gerek dünyada gerekse ülkemizde kırsal kalkınma programlarının hedef kitlesi kırsalda yaşayan nüfus ve işletmeler/aileler olup; alınan tedbirler ve geliştirilen projeler, bu kesimin gelir düzeyi ve yaşam standartlarının yükseltilmesi amaçlı olmuştur. Bu süreçte yapılan AT ve TİGH projeleri de tarımsal

altyapıyı iyileştirmek kadar, kırsal alanda yaşanan ekonomik ve sosyal sorunlara da çözüm üretmesi açısından önemli bir araç olmuş; dönemler halinde ivmesi değişmekle birlikte köyden kente göçü yavaşlatacak sosyolojik olgunlaşma hizmet etmiştir.

Ülkemizde kırsal alan kamu yatırımlarının AT projeleriyle birlikte planlanmasına dair tam bir kurumsal eşgüdüm henüz tam anlamıyla sağlanamamıştır. Ancak, kırsal kalkınma ve etkileri içerikli oluşan kurumsal öngörüler; gündeme alınan AT projeleri bünyesinde yol ve su ağının iyileştirilmesi, dere ve akarsu yataklarının ıslahı, teknik altyapı tesisleri ve diğer kamu yatırımları, tesis kadastrounun yenilenmesi ve olası hatalardan arındırılması, tapu sicili ve kadastro fen arşivinin güncel hale getirilmesi, tarım parsellerindeki hisseli mülkiyet kullanımını olabildiğince müstakil hale getirecek parselasyon planları oluşumu gibi alanlara da hizmet ederek kamu kaynaklarının optimum verimlilikte kullanılması ve kamu yatırımlarında önemli tasarrufların sağlanabileceğini ortaya koymuştur (Tülü ve İnam, 2017).

Ülkemizde uygulanan kırsal kalkınma içerikli AT çalışmalarında “proje sahasında gerçekleştirilecek teknik altyapı tesisleri ve yerel yatırımlar” programını daha işlevsel hale getirmek suretiyle öncül hedefin “ilçe birimi (ilçe mülki sınırları) esas alınarak, kırsal alanlarda etkili/etkileşimli ve bağımsız uygulanabilir kırsal kalkınma politikalarının oluşturulması” olduğu kırsal kalkınma odaklı bir AT proje çalışmaları gerçekleştirilmesidir. Bu doğrultuda aşağıda bazı öneriler sunulmaktadır:

- Kırsala ilişkin ekolojik, ekonomik ve sosyokültürel potansiyellerin belirlenmesi ve ilişkilendirilmesi gerekir.
- Kırsalda yaşayan nüfusun “kırsal kalkınma konusunda bilinçlendirilmesi ve eğitilmesi” suretiyle, bireylere/işletmelere yakın- orta- uzun vadeli hedefler belirlenerek ‘iş/çalışma programları ve görev tanımlamaları’ yapılmalıdır.
- Kırsal alanda zirai ve hayvansal üretim yapacak tarım işletmelerinin iyileştirilmesi- geliştirilmesi- desteklenmesi suretiyle ‘iyi tarım uygulamaları’ hayata geçirilmelidir.
- Kırsal alanda yaşam kalitesinin artırılması sağlanarak, kırdan kente göçü durdurup (hata tersine çevirip) kırsalda yaşayanların ‘toprağa aidiyet’ duygusunun ve ‘nitelikli üretim yapma’ bilinci oluşturulmalı; ‘kırsalda mutlu yaşam’ mottosu güncel yaşama uyarlanmalıdır.
- Tarımsal üretim koşullarının iyileştirilerek “tarım ekonomisinin çeşitlendirilmesi” ve “ziraat, tarım ve ormancılık içerikli faaliyet gösteren işletmelerin serbest rekabet koşullarına uygun hale getirilmesi” sağlanmalıdır.
- Tarımsal işletmelerin desteklenmesi için finansman (ya da ek finans-

man) modellerinin oluşturulması ve uygulamaya konulması sağlanmalıdır.

- Kırsal alandaki parsellerde var olan “kadaastro, tapu sicili ve mülkiyeti kullanım” içerikli sorunlar öncelikle giderilerek; mahalle/köy sınır ihtilafları ile teknik altyapı tesisleri ve kamulaştırma içerikli hatalar/sorunlar giderilmelidir.

- AT projesinden sorumlu birim tarafından “kırsal mekânda teknik altyapı (petrol ve doğalgaz boru hatları, enerji nakil hatları vb.) tesislerini oluşturmak ve hizmet sürekliliğini sağlamaktan sorumlu idareler” arasında koordinasyon sağlanarak, proje bütünlüğü ve verimliliği sağlanmalıdır.

- Doğal çevrenin korunması/iyileştirilmesi, endemik bitki ve hayvan türleri için korunacak alanların (habitat alanlarının) ve ekolojik koridorların konumsal olarak belirlenmesi ve proje altlıklarına (haritalarına) işlenmesi sağlanmalıdır (Wang vd., 2015).

- Devletin hüküm ve tasarrufu altındaki tescil harici yerlerin belirlenmesi ve kayıt altına alınması, böylesi yerlerin proje sahasının “ekosistem planı, tarımsal üretim yerleri ve yerleşim yerleri planlaması” verileri dikkate alınarak ‘taşınmaz geliştirme’ çalışmasına konu edilmeli; doğal yaşam alanları ve ekosistemlere uygun “kırsal mekân peyzaj çalışmaları” yapılması sağlanmalıdır.

- Kırsal alanın coğrafi özellikleri/şartları da dikkate alınarak, AT projesi sahasında var olan “toprak erozyonu, su taşkınlarını önleme, akarsu yatağı ıslahı vb. projelerin” ilgili Devlet Su İşleri Müdürlüğü tarafından hazırlanması sağlanıp optimal verimlilikte çalışan ‘su ağı’ ile bütünleşen “sulama/drenaj ağı-blok planlaması” yapılmalıdır.

- Kırsal alanın coğrafi özellikleri/şartları da dikkate alınarak, AT projesi sahasında var olan ‘ulaşım ağı’ ilgili Karayolları Müdürlüğü tarafından projelendirilmek suretiyle optimal verimlilikte çalışan il-ilçe-belde karayolu ‘ulaşım ağı’ ile bütünleşen “yol ağı- blok planlaması” yapılmalıdır.

- Kırsaldaki köy/mahalle yerleşim yerlerinin “halihazır yapılaşma durumu, tarihi- kültürel- folklorik- çevresel durumu, mevcut ulaşım ve iktisadi faaliyetler altyapısı” detaylı olarak analiz edilmek suretiyle; yerleşim yeri iyileştirmesi/geliştirmesi, yeni yerleşim yerleri açma veya yer değiştirmesi işlemleri değerlendirmeye alınmalıdır.

- Proje sahasında var olan tarihi, kültürel ve tabiat varlıklarının koruyarak- kullanma eğilimi içinde toplumsal yaşama konu edilmesi; tabiat parkları, jeopark alanları, termal kaynaklar vb. potansiyellerin projelendirilmek suretiyle toplumsal kullanıma açılması sağlanmalıdır.

- Köy-Kent modeline uygun yerleşim yerlerinin oluşturulması ve “köy yerleşim yerleri imar planı ve uygulaması” çalışmaları yapılmak suretiyle top-

lumsal düzeyde sosyo-ekonomik canlanmayı (kalkınmayı) sağlayıcı faaliyetler yapılması (veya tedbirlerin alınması) sağlanmalıdır.

Bu kapsamda, ilçe idare sınırları esas alınarak ve kırsal kalkınma odaklı yapılacak bir etkileşimli AT ve TİGH proje çalışmaları; yerelde, onay mercii İlçe Kaymakamlığı, proje bütçesi/finansmanı İl Valiliği (Yatırım İzleme Koordinasyon Başkanlığı-YİKOB), proje yönetimi/takibi/kurumsal koordinasyon süreci İlçe Belediyesi, sorumluluğunda olmak üzere yürütülmelidir. Ancak bu şekilde kamu kaynaklarının en etkili şekilde kullanılması sağlanabilecek, birbirinin devamı niteliğinde olan proje çalışmalarında karşılaşılan sorunlar çözüme kavuşturularak sürdürülebilir kırsal kalkınmaya hizmet edilebilecek, projenin hedeflerine bir bütün halde ulaşılabilecektir.

Böylesi gereklilikler içerisinde, AT ve TİGH projelerinin “yönetmelik düzeyinde yapılacak kurumsal yetki/sorumluluk iyileştirmeleri ve yasal düzenlemeler” zemininde ve kırsal kalkınma amaçlı yapılması sağlanabilirse eğer; işte o zaman TC. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planına (2001-2005) esas olmak üzere Kırsal Kalkınma Özel İhtisas Komisyonu tarafından hazırlanan “kırsal kalkınmada amaçların ve bu amaca ulaşmak için stratejilerin belirlendiği” raporda öngörülen “Modern Köy ve Modern Tarım” ilkesinden hareketle kırsal kalkınma konusunda ulaşılmak istenen amaçlara erişilebilecektir.

KAYNAKLAR

- Acar, Ö., & Akdeniz, H. B. (2023). Arazi toplulaştırma projelerinin parsel şekil değişimine etkisinin analizi: Manyas/Salur mahallesi örneği, Türkiye. *Tarımsal Eski Sorunlara Yeni Yaklaşımlar*, Iksad Publishing House, Ankara.
- Acar, Ö., & Bengin, E. (2018). *Yozgat (Baştürk Köyü) arazi toplulaştırma projesinin bölgesel kalkınma açısından değerlendirilmesi*. III. Uluslararası Bozok Sempozyumu, 3-5 Mayıs, Bozok Üniversitesi, Yozgat.
- Akdeniz, H. B., Çay, T., & İnam, Ş. (2022). *Evaluation of land consolidation impact criteria for rural development*. Intercontinental Geoinformation Days, 4, 151-154.
- Akdeniz, H. B., İnam, Ş., & Çay, T. (2023). Türkiye’de uygulanmış arazi toplulaştırma projelerinin kırsal kalkınmaya etkisi bakımından değerlendirilmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(1), 18-30.
- Aktaş, S. & İnam, Ş. (2024). Teknik altyapı projelerinde irtifak hakkı uygulamalarının arazi toplulaştırma projesi özelinde incelenmesi. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 6(1), 32-42.
- Arıcı, İ., Aslan, Ş., & Akkaya, T. (2014). *Arazi toplulaştırması planlama ve projelendirilmesi*. Dora Basım-Yayınları.
- Bengin, E., & Acar, Ö. (2018). *Yozgat ilinin tarımsal kalkınmasında kırsal alan düzenlemesinin önemi*. III. Uluslararası Bozok Sempozyumu, 3-5 Mayıs, Bozok Üniversitesi, Yozgat.
- Çay, T., & Sözen, M. N. (2023). *Comparison of different valuation methods in land consolidation studies*. Intercontinental Geoinformation Days, 6, 400-402.
- Çay, T., & Acar, Ö. (2025). Technical examination of pasture areas in land consolidation projects and legal framework: The case of Balıkesir province. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 8(1), 11-18
- Çay, T., Acar, Ö., & Sözen, M. N. (2025). *Arazi toplulaştırma projelerinde dağıtım modeli karşılaştırılması: Kırşehir-Mucur-Kepez köyü örneği*. 10. Uluslararası Çukurova Tarım ve Veteriner Bilimleri Kongresi, 22-23 Haziran, Adana.
- Demirel, Z. (2005). *Kırsal toprak düzenlemesi (Arazi toplulaştırması) (4.baskı)*. YTÜ Basım Yayın Merkezi, İstanbul.
- Engindeniz, D.Y. (2012). *Türkiye’de arazi toplulaştırma çalışmalarının kırsal kalkınma açısından değerlendirilmesi*. 10. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, 5-7 Eylül, Konya.
- Küsek, G. (2014). Sulama projeleri için arazi toplulaştırmasının tekno-ekonomik değerlendirmesi. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(1), 8-9.
- Küsek, G., Türker, M., Gülsever, F. T. Z., & Şahin, G. (2015). *Türkiye’de arazi toplulaştırmasında gelişmeler ve arazi bankacılığının uygulanma imkânları*. 1. Ulusal Biyosistem Mühendisliği Kongresi, 9-11 Haziran, Bursa.
- Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. (2010). Land use transitions: Socio-ecological feedback

- versus socio-economic change. *Land Use Policy*, 27(2), 108-118.
- Lazíková, J., & Lazíková, Z. (2018). Land consolidation in Slovakia. *EU Agrarian Law*, 7(2), 20-23.
- Mansberger, R., & Walter, S. (2017). Land administration and land consolidation as part of Austrian land management. *EU Agrarian Law*, 6(2), 68-76.
- Oğuz, C., & Bayramoğlu, Z. (2004). Konya ili Çumra ilçesinde arazi toplulaştırması sonrası farklı parsel genişliklerinin birim maliyetler üzerine etkisi; Küçükköy örneği. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(34).
- Partigöç, N. S. (2018). Kentleşme sürecinde kırsal alanların mekânsal değişimi ve dönüşümü: Denizli kenti örneği. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 11(1).
- Sert, A., Ceylan, A. R., & Yeşiloğlu, İ. B. (2011). *Doğa koruma amaçlı arazi toplulaştırma projesi: DSİ Antalya Aksu Deresi arazi toplulaştırma örneği*. 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan, Ankara.
- Şenol, F. (2018). Arazi toplulaştırması ve iptal davası yoluyla yargısal denetimi. Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı, (2014). *Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018): Tarım arazilerinin sürdürülebilir kullanımı çalışma grubu raporu* (KB: 2860-ÖİK: 714). Ankara.
- T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, (2015). *Ulusal kırsal kalkınma stratejisi (2014-2020)*. Ankara.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı, (2018). *On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023): Kırsal kalkınma özel ihtisas komisyonu raporu* (KB: 3028-ÖİK: 810). Ankara.
- T.C. Milli Emlak Genel Müdürlüğü, (2015). *2014 yılı faaliyet raporu*. Ankara.
- T.C. Resmî Gazete, (2019, 7 Şubat). Arazi toplulaştırması ve tarla içi geliştirme hizmetleri uygulama yönetmeliği (Sayı: 30679).
- TÜİK, (2020). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210>: (09.10.2021).
- Tülek, B., & Atik, M. (2013). Doğa korumada ekolojik ağlar; Habitat bağlantıları ve Antalya Düzlerçamı yaban hayatı geliştirme sahası örneğinde incelenmesi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6(1), 1-6.
- Tülü, Ş., & İnam, Ş. (2017). Türkiye’de üretilmiş grafik kadastro paftalarının zemine uygulanması üzerine tespitler. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 103-111.
- Vitikainen, A. (2004). An overview of land consolidation in Europe. *Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research*, 1(1).
- Wang, J., Yan, S., Guo, Y., Li, J., & Sun, G. (2015). The effects of land consolidation on the ecological connectivity based on ecosystem service value: A case study of Da’an land consolidation project in Jilin Province. *Journal of Geographical Sciences*, 25(5), 603-616.



ET EMÜLSİYONLARINDA FARKLI GIDA KAYNAKLI BİLEŞENLERİN KULLANIMI

“ ”

Şükrü KURT¹

¹ Prof.Dr., ORCID ID: 0000-0002-8695-0810
Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Adıyaman/
Türkiye

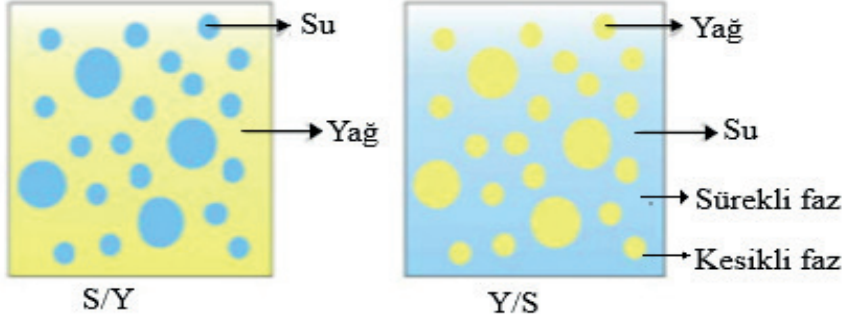
1. Giriş

Gıda üretiminde üretim teknikleri belirlenirken ürünün çeşitliliği, gıda güvenliği ve hammaddede bulunan bileşiklerin fonksiyonel özellikleri gibi, birçok faktör dikkate alınmaktadır. Gıda sanayinde emülsiyon teknolojisi, fermentasyon teknolojisi, soğuk ve sıcak uygulamaları içeren teknolojiler, kurutma teknolojisi gibi birçok gıda üretim tekniği uygulanmaktadır. Emülsiyon teknolojisi ile üretilen ürünler, homojen görünümlü heterojen karışımlardır. Gıda, kozmetik, farmasötik, boya gibi birçok ürünün üretilmesinde kullanılmakta ve kullanım alanı oldukça geniştir. Gıda endüstrisinde, süt, sosis, salam, mayonez, margarin, salata sosları ve dondurma gibi birçok ürün, kısmen veya tamamen emülsiyondan oluşmaktadır. Emülsiyonlar bu gıdalara görünüm, doku ve lezzet profilleri gibi farklı istenen özellikler kazandırmaktadır. Son zamanlarda, biyoaktif maddeler gibi çeşitli bileşenlerin kapsüllenmesinde de farklı emülsiyon tiplerinin kullanımı yaygınlaşmış bulunmaktadır. Ayrıca, nano emülsiyonlar üzerinde de çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu tür çalışmalarla, emülsifiye gıda ürünlerinin lezzeti, stabilitesi ve doku gibi yapısal ve fiziksel özelliklerinin geliştirilmesinde önemli aşamalar kaydedilmiştir (Aswathanarayan ve Vittal, 2019, Mushtaq ve ark., 2023).

Emülsiyon, iki farklı sıvının birbiri içerisinde çözünmeden çok küçük damlacıklar şeklinde dağılmasıdır. Damlacıklar şeklinde dağılan faz kesikli faz, damlacıkların içinde bulunduğu faz ise sürekli fazdır. Arayüzey geriliminden dolayı, birbiri içerisinde dağılmayan bu sıvıların dağılmasını sağlayan bileşenler ise ara yüzeyde dispers fazı oluşturarak, arayüzey geriliminin düşürülmesinde rol oynayan bileşenlerdir. Bu amaçla, proteinler ve çeşitli emülgatörler (yüzey aktif maddeler) kullanılmaktadır. Emülgatörler, sıvıların arayüzeylerine yerleşerek, damlacıkların birleşmesini engelleyip termodinamik olarak stabil olmayan homojen görünümlü heterojen bir yapı sağlamaktadırlar. Emülsiyonlar tanımları gereği kararsız oldukları için, emülsiyon yapısının bozulmasına yol açan süreçlerin kinetiği kontrol edilmelidir.

Emülsiyon oluşturulmasında kullanılan sıvılar genellikle yağ ve su gibi birbiri içerisinde stabil bir dağılım sağlamayan sıvılardır. Arayüzeye yerleşen veya arayüzey gerilimini düşüren bileşenler ise hidrofilik-hidrofobik veya çeşitli özelliklerdeki kolloidal bileşenlerdir. Emülsiyon oluşturulmasında genellikle yağ ve su kullanıldığından, emülsiyon tipleri isimlendirilirken bu iki fazın durumlarına göre isimlendirme yapılmaktadır. Sürekli fazın su olduğu, kesikli fazın ise yağ olduğu emülsiyonlara su içinde yağ emülsiyonu (Y/S) sürekli fazın yağ olduğu, kesikli fazın ise su olduğu emülsiyonlara ise yağ içinde su emülsiyonu (S/Y) denilmektedir. Örneğin, süt bir Y/S emülsiyonu iken tereyağı bir S/Y emülsiyonudur. Bu tip emülsiyonların yanı sıra çoklu emülsiyon tipleri de oluşturulmaktadır. Örneğin, su içinde yağ içinde su emülsiyonu (S/Y/S) gibi. Bu tip emülsiyonlarda iki arayüz tabakası vardır.

Bu nedenle, iç su damlacıkları için yağda çözünür bir emülgatör ve yağ damlacıkları için suda çözünür bir emülgatör kullanılmaktadır.



Gıdalarda uygulanan emülsiyon daha çok Y/S tipinde emülsiyonlardır. Gıda endüstrisinde et ve süt ürünleri üretiminde emülsiyon teknolojisi kullanımı oldukça yaygındır. Süt, emülsiyon formunda olmakla birlikte homojenizasyon gibi uygulanan mekanik işlemlerle, daha gelişmiş bir emülsiyon formuna dönüşmektedir. Et ise katı formda olup su ilavesiyle işlenerek emülsiyon formuna dönüştürülebilmektedir.

Emülsifiye et ürünlerinin özelliklerini geliştirmek için çeşitli hayvansal ve bitkisel kaynaklı ürünler kullanılmaktadır. Bu kaynaklar seçilirken, proteinlerin yanı sıra bitkisel kaynaklı polisakkaritler ve lifler de dikkate alınmaktadır. Hayvansal ve bitkisel kaynaklar et emülsiyonlarının, başta stabilite ve reolojik özellikleri olmak üzere birçok özelliğini geliştirebilmektedirler. Dolayısıyla, salam, sosis ve diğer emülsifiye et ürünlerinin dokusu, raf ömrü ve lezzeti üzerinde önemli rol oynamaktadırlar. Ayrıca, maliyeti düşürmek ve besin değerini artırmak için de kullanılabilmektedirler. Et emülsiyonlarında kullanılan gıda kaynaklı katkı çeşitleri, oldukça fazla olup bu bölümde genel olarak emülsifikasyondaki etkili fonksiyonel özellikleri ve ürüne etkileri değerlendirilmiştir.

2. Et Emülsiyonları

Et ve et ürünleri besinsel ve duyuşal özellikleri bakımından, insanların beslenmesinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu özellikleri içerdikleri, protein, yağ, mineral ve vitamin düzeyi ve bu bileşenlerin özellikleri ile yakından ilişkilidir. Et ve et ürünlerinin emülsiyon teknolojisi kullanılarak işlenmesinde ise özellikle proteinlerinin fonksiyonelliği bakımından oldukça önemlidir. Et, proteinlerinin özelliklerinden yararlanılarak, değişik tipte ürünlere işlenip, tüketicilere çeşitli alternatifler sunulmaktadır. Et proteinleri, miyofibriler proteinler (%50-55), sarkoplazmik proteinler (%30-34) ve bağ

dokusu proteinleri (%10-15) olmak üzere 3 gruba ayrılır.

Et emülsiyonları, etin işlenmesi sırasında ilave edilen, su, yağ ve diğer bileşenlerin homojen bir şekilde karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Bu tür emülsiyonlarda et proteinleri emülsiyon oluşturulmasında aktif rol üstlenmektedir. Et proteinleri arasında teknolojik özellikleri bakımından miyofibriller proteinler, emülsifikasyonda daha fazla işlevselliğe sahiptirler. Miyofibriller proteinlerin çoğunu miyozin ve aktin oluşturur. Bu proteinlerin fizikokimyasal özellikleri üzerinde etkili olan faktörler, oluşturulacak emülsiyonun özelliklerini de etkilemektedir. Dolayısıyla, et proteinleri üzerinde etkili olan fizikokimyasal faktörlerden yararlanılarak, etin emülsifikasyon özellikleri geliştirilebilmektedir (Zorba ve ark., 1993a, Zorba ve ark., 1993b). Protein türü, iyonik güç, pH ve sıcaklık gibi çeşitli faktörler, proteinlerin emülsifikasyondaki işlevlerini etkilemektedir. Böylece, proteinlerin çözünürlüğü artırılarak, et emülsiyonlarının, su tutma ve yağ bağlama kabiliyeti, stabilitesi, yoğunluğu ve reolojik özellikleri geliştirilebilmektedir (Schut, 1976, Zorba, 1995). Miyofibriller proteinler, jel oluşturma kabiliyetlerinden dolayı ısı işleminden sonra protein matriksi oluşturabilmektedirler. Jel oluşumu sırasında, yağ ve su protein matriksi içerisinde tutulur. Bu da emülsifiye et ürünlerinin daha stabil bir yapıya kavuşmasını sağlamaktadır (Ziegler ve Acton, 1984, Ker ve Toledo, 1992). Proteinlerin sol halden jel haline termal geçişleri, proteinlerin özelliklerine göre değişmektedir. Miyozin ve aktomiyosinin denatürasyonuyla birlikte, agregasyonu ve ardından jelleşmesi yaklaşık olarak 55°C' de başlamaktadır (Ziegler ve Acton, 1984). Kas proteinlerinden, α -Aktin ısıya en hassas, troponin ve tropomiyosin ise ısıya en dirençli olanlarıdır (Foegeding ve ark., 1996, Zorba, 1995).

Et proteinlerinin fonksiyonel özellikleri, hayvan türüne göre farklılık gösterebilmektedir. Hindi ve tavuk etinin emülsifiye et ürünlerinde sığır etiyle birlikte kullanılabilir. Farklı tür hayvan etlerinin proteinleri, içerdikleri aminoasit ve konformasyonel özelliklerine göre emülsiyon özelliklerinde farklılıklara neden olmaktadır (Kurt ve Zorba, 2005). Kasaplık hayvanlardan elde edilen sakatatların protein özellikleri de elde edildikleri hayvanın et proteinlerinden farklı özellikler göstermektedir. Dolayısıyla emülsiyon özellikleri de farklı olmaktadır. Akciğer, karaciğer ve yürek gibi birçok sakatat, yüksek oranda protein içermekte ve fizikokimyasal özellikleri farklı olduğundan et emülsiyonları için değerlendirilebilir bir durumdadır. Sakatatlar, pH'larının yüksek olması nedeniyle yüksek emülsiyon kapasitesine sahiptirler. Ancak, jel oluşturma kabiliyetleri ve emülsiyon stabilitesi çizgili kas dokusuna kıyasla daha düşüktür. Bir formülasyondaki et yan ürününün türü ve miktarı, nihai ürünün emülsiyon stabilitesini, su-yağ bağlama kapasitesini ve dokusunu etkilemektedir (Kurt ve Zorba, 2007). Ayrıca, et emülsiyonlarına kolajen gibi bazı proteinlerin eklenmesi, su tutma kapasitesini ve dokusal özellikleri geliştirmektedir (Meullenet ve ark., 1994, Doerschler ve

ark., 2003). Bağ dokusu emülsifikasyon sırasında parçalanarak protein matriksi oluşturmaktadır. Bu parçalanma sığır eti bağ dokusunda kısmen olmakta, tavuk etindeki bağ dokusun da ise daha fazla olmaktadır. Böylece tavuk eti kullanılan emülsiyonlarda, sürekli bir protein matriksi oluşturabilmektedir. Kırmızı kas dokusu, beyaz kas dokusundan daha yüksek tekstürel değerlerine sahiptir. Bu durumun, kırmızı kasın beyaz kastan daha yüksek jel gücüne sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca çözünür kolajen oranı, jel gücü üzerinde daha iyi etkilere sahiptir (Lee, 1985).

3. Et Emülsiyonlarında Bitkisel Yağların Kullanımı

Et emülsiyonlarının oluşturulmasında hammadde olarak etin yanı sıra, gıda kaynaklı yağlar da kullanılmaktadır. Bu yağlar, hayvansal yağ dokuları olduğu gibi, belli oranda ikame edecek bitkisel yağlar da kullanılmaktadır. Emülsifiye et ürünlerinin formülasyonuna giren yağ miktarı, yağın doymunluk seviyesi ve yağ asitlerinin özellikleri, ürün kalitesini etkileyebildiği gibi insan sağlığı açısından da önemli faktörlerdir. Yağın sağlıklı ilişkisi düşünüldüğünde, önemli oranda yağ içeren emülsifiye et ürünleri tüketicinin beslenme tercihinin etkilemektedir. Tüketicinin yağ tüketimi, toplam kalorinin en fazla %30'u, doymuş yağ asitleri tüketiminin ise en fazla %10 olması önerilmektedir. Bitkisel kaynaklı yağların hayvansal yağlara kıyasla daha fazla doymamış yağ asitleri içermesinden dolayı emülsifiye ürünlerde kullanımı, insan sağlığı açısından tercih nedeni haline gelmiştir. Bitkisel yağlar kolesterol bakımından güvenli olmalarının yanı sıra, bazı bitkisel yağlar tekli doymamış yağ asitleri ve çoklu doymamış yağ asitleri bakımından zengindir (Giese, 1992). Yağlar genellikle proteinler tarafından emülsifiye edilerek, protein matriksinde tutulmaktadır.

Emülsifiye et ürünlerinde, emülsifikasyonda önemli rol oynayan yağların fonksiyonel özellikleri de besinsel özelliklerin yanı sıra diğer bir önemli husustur. Dolayısıyla, hayvansal yağların oranını azaltıp, yerine bitkisel yağların ikame edilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır (Bloukas ve ark., 1997, Pappa ve ark., 2000, Severini ve ark., 2003, Lima ve ark., 2022). Bitkisel yağlar et ürünlerinin yapısal özelliklerini etkilemekte ve daha yumuşak yapıli ürünlere neden olmaktadır (Marquez ve ark., 1989). Hayvansal yağlar, emülsifiye et ürünlerinde besinsel özelliklerin yanı sıra ürünün tekstürel özelliklerini de geliştirerek belli bir yapı-tekstür sağlamaktadırlar. Hayvansal yağlar, bitkisel yağlara kıyasla protein matriksinde çok daha kolay stabilize olabilmektedirler (Smith, 1988). Bitkisel yağlar, ikame edilen yağın seviyesine ve üretilecek et ürününün özelliklerine bağlı olarak bazı sorunlara neden olabilmektedir. Bu nedenle, hayvansal yağların yerine bitkisel yağlar ikame edildiğinde, son ürünün özelliklerinde istenmeyen değişimler olmaktadır. Dolayısıyla bu durum, bitkisel yağların hayvansal yağlar yerine kullanımının sınırlı olması gerektiğini göstermektedir. Hayvansal yağların, besinsel ve fonksiyonel özelliklerinin yanı sıra aroma ve lezzet gibi duyuusal özellikleri de emülsifiye

et ürünlerinde tercih edilen özellikleridir (Trouutt ve ark., 1992, Zorba ve Kurt, 2003).

Farklı hayvan türlerinden elde edilen etlerin emülsiyon özellikleri kullanılan bitkisel yağlara ve tür özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Bu durum protein fraksiyonlarının fonksiyonel özellikleri ve kullanılan yağın özellikleri ile ilgilidir. Bitkisel yağlar, sığır etine kıyasla tavuk etinden üretilen emülsiyonların emülsiyon kapasitesini daha çok artırmaktadır. Zeytin yağının, tavuk eti emülsiyon kapasitesi üzerindeki etkisi oldukça anlamlı bulunmuştur. Sığır, hindi ve tavuk etlerinden üretilen emülsiyonlarda zeytin yağı, soya, kanola, ayçiçeği, pamuk ve mısır yağı gibi bazı bitkisel yağlardan daha iyi etkiler göstermiştir (Zorba ve Kurt, 2008).

Zeytin yağının tavuk etinin emülsiyon stabilitesi değerleri üzerinde daha düşük etkisi olurken, mısır yağının sığır eti ve tavuk etinin emülsiyon stabilitesi değerleri üzerinde daha yüksek etkisi olduğu bildirilmiştir. Mısır yağının ise et türlerinin emülsiyon kapasitesi değerlerini iyileştirdiği ifade edilmektedir. Zeytinyağı ve mısır yağı karışımı emülsiyon tipi et ürünlerinde kullanımının tercih edilebileceği bildirilmektedir (Zorba ve Kurt, 2008). Mısır yağının, soya, ayçiçeği ve pamuk çekirdeği yağlarına göre frankfurterlerin emülsiyon stabilitesi üzerinde daha fazla olumlu etkisinin olduğunu tespit edilmiştir (Ambrosiadis ve ark., 1996). Az yağlı domuz sosislerinde domuz yağı yerine zeytinyağı kullanılan çalışmada, tekli doymamış yağ asitlerinin protein matrisinde yüksek oranda tutulabildiği bildirilmiştir (Luruenna-Martinez ve ark., 2004). Tavuk eti emülsiyonu sürekli bir protein matrisine sahip olduğundan (Lee, 1985), en yüksek tekli doymamış yağ asidi bağlama yeteneğine sahiptir (Luruenna-Martinez ve ark., 2004). Bu durumun et proteinlerinin özellikleri ve protein fraksiyonlarının oranı ile ilişkili olabileceği ifade edilmektedir (Kurt ve Zorba, 2005).

4. Et Emülsiyonlarında Süt ve Süt Ürünlerinin Kullanımı

Emülsiyon tipi et ürünlerinin özelliklerinin geliştirilmesinde çeşitli fonksiyonel bileşiklere ihtiyaç duyulmasından dolayı, süt ürünleri et emülsiyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Süt ve Süt ürünleri besinsel ve duyuşal özellikleri bakımından, et ve et ürünleri gibi insan beslenmesinde oldukça önemli bir yere sahip olmakla birlikte, et emülsiyonlarında kullanımı daha çok, proteinlerinin fonksiyonel özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Böylece et emülsiyonlarının teknolojik özelliklerini geliştirebilmektedirler. Süt bileşenleri doğal olmasının yanı sıra ekonomik olması nedeniyle de emülsiyon tipi et ürünlerinde kullanılabilen başlıca bileşenlerdendir (Gökalg ve ark., 1995). Süt, proteinlerinin çeşitliliği ve fizikokimyasal özellikleri bakımından oldukça önemli olup birçok gıdanın özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Süt proteinleri fonksiyonel özelliklerinden dolayı emülsifikasyonda önemli rol oynamaktadırlar. Bu durum süt proteinlerinin moleküler yapısından

kaynaklanmaktadır. Kazeinatlar önemli oranda prolin aminoasidi içermekte ve düşük miktarda disülfid bağı yapabilen amino asitlerce zengindir. Dolayısıyla kazeinatlar ısıtma işlemi etkisiyle kolay bir şekilde denatürasyona uğrayabilmektedirler. Böylece kullandıkları emülsiyonların viskozitesi üzerinde etkili olmaktadır. Kazeinatlar yüksek elektriksel potansiyele sahip olmalarından dolayı önemli düzeyde suda çözünme yetenekleri bulunmaktadır. Bu durum, kazeinat kullanılan emülsiyonların kararlılığını artırabilmektedir (Özdemir ve ark., 1994, Işık ve Gökalp, 1996).

Kazeinatların yanı sıra, süt yan ürünlerinden elde edilen proteinler de kullandıkları emülsiyonların özelliklerini geliştirebilmektedirler. Peyniraltı suyu önemli düzeyde globüler proteinler içermektedir. Laktoalbumin gibi suda çözünen proteinleri içermesi, kullandığı emülsiyonların özelliklerini geliştirebilmektedir (Zorba ve ark., 1998). Bu proteinler kazeinatların aksine, kolayca jelleşme özellikleri göstermektedirler. Bu durum, daha az miktarda prolin amino asidi içermeleri ve daha fazla disülfid bağı yapabilecek amino asit içeriğine sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Peyniraltı suyunda bulunan proteinler kazeinatlardan daha fazla suyu tutabilme özelliğine sahiptirler (Özdemir ve ark., 1994). Kazeinler ve peynir altı suyu proteinlerinin emülsifikasyondan önce ve sonraki agregasyon özelliklerine bağlı olarak, bu proteinler arasında bazı önemli fonksiyonel farklılıklar oluşabilmektedir.

Gıda emülsiyonlarında ısıtma işlemi etkisiyle jel oluşturma kabiliyetleri, proteinlerin önemli fonksiyonel özelliklerinden biridir. Jel oluşumu veya koagülasyon emülsifiye ürünün yapısını ve şeklini geliştirmektedir. Oluşan jel matriksi diğer gıda bileşenlerini matriks yapıda tutabilmekte ve ürünün su tutma kabiliyetini de artırabilmektedir. Dolayısıyla peyniraltı suyu proteinleri, emülsiyonların jel oluşturma kabiliyetlerini artırarak, tekstürü geliştirilmiş ve daha kararlı emülsifiye ürünler üretilmesine katkı sağlamaktadırlar (Ker ve Toledo, 1992).

Yağsız süt tozu ve peyniraltı suyu tozu, proteinlerinin fonksiyonelliğinden dolayı emülsifiye et ürünlerinin özelliklerini geliştirmek için kullanılmaktadır. Et ürünlerinde emülsifikasyonu ve dolayısıyla yapısal özellikleri, su ve yağ bağlama özelliklerini geliştirmek için kullanılmaktadırlar (Baardseth ve ark., 1992). Yağsız süt tozu ve peyniraltı suyu tozu emülsifiye et ürünlerinde iyi bir dağılım özelliği göstererek; ürünün tekstürel özelliklerini ve dolayısıyla daha iyi dilimlenebilme özelliğini geliştirmektedirler (Özdemir ve ark., 1994). Ayrıca, su tutma kabiliyetini geliştirmelerinden dolayı ürünün randımanı üzerinde de etkili olmaktadır (Özdemir ve ark., 1994). Peyniraltı suyu et ürünlerinde doğrudan kullanılabilmesi gibi kurutulmuş toz haline getirilip kullanılabilir. Toz haline getirilip kullanılmasının daha avantajlı ve pratik olmasından dolayı, gıdalarda ticari kullanımı daha yaygındır.

Süt tozu ve peyniraltı suyu tozunun yanı sıra, bu ürünlerden elde edilen protein konsantratları ve izolatları da et ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu proteinlere ısı işlemi gibi ön işlemler uygulanarak daha fazla işlevsel hale getirilmektedir. Örneğin, peyniraltı suyu konsantresine ön işlem olarak uygulanan ısı işlemi, kanatlı göğüs etlerinin su tutma kapasitesini, pişirme verimini ve reolojik özelliklerini geliştirmiştir (Hongsprabhas ve Barbut 1999).

5. Et Emülsiyonlarında Bitkisel Kaynaklı Bileşenlerin Kullanımı

Protein ve lif içeriği ve bu bileşenlerin fonksiyonel özellikleri bakımından önemli olan bitkisel kaynaklar et ürünlerinde tercih nedenidir. Bitkisel kaynaklar ayrıca, farklı özelliklerdeki polisakkaritlere sahip olup, et emülsiyonlarında protein-polisakkarit etkileşimi ile emülsiyon özelliklerini geliştirmektedirler. Proteinler ve polisakkaritler gibi emülgatörler ve/veya kıvam arttırıcı maddeler eklenerek, sistemin aktivasyon enerjisi aşılabilmekte ve emülsiyonlar kinetik olarak kararlı hale gelebilmektedir (Sun ve ark., 2007). Proteinlerin ve polisakkaritlerin hidrofilik ve lipofilik dengesindeki farklılıklar, yağ ve su arayüz gerilimini azaltmaktadır (Elizalde ve ark., 1988, Krause, 2002). Bitkisel kaynaklar, protein ve polisakkaritlerin yanı sıra önemli oranda lifleri de içermektedirler. Lifler, kullanıldıkları ürünlerde hem sağlıklı beslenmeye hem de ürün özelliklerini geliştirmeye katkı sağlamaktadırlar. Kaynağına bağlı olarak lifler, birçok gıdanın yanı sıra et emülsiyonlarının özelliklerini de geliştirebilmektedirler (Kurt ve Ceylan, 2020). Et ürünlerinin, yağ adsorpsiyon kapasitesini, su bağlama kapasitesini, viskozitesini ve jel oluşturma özelliklerini etkilemektedirler (Biswas ve ark., 2011).

Bitkisel kaynaklı ürünler, bileşimine bağlı olarak et emülsiyonlarında doğrudan kullanılabilceği gibi bu bileşenlerinin konsantratları veya izolatları şeklinde de kullanılabilmektedirler. Bununla birlikte, bileşenlerin fizikokimyasal özellikleri modifiye edilerek emülsiyon oluşturmada daha aktif rol oynamaları sağlanabilmektedir. Bu tür bitkisel kaynaklara keten tohumu, bezelye ve lifler örnek verilebilir. Bu örnekleri aşağıda açıklayarak, et emülsiyonlarında kullanılan bitkisel kaynakların emülsifikasyona ve dolayısıyla ürüne etkisinin daha iyi anlaşılması sağlanacaktır.

Keten tohumu protein, yağ ve lif bakımından iyi bir beslenme kaynağıdır. İçeriğinde %40-45 yağ, %20-25 protein, %20-25 lif ve %1 lignan bulunmaktadır (Rabetafika ve ark., 2011). İnsanlar keten tohumunda, lipidlere ve liflere, özellikle de esansiyel bir yağ asidi olan alfa-linolenik aside odaklanmışlardır (Tarpila ve ark., 2005). Keten tohumu, arginin, glutamik asit ve aspartik asit açısından zengindir (Chung ve ark., 2005). Kansere gibi bazı sağlık problemlerinin önlenmesine de katkı sağlayabilmektedir (Yener, 2011). Birçok gıdaya besinsel ve teknolojik özelliklerinden dolayı ilave edilmektedirler (Bilek ve Turhan, 2009, Rabetafika ve ark., 2011, Mercier ve ark., 2014).

Proteinlerinin fonksiyonel özelliklerinden dolayı emülsifikasyonda önemli bir işleve sahiptirler (Wang ve ark., 2010a, Kuhn ve ark., 2014, Zhao ve ark., 2015). Et ürünlerinde su tutma ve yağ adsorbsiyon kapasitesi, viskozite ve jel oluşturma özellikleri üzerinde önemli rol oynamaktadırlar (Wang ve ark., 2010a, b). Keten tohumu proteinleri, soya proteinleri ile kıyaslandığında, yapısal olarak daha lipofilik oldukları söylenebilir. Bununla birlikte, keten tohumu proteini preparatlarındaki polisakkarit gamlarının varlığı, hidrofilik özelliklerinden etkilenmektedir (Oomah ve Mazza, 1993). Gam içeriği, keten tohumu protein ürünlerinin, su bağlama, viskozite, köpürme ve emülsifiye etme özelliklerini etkileyebilmektedir (Oomah ve Mazza, 1993, Chen, 2007). Genellikle emülsiyonlarda protein ana emülgatör görevi görür ve polisakkaritler ise koyulaştırıcı ve sterik stabilizasyon özellikleriyle emülsiyonların stabilitesini artırır (Wang ve ark., 2011). Protein/polisakkarit karışım oranlarının yüksekliği, genellikle zayıf emülsifiye edici veya stabilize edici özelliklere sahip çözünmeyen komplekslere neden olur (Laplanche ve ark., 2006). Keten tohumu protein konsantresi, soya fasulyesi proteinlerinden daha fazla yağ-su emilimi ve emülsiyon stabilitesi gösterdiği bildirilmektedir (Kaushik ve ark., 2016). Wang ve ark. (2010a), asidik pH ortamında yüksek keten tohumu konsantrasyonlarının yağ arayüzünün hızlı stabilizasyonunu desteklediğini bildirmişlerdir. Bu durum, homojenizasyon sırasında oluşan yağ damlacıklarının yeniden birleşmesini azaltarak, emülsiyon stabilitesine katkıda bulunmaktadır.

Keten tohumu ve pH optimizasyonu ile sığır etinin emülsiyon kapasitesi ve aktivitesi geliştirilebilmektedir. Sığır eti emülsiyonu üzerindeki etkileri asidik bir ortamda bazik bir ortama göre daha yüksek olabilmektedir. Keten tohumu, emülsiyon stabilitesi, kapasitesi ve reolojisi gibi emülsiyon özelliklerini iyileştirmek için emülsifiye et ürünlerinde fonksiyonel bir bileşen olarak kullanılabileceği bildirilmektedir (Kurt ve Ceylan, 2018).

Bezelye ürünleri besleyici değeri, düşük maliyeti, sürdürülebilir ve ucuz olması nedeniyle önemli bir bitkisel gıda kaynağıdır (Laudadio ve Tufarelli, 2012, Munialo ve ark., 2014). Bileşimi yaklaşık, %58 nişasta, %25 protein ve %12 lif içerir (Polesi ve ark., 2011, Söderberg, 2013). Bezelye ürünleri, emülsifiye et ürünlerinde emülsiyon özelliklerini geliştirmek için işlevsel bir bileşen olarak kullanılabilmektedir. Et emülsiyonlarında, protein kaynağı olmasının yanı sıra, polisakkaritler ve lifler gibi bileşenleri içermesi bakımından da kullanımı tercih edilmektedir. Bezelye, visilin (7S), legumin (11S) ve albuminlerden (2S) oluşan bir protein kaynağıdır. Bunlardan 7S ve 11S en çok bulunanlarıdır (O'Kane ve ark., 2005, Söderberg, 2013). Bezelye proteinlerinin teknolojik özellikleri, emülsifikasyon üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir (Franco ve ark., 2000, Gharsallaoui ve ark., 2009, Barać ve ark., 2015). Bezelye ürünlerinin su ve yağ bağlama kapasiteleri protein içeriğine, protein fraksiyonuna ve izolatına göre artmaktadır (Sosulski ve

McCurdy, 1987). Bezelye proteinleri su bağlayabilen, jel oluşturan ve diğer emülsiyon özelliklerini geliştirebilen özelliklerine sahip çözünür proteinler içermektedirler (Tarté, 2009). Bezelye proteini konsantrasyonunun çözünürlüğü pH 1 ile 3 ve 7 ile 10 arasında en yüksek düzeydedir (Boye ve ark., 2010). Bezelye, protein içeriğinin yanı sıra et emülsiyonlarının reolojik davranışını etkileyebilecek düzeyde polisakkarit içermektedir. Protein/polisakkaritlerin çözünürlüğü pH ile yakından ilişkili olup, et emülsiyonlarının stabilitesini ve reolojik özelliklerini etkileyebilmektedir (Kurt, 2010). Nitekim yapılan çalışmalarda, bezelye ürünleri ile birlikte pH' nın sığır etinin emülsiyon özelliklerini geliştirdiği tespit edilmiştir (Kurt ve Ceylan, 2018). Polisakkaritler emülsiyonda uyumsuz proteinlerin kümelenmesine olanak tanıyarak, daha güçlü bir jel ağ oluşturabilmektedirler (Samant ve ark., 1993).

Lifler bitkisel kaynakların dikkate değer diğer önemli bileşenleri olup, farklı çözünürlük değerlerine sahip olması, kullanıldığı gıdanın özellikleri açısından hem besinsel ve hem de teknolojik olarak anlamlı etki yapmaktadır. Et ürünlerinin yağ adsorpsiyon kapasitesini, su bağlama kapasitesini, viskozitesini ve jel oluşturma özelliklerini etkilerler. (Biswas ve ark., 2011). Et emülsiyonlarda kaynağına bağlı olarak lifler protein davranışlarında farklılıklara neden olabilmektedirler. Yapılan bir çalışmada, inulin, selüloz, bezelye, elma, limon, havuç, buğday ve yulaf lifleri %1 oranında sığır eti emülsiyonunun kapasitesinin artışı üzerinde anlamlı bir etkiye neden olmadığı tespit edilmiştir. Yine aynı çalışmada, elma ve yulaf lifleri emülsiyon aktivitesini, havuç ve limon liflerinin emülsiyon stabilitesini artırdığı tespit edilmiştir (Kurt ve Ceylan, 2018).

6. Sonuç

Et emülsiyonlarının özelliklerini geliştirmek için, mikro ve nano düzeyde bilimsel çalışmalar sürdürülmektedir. Emülsiyon teknolojisinde arayüzey bileşenleri kritik öneme sahip olup bu bileşenlerin insan sağlığı ve ürünün teknolojik önemi açısından geliştirilmesi oldukça önemlidir. Kullanılan arayüzey bileşenler için, geleneksel bileşenlerin dışında, daha çok biyoaktif bileşenlere yoğunlaşmış durumdadır. Geçmişe eskiye dayanmasına rağmen, son zamanlarda özellikle emülsiyon stabilitesi açısından Pickering emülsiyonları üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda, proteinler, selüloz ve kitosan gibi gıda kaynaklı birçok kolloidal bileşenler üzerinde durulmaktadır. Bu amaçla kullanılan bileşenlerin, geleneksel yüzey aktif maddelerine göre, toksisitesi daha az ve maliyeti de daha uygun olabilmektedir. Bu konuda et emülsiyonları üzerinde daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- Ambrosiadis, J., Vareltsis, K.P., Georgakis, S.A. (1996). Physical, Chemical and Sensory Characteristics of Cooked Meat Emulsion Style Products Containing Vegetable Oils. *International Journal of Food Science and Technology*, 31, 189-194.
- Baardseth, P., Naes, T., Mielnik, J., Skrede, G., Holland, S., Eide, O., (1992). Dairy Ingredients Effects on Sausage Sensory Properties Studied by Principal Component Analysis. *Journal of Food Science*, 57 (4): 822-828.
- Barać, M.B., Pešić M.B., Stanojević, S.P., Kostić, A.Ž., Čabrilo S.B., (2015). Techno-functional properties of pea (*Pisum sativum*) protein isolates- a review. *Acta Period. Techn.* 46, 1-18.
- Biswas, A.K., Kumar, V., Bohosle, S., Sahoo, J., Chatli, M.K. (2011). Dietary fibers as functional ingredients in meat products and their role in human health. *Int J Livst Prod* 2: 45-54.
- Bloukas, J.G., Paneras, E.D., Fournizis, G.C. (1997). Sodium Lactate and Protective Culture Effects on Quality Characteristics and Shelf-life of Low-fat Frankfurters Produced with Olive Oil. *Meat Science*, 45, 223-238.
- Bilek, E, Turhan, S. 2009. Enhancement of the nutritional status of beef patties by adding flaxseed flour. *Meat Science*. 82: 472-477.
- Boye, J.I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., Rajamohamed, S.H. (2010). Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Res. Int.* 43, 537-546.
- Chen, H.H., Xu, S.Y., Wang, Z. 2007. Interaction between flaxseed gum and meat protein. *Journal of Food Engineering*. 80: 1051-1059.
- Chung, M., Lei, B., Li-Chan, E. (2005). Isolation and structural characterization of the major protein fraction from NorMan flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *Food Chemistry*. 90: 271-279.
- Doerscher, D.R., Briggs, J.L., Lonergan, S.M. (2003). Effects of pork collagen on thermal and viscoelastic properties of purified porcine myofibrillar protein gels. *Meat Science*, 66, 181-188.
- Elizalde, B.E., De Kanterewicz, R.J., Pilosof, A.M.R., Bartholomai, G.B. (1988). Physicochemical properties of food proteins related to their ability to stabilize oil-in-water emulsions. *Journal of Food Science*, 53(3), 845-848.
- Foegeding, E.A., Lanier, T.C., Hultin, H.O. (1996). Characteristics of edible muscle tissues. In Fennema, O. K., *Food chemistry* (third edition, pp.879-942), New York: Marcel Dekker Inc.
- Franco, J.M., Partal, P., Ruiz-M rquez, D., Conde, B., Gallegos C. (2000). Influence of pH and Protein Thermal Treatment on the Rheology of Pea Protein-Stabilized Oil-in-Water Emulsions. *J the American Oil Chem. Soci.* 9, 975-984.
- Gharsallaoui, A., Cases, E., Chambin, O., Saurel, R. (2009). Interfacial and Emulsifying

Characteristics of Acid-treated Pea Protein. *Food Biophysic.* 4, 273-280.

- Gökalp, H.Y., Zorba, Ö., Çağlar, A., Özdemir, S., (1995). Süt Bileşenleri ve Süt Mamullerinin Et ve Fırın Ürünleri Formülasyonlarında Kullanılması. *Gıda*, 20 (1): 39-42.
- Gökalp, H.Y., Işık, F. (1999). Yağsız Süt ve Yağsız Süttozunun Emülsiyon Özellikleri ve Gıda Sanayiinde Bu Amaçla Kullanımları. *Standard*, (Eylül): 51-61.
- Giese, J. (1992). Developing low-fat meat products. *Food Technology*, 46, 100-108.
- Işık, F., Gökalp, H.Y. (1996). Peyniraltı Suyu ve Peyniraltı Suyu Tozunun Emülsiyon Özellikleri ve Gıda Sanayiinde Bu Amaçla Kullanımları II. *Standard*, (Kasım): 61-68.
- Kaushik P, Dowling K, McKnight S, Barrow CJ, Wang B, Adhikari B. (2016). Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate. *Food Chemistry*. 197: 212-220.
- Ker, Y.C., Toledo, R.T. (1992). Influence of shear treatments on consistency and gelling properties of whey protein isolate suspensions. *Journal of Food Science*, 57 (1), 82-86.
- Kuhn, K.R., Silva, F.G.D., Netto, F.M., Cunha, R.L. (2014). Assessing the potential of flaxseed protein as an emulsifier combined with whey protein isolate. *Food Research International*. 59: 89-97.
- Krause, J.P, Schultz, M., Dudek, S. (2002). Effect of extraction conditions on composition, surface activity and rheological properties of protein isolates from flaxseed (*Linum usitatissimum*). *Journal of the Science of Food Agriculture*. 82: 970-976.
- Kurt, Ş., Ceylan, H.G. (2018). Model system evaluation of the effects of pea and pH on the emulsion properties of beef. *South African Journal of Animal Science*, 48(2), 316-323.
- Kurt, Ş., Ceylan, H. G. (2020). The Effects of Plant Fibers on Improving the Properties of Meat Emulsion. *J Hellenic Vet Med Soc* 2020, 71(2): 2055-2062.
- Kurt, Ş., Zorba, Ö. (2005). The effects of different levels of non-fat dry milk and whey powder on emulsion capacity and stability of beef, turkey and chicken meats. *International Journal of Food Science and Technology*, 40: 509-516.
- Kurt, Ş., Zorba, Ö. (2007). Emulsion Characteristics of Beef Offal. *Journal of Muscle Foods*, 18, 129-142.
- Kurt, Ş. (2010). Effects of pH and chitosan on beef emulsion properties. *Int. J. Food Sci. Tech.* 45,140-146.
- Laplante, S., Turgeon, S.L., Paquin, P. (2006). Emulsion-stabilizing properties of chitosan in the presence of whey protein isolate: Effect of the mixture ratio, ionic strength and pH. *Carbohydrate Polymers*. 65: 479-487.
- Laudadio, V., Tufarelli, V. (2012). Effect of treated field pea (*Pisum sativum* L. cv Spirale) as substitute for soybean extracted meal in a wheat middlings-based diet on

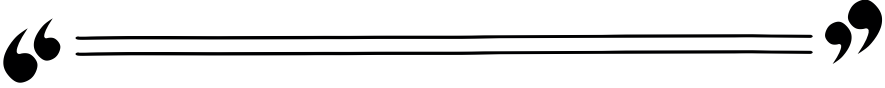
- egg production and quality of early laying brown hens. *Arch. Geflügelk.* 76, 1-5.
- Lee, C.M. (1985). Microstructure of meat emulsions in relation to fat stabilization. *Food Microstructure*, 4, 63-72.
- Lima, T.L.S., da Costa, G.F., Alves, R.N., Araujo, C.D.L., Silva, G.F.G., Ribeiro, N.L., de Figueiredo, C.F.V., de Andrade, R.O. (2022). Vegetable oils in emulsified meat products: a new strategy to replace animal fat. *Food Sci. Technol*, Campinas, 42, 1-9
- Lurueña-Martínez, Vivar-Quintana, M.A., Revilla, A.M.I. (2004). Effect of locust bean/xanthan gum addition and replacement of pork fat with olive oil on the quality characteristics of low-fat frankfurters. *Meat Science*, 68,383-389.
- Marquez, E.J., Ahmed, E.M., West, R.L., Johnson, D.D. (1989). Emulsion Stability and Sensory Quality of Beef Frankfurters Produced at Different Fat or Peanut Oil Levels. *Journal of Food Science*, 54, 867-870, 873.
- Mercier, S., Villeneuve, S., Moresoli, C., Mondor, M., Marcos, B., Power, K.A. (2014). Flaxseed-Enriched Cereal-Based Products: A Review of the Impact of Processing Conditions. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 13: 400-412.
- Meullenet, J-F, Chang, H.C., Carpenter, J.A., Resurreccion, A.V.A. (1994). Textural properties of chicken frankfurters with added collagen fibers. *Journal of Food Science*, 59(4), 729-733.
- Munialo, C.D., van der Linden, E., de Jongh, H.H.J., (2014). The ability to store energy in pea protein gels is set by network dimensions smaller than 50 nm. *Food Res. Int.* 64, 482-491.
- Mushtaq, A., Wani, S.M., Malik, A.R., Gull, A., Ramniwas, S., Nayik, G.A., Ercişli, S., Marc, R.A., Ullah, R., Bari, A. (2023). Recent insights into Nanoemulsions: Their preparation, properties and applications
- Author links open overlay panel. *Food Chemistry*: X 18, 100684
- O’Kane, F.E., Vereijken, J.M., Gruppen, H., Van Boekel, M.A.J.S., (2005). Gelation Behavior of Protein Isolates Extracted from 5 Cultivars of *Pisum Sativum* L. *J. Food Sci.* 70, 132-137.
- Oomah, B.D, Mazza, G. (1993). Flaxseed proteins--a review. *Food Chemistry*. 48: 109-114.
- Özdemir, S., Zorba, Ö., Gökalg, H.Y. (1994). Yağsız Süt Tozu, Yağsız Süt ve Peyniraltı Suyunun Emülsiyon Özellikleri. *Doğa Tr. Agriculture and Forestry*, D2 (18): 507-513.
- Polesi, L.F, Sarmiento, S.B.S., Anjos, C.B.P. (2011). Composition and characterization of pea and chickpea starches. *Brazilian J Food Tech.* 14(1), 74-81.
- Pappa, I.J., Bloukas, J.G., Arvanitoyannis, I.S. (2000). Optimization of Salt, Olive Oil and Pectin Level for Low-fat Frankfurters Produced by Replacing Pork Backfat with Olive Oil. *Meat Science*, 56, 81-88.
- Rabetafika, H. N., V. V. Remoortel, S. Danthine, M. Paquot and C. Blecker. (2011).

- Flaxseed proteins: food uses and health benefits. *International Journal of Food Science Technology*. 46: 221-228.
- Aswathanarayan, J.B., Vittal, R.R. (2019). Nanoemulsions and Their Potential Applications in Food Industry. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, (3), Article 95.
- Samant, S.K., Singhal, R.S., Kulkarni, P.R. & Rege, R.S. (1993). Protein-polysaccharide interactions: a new approach in food formulations. *Int. J. Food Sci.Tech.* 28, 547-562.
- Schut, J. (1976). Meat emulsions. In: *Food Emulsions* (edited by S. Friberg). Pp. 385-458. New York: Marcel Dekker Inc.
- Severini, C., Pilli, T.D., Baiano, A. (2003). Partial Substiation of Pork Backfat with Extra-virgin Olive Oil in 'Salami' Products: Effects on Chemical, Physical and Sensorial Quality. *Meat Science*, 64, 323-331.
- Smith, D.M. (1988). Meat Proteins: Functional properties in comminuted meat products. *Food Technology*, 42(4), 116-121.
- Sosulski, F.W., McCurdy, A.R. (1987). Functionality of flours, protein fractions and isolates from field peas and bean. *J. Food Sci.* 52, 1010-1014.
- Söderberg, J. (2013). Functional properties of legume proteins compared to egg proteins and their potential as egg replacers in vegan food. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Sun, C., Gunasekaran, S., Richards, M.P., (2007). Effect of xanthan gum on physico-chemical properties of whey protein isolate stabilized oil-in-water emulsions. *Food Hydrocol.* 21, 555-564.
- Tarpila A, Wennberg T, Tarpila S. (2005). Flaxseed as a functional food. *Current Topics in Nutraceutical Research*. 3: 167-188.
- Tarté, T. (2009). Ingredients in meat products: properties, functionality and applications. (pp. 122), Medison, Wisconsin USA.
- Troutt, E.S., Hunt, M.C., Johnson, D.E., Claus, J.R., Kastner, C.L. ve Kropf, D.H., Stroda, S. (1992). Chemical, Physical, and sensory characterization of ground beef containing 5 to 30 percent fat. *Journal of Food Science*, 57, 25-29.
- Wang, B., Li, D., Wang, L.J., Adhikari, B., Shi, J. (2010a). Ability of flaxseed and soybean protein concentrates to stabilize oil-in-water emulsions. *Journal of Food Engineering*. 100: 417-426.
- Wang, B., Li, D., Wang, L.J., Özkan, N. (2010b). Effect of concentrated flaxseed protein on the stability and rheological properties of soybean oil-in-water emulsions. *Journal of Food Engineering*. 96: 555-561.
- Wang, B., Wang, L.J., Li, D., Adhikari, B., Shi, J. (2011). Effect of gum Arabic on stability of oil-in-water emulsion stabilized by flaxseed and soybean protein. *Carbohydrate Polymers*. 86: 343-351.
- Yener, I. (2011). Keten tohumu ve fitoterapi [MS Thesis]. Ankara, Turkey: University of Gazi, Ankara.

- Zhao, Q., Long, Z., Kong, J., Liu, T., Sun-Waterhouse, D., Zhao, M. (2015). Sodium caseinate/flaxseed gum interactions at oil-water interface: Effect on protein adsorption and functions in oil-in-water emulsion. *Food Hydrocolloid*. 43: 137-145.
- Ziegler, G.R., Acton, J.C. (1984). Mechanisms of gel formation by proteins of muscle tissue. *Food Technology*, (May), 77-82.
- Zorba, Ö., Gökalp, H.Y., Yetim, H., Ockerman, H.W. (1993a). Salt phosphate and oil temperature effects on emulsion capacity of fresh or frozen meat and sheep tail fat. *Journal of Food Science*, 58 (3), 492-496.
- Zorba, Ö., Gökalp, H.Y., Yetim, H., Ockerman, H.W. (1993b). Model system evaluations of the effects of different levels of K_2HPO_4 , NaCl and oil temperature on emulsion stability and viscosity of fresh and frozen turkish style meat emulsions. *Meat Science*, 34, 145-161.
- Zorba, Ö. (1995). Effect of thermal process degrees on protein solubility, different emulsion and electrophoretic characteristics of protein fractions in fresh and frozen beef. Ph. D. Thesis (Unpublished). Erzurum-Turkey: Atatürk University.
- Zorba, Ö., Özdemir, S., Gökalp, H.Y. (1998). Stability of Model Emulsions Prepared Using Whey and Muscle Proteins. *Nahrung*, 42 (1): 16-18.
- Zorba, Ö., Kurt, Ş. (2003). Et ürünlerinde bitkisel yağların kullanımı. 3.Gıda Mühendisliği Kongresi, 2-4 Ekim, 2003, Ankara.
- Zorba, Ö., Kurt, Ş., Genççelep, H. (2005). The effects of different levels of skim milk powder and whey powder on apparent yield stress and density of different meat emulsions. *Food Hydrocolloids*, 19(1), 149-155.
- Zorba Ö., Kurt Ş. (2008). The effects of different plant oils on some emulsion properties. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 229-236.



OTOYOLLARDA KULLANILAN TAŞITLARIN TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ YÖNTEMLERİ



Haluk GÜNEŞ¹
Mehmet Akif KUNT²

1 Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı MYO, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Tavşanlı, Kütahya, Türkiye
(ORCID: 0000-0002-0915-0924)

2 Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı MYO, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Tavşanlı, Kütahya, Türkiye
(ORCID: 0000-0001-5710-7253)

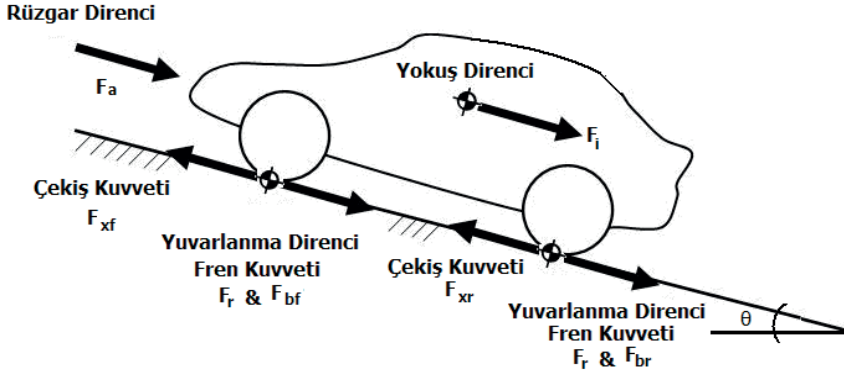
1. Giriş

Motorlu taşıtlar günümüzde taşımacılık, ulaşım gibi çeşitli ihtiyaçlar için kullanılmaktadır. Dünyada artan insan nüfusu ve buna bağlı olarak artan tüketim bu ihtiyacı her geçen gün daha da önemli hale getirmiştir. Ayrıca bu ihtiyaçların daha ekonomik ve daha hızlı taşıtlarla yapılabilmesi çevresel enerji kaynaklarının doğru bir şekilde tüketilmesini sağlayacaktır. Bu çalışmada otoyollarda kullanılan bir motorlu taşıt tasarımı yapılırken dikkate alınması gereken parametreler ortaya konmuştur. Taşıtın aerodinamik yapısı, ağırlığı, hareket esnasında karşılaştığı kuvvetler ve günümüzde sürüş çevrimlerine olan tepkileri önemli tasarım parametrelerdir. Tasarım yapılırken taşıt bir bütün olarak ele alınmalı ve ortaya çıkan ürün çeşitli şartlarda testlere tabii tutularak üretim aşamasına geçirilmelidir. Ayrıca üretildikten ve kullanıldıktan sonra bile sürücülerden alınan geri dönüşler ile yeni tasarım geliştirmeleri yapılabilir. Bu sayede taşıt hem ekonomik hem çevreci hem de verimli hale gelebilmektedir.

Tasarlanacak taşıt ister elektrikli ister konvansiyonel yakıtlı olsun tasarımı, gücün yola aktarımı için kullanılan direksiyon sistemi, güç aktarma organları, taşıtın aerodinamik yapısı önemli konular arasında yer almaktadır. Bu özellikler incelenirken taşıta etki eden dış kuvvetlerde göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü taşıt hareket ederken onu hareket ettiren mekanizmalar dışarıdan gelen etkileri de karşılamalı ve onları yenmelidir. Bunun için taşıta dışarıdan etki eden kuvvetler bilinmeli ve tasarım bu özelliklere göre yapılmalıdır.

2. Taşıta etki eden kuvvetler

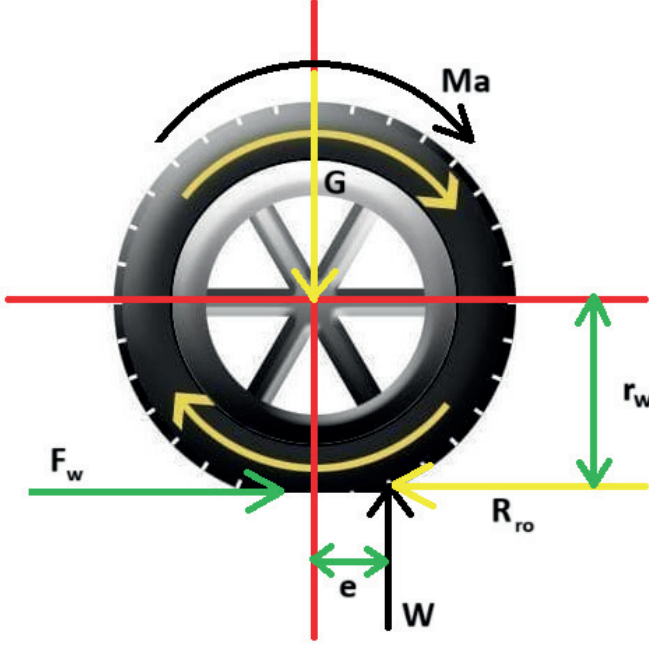
EA'lar hareket edebilmek için kendilerine etki eden kuvvetleri yenmesi gerekir. Bu durum hareket esnasında çevre koşullarının sürekli değişmesi durumlarında da geçerlidir. Çünkü aracı ilk harekete geçirebilmek için harcanan çaba ile onun hareketini devam ettirebilmesi için gereken çaba birbirinden farklı olur. Ayrıca sürüş esnasında rüzgâr, yol durumu yük durumu da çeşitli etkiler ortaya çıkarabilir. Tekerlek ile yol arasındaki sürtünme hareket oluşturmak için gereklidir. Ancak gereğinden fazla sürtünme onu yenebilmek için yüksek enerji harcama gerekliliğini de doğurur. Bunun yanı sıra aracın aerodinamik yapısı rüzgâr direncini yenebilmek için uygun bir tasarımda olması gerekir. Çünkü taşıt yüksek hızlarda enerjisinin büyük bir kısmını rüzgâr direncini yenmek için harcar. Hareket eden bir araç hızlanmak istiyorsa o zaman ivmelenme direncini yenmesi gerekir. Hareket eden araç durmak ya da yavaşlamak istiyorsa bu sefer yavaşlamaya zıt olan hareketleri yenmesi gerekir (Boyalı, ve Güvenç, 2010).



Şekil 1. Hareket halindeki taşıta etki eden kuvvetler

EA, sürüşü esnasında karşılaştığı kendisine etki eden bu dirençlere ve kuvvetlere karşı mümkün olduğunca az maruz kalacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu hem tüketeceği enerji bakımından tasarrufta olmasını hem de ekonomik olmasını sağlamaktadır. Standart üretilmiş aynı özelliklere sahip benzer iki EA arasında kıyaslama yapılırken hangisinin tam dolu şarjda daha fazla yol gittiği göz önünde bulundurulur. Çünkü EA'lar için yollardaki şarj alt yapısı henüz tam istenilen sayıda değildir. Ayrıca şarj etme süreleri hala EA'lar için oldukça uzundur. Kullanıcılar bu özellikleri dikkate alarak yola çıkmaktadırlar. EA'ların menzilini uzatacak bütün teknolojik gelişmeler onların rakipleri karşısında avantajlı olmalarını sağlamaktadır. Şekil 1'de hareket halinde olan bir taşıta etki eden kuvvetler gösterilmektedir (Solmaz, Kocakulak, 2020). Bu kuvvetler Yokuş direnci, rüzgâr direnci, yuvarlanma direnci, ivmelenme direncidir. Bu dirençler çekiş kuvveti ile yenilerek araç hareket ettirilir.

3. Dinamik tekerle etki eden kuvvetler



Şekil 2. Dinamik tekerleğe etki eden kuvvetler

Katı zeminde tekerleğe etki eden kuvvetler Şekil 2’de verilmiştir. Burada tekerlek F_w kuvveti ile tahrik edilmekte ve tekerleğin dinamik yarıçapı ile birlikte bu kuvvet M_a torkunu oluşturmaktadır.

$$M_a = F_w \cdot r_w \quad (1)$$

Ayrıca tekerleğin aks ile birleştiği yere taşıtın G ağırlığı etki etmektedir. Bu ağırlığın yol üzerinde normal kuvvet olarak karşılığı W olur ve tekerleğin temas yüzeyinde oluşan e mesafesi ile zıt yönde tekere etki eder. Bu kuvvette harekete zıt yönde bir tork oluşturur. Ayrıca taşıtın sürüldüğü zemine bağlı bir R_{ro} yuvarlanma direnci oluşmaktadır. Onlar arasındaki ilişki,

$$R_{ro} \cdot r_w = W \cdot e \quad (2)$$

Şeklinde dir. Denklem 2 düzenlendiğinde,

$$R_{ro} = W \cdot \frac{e}{r_w} \quad (3)$$

Olur ve buradaki yuvarlanma direnç katsayısı olarak adlandırılır f_{ro} ile gösterilir.

$$f_{ro} = \frac{e}{r_w} \quad (4)$$

Denklem (4), denklem (3)'de yerine yazıldığında,

$$R_{ro} = W \cdot f_{ro} \quad (5)$$

Olur.

Ayrıca bütün tekerleğe etki eden kuvvetler birlikte yazıldığında,

$$M_a + R_{ro} \cdot r_w = F_w \cdot r_w + W \cdot e \quad (6)$$

Olarak yazılabilir.

Yuvarlanma direnci katsayısı taşıtın yol üzerindeki hareketi için önemli bir parametredir ve yolun durumuna ve lastiğin özelliklerine bağlı olarak değişir. Tablo 1'de farklı yol yüzeylerine göre yuvarlanma direnci katsayıları verilmiştir (Çetinkaya, 2005, s.119).

Tablo 1. Çeşitli yol durumlarına göre yuvarlanma direnç katsayıları

Yol durumu	Yuvarlanma direnci katsayısı
Düzgün asfalt, beton yol	0.0015
Küçük taşlı yol	0.0015
İri taşlı yol	0.0015
Şose yol	0.02
Çamurlu yol	0.05
Gevşek toprak, kum	0.1-0.35

4. Aerodinamik kuvvetler

EA'nın hareket esnasında hava olaylarından dolayı karşılaştığı kuvvetlere aerodinamik kuvvetler denir. Bu kuvvetler EA'nın hareket yönünün tersine olmakla beraber onların performanslarını kaybetmelerine, daha fazla güç harcamalarına ve menzillerinin kısılmasına sebep olabilir. Bu açıdan aerodinamik kuvvet araç tasarımı esnasında dikkat edilmesi gereken bir unsurdur. EA'nın aerodinamik yapısı bu olumsuzlukları ortadan kaldırabilecek veya azaltabilecek yapıda olmalıdır. Aerodinamik kuvvetin, taşıtın ilerlemesine zıt yönde olan bileşenine aerodinamik direnç, taşıtı yukarı kaldıran bileşenine aerodinamik lift ve taşıtı ilerleme doğrultusundan çıkarmaya yönelik bileşenine ise yanal kuvvetler denir.

Aerodinamik kuvvet taşıtın basınç merkezine etki eder. Bu merkez genellikle taşıtın ağırlık merkezinden farklı bir yerdedir. Aerodinamik kuvvet;

$$F_{aerod} = 0.5 \rho C_D A v^2 \quad (7)$$

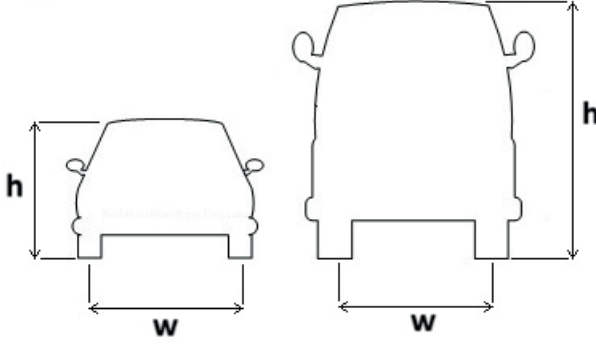
Eşitliği ile ifade edilir. Burada “ ρ ” havanın yoğunluğunu (kg/m^3), “ C_D ” aerodinamik katsayı, “ A ” taşıtın ön iz düşüm alanı (m^2), “ v ” taşıtın hızını (m/s) göstermektedir. Aerodinamik kuvvet taşıtın karoseri yapısı, havalandırması, camların açık veya kapalı olması, rüzgârın geliş açısı ve reynold sayısının etkisi altındadır. Aerodinamik katsayı aracın dış kabuk formuyla ilgili bir özelliktir. Taşıtın kaportası dışarıdan etki edecek hava olaylarını engellemeden üzerinden akmasını sağlayacak bir tasarımda olmalıdır. Şekil 3’de genel formları ile model alınabilecek tasarım şekilleri ve sahip oldukları aerodinamik katsayılar gösterilmektedir (Türk, 2017).

Şekil	Katsayı
Küre → 	0.47
Yarım Küre → 	0.42
Uzun Silindir → 	0.82
Kısa Silindir → 	1.15
Aerodinamik Hat → 	0.04
Yarı Aerodinamik Hat → 	0.09

Şekil 3. Taşıt tasarım şekilleri ve sahip oldukları aerodinamik katsayılar

Taşıtın ön iz düşüm alanı “ A ” Eşitlik 2’de gösterildiği gibi hesaplanır. Burada “ h ” taşıtın yüksekliğini, “ w ” ise genişliğini ifade etmektedir. 0.9 katsayısı genel bir ifade olup ön iz düşümdeki girinti çıkıntıların yok sayılması için kullanılmıştır. Şekil 4’de taşıt ön iz düşüm alanı hesabında kullanılan ölçüler verilmiştir.

$$A = 0.9 w h \quad (8)$$



Şekil 4. Taşıt Ön iz düşüm alanı hesabı

Aerodinamik kuvvetin taşıtın hareketi doğrultusuna ters bileşeni olan aerodinamik direnç;

$$F_{aerodX} = 0.5 \rho C_{Dx} A ((v \pm v_0)^2) \quad (9)$$

Eşitliği ile hesaplanır burada “ v_0 ” taşıtın hareket yönüne ters veya hareket yönünde esen rüzgârın hızıdır (m/s). Taşıtı kaldırmaya yönelik etki eden aerodinamik kuvvetin bileşeni olan aerodinamik lift;

$$F_{aerodZ} = 0.5 \rho C_{Dz} A (v \pm v_0)^2 \quad (10)$$

Eşitliği ile hesaplanabilir. Aerodinamik kuvvetin diğer bir bileşeni olan aerodinamik yanal kuvvet ise;

$$F_{aerodY} = 0.5 \rho C_{Dy} A v_0^2 \quad (11)$$

Eşitliği ile hesaplanabilir. Burada “ v_0 ” taşıta göre bağıl rüzgâr hızıdır (m/s).

5. Yokuş ve ivmelenme dirençleri

Taşıtın gidebileceği en yüksek hızın altındaki hızlarda motorun sağladığı tahrik kuvveti ile en yüksek hızda giderken sağladığı kuvvet arasındaki fark taşıtın rezerv kuvvetidir. Bu kuvveti taşıt yokuş çıkarken veya ivmelenirken kullanmak için saklamaktadır. Ancak her aracın yol ve yük şartlarına bağlı olarak tırmanabileceği bir yokuş eğimi ve ivmelenebilme yeteneği vardır. Bu özellikler taşıtların yokuş ve ivmelenme performansını belirler.

Taşıtlar, tırmanma yeteneği olarak da tanımladığımız ivmesiz olarak bir yokuşu tırmanması esnasında yolun eğimine bağlı olarak bir yetenek geliştirir. Bu yeteneği yokuş direncini yenebilmesine bağlıdır. Yokuş direnci sabit

hızda giden taşıtın yolun eğimine bağlı olan paralel bileşeni tarafından oluşturulur.

$$F_{st} = \pm G \sin \alpha \quad (12)$$

Eşitlik 12’de yokuş direnci verilmiştir. Burada “ α ” yolun eğimini “ G ” taşıtın ağırlığını ifade etmektedir (kg). İvme direnci taşıtın doğrusal hareketi ile güç aktarma organları, tekerlekler, motor gibi dönme hareketi yapan parçalarındaki hızların değişimi ile oluşur. Önden çekişli bir taşıtın arka tekerleklerini hızlandırmak için gerekli moment;

$$M_{rear} = I_{rear} \alpha_{rear} \quad (13)$$

olacaktır. Burada “ I_{rear} ” dönen arka teker için atalet momenti (kgm^2), “ α_{rear} ” arka tekerin açısal ivmesidir (rad/s^2). Ayrıca önden çekişli bir taşıt ön tekerlekleri ile diğer tüm dönen taşıt kütlelerini hızlandırmak için gerekli moment;

$$M_f = I_f \alpha_f + I_e \alpha_e i_0 \eta_{tr} \quad (14)$$

olacaktır. Burada “ I_f ” ön tekerleğin atalet momenti (kgm^2), “ α_f ” ön tekerleğin açısal ivmesi (rad/s^2), “ I_e ” motor hızında dönen kütlelerin eş değer atalet momenti (kgm^2), “ α_e ” dönen tüm kütlelerin eş değer açısal ivmesi (rad/s^2), “ i_0 ” toplam transmisyon oranı ve “ η_{tr} ” toplam transmisyon verimini ifade eder. Ayrıca taşıtın hızını v_1 den v_2 artırmak için kat edeceği yol;

$$s = \int_{v_1}^{v_2} \frac{v dv}{F_{net} / \gamma m_v} = \gamma m_v \int_{v_1}^{v_2} \frac{v dv}{f(v)} \quad (15)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada “ F_{net} ” net tahrik kuvveti (kg), “ γ ” etkili kütle katsayısı, “ m_v ” aracın toplam kütlesi (kg) olmaktadır.

6. Çekiş kuvveti

Taşıt yolda ilerlerken motordan aldığı güç ile çekiş kuvveti oluşturulur. Bunun yanı sıra araç harekete başlarken ve hareket esnasında onu yavaşlatmaya veya hareket etmesine engel kuvvetler oluşur. Bu kuvvetleri yenen araç geri kalan tahrik kuvveti ile hareket eder. Çekiş kuvveti bu kuvvetlerin toplamına eşittir.

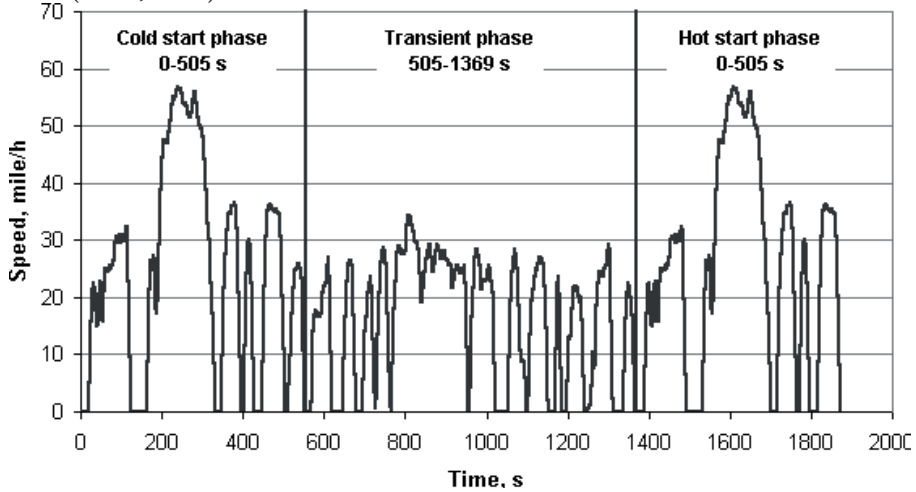
$$F_{\text{çekiş}} = F_{\text{tahrik}} + F_{\text{aerod}} + F_{\text{yuvarlanma}} + F_{\text{eğim}} \quad (16)$$

Denklem 4.15’de $F_{\text{çekiş}}$ çekiş kuvvetini, F_{tahrik} tahrik kuvvetini, $F_{\text{yuvarlanma}}$ yuvarlanma kuvvetini, $F_{\text{eğim}}$ eğim kuvvetini simgeler. Eğim araç düz yolda gidiyorsa ihmal edilir. Tahrik kuvveti aracın efektif kütlesi ile hareket yönündeki ivmenin çarpılmasıyla bulunur.

7. Taşıt emisyonları için kullanılan yol çevrimleri

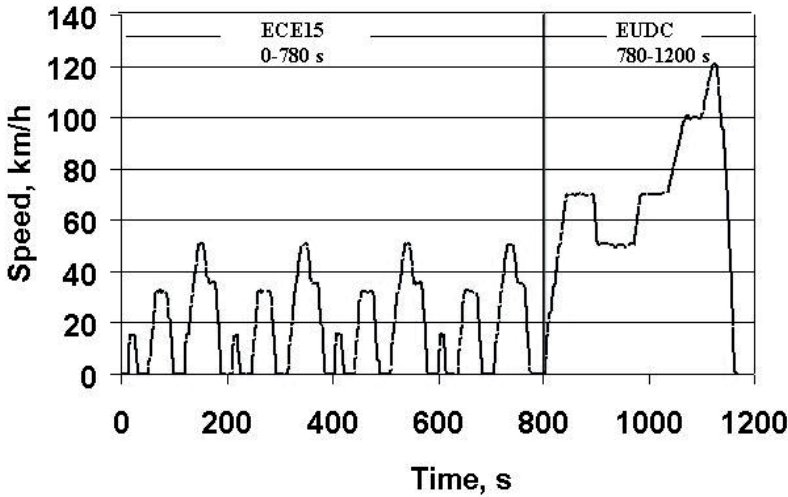
Günümüzde üretilen taşıtların yakıt ekonomileri ve emisyon değerleri sürüş çevrimleri adı verilen test prosedürleri ile belirlenmekte bu prosedürlerle uymayan taşıtlar Dünya üzerinde belirli ülkelerde satışa sunulamamaktadır. Özellikle Euro 6 emisyon normu ile bu norma uyum sağlayan ülkeler sıkı denetimlerle araçları kontrol etmektedirler. Yol çevrimleri gerçek sürüş şartlarını karşılamak üzere tasarlanmış olmakla beraber her yeni sürüş çevrimi gerçeğe daha fazla yaklaşmaktadır. Bu çevrimlerde taşıtlar belirlenen süreler içerisinde hızlanma yavaşlama durma ve sabit hızda sürülerek yakıt tüketimleri ve emisyon salınımları ölçülmektedir. Bu testlerde taşıt zaman hız grafiği oluşturulmaktadır. Gerçek sürüş çevrimleri fiziksel olarak taşıt ile yapılabildiği gibi simülasyon yazılımları ile de yapılabilmektedir. Böylece taşıt üretilmeden önce gerçeğe uygunluğu tahmin edilebilmektedir. Sürüş çevrimleri farklı ülkeler ve farklı yol şartları için ayrı ayrı oluşturulmalıdır. Çünkü her ülkenin yol ve altyapı özellikleri birbirinden farklıdır. Dünya üzerinde birçok sürüş çevrimi modeli bulunmaktadır. Bunlardan en yaygını Amerika FTP-75 (Federal Test Prosedürü), NEDC (New European Driving Cycle) ve WLTC (World-wide harmonized Light duty Test Cycle) sürüş çevrimleridir.

Amerika FTP-75 2008 yılında güncellenmiş hali ile çeşitli eklemeler içermektedir. Şehir içi sürüş için FTP-75, otoyol testi için HWFET, agresif sürüş testi için SFTP US06 ve klima kullanımı için SFTP SC03 prosedürü geliştirilmiştir. Şekil 5'de Amerika FTP-75 sürüş çevrimi yol zaman grafiği gösterilmektedir. Bu çevrime göre şehir sürüş programında sürüş mesafesi 17.77 km, çevrimin süresi 1874 s ve ortalama hız 34.1km/h'dir. Otoyolda 765 saniye süresince toplam 16.45km yol, ortalama 77.7km/h hızla kat edilmektedir (Lassi, 2003).



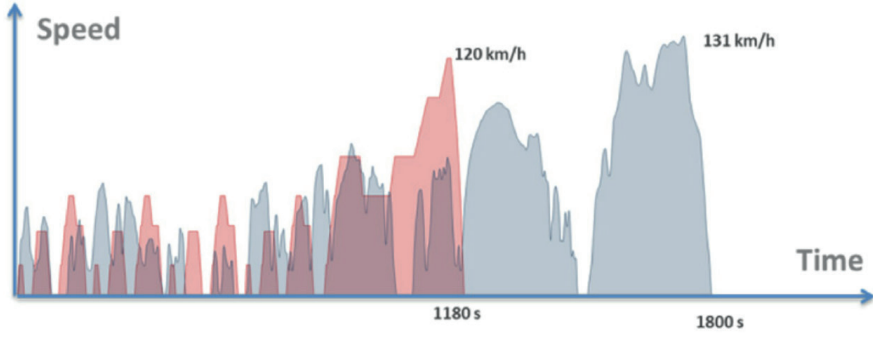
Şekil 5. Amerika FTP-75 sürüş testi prosedüründe kullanılan yol zaman çizelgesi

NEDC Avrupa’da 2017 yılına kadar kullanılmış bir sürüş çevrimidir. Bu çevrimde taşıt yolda seyir halinde iken karşılaştığı dirençleri ve atalet kuvvetlerini simüle eden bir dinamometre üzerinde koşturulur ve test 4 ayrı aşamada yapılır. Birincisi şehir içi döngüsüdür. Burada taşıt toplam test mesafesinin %25 kadar sürülür. İkincisi şehir dışı döngüsüdür ve taşıt test mesafesinin %60 kadar sürülür. Üçüncüsü sabit hız çevrimidir taşıt kısa bir mesafe için sabit 90km/h hız ile sürülür. Dördüncüsü soğuk çalıştırma aşamasıdır ve burada taşıt kısa bir mesafe soğuk çalıştırılır ve sürülür. Bu döngü toplamda 20 dakika ve 11 km sürer. Maksimum hız 120km/h ve ortalama hız 34km/h’dir. NEDC gerçek sürüş şartlarından oldukça uzak olması sebebiyle yerini 2017 yılında kısmen ve 2020 yılında tamamen WLTC sürüş çevrimine bırakmıştır. Şekil 6’da bu sürüş çevrimine ait yol ve zaman grafiği verilmiştir (Karaoğlu, 2023).



Şekil 6. NEDC sürüş çevrimi için kullanılan yol ve zaman grafiği

WLTC sürüş çevrimi ve buna karşılık gelen WLTP test prosedürü yaklaşık 150 yıldır dünya çevresinde oluşan sera gazlarının tamamından sorumlu insanoğlunun bu gazları oluşturma etkisini azaltmaya yönelik bir karayolu test prosedürüdür. Bu çevrim her biri birbirinden farklı en yüksek hıza sahip 4 aşama ile yapılır. Düşük hızlarda maksimum 56.5km/h, orta hızlarda maksimum 76.6km/h, yüksek hızlarda 97.4km/h ve ekstra yüksek hızlarda maksimum 131.3 km/h hızlarda taşıt sürülür. Toplam test süresi 1800s, durma süresi 235s, mesafe 23.25km olarak uygulanmaktadır. Şekil 7’de WLTP sürüş çevrimi ve NEDC sürüş çevrimi için kullanılan hız zaman grafikleri üst üste bindirilerek karşılaştırılmıştır [6].



Şekil 7. WLTP ve NEDC sürüş çevrimlerinin hız ve zaman grafiklerinin karşılaştırılması

KAYNAKLAR

- Boyalı, A. ve Güvenç, L. (2010). Hibrid elektrikli araçların modellenmesi ve kural tabanlı kontrolü. *İTÜ Mühendislik dergisi/d*, 9(2), 83-89.
- Çetinkaya, S. (2005). *Taşıt Mekaniği*. Ankara: Nobel Yayınevi.
- Fiatprofessional (t.y.). Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü. <https://www.fiatprofessional.com/tr/WLTP>
- Karaoğlu, M.U. (2023). Paralel hibrit araçlarda vites kutusu konumunun taşıt performansı ve komponent verimine etkisinin sürüş çevrimi simülasyonu ile incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 25(74), 281-293.
- Lassi, U. (2003). Deactivation correlations of pd/rh three-way catalysts designed for euro iv emission limits. Faculty of Technology, University of Oulu.
- Solmaz, H., Kocakulak, T. (2020). Modelling of a serial hybrid vehicle with hccı range extender engine. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ*, 8(2), 279-292.
- Türk, O. (2017). Elektrikli bir taşıtta rejeneratif fren sistemi etkinliğinin analizi. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi.



KÜRESEL BİR ÇEVRE SORUNU: MİKROPLASTİKLER

“ ”

Saadet HACISALİHOĞLU¹
Merve ÖZKALELİ AKÇETİN²

1 Dr. Öğr. Üyesi, Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Bölümü, saadet.hacisalihoglu@btu.edu.tr,
ORCID: 0000-0001-5969-4180.

2 Dr. Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fak., Çevre Mühendisliği Bölümü,
merozkaleli@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5593-7966.

1. GİRİŞ

Plastik üretimi, 20. yüzyılın ortalarından itibaren hızla artmış ve günümüzde küresel ölçekte yılda 400 milyon tonun üzerine çıkmıştır (Plastics Europe, 2023). Bu malzemeler, dayanıklılık, düşük maliyet ve çok yönlü kullanımları nedeniyle modern yaşamın hemen her alanına entegre olmuştur (Pilapitiya ve Ratnayake, 2024). Ancak bu yaygın kullanım, plastiklerin çevreye kontrolsüz salınımını da beraberinde getirmiştir. Bu nedenle günümüzde çevresel kirleticilerin en dikkat çekici bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Polimer esaslı bu malzemeler hafif, dayanıklı ve düşük maliyetli olmaları nedeniyle hemen her sektörde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur (Guo ve ark., 2024). Dünya genelinde 2023 yılı itibariyle plastik üretiminin 400 milyon tonun üzerinde olduğu ve bu miktarın yalnızca küçük bir kısmının geri dönüştürülebileceği bildirilmektedir (Plastics Europe, 2023).

Mikroplastik (MP) tanımı, boyutları 5 milimetre ve daha küçük plastik malzemeleri ifade etmektedir. Bu malzemeler ilk tanımlandıkları günden (2004) bu yana çevreyi ve insan sağlığını tehdit eden **yeni nesil kirleticiler** olarak da değerlendirilmektedir (Thompson ve ark. 2004). Hemen hemen birçok alanda kullanılan mikroplastikler, teknolojinin ilerlemesiyle ihtiyaçlarımızı daha hızlı ve kolay bir şekilde karşılamış olsa da, atıkların çeşitlenmesi bakımından çevre kirliliği ve insan sağlığı alanında da artan düzeyde tehlikelere sebep olmuştur. Mikroplastikler, kökenlerine göre **primer** ve **sekonder** türler olmak üzere iki grupta sınıflandırılırlar. Primer mikroplastikler, endüstride uygun boyutta doğrudan üretilen granüller, kozmetiklerde kullanılan mikro boncuklar veya tekstil liflerinden kaynaklanan mikro elyaflar gibi türleri kapsamaktadır. Sekonder mikroplastikler ise büyük plastiklerin fotooksidasyon, mekanik aşınma, dalga hareketi ve mikrobiyal faaliyetler sonucu parçalanmasıyla oluşur (Akçay, 2020). Bu iki tür mikroplastik grubu, çevresel döngü içerisinde farklı yollarla taşınmakta ve sucul, karasal, atmosferik sistemlerde yaygın bir şekilde dağılmaktadır. Ayrıca mikroplastikler ortamda bulunan diğer kirleticilerin (örneğin ağır metaller, kalıcı organik kirleticiler, vb.) adsorpsiyonuna katılarak ikincil kirletici rolü üstlenmektedirler (Hacısalihoğlu, 2025).

Mikroplastikler çeşitli antropojenik faaliyetler sonucu çevresel ortamlara ulaşmaktadır. Özellikle kozmetik ürünlerde, kişisel bakım ürünlerinde, temizlik ürünlerinde, paketlenme ürünlerinde, sanayide hem üretim sürecinde hem de hammadde olarak kullanılmaktadır (Ziani ve ark. 2023). Bunların yanı sıra karayolu ulaşımı kaynaklı, özellikle lastiklerin aşınması sonucu, tarımsal faaliyetlerde plastik malzemelerin kullanımı, yetersiz atık yönetimi uygulamaları da mikroplastiklerin oluşumuna katkıda bulunmaktadır (Smyth ve ark. 2025). Bu kaynaklardan yayılan mikroplastikler, su kaynakları ve atmosfer aracılığıyla geniş alanlara taşınmakta, sonuç olarak denizel ekosistemlere, tatlı su kaynaklarına ve nihai olarak toprağa kadar ulaşabilmektedir. Bu atıklar, çevre, ekonomi, sağlık ve estetik açıdan ciddi sorunlara neden olmaktadır (Aydın, 2020).

Bu nedenle, plastik atıkların yönetimi çevre ve insan sağlığının korunması için kritik öneme sahiptir. Plastiğin üretimi, kullanımı ve atık yönetim stratejilerinin sürdürülebilirlik ilkelerine dayalı olarak geliştirilmesi bu sorunun çözümü için önemli adımlar olacaktır. Ayrıca bu alandaki bilimsel araştırmaların ve teknolojik gelişmelerin ilerlemesi, plastik atıkların azaltılması ve etkin yönetimi için önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Sonuç olarak, mikroplastikler sadece çevresel bir kirlilik göstergesi değil, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından da ciddi bir risk oluşturmaktadır. Küresel üretim-tüketim zincirindeki plastik bağımlılığı, bu atıkların ekosistemlere ve insan sağlığına ulaşmasını kaçınılmaz hâle getirmiştir. Mikroplastiklerin çevredeki akıbeti, taşınımı, birikimi ve biyolojik etkileri üzerine yapılan çalışmalar, henüz birçok bilinmeyi barındırmaktadır. Bu nedenle mikroplastiklerin çevresel davranışlarının, kirlenici taşıma potansiyellerinin ve toksikolojik etkilerinin bütüncül bir yaklaşımla incelenmesi, hem bilim dünyası hem de karar mercileri için öncelikli bir gereklilik hâline gelmiştir.

2. MİKROPLASTİKLERİN MORFOLOJİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Mikroplastiklerin çevresel davranışları, şekil, yoğunluk ve polimer türleri ile yakından ilişkilidir. Morfolojik açıdan mikroplastikler genellikle fiber, fragman, film, pelet ve granül gibi farklı kategorilerde sınıflandırılmaktadır. (Zhang ve ark., 2017). Özellikle lif türü mikroplastikler tekstil atıklarından, granül ve pelet türü mikroplastikler endüstriyel üretim ve taşıma aşamalarından, film ve fragman türü atıklar ise ambalaj malzemelerinden kaynaklanmaktadır (Maharjan ve Dhungel, 2024).

Kimyasal bileşimleri açısından çeşitli polimer türleri olmakla birlikte, en yaygın kullanılan polimer türleri, polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polietilen tereftalat (PET) ve polivinil klorür (PVC)'dür. Bu polimer türleri farklı yoğunluk değerlerine sahip olduklarından, kullanım alanları da çeşitlilik göstermektedir (Almroth ve Roslund, 2024; Sunta ve ark., 2021, Zhang ve ark., 2017). Tablo 1'de yaygın olarak kullanılan polimer türleri ve kullanım alanları yer almaktadır.

Tablo 1. Yaygın olarak kullanılan mikroplastikler ve kaynakları (Hacısalihoğlu, 2024)

Polimer Türü	Sembol	Uygulama Alanları
Düşük yoğunluklu polietilen	LDPE	Paketleme, genel amaçlı kaplar, duş perdeleri, yer karoları
Yüksek yoğunluklu polietilen	HDPE	Süt kapları, deterjan şişeleri, borular
Polietilen	PE	Süpermarket poşetleri, plastik şişeler
Polipropilen	PP	Paketleme, şişe kapakları, ipler, halılar, laboratuvar ekipmanları, pipetler
Polistiren	PS	Ambalaj köpüğü, tek kullanımlık kaplar, CD'ler, yapı malzemeleri
Polivinil klorür	PVC	Borular, pencere çerçeveleri, döşeme, duş perdeleri
Polietilen tereftalat	PET	Meşrubat şişeleri, ambalajlar, termal yalıtım
Poliamidler	PA	Tekstiller, diş fırçası kolları, misinalar, otomotiv
Polikarbonat	PC	CD'ler, DVD'ler, inşaat malzemeleri, elektronik, lensler

Bu çeşitlilik, mikroplastiklerin hem kaynaklarını belirlemede hem de çevresel taşınımalarını modellemede önemli ipuçları sunmaktadır (Almroth ve Roslund, 2024; Hernandez ve ark., 2019). Özellikle PE ve PP gibi düşük yoğunluklu polimerler su kaynaklarında yüzey tabakada yer alırken, PET ve PVC gibi daha yüksek yoğunluğa sahip polimerler ise su kaynaklarının alt tabakalarına veya sedimente çökme eğilimindedirler (Ziani ve ark., 2023; Özgüler ve ark., 2022; Andray, 2011). Bu nedenle mikroplastiklerin, morfolojik ve kimyasal özelliklerin birlikte ele alınıp değerlendirilmesi, bu atıkların çevresel akıbeti, taşınımları ve toksikolojik etkilerinin belirlenmesinde kritik öneme sahiptir (Prata ve ark. 2020).

3. MİKROPLASTİKLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Mikroplastikler, çevresel ortamlarda kalıcı kirleticiler olarak tanımlanmakta ve dayanıklı yapıları nedeniyle doğal bozunma süreçlerine karşı direnç göstermektedirler. Bu nedenle, bu atıklar, çevrede uzun süre varlıklarını sürdürmekte ve farklı ekosistem bileşenleri arasında taşınarak küresel ölçekte bir kirlilik sorunu haline gelmektedir (Xiang ve ark., 2023).

3.1. Sucul ve Karasal Ekosistemlerde Etkiler

Mikroplastiklerin en çok biriktiği çevresel ortamlar su kaynaklarıdır. Su ortamlarında mikroplastikler, plankton, bentik organizmalar, balıklar ve kabuklular tarafından alınarak besin zincirine dahil olurlar. Bu atıklar, canlıların solunum, sindirim ve üreme sistemlerinde tıkanmalara ve çeşitli hasarlara neden olabilmektedir. Ayrıca yüzeylerinde taşınan toksik maddeler, özellikle ağır metaller ve kalıcı organik kirleticiler, sucul canlılarda biyolojik birikime neden olurlar (Pace ve ark., 2025).

Uzun süredir sadece su kaynakları açısından değerlendirilen mikroplastik kirliliğinin, son yıllarda karasal ekosistemlerde de ciddi düzeylerde kirliliğe yol açtıkları belirlenmiştir (Wong ve Taylor, 2025). Tarımsal topraklar; arıtma çamurları, plastik örtüler ve atmosferik çökeltme yoluyla mikroplastikler tarafından kirlenmektedir (Weber ve Bigalke, 2025). Toprakta biriken mikroplastikler, toprak porozitesini, su tutma kapasitesini ve mikrobiyal aktiviteyi olumsuz etkileyerek ekosistem fonksiyonlarını bozabilir (Rillig ve ark., 2019). Ayrıca topraktaki solucanlar ve mikroorganizmalar mikroplastik birikimini, besin zinciri üzerinden daha yüksek trofik seviyelere taşıma riskini de artırmaktadır (Vinod ve ark., 2025).

3.2. Hava Kalitesi Üzerindeki Etkiler

Çevresel ortamlarda bulunan mikroplastikler atmosferde de taşınabilmekte ve birikime neden olabilmektedir. Özellikle, meteorolojik olaylar, rüzgar erozyonu, yolların aşınması, sentetik tekstil atıklarından lif salınımı ve lastik partikülleri gibi kaynaklar, atmosferin mikroplastikler tarafından kirlenmesine temel kaynak oluşturmaktadır (Allen ve ark., 2019). Bu atık türleri kısa veya uzun mesafelerde taşınabilir ve atmosferik çökeltme yoluyla uzak ekosistemlere ulaşabilirler (Brahney ve ark., 2020). Solunum yoluyla alınan mikroplastik liflerin insan sağlığı üzerindeki etkileri henüz tam olarak bilinmese de, solunum sistemi tahrişi, inflamasyon ve nanoparçacık düzeyinde hücre içi birikim olasılıkları endişe vericidir (Prata, 2018).

3.3. Ekotoksikolojik ve Biyolojik Etkiler

Plastiklerin üretimi sırasında kullanılan katkı maddeleri (örneğin ftalatlar, bisfenol A, alev geciktiriciler) ve yüzeylerine adsorbe olan kirleticiler, organizmalarda endokrin sistem bozuklukları, gelişimsel anomaliler ve genotoksik

etkilere neden olabilmektedir (Lalrinfela ve ark., 2024). Ayrıca, mikroplastik yüzeyleri biyofilm oluşumu için uygun ortamlar sunar. Bu biyofilmler patojen mikroorganizmaların taşınmasına aracılık ederek yeni ekosistemlerde biyolojik kirliliğe yol açabilir (Cholewińska ve ark., 2022). Sonuç olarak, mikroplastikler çok yönlü etkiler gösteren, fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle çevresel ortamlarda kalıcı olan ve ekosistem sağlığı açısından ciddi tehdit oluşturan kirleticilerdir.

3.4. Besin Zinciri Üzerine Etkiler

Mikroplastikler besin zincirinin en alt kademesinden en üst kademesine kadar taşınabilmekte ve nihayetinde insanlara kadar ulaşabilmektedir (Smith ve ark., 2018). Bu durum biyobirikim (bioaccumulation) ve biyomagnifikasyon (biomagnification) süreçlerini tetikleyerek, hem ekolojik dengeyi hem de gıda güvenliğini tehdit etmektedir (Gao ve ark., 2024). Yapılan çalışmalar, balık kas dokularında, midye de ve deniz ürünlerinde mikroplastik birikiminin yaygın olduğunu, bu yolla insanların mikroplastiklere maruz kalabileceğini göstermektedir (Woh ve ark., 2024; Smith et al., 2018). Ayrıca mikroplastikler, yüzeylerine bağladıkları kalıcı organik kirleticileri (POPs) ve ağır metalleri besin zinciri yoluyla üst kademelere taşıyabilirler (Devi ve ark., 2025).

3.5. Canlıların Yaşam Alanları Üzerine Etkiler

Mikroplastikler yalnızca canlı organizmaların fizyolojisini değil, aynı zamanda yaşam alanlarının bütünlüğünü de tehdit eder (Chomiak ve ark., 2024). Deniz tabanında biriken mikroplastikler sediment yapısını değiştirerek oksijen difüzyonunu azaltabilir, böylece bentik (dipte yaşayan) organizmaların yaşam koşullarını bozabilir (Green ve ark., 2016). Kıyı ekosistemlerinde ise mikroplastiklerin fiziksel bir bariyer oluşturması, bitki kök gelişimini ve mikrobiyal solunumu olumsuz etkileyebilir. Tatlı su sistemlerinde, yoğun mikroplastik birikimi suyun ışık geçirgenliğini düşürür, bu da fotosentetik organizmaların üretkenliğini azaltır. Uzun vadede bu etkiler, ekosistemlerin biyolojik çeşitliliğini ve ekolojik dengesini zayıflatabilir (Mejjad ve ark., 2025).

3.6. Ekonomik Etkiler

Mikroplastik kaynaklı kirlilik, yalnızca ekosistemleri tehdit eden bir çevresel sorun değil, aynı zamanda ekonomik kayıplara neden olan çok boyutlu bir çevre yönetimi problemidir. Bu kirlilik türü, balıkçılık, su ürünleri yetiştiriciliği, turizm ve içme suyu temini gibi ekonomik açıdan kritik sektörleri doğrudan etkilemektedir (Gül, 2023). Deniz ürünlerinde mikroplastiklerin tespit edilmesi, tüketici güvenini olumsuz yönde etkileyerek deniz ürünlerine yönelik talebin azalmasına yol açmaktadır (Gül, 2023; Wu ve ark. 2021). Bununla birlikte, turistik değeri yüksek kıyı ve sahil bölgelerinde biriken mikroplastikler, bölgesel gelirleri düşürmekte; içme suyu arıtma tesislerinde artan mikroplastik yükü ise işletme maliyetlerini yükseltmektedir (Şener ve

Yabanlı, 2023). Dolayısıyla, mikroplastik kirliliğinin önlenmesi ve kontrolü, ekonomik sürdürülebilirlik bakımından da stratejik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (Cocozza ve ark, 2024).

4. MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN YÖNETİMİ VE AZALTIM STRATEJİLERİ

4.1. Kaynakta Azaltma

Mikroplastik kirliliğinin önlenmesinde en etkili stratejilerden biri, oluşum kaynaklarını kontrol altına almak ve kirliliğin çevreye yayılmasını daha baştan engellemektir. Bu bağlamda **“Kaynakta Azaltma”** kavramı, hem mikroplastiklerin doğrudan oluşumunu önlemeyi hem de bu atıkların çevreye karışmadan yönetilmesini ifade eder. Örneğin, bir mikroplastik içeren kişisel kullanım ürününü ele alalım: Kullanıcı ürünü tüketip ambalajını çöp konteynırına attığında, bu atık sonraki süreçte genellikle deponi sahalarına taşınır ve burada depolanır. Ancak bu süreçte, mikroplastik içeren ambalajlar ve ürünün içerisinde kalan küçük plastik parçacıklar, diğer atıklarla aynı ortamda taşınır ve bu durum ciddi bir kontaminasyona yol açabilir. Sonuç olarak, başlangıçta evsel atık niteliği taşıyan bu malzemeler, mikroplastik içerikleri nedeniyle çevresel ve sağlık açısından riskli bir hale dönüşür. Bu nedenle, mikroplastik içeren atıkların ayrı toplanması, hem çevresel hem de toplum sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır.

Mikroplastiklerin çevreye yayılmadan önce önlenmesi, kirliliğin kontrol altına alınmasında **en etkili** yöntemlerden biridir (Hettiarachchi ve Meegoda, (2023). Bu kapsamda, mikroplastiklerin oluşum kaynaklarının azaltılması için aşağıdaki stratejiler uygulanabilir:

Tek Kullanımlık Plastik Ürünlerin Sınırlandırılması

Plastik poşet, pipet, çatal, bıçak ve ambalaj gibi tek kullanımlık ürünlerin üretimi ve tüketimi sınırlandırılmalıdır. Bu ürünler, kullanım ömürlerinin kısa olması ve biyolojik olarak parçalanabilir olmamaları nedeniyle çevreye mikroplastik kirliliği eklemektedir. Bu tür ürünlerin yerine, biyolojik olarak parçalanabilir çevre dostu malzemelerden üretilen ürünlerin kullanılması teşvik edilmelidir (Ürkmez ve Yurtsever, 2025).

Sentetik Liflerin Alternatifleri

Polyester, naylon ve akrilik gibi sentetik lifler, yıkama sırasında ikincil mikroplastiklerin salınımına neden olur. Bu nedenle, bu ürünlerin yerine biyolojik olarak parçalanabilir doğal malzemelerden üretilen ürünlerin kullanılması yaygınlaştırılmalıdır. Ayrıca, tekstil endüstrisinde su arıtma sistemlerinin iyileştirilmesi ve mikroplastik salınımının azaltılması için filtreleme teknolojilerinin entegrasyonu önemlidir (Balpetek ve ark., 2022).

Endüstriyel Üretim ve Atık Yönetimi

Endüstriyel üretim sırasında ortaya çıkan plastik tozlarının ve parçacıklarının dış ortama karışması önlenmelidir. Bu sebeple, üretim tesislerine filtre sistemleri entegre edilmeli ve atık yönetimi sıkı denetlenmelidir. Ayrıca, üretim süreçlerinde kullanılan katkı maddelerinin çevre dostu alternatiflerle değiştirilmesi, mikroplastik oluşumunu azaltmada etkili olacaktır.

Lastik Aşınması ve Araç Kullanımı

Ülkemizdeki motorlu kara taşıtlarının sayısının 2.290.280 olduğu raporlanmıştır (TÜİK, 2024). Her aracın ortalama dört tekerleği olduğu varsayımıyla, trafikte yaklaşık 4,5 milyon adet lastik bulunmaktadır. Lastiklerin aşınması sırasında çevreye mikroplastik salınımı gerçekleşmektedir. Bu nedenle, lastiklerin biyolojik olarak parçalanabilir malzemelerle üretilmesi önerilmektedir (Kole ve ark., 2017). Ayrıca, toplu taşıma sistemlerinin teşvik edilmesi ve bireysel araç kullanımının azaltılması, lastik aşınmasından kaynaklanan mikroplastik kirliliğini azaltmada etkili olacaktır.

Atıkların Ayrı Toplanması ve Yönetimi

Mikroplastik içeren atıkların ayrı toplanması, hem çevresel hem de toplum sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu atıkların diğer atıklardan ayrılarak özel alanlarda depolanması, mikroplastiklerin çevreye yayılmasını engelleyecektir. Ayrıca, bu atıkların geri dönüşüm süreçlerine dahil edilmesi, mikroplastik kirliliğinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

Özetle, kaynakta azaltma stratejileri, mikroplastik kirliliğinin önlenmesinde en etkili yöntemlerden biridir ve hem üretim hem tüketim hem de atık yönetimi süreçlerinde bütüncül bir yaklaşımı gerektirir. Bu stratejilerin uygulanması, mikroplastik kirliliğinin kaynağında azaltılmasına ve çevre ile toplum sağlığının korunmasına önemli katkılar sağlayacaktır.

4.2. Geri Dönüşüm

Mikroplastik içeren atıkların geri dönüştürülmesi, gerek fiziksel özellikleri gerekse çevresel yayılım biçimleri nedeniyle oldukça karmaşık ve zorlu bir süreçtir. Mikroplastikler çoğunlukla daha büyük plastik materyallerin aşınması, bozulması veya mekanik etkilere bağlı olarak parçalanması sonucu oluşmaktadır. Bu nedenle, mikroplastiklerin geri dönüşümü, hem toplama ve ayrıştırma süreçlerinde hem de yeniden işleme aşamalarında önemli teknik ve yapısal kısıtlamalarla karşı karşıyadır (Wu ve ark., 2021). Geri dönüşüm sürecindeki karşılaşılan temel zorluklar şunlardır;

Kontaminasyon (Bulaşma) Sorunları:

Mikroplastikler genellikle çevrede diğer malzemeler, organik madde veya metal parçacıklarıyla karışık halde bulunur. Bu durum, geri dönüşüm sürecinde ham maddenin saflığını bozmakta ve elde edilen ürünün kalitesini

önemli ölçüde düşürmektedir. Ayrıca, mikroplastiklerin yüzeylerinde biriken ağır metaller veya kalıcı organik kirleticiler, geri dönüştürülmüş malzemenin güvenliğini de tartışılmalı hale getirmektedir (Xiang ve ark., 2023; Devi ve ark., 2025; Devi ve ark., 2025)). Dolayısıyla, kontaminasyonun giderilmesi hem maliyet hem de teknik açıdan büyük bir zorluk oluşturmaktadır.

Toplama ve Ayrıştırma Güçlükleri:

Mikroplastiklerin doğrudan toplanması ve sınıflandırılması, mevcut atık yönetim sistemleriyle neredeyse imkânsız denecek kadar zordur. 21 Haziran 2021 tarihli ve 31523 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan “Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği” uyarınca, plastik, cam, kağıt ve metal gibi ambalaj atıklarının ayrı toplanması gerekmektedir (Anonim, 2021). Ancak uygulamada, ülkemizde kaynaktan ayrıştırma ve ayrı toplama faaliyetleri henüz istenilen düzeyde gerçekleştirilememektedir. Ambalaj atıkları gibi makroskobik plastiklerin toplanması görece kolay olsa da, mikroplastiklerin boyutlarının küçük ve çevrede dağınık yapıda olması, bu malzemelerin etkin bir şekilde ayrıştırılmasını son derece güçleştirmektedir.

Sistem Verimliliği ve Teknolojik Sınırlılıklar:

Toplama ve kontaminasyon sorunlarına bağlı olarak, mikroplastiklerin geri dönüşümünde verim oldukça düşüktür. Mevcut teknolojiler, mikro boyuttaki parçacıkları etkin biçimde tanımlamak, toplamak ve yeniden işlemek konusunda yeterli değildir. Bu da, geri dönüştürülmüş ürünlerin kalitesini azaltmakta ve yeniden kullanım potansiyelini sınırlamaktadır (Waseem ve ark., 2025). Geri dönüşüm sistemlerinin verimsizliği, enerji tüketimini ve operasyon maliyetlerini artırmaktadır.

Yasal Mevzuat Eksiklikleri:

Mikroplastiklerin üretimi, kullanımı, taşınımı ve bertarafını doğrudan düzenleyen özel bir yasal mevzuat ülkemizde henüz bulunmamaktadır. “Sıfır Atık Yönetmeliği” ve “2872 sayılı Çevre Kanunu” kapsamında bazı genel hükümler uygulanabilir olsa da, mikroplastiklere özgü bir yasal çerçevenin olmayışı, bu konuda kurumsal ve teknik kapasitenin geliştirilmesi gereğini ortaya koymaktadır (Soysal, 2024). Uluslararası düzeyde de mikroplastik geri dönüşümüne yönelik standartlar sınırlıdır; bu durum, hem ticari hem çevresel açıdan ortak bir politika oluşturulmasını güçleştirmektedir (ISO, 2024).

Yenilikçi Yaklaşımlar ve Gelecek Perspektifi

Tüm zorluklara rağmen, mikroplastiklerin geri dönüşümüne yönelik bazı yenilikçi ve umut verici çalışmalar bulunmaktadır. Son yıllarda, mikroplastiklerin manyetik nanoparçacıklar veya ileri filtrasyon sistemleri aracılığıyla ayrıştırılmasını hedefleyen teknolojiler geliştirilmiştir. Ayrıca, piroliz, kimyasal depolimerizasyon ve biyoteknolojik bozundurma yöntemleri gibi yeni yak-

laşım, mikroplastiklerin yeniden kullanılabilir malzemelere dönüştürülmesi konusunda potansiyel taşımaktadır (Anand ve ark., 2023). Bu gelişmeler, mikroplastiklerin geri dönüşüm sürecinin yalnızca klasik mekanik yöntemlerle değil, aynı zamanda ileri kimyasal ve biyolojik süreçlerle desteklenmesi gerektiğini göstermektedir. Ancak bu teknolojilerin uygulanabilir hale gelmesi için enerji verimliliği, ekonomik sürdürülebilirlik ve mevzuat desteği gibi alanlarda ilerleme kaydedilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, mikroplastiklerin geri dönüşümü günümüz teknolojisiyle sınırlı ve zorlu bir süreç olsa da, bu alanda yürütülen araştırmalar ve geliştirilen yeni teknolojiler gelecekte umut vaat etmektedir. Etkin bir geri dönüşüm sisteminin kurulabilmesi, yalnızca teknik çözümlerle değil, aynı zamanda mevzuat, kamu bilinci ve sanayi işbirliğiyle bütüncül bir yaklaşımla mümkündür.

4.3. Farkındalık Eğitimleri

Mikroplastikler, çevresel sistemlerdeki en kritik kirleticilerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu küçük plastik parçacıklar, sucul ekosistemlerdeki biyolojik çeşitliliği tehdit etmekte ve insan sağlığı üzerinde potansiyel riskler oluşturmaktadır. Bu bağlamda, toplumun mikroplastik kirliliği konusunda bilinçlendirilmesi, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında temel bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

Uluslararası düzeyde, mikroplastiklerin çevresel etkileri ve bu etkilerin azaltılmasına yönelik çeşitli eğitim programları geliştirilmiştir. Örneğin, Kolombiya Üniversitesi tarafından sunulan “Microplastics Mega Impact” müfredatı, öğrencilere mikroplastiklerin çevresel risklerini anlamalarını ve bu konuda topluluk düzeyinde değişim yaratmalarını hedeflemektedir (Columbia Climate School, 2025). Benzer şekilde, Florida Eyaleti’nde uygulanan “Washed Ashore” programı, sanat ve bilimsel bilgiyi birleştirerek öğrencilere plastik kirliliği konusunda farkındalık kazandırmayı amaçlamaktadır (Washed Ashore, 2025).

Bu tür eğitim programları, öğrencilere mikroplastiklerin kaynaklarını, çevresel etkilerini ve bu etkilerin azaltılması için bireysel ve topluluk düzeyinde alınabilecek önlemleri öğretmektedir. Eğitimlerin müfredata entegrasyonu, öğrencilerin erken yaşlardan itibaren çevresel sorunlara duyarlılıklarını artırmakta ve sürdürülebilir davranışların benimsenmesine katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak, mikroplastik kirliliği ile mücadelede eğitim programlarının rolü büyüktür. Toplumun her kesimine yönelik düzenlenecek bilinçlendirme faaliyetleri, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında etkili bir araç olarak kullanılabilir. Bu bağlamda, mikroplastiklerin çevresel etkileri konusunda farkındalık yaratmak, bireylerin ve toplulukların çevreye duyarlı davranışlar sergilemelerini teşvik edecektir.

5. SONUÇ

Mikroplastikler, modern toplumun üretim ve tüketim alışkanlıklarının doğrudan bir sonucu olarak ortaya çıkan, küresel ölçekte çevresel ve sağlık açısından kritik öneme sahip kirleticilerdir. Çeşitli polimer yapıları ve fiziksel özellikleri sayesinde çevrede uzun süre kalabilen bu partiküller, sucul, karasal ve atmosferik ortamlarda birikerek ekosistemlerin dengesini tehdit etmektedir. Mikroplastikler yalnızca fiziksel bir kirlilik unsuru değil, aynı zamanda ağır metaller ve kalıcı organik kirleticiler gibi toksik maddelerin taşınımına aracılık eden ikincil kirleticilerdir. Bu durum, hem ekotoksikolojik hem de gıda güvenliği açısından ciddi riskler yaratmaktadır.

Günümüzde yapılan araştırmalar, mikroplastiklerin canlı organizmalarda biyobirikim ve biyomagnifikasyon süreçlerine katıldığını, bu yolla besin zinciri üzerinden insanlara kadar taşındığını göstermektedir. Ayrıca, solunum yoluyla maruziyetin de önemli bir risk faktörü olabileceği ortaya konmuştur. Mikroplastiklerin neden olduğu ekosistem tahribatı, yalnızca biyolojik çeşitlilik kaybına değil, aynı zamanda ekonomik kayıplara ve toplum sağlığı üzerinde uzun vadeli olumsuz etkilere yol açmaktadır.

Bu kapsamda, mikroplastik kirliliğiyle mücadelede **kaynakta azaltma, geri dönüşüm uygulamalarının geliştirilmesi ve toplumsal farkındalığın artırılması** temel stratejiler olarak öne çıkmaktadır. Mikroplastik içeren ürünlerin üretiminin sınırlandırılması, atık yönetimi süreçlerinin iyileştirilmesi ve eğitim programlarının yaygınlaştırılması, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında önemli adımlar olacaktır. Bununla birlikte, mikroplastiklerin üretiminden bertarafına kadar tüm yaşam döngüsünü kapsayan **mevzuat düzenlemeleri** ve **uluslararası işbirliği** mekanizmaları da bu sürecin ayrılmaz bir parçasıdır.

Sonuç olarak, mikroplastik kirliliği, yalnızca çevresel bir sorun değil, **sosyoekonomik ve küresel yönetim** gerektiren çok boyutlu bir krizdir. Bu nedenle, disiplinlerarası bilimsel araştırmaların, yenilikçi teknolojilerin ve sürdürülebilir politika yaklaşımlarının birlikte yürütülmesi, gelecekte mikroplastiklerin çevresel ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasında kilit rol oynayacaktır.

KAYNAKÇA

- Akçay, S. (2020). Mikroplastikler: Gıdalarda bulunuşu ve sağlık üzerine etkileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 530–538.
- Allen, S., Allen, D., Phoenix, V. R., et al. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, 12, 339–344. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>
- Anand, U., Dey, S., Bontempi, E., Ducoli, S., Vethaak, A. D., Dey, A., & Federici, S. (2023). Biotechnological methods to remove microplastics: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(3), 1787–1810. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01552-4>
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Anonim, (2021). T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2021, Haziran 21). *Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği*. Resmî Gazete (Sayı: 31523). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/06/20210621-5.htm>
- Aydın, E. (2020). *Yüzey sularında mikroplastik kirliliğinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Brahney, J., et al. (2020). Plastic rain in protected areas of the United States. *Science*, 368(6496), 1257–1260.
- Cholewińska, P., Moniuszko, H., Wojnarowski, K., Pokorny, P., Szeligowska, N., Dobicki, W., Polechoński, R., & Górniak, W. (2022). The occurrence of microplastics and the formation of biofilms by pathogenic and opportunistic bacteria as threats in aquaculture. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 8137. <https://doi.org/10.3390/ijerph19138137>
- Chomiak, K. M., Owens-Rios, W. A., Bangkok, C. M., Day, S. W., Eddingsaas, N. C., Hoffman, M. J., Hudson, A. O., & Tyler, A. C. (2024). Impact of microplastic on freshwater sediment biogeochemistry and microbial communities is polymer specific. *Water*, 16(2), 348. <https://doi.org/10.3390/w16020348>
- Cocozza, P., Scarrica, V. M., Rizzo, A., Serranti, S., Staiano, A., Bonifazi, G., & Anfuso, G. (2024). Microplastic pollution from pellet spillage: Analysis of the Toconao ship accident along the Spanish and Portuguese coasts. *Marine Pollution Bulletin*, 211(7), 117430. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117430>
- Columbia Climate School. (2025). *Microplastics mega impact*. <https://www.climate.columbia.edu/plastic-curriculum>
- Devi, A., De Silva, Y. S. K., Tyagi, L., & Aaryashree. (2025). The individual and combined effects of microplastics and heavy metals on marine organisms. *Microplastics*, 4(3), 38. <https://doi.org/10.3390/microplastics4030038>
- Gao, S., Li, Z., & Zhang, S. (2024). Trophic transfer and biomagnification of microplastics through food webs in coastal waters: A new perspective from a mass balance model. *Marine Pollution Bulletin*, 200, 116082. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116082>

marpolbul.2024.116082

- Green, D. S., et al. (2016). Effects of microplastics on primary productivity and enzyme activity in freshwater sediments. *Environmental Pollution*, 215, 383–390.
- Gül, M. R. (2023). Short-term tourism alters abundance, size, and composition of microplastics on sandy beaches. *Environmental Pollution*, 316(1), 120561. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120561>
- Gündüz Balpetek, F., Demir, A., & Özdoğan, E. (2022). Mikroplastik kirliliğine sentetik esaslı tekstil ürünlerinin yıkama işlemlerinin etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(3), 1097–1106.
- Guo, R. M., Tan, H., Sheng, D. D. C. V., Kek, H. Y., Nyakuma, B. B., Woon, K. S., Othman, M. H. D., Kang, H. S., Goh, P. S., & Wong, K. Y. (2024). A review on plastic waste valorisation to advanced materials: Solutions and technologies to curb plastic waste pollution. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140180. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140180>
- Hacısalıhoğlu, S. (2025). A hazard index of microplastics contamination in commercial marine fish species and mussels in the southern Marmara Sea, Turkey. *Aquaculture Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1155/are/6690338>
- Hernandez, L. M., Xu, E. G., Larsson, H. C. E., Tahara, R., Maisuria, V. B., & Tufenkji, N. (2019). Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea. *Environmental Science & Technology*, 53(21), 12300–12310.
- Hettiarachchi, H., & Meegoda, J. N. (2023). Microplastic pollution prevention: The need for robust policy interventions to close the loopholes in current waste management practices. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(14), 6434. <https://doi.org/10.3390/ijerph20146434>
- ISO. (2024). *Standards and plastic pollution*. <https://www.iso.org/plasticpollution>
- Kole, P. J., Löhr, A. J., Van Belleghem, F. G. A. J., & Ragas, A. M. J. (2017). Wear and tear of tyres: A stealthy source of microplastics in the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10), 1265. <https://doi.org/10.3390/ijerph14101265>
- Lalrinfela, P., Vanlalsangi, R., Lalrinzuali, K., & Babu, P. J. (2024). Microplastics: Their effects on the environment, human health, and plant ecosystems. *Environmental Pollution and Management*, 1, 248–259. <https://doi.org/10.1016/j.epm.2024.11.004>
- Maharjan, K. K., & Dhungel, R. P. (2024). First-ever study uncovers microplastic contamination in Nepalese table salt. *Heliyon*, 10, e34621. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34621>
- Mejjad, N., Safhi, A. E. M., & Laissaoui, A. (2025). Insightful analytical review of potential impacts of microplastic pollution on coastal and marine ecosystem services. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 17, 100578. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100578>

- Özgüler, Ü., Demir, A., Can Kayadelen, G., & Kıdeyş, A. E. (2022). Riverine microp-lastic loading to Mersin Bay, Turkey on the north-eastern Mediterranean. *Tur-kish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 22(SI), TRJFAS20253. <https://doi.org/10.4194/TRJFAS20253>
- Pace, G., Melfe, F., Rodrigues, C., et al. (2025). Microplastic accumulation in benthic macroinvertebrates is widespread, regardless of the river ecological status. *Hyd-robiologia*. <https://doi.org/10.1007/s10750-025-05882-6>
- Pilapitiya, P. G. C. N. T., & Ratnayake, A. S. (2024). The world of plastic waste: A review. *Cleaner Materials*, 11, 100220. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100220>
- Plastics Europe. (2023). *Plastics – The facts 2023: An analysis of European plastics pro-duction, demand, and waste*. <https://www.plasticsEurope.org>
- Prata, J. C. (2018). Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environ-mental Pollution*, 234, 115–126.
- Prata, J. C., Da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020). Envi-ronmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of the Total Environment*, 702, 134455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>
- Rillig, M. C., Lehmann, A., de Souza Machado, A. A., & Yang, G. (2019). Microplastic effects on plants. *New Phytologist*, 223(3), 1066–1070. <https://doi.org/10.1111/nph.15794>
- Şener, İ., & Yabanlı, M. (2023). Macro- and microplastic abundance from recreatio-nal beaches along the South Aegean Sea (Türkiye). *Marine Pollution Bulletin*, 194(Pt B), 115329. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115329>
- Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. A. (2018). Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Reports*, 5(3), 375–386. <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z>
- Smyth, K., Tan, S., Van Seters, T., Henderson, V., Passeport, E., & Drake, J. (2025). Pavement wear generates microplastics in stormwater runoff. *Journal of Ha-zardous Materials*, 481, 136495. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136495>
- Soysal, M. (2024). Mikroplastik tespitinde güncel stratejiler: Türkiye örneği. *Journal of Environmental and Natural Studies*, 6(2), 107–116. <https://doi.org/10.53472/jenas.1439410>
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D., & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: Where is all the plastic? *Science*, 304(5672), 838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2024). *Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri, Ağustos 2024*. <https://data.tuik.gov.tr>
- Ürkmez, Ş., & Yurtsever, M. (2025). Biyo-bazlı ve fosil kaynaklı tek kullanımlık plastik atıkların farklı çevresel ortamlardaki eskimesinin incelenmesi. *Pamukkale Üni-versitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(2), 276–287.
- Vinod, V., Amritha, P. S., & Harathi, P. B. (2025). Assessing the effects of microplastic

- pollution on soil and its impact on survival of earthworms and green gram plants. *Discover Soil*, 2, 25. <https://doi.org/10.1007/s44378-025-00050-7>
- Waseem, M., Ullah, Q., Qasim, M., Haidri, I., Chaudhary, A., & Rahul, F. (2025). Innovative intervention: Technologies to tackle the microplastic pollution. In M. Oves, A. Khan, & M. Al-Shaeri (Eds.), *Marine Microplastics and the Quest for Remediation* (pp. xx-xx). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-96-8979-8_6
- Washed Ashore. (2025). *Education Hub*. <https://www.washedashore.org/education-hub>
- Weber, C. J., & Bigalke, M. (2025). Forest soils accumulate microplastics through atmospheric deposition. *Communications Earth & Environment*, 6, 702. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02712-4>
- Woh, P. Y., Shiu, H. Y., & Fang, J. K. H. (2024). Microplastics in seafood: Navigating the silent health threat and intestinal implications through a One Health food safety lens. *Journal of Hazardous Materials*, 480, 136350. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136350>
- Wong, A. E., & Taylor, G. (2025). Plants and microplastics: Growing impacts in the terrestrial environment. *Frontiers in Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1666047>
- Wu, X., Zhong, C., Wang, T., Zou, X., Zang, Z., Li, Q., & Chen, H. (2021). Occurrence and distribution of microplastics on recreational beaches of Haichow Bay, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(5), 6132–6145. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10987-7>
- Xiang, P., Zhang, T., Wu, Q., & Li, Q. (2023). Systematic review of degradation processes for microplastics: Progress and prospects. *Sustainability*, 15(17), 12698. <https://doi.org/10.3390/su151712698>
- Ziani, K., Ioniță-Mîndrican, C. B., Mititelu, M., Neacșu, S. M., Negrei, C., Moroșan, E., Drăgănescu, D., & Preda, O. T. (2023). Microplastics: A real global threat for environment and food safety: A state of the art review. *Nutrients*, 15(3), 617. <https://doi.org/10.3390/nu15030617>



İŞIKKARA (KÜTAHYA) BAZALTLARININ JEOLojİK VE MİNERALojİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

“ ”

Metin BAĞCI¹
Mustafa BAYHAN²

1 Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
Afyonkarahisar.

ORCID NO: 0000-0002-1056-2854

2 Ulaştırma Bakanlığı Devlet Demiryolları 7. Bölge Müdürlüğü, Afyonkarahisar

ORCID NO: 0009-0000-0137-7326

1. GİRİŞ

Sanayileşmenin ve teknolojinin hızla büyümesi ve gelişmesi bazalt bileşimindeki volkanik kayaçların çok yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur. Özellikle demiryolu, otoyol ve havalimanları gibi birçok alanda bazalt bileşimindeki volkanik kayaçlar çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Işıkkara Köyü ve çevresinde yayılım sunan Üst Pliyosen yaşlı Karacaören volkanikleri içinde gözlenen Ilıca bazaltların mineralojik -petrografik ve jeokimyasal özellikleri, bu çalışmanın ana konusunu oluşturmıştır. Kayaçların mineralojik-petrografik ve jeokimyasal özellikleri kayaçların kullanım alanlarını tespit etmek bakımından çok önem taşımaktadır. Özellikle agrega ve balast malzemesi olarak kullanılacak kayaçlar için bu durum daha da fazla önem taşımaktadır. Bazalt örneklerinin mineralojik petrografik özelliklerini belirlemek için polarizan mikroskop incelemeleri ile X ışınları difraktometre (XRD) çekimleri yapılmıştır. Polarizan mikroskop incelemelerinde bazaltların hipokristalin porfirik dokulu ve plajiyoklaz, piroksen ve olivin mineraleri içerdikleri ve hamur oranlarının %50 olduğu belirlenmiştir. Bazalt örneklerinin detay morfolojilerini belirlemek için taramalı elektron mikroskop (SEM/EDX) incelemeleri yapılmıştır.

Bazalt örneklerinin kimyasal özelliklerini belirlemek için ana, iz ve nadir toprak (REE) element analizleri Kanada/Acme laboratuvarlarında yapılmıştır. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, Karacaören volkanikleri içinde yayılım sunan Ilıca Mevkii Işıkkara bazaltlarının mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinin agrega olarak kullanılmasında uygun olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanı, Kütahya ili Merkez İlçesine bağlı Işıkkara Köyü çevresinde yer alıp Kütahya İl merkezinin 20 km Kuzeydoğusunda yaklaşık 13,54 hektarlık bir alanı kapsar (Şekil 1). Dünyadaki teknolojik ve bilimsel gelişmeler insanlarda çevre bilinciyle birlikte, daha sakin ve doğal ortamlarda yaşama arzusunu ve özlemini doğurmaktadır. Son yıllarda ülkemizde ve özellikle büyük şehirlerde ve turistik yörelerde hem yapılarda hem topluma açık ve kapalı alanlarda doğal taşlar kullanılmaya başlanmıştır. Aşınma ve iklim şartlarından en az etkilenmesi nedeniyle bazalt, tercih edilme sırasında önde gelen doğal taştır.

Bazalt kayaçlarının hemen hepsi kristalli yapıdadır; yalnız lavların hızla soğumasıyla oluşan bazaltlar camsı bir görünüm kazanır. Bazaltın birçok kullanım alanı vardır. Bunların bazıları yapıtaşı, döküm taşı, asfalt dolgusu, karo yer döşemesi, sır, pigment, cam, cam-seramik, portland çimentosu hammaddesi, beton agregası ve nükleer atık stabilizatörü sayılabilir. Bu alanlar içinde son yıllarda en yaygın olan ısı ve ses yalıtımı için fiber uygulamasıdır. Bazalt taşı, ısı depolama veriminin yüksek olması nedeniyle, ev ısıtmada pratik ve ekonomik yöntem olarak tercih edilmektedir. Volkanik bir kayaç olan bazalt, günümüz teknolojilerinde Karayolları, Demiryolları, Liman ve Havalimanları inşaatlarında kalite ve uzun ömürlü kullanım açısından vaz-

geçilmez bir yapıtaşı olmuştur. Agregada mineral kökenli taneli malzeme olup genellikle çimento ile kimyasal etkileşime girmez.

Ülkemizde tren yollarında yol üst yapı malzemesi olarak kullanılan balast kireçtaşından yapılmakta iken 2004 yılında temeli atılan Ankara-Eskişehir Hızlı tren projesinin başlamasıyla beraber bazalttan üretilmeye başlanmış ve beraberinde mevcut konvansiyonel hatların yenilenmesi çalışmalarında bazalt kullanılarak kireçtaşı kullanılmasına son verilmiştir. Sonuç olarak ulaştırmanın her ayağında bazalt günümüz teknolojisinde uzun ömürlü dayanım sağladığından maliyet açısından en avantajlı malzeme durumuna gelmiştir. Bu çalışma kapsamında Işıkkara (Kütahya) bölgesinde demiryolu balast malzemesi olarak üretimi yapılan bazaltların Işıkkara (Kütahya mineralojik özellikleri detaylı olarak araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışma sahasında, Eray Bazalt şirketi tarafından işletilen aktif olarak çalışan bazalt taş ocağı işletmesi bulunmaktadır. Ocak içinde açılmış 6 basamaktan oluşan bir üretim bölgesi oluşturulmuştur. Yapılan örneklemeler bu basamakları temsil edecek şekilde yapılmıştır. Gerek mineralojik ve petrografik incelemelerde gerekse jeokimyasal analiz çalışmalarında kullanılmak üzere toplam 6 adet örnek alınmıştır. XRD incelemeleri için taze ve ayrılmış bazalt örnekleri kullanılmıştır. Bazalt örneklerinin ana oksit, iz element ve nadir toprak element (NTE) kimyasal analizleri ACME Kanada laboratuvarında yaptırılmıştır.

2.1. Mineralojik ve Petrografik İncelemeler

2.1.1. Polarizan mikroskop incelemeleri

Polarizan mikroskop ile mineralojik ve petrografik özelliklerin incelenmesinde kullanılacak numunelerin hazırlanması için TS EN 12407 (2008) standardında belirtilen yöntemler kullanılmıştır. İnce kesit yapılması için 6 farklı basamaktan 7 örnek alınmış olup bu örneklerden ince kesit yapmak üzere 30x40x50 mm boyutlarında Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğaltaş Analiz Laboratuvarında yan kesme makinası yardımı ile hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler ince kesit yapılmak üzere Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü'ne (MTA) gönderilmiştir. Polarizan mikroskop incelemelerinde AKÜ Jeoloji Mühendisliği bünyesinde bulunan Leica marka DM 2500P model araştırma mikroskobu kullanılmıştır. Polarizan mikroskop incelemelerinde bazalt örneklerinin mineral içerikleri, tane büyüklüğü ve dokusal özelliklerinin belirlenmesine çalışılmıştır.

2.1.2. X-Işınları Difraktoğramı (XRD) İncelemeleri

XRD incelemeleri için taze ve ayrılmış bazalt örnekleri kullanılmıştır. Taze örnekler ocak içinde açılmış basamak ve aynalardan alınmıştır. Ayrış-

mış bazalt örnekleri ise alterasyonun yoğun olduğu kesimlerden alınmıştır. Alınan tüm bazalt örnekleri AKÜ Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Laboratuvarında sırasıyla, Çeneli Kırıcı, Merdaneli Kırıcı ve Halkalı değirmen yardımıyla öğütülerek 100 mikronluk elek altına geçen numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra her örnek için çeyreklemeye yöntemi kullanılarak her örnek için 20 gr'lık öğütülmüş numuneler hazırlanmıştır. Öğütülmüş deney numuneleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezine (AKU/TUAM) analiz için gönderilmiştir. Analizlerde Shimadzu marka XRD-6000 model XRD cihazıyla 2° ve 70° arasında çekim yapılmıştır.

2.1.3. Jeokimyasal İncelemeler

AKÜ Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Laboratuvarında sırasıyla Çeneli Kırıcı, Merdaneli Kırıcı ve Halkalı değirmen yardımıyla öğütülerek 100 mikronluk elek altına geçen numunelerden deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan deney numunelerinin jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi amacıyla ana oksit, iz element ve nadir toprak element (NTE) analizleri yapılmıştır. Bu analizler ACME Analytical Laboratories Ltd. Vancouver/Kanada'da yapılmış olup, ana ve iz element analizleri ICP (Inductively Coupled Plasma) yöntemleriyle, nadir toprak elementleri (NTE) ise ICP-MS (Inductively Coupled Plasma- Mass Spectrometry) yöntemiyle analiz yaptırılmıştır.

3. BULGULAR

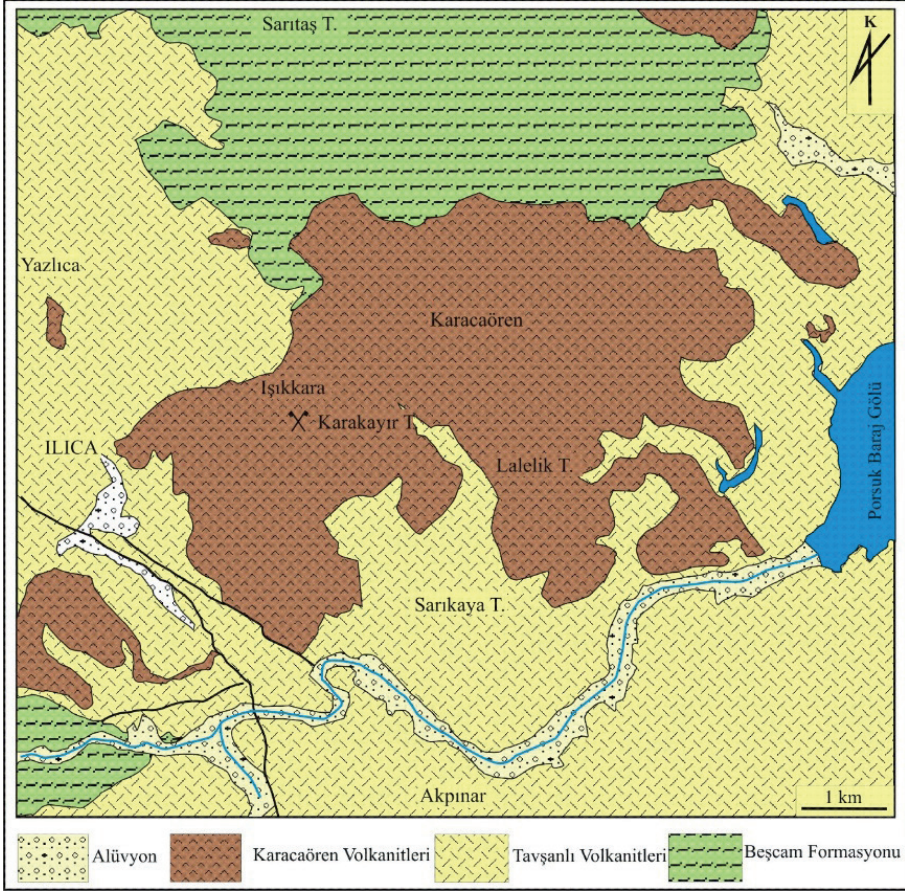
3.1. İnceleme Alanının Jeolojisi

İnceleme alanı, Pontitler'in ya da Şengör ve Yılmaz'ın (1981) tanımladığı Sakarya Kıta'sının güney kenarı ile Anatolid kuşağı'nın kuzey kenarı arasında yer almaktadır. Brinkmann'a (1966) göre Varistik orojenezine ait merkezi Kütahya olan çok sayıda tektonik zon bulunmaktadır. Çalışma alanı ve yakın çevresi adı geçen araştırmacının tanımladığı İzmir-Ankara zonundaki bu tektonik zonların merkezini teşkil eder. Ayrıca Tavşanlı Zonu Okay (1981,1986) ve Kütahya-Bolkardağı Kuşağı (Özcan ve diğ.,1988) içerisinde yer almaktadır. İnceleme alanımızda en yaşlı birimi Üst Kretase yaşlı Beşçam formasyonu oluşturmakta olup, bunların üzerine Orta-Üst Miyosen yaşlı tüf, tüfit, aglomera, kireçtaşı ve dolomit birimlerinden oluşan Tavşanlı volkanitleri diskordan olarak gelmektedir. Bu birimin üzerine ise Geç Pliyosen – Kuvarterner yaşlı Karacaören volkanitleri uyumlu olarak gelmiştir (Şekil 1; Şekil 2). Tersiyer ve Kuvarterner yaşlı alüvyon ve traverten birimleri ise diğer birimleri diskordan olarak örtmektedir (Demirbilek, 2005; Gün ve diğ. 1979).

3.2. Yapısal Jeoloji

İnceleme alanı ve çevresinde yüzlek veren kayaçlar, Laramiyen orojenezi ve Paleosen sonunda Kütahya bölgesinin KB-GD yönlü deformasyon geçir-

mesiyle tektonik olarak etkilenmiştir. Bu tektonik hareketlere bağlı olarak çalışma alanında faylar, kırıklar ve çatlaklar gelişmiştir (Demirbilek, 2005).

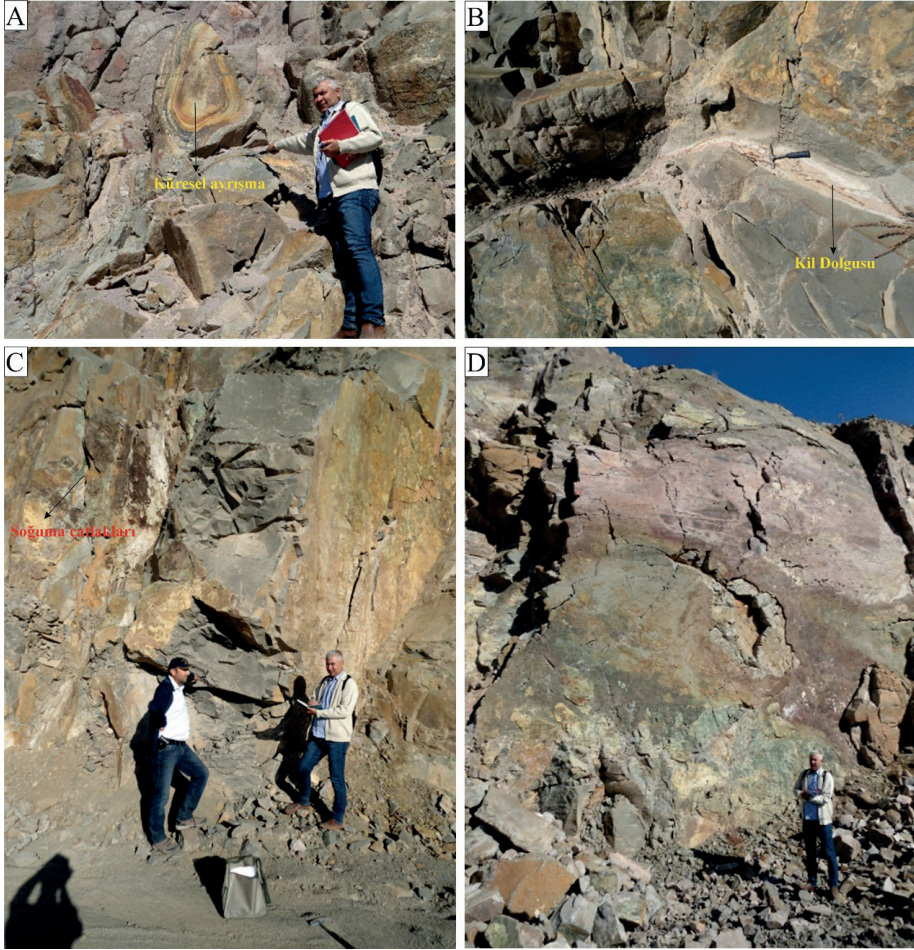


Şekil 1. İnceleme alanının jeolojik haritası (Demirbilek, 2005'den değiştirilerek Alınmıştır).

İnceleme alanında görülen faylar kuzeybatı-güneydoğu, doğu-batı doğrultuludur. Bu faylar Kütahya bölgesinin Paleojen sonunda KB-GD yönlü büyük tektonik kırıklarla deformasyon geçirmesi ile oluşmuş faylardır (Demirbilek, 2005). Değirmendere vadisinden geçen basamak şeklindeki fayları, Ilıca vadisinden gelen Ilıca fayı kesmekte olup bu fayların kesim noktalarında Traverten domları oluşmuştur. Bu oluşumlar anılan fayların sıcak su taşıyan faylar olduğunu göstermektedir. Bölgedeki faylar genellikle düşey faylardır (Demirbilek, 2005). Çalışma sahasındaki bu aktif faylar karakteristik olarak Ilıca Yaylakaya Sırtı ve Akpınar Köyü boyunca uzanırlar. Yine bölgedeki bu faylara bağlı olarak sentetik ve antitetik faylar meydana gelmiştir (Demirbilek, 2005).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENEZOYİK	KUVATERNER		Alüvyon	Qal		Alüvyon
			Traverten	Qtr		Traverten
	TERSİYER	PLİYOSEN	Karacaören Volkanitleri	Tk		Açısal Diskordans
						Boz, siyah, kısmen kahverengi renkli bazalt
		MİYOSEN	Tavşanlı Volkanitleri	Tt		Marn arakatlı ince tabakalı kireçtaşı
						Kırmızı renkli, sert, bol kırıklı tüf ve tüfit
MESOZOYİK	KRETASE		Beşçam Melanjı	Kbm		Kırmızı renkli, sert, silisifiye kireçtaşı
						Beyaz renkli yumuşak alt seviye
						Açısal Diskordans
						Serpantin, Peridotit hornfels ve radiolarit

Şekil 2. İnceleme alanının dikme kesiti (Demirbilek, 2005'den değiştirilerek Alınmıştır).



Şekil 3. İnceleme alanında faaliyet gösteren Eray Bazalt ocağında gözlenen küresel ayrışmalar (a), Bazalt içinde gözlenen dolgu ve ayrışma seviyeleri (b-d).

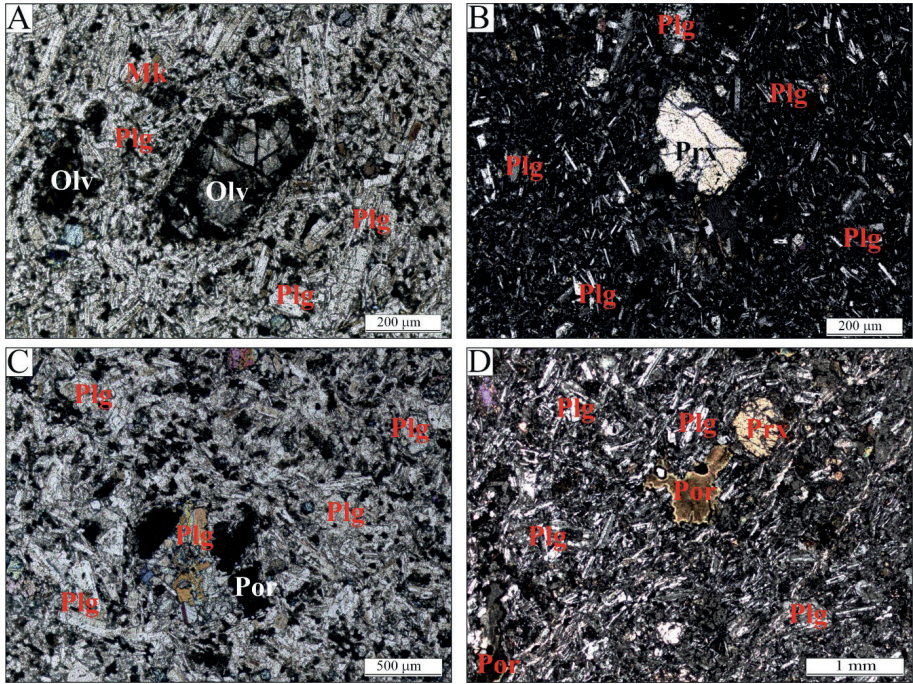
3.3. Bazaltlardaki Ayrışma ve Etkileri

Genel olarak ocağın tüm basamaklarda kırık ve çatlaklar gözlenmiştir. Bu çatlakların içine yer yer mangan ve demirce zengin minerallerin olduğu görülmüştür. Ayrıca kayada yer yer gaz boşluklarının oluşmuş olduğu ve gaz boşluklarında sekonder olarak alterasyonlar oluşmuştur. Basamaklarda yer yer soğan zarları şeklinde soyulma (eksfolyasyon) gözlenmiştir (Şekil 3a). Bu soğan kabuğu şeklindeki bozuşmaların çapı yaklaşık 80 cm'dir. Çatlaklar içine ise ikincil kalsit ve kil dolguları yerleşmiştir. Bazalt ocağının GD'ye doğru ilerledikçe bazaltlarda soğuma çatlaklarının arttığı ve çatlakların konumlarının genel olarak K30°B/68°KD' dur. Çatlaklar boyunca kil dolgularının olduğu görülmüştür (Şekil 3b-d).

3.4. Mineralojik ve Petrografik İncelemeler

3.4.1. Polarizan mikroskop incelemeleri

Bazalt örnekleri genel olarak yarı kristalli porfirik dokuya sahiptir. Bazalt örnekleri plajiyoklaz, olivin, opak mineraller, mikrolit ve volkan camından oluşmaktadır. Yarı öz şekilli mikrolitler şeklinde bulunan plajiyoklazlar ikizlenme ve zonlanmalar göstermekte olup plajiyoklazların Labrador bileşiminde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4a-d). Prizmatik kristaller şeklindeki piroksenlerin klinopiroksen (Ojit) bileşiminde olduğu saptanmıştır. Olivinler yarı öz şekilli kristaller şeklinde olup, iddingsitleşme, opasitleşmeler gözlenmiştir. Hamur ise mikrolit ve volkanik camdan oluştuğu saptanmıştır. Kayaç içindeki feldspatlar az oranda alterasyona uğrayarak ayrılmıştır. Olivinlerin ortalama tane boyutları 1.168 μm olarak ölçülmüştür. Kayaç içinde bulunan gaz boşluklarına opak minerallerin yerleştikleri belirlenmiştir.

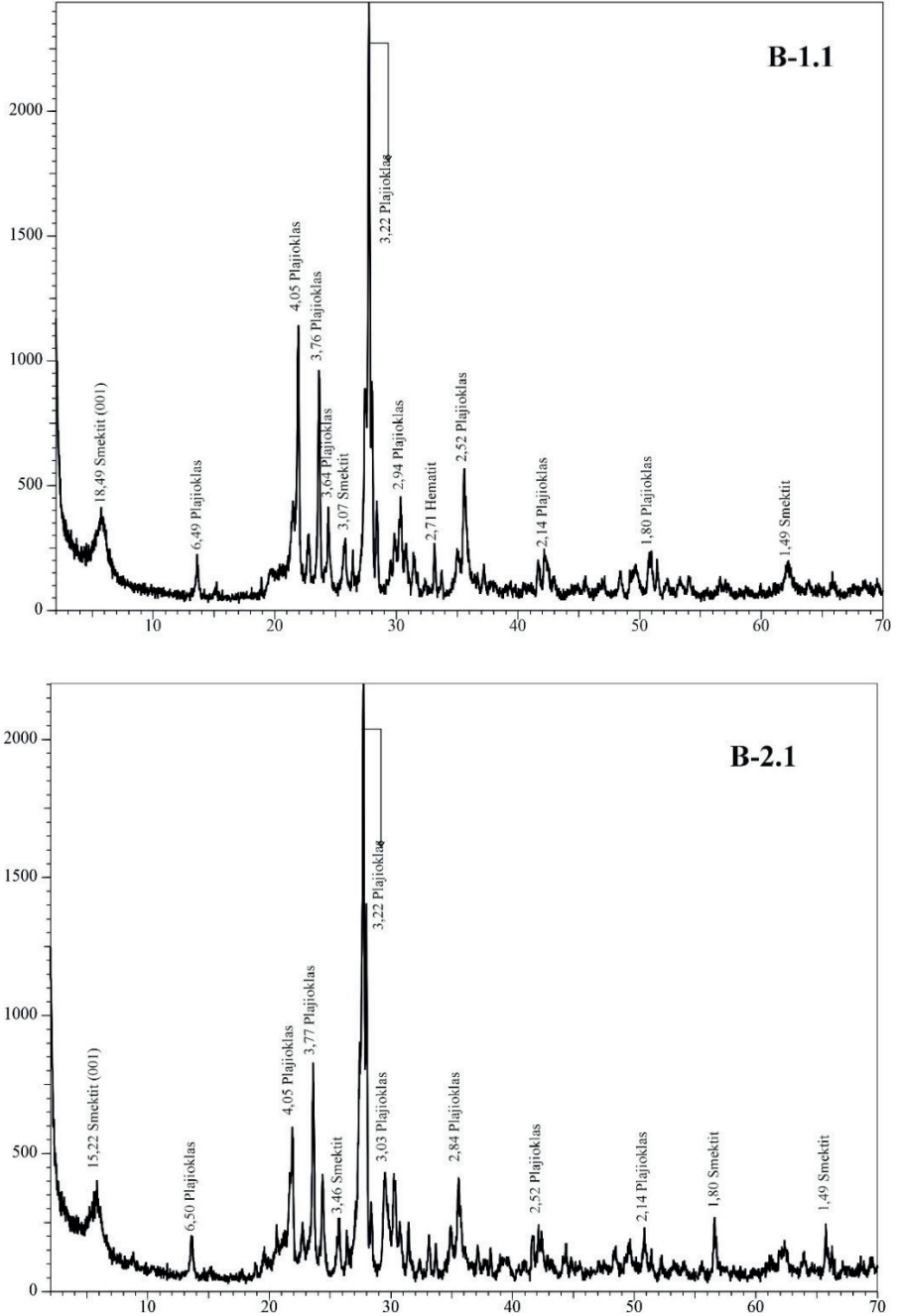


Şekil 4. Bazalt örneklerine ait ince kesit resimleri (çapraz nikol). Plajiyoklaz (labrador) (Plg), Klinopiroksen (Prx), Gözenek (Por), Olivin (Olv) minerallerinin görünümü (a-d).

3.4.2. XRD analizi incelemeleri

XRD analiz yöntemi ile bazalt örneklerinin mineralojik özelliklerinin incelenmesi için ocağın farklı noktalarından toplam 6 adet örnek alınmıştır. Örnekleri üzerinde Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve

Araştırma Merkezin de Shimadzu marka XRD-6000 model XRD cihazıyla 2° ve 70° arasında çekimleri yapılmıştır. Alınan örneklerde genel olarak plajiyoklaz, simektit ve hematit minerallerine ait pikler bulunmuştur (Şekil 5).



Şekil 5. Bazalt örneklerine ait XRD çekim grafiği

4. SONUÇLAR

Balast malzemelerini elde etmek için yüksek kaliteli magmatik veya metamorfik kayalar sırasıyla, patlatma, kırma eleme gibi madencilik işlemleri sonucunda balast parçacıkları elde edilir. Birçok ülkede balast seçerken bazalt, granit, kireç taşı, dolomit, riylit, gnays ve kuvarsit gibi farklı ana kaya malzemeleri kullanılmaktadır (Dingqin ve dig. 2015). Balast için en uygun ana kaya malzemelerinin magmatik ve metamorfik olduğunu ve bu nedenle balastın genellikle riylit, dolomit, bazalt, gnays, kuvarsit ve granit gibi kayalardan oluştuğunu belirten çalışmalar bulunmaktadır (Indraratna,2016; Alabbasi ve Hussein,2019). Kayaların mikro çatlakları, mineral tane boyutları ve düşük sertliğe sahip mineral içerikleri gibi petrografik özellikleri, balast olarak kullanılacak kayaların mekanik özelliklerini etkilemektedir (Nålsund, 2014). Kayaların makro ve mikro petrografik özelliklerindeki farklılıklardan dolayı farklı test sonuçları çıkmaktadır. Genel olarak, taze kayaların aşınma hızı, darbe tokluğu, aşınma sertliği ve ezilme hızı gibi mekanik özellikleri büyük ölçüde mineral bileşimi tarafından belirlenir (Hofer ve dig. 2019). Malzeme aynı ana kayadan olsa bile, bileşen minerallerin parçacık boyutu balast tabakasının performansını etkiler (Köken, 2018). Balast performansını etkileyen bir diğer faktör de mineral formudur. En iyi mineral formu granülerdir ve kuvars ve feldspat gibi bazı yüksek sertlikteki mineraller granüler minerallerdir. Bu tür mineraller en iyi örneklerdir. Ama lifsi yapıdaki mineraller ise en kötüsü olarak bilinmektedirler (Bach ve Veit, 2013). Çalışma kapsamında incelenen bazalt örnekleri plajiyoklaz, olivin, opak mineraller, mikrolit ve volkan camından oluşmaktadır. Yarı öz şekilli mikrolitler şeklinde bulunan plajiyoklazlar ikizlenme ve zonlanmalar göstermekte olup plajiyoklazların Labrador bileşiminde olduğu belirlenmiştir. Prizmatik kristaller şeklindeki piroksenlerin klinopiroksen (Ojit) bileşiminde olduğu saptanmıştır. Olivinler yarı öz şekilli kristaller şeklinde olup, iddingsitleşme, opasitleşmeler gözlenmiştir. Hamur ise mikrolit ve volkanik camdan oluştuğu saptanmıştır. Kayaç içindeki feldspatlar az oranda alterasyona uğrayarak ayrılmıştır. Tüm örnekler üzerinde yapılan mineralojik ve petrografik inceleme sonuçlarına göre, Işıkkara bazaltlarının demiryolu balast malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

5. KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mustafa BAYHAN' ın Bitirme Tezi çalışmasının bir bölümüne ait bilgileri kapsamaktadır.

KAYNAKLAR

- Alabbasi, Y, Hussein, M, 2019. Large-scale triaxial and box testing on railroad ballast: a review, SN Applied Sciences 1 (12).
- Bach, H, Veit, P, 2013. Evaluation of attrition tests for railway ballast, na2013.
- Demirbilek, N. 2005. Ilıca-Sobran (Kütahya) arasındaki jeolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Dingqing, L, Hyslip J, Sussmann, T, Chrismer S, 2015. Railway geotechnics, CRC Press,
- Gün, H, Akdeniz, N. ve Günay, E, 1979. Gediz ve Emet Güneyi Neojen havzalarının jeolojisi ve yaş sorunları; Jeol. Müh. Derg., TMMOB Jeol. Müh. Odası Yay. Org., 8, 3- 13.
- Hofer, V, Bach, H, Latal, C, 2013. Neubauer, Impact of Geometric and Petrographic Characteristics on the Variability of LA Test Values for Railway Ballast, Mathematical Geosciences 45 (6) (2013) 727–752 81
- Indraratna, B, 2016. 1st Proctor Lecture of ISSMGE, Transportation Geotechnics 7 (2016) 74–114.
- Köken, E, Ozarslan, A, Bacak, 2018. G, An experimental investigation on the durability of railway ballast material by magnesium sulfate soundness, Granular Matter 20 (2)
- Okay, A.İ, 1981. Kuzeybatı Anadolu'daki ofiyolitlerin jeolojisi ve mavişist metamorfizması (Tavşanlı-Kütahya), TMMOB Jeoloji Müh. Odası; Türkiye Jeol. Kur. Bült., 24, 85 – 95.
- Okay, A. İ, 1986. High pressure / low temperature metamorphic rocks of Turkey; in Blueschist and ecklogites, (Eds: B. W Evans and E. H. Brown) Geol. Soc. Amer. Memoir. V. 164, 333- 347.
- Özcan, A., Göncüoğlu, M. C., Turan, N., Uysal, Ş., Şentürk, K. and Işık, A., 1988. Late Paleozoic evolution of the Kütahya – Bolcardağı Belt; Middle East Tech. Univ. Journal of Pure and Applied Sci., 21, 1- 3, 221- 220.
- Nålsund, R, 2014. Railway ballast characteristics, selection criterion and performance, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Department of Civil and Transport Engineering, 2014.
- Şengör, A. M. C. and Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey, A plate tectonic approach; Tectonophysics, 75, 181- 241 s.



**DERİVASYON TÜNELLERİNDE SU
SIZINTILARININ KONTAKT VE
KONSOLİDASYON ENJEKSİYONU İLE
İYİLEŞTİRİLMESİ, ENJEKSİYON KARIŞIM
TESTLERİ VE UYGULAMA AŞAMALARI**

“ ”

Veli KESKİN¹

¹ Devlet Su İşleri 17. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler Şubesi, Van /Türkiye
ORCID: 0000-0003-2769-5044
velikeskin@dsi.gov.tr, veli_keskin@outlook.com

1. GİRİŞ

Baraj ve hidroelektrik santrali projelerinde suyun kontrollü şekilde iletilmesini sağlayan derivasyon tünelleri, inşaat mühendisliğinin en kritik yapılarından biridir. Bu tür tünellerin geçiş yaptığı jeolojik formasyonlar çoğu zaman heterojen, çatlaklı ve geçirgen özellikler gösterebilmekte; bu durum ise zamanla su sızıntılarına neden olabilmektedir. Su sızıntıları yalnızca yapının hidrolik verimliliğini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda yapının stabilitesi ve güvenliği üzerinde de olumsuz etkiler doğurur. Sızıntıların önlenmesi amacıyla geliştirilen yeraltı enjeksiyon teknikleri, özellikle kontakt ve konsolidasyon enjeksiyonu uygulamaları, bu tür problemlerin giderilmesinde etkili mühendislik çözümleri sunmaktadır. Kontakt enjeksiyonu, tünel kaplaması ile zemin/anakaya arasındaki boşlukların doldurulmasını amaçlarken; konsolidasyon enjeksiyonu daha derin ve geniş alanlarda zemin veya kaya kütlelerinin geçirgenliğini azaltmayı hedeflemektedir. Bu kitap bölümünde, derivasyon tünellerinde karşılaşılan su sızıntılarının kontakt ve konsolidasyon enjeksiyonu yöntemleriyle iyileştirilmesi detaylı olarak incelenecek; laboratuvar ölçeğinde yapılan enjeksiyon karışım testleri ile saha uygulama adımları sistematik bir biçimde ele alınacaktır.

2. ENJEKSİYON YÖNTEMLERİ VE PRENSİPLERİ

2.1. Kontakt Enjeksiyonu

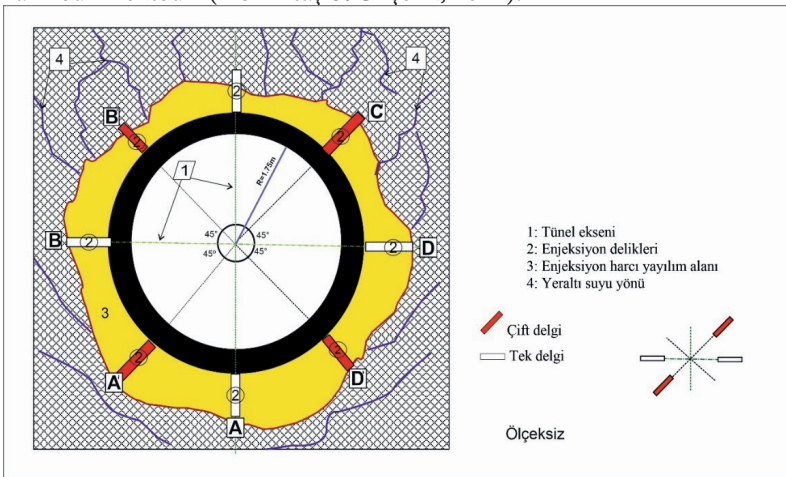
Kontakt enjeksiyonu, yer altı yapılarında, özellikle tünellerde, kaplama betonu ile kazı yüzeyi arasında kalan boşlukların enjeksiyon harçları ile doldurularak sızdırmazlık ve yapısal bütünlük sağlanmasını hedefleyen kritik bir iyileştirme yöntemidir. Bu yöntem, genellikle nihai kaplama uygulamasının tamamlanmasından sonra gerçekleştirilir ve uygulama sahasının jeoteknik özelliklerine göre özel enjeksiyon reçeteleri geliştirilir (Erdoğan & Yüzer, 2018). Uygulamada, düşük viskoziteli, yüksek penetrasyon kabiliyetine sahip çimento bazlı veya kimyasal esaslı enjeksiyon harçları kullanılır. Bu harçlar, kaplama arkasında kalan mikro-yapısal boşluklara sızarak bu alanları doldurur; böylece tünel çevresinden gelen yeraltı sularının kaplamaya zarar vermesi veya tünel içine sızması engellenmiş olur (Güneyli & Demir, 2020). Aynı zamanda kaplama arkasında oluşabilecek boşlukların neden olacağı oturma ve taşıma kapasitesi sorunları da bu yöntemle azaltılmaktadır.

Kontakt enjeksiyonunun başarılı olabilmesi için, öncelikle kazı ve kaplama yüzeyleri arasında kalan boşlukların doğru bir şekilde tespit edilmesi ve enjeksiyon parametrelerinin (basınç, debi, süre, karışım oranı) yerel jeolojik koşullara göre optimize edilmesi gerekmektedir (Kılıç et al., 2021). Enjeksiyon işlemi sırasında harcın kaplama arkasında yeterli yayılım sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmeli; gerekirse izleme sondajları veya jeofizik yöntemlerle enjeksiyon etkinliği teyit edilmelidir. Ayrıca, kontakt enjeksiyonu sadece sızdırmazlık açısından değil, yapının dayanıklılığı ve servis ömrü açısından da önemli bir katkı sağlar. Yeraltı suyu basıncının kaplama arkasında artması durumunda,

bu enjeksiyon sayesinde oluşacak gerilmeler dengelenir, bu da uzun vadede tünelin güvenliğini artırır (Özçelik, 2017).

2.2. Konsolidasyon Enjeksiyonu

Konsolidasyon enjeksiyonu, tünel inşaatlarında, özellikle zayıf zemin veya çatlaklı kaya kütlelerinde, kazı öncesinde ya da kazı sırasında uygulanan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Bu enjeksiyon yöntemi, çevredeki formasyonun geçirgenliğini azaltmak ve mekanik dayanımını artırmak amacıyla geliştirilmiştir (Erdogan & Yılmaz, 2019). Temel hedef, tünel kazısına başlamadan önce çevrede bir “enjeksiyon perdesi” oluşturarak yeraltı suyu girişini kontrol altına almak ve kazı sırasında karşılaşılabilecek jeoteknik riskleri minimize etmektir. Enjeksiyon işlemi, genellikle delgi delikleri aracılığıyla zemin veya kaya kütlelerine çimento bazlı harçların enjekte edilmesiyle gerçekleştirilir. Kullanılan enjeksiyon karışımları, uygulama bölgesinin litolojik ve hidrojeolojik özelliklerine göre optimize edilir. Düşük geçirgenlikli ve sıkı zeminlerde klasik çimento harçları tercih edilirken, yüksek çatlaklı veya gevşek yapıli ortamlarda çimento ile birlikte silis dumanı, bentonit veya kimyasal katkıları içeren karışımlar kullanılabilir (Karakaya ve ark., 2020). Konsolidasyon enjeksiyonunun mühendislik açısından önemi üç temel noktada öne çıkar: su girişinin önlenmesi, zemin taşıma kapasitesinin artırılması ve kazı sırasında yüzey stabilitesinin sağlanması. Enjeksiyon uygulaması sonucunda zemin içindeki boşluklar ve çatlak sistemleri dolarak geçirgenlik katsayısı önemli ölçüde düşer (Güneyli & Alkan, 2018). Bu durum, hem tünel kazısı sırasında olası ani su girişlerini önler hem de tünel kaplamasının uzun dönem performansını olumlu yönde etkiler (Şekil 3.1). Uygulama sahasında enjeksiyon etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla enjeksiyon öncesi ve sonrası geçirimlilik testleri, Lugeon testleri ya da basınçlı su testleri yapılmaktadır. Ayrıca enjeksiyon sonrası kaya kütlelerinde meydana gelen mekanik değişimler sismik hız ölçümleri ya da mukavemet testleri ile analiz edilmektedir (Demirtaş & Özçelik, 2021).



Şekil 3. 1. Derivasyon tüneli enjeksiyon ve delgi kesitleri (Morgedik Barajı)

Bu şekilde, tünel eksenini etrafında 360 dereceye yayılmış sondaj deliklerinden yapılan konsolidasyon enjeksiyonu gösterilmiştir. Enjektör edilen harç, çevreleyen kaya/zemin içinde bir perde oluşturarak hem su girişini engeller hem de stabilite sağlar.

2.3. Uygulama Parametreleri

Kontakt ve konsolidasyon enjeksiyonlarının saha başarısı, uygulama parametrelerinin dikkatli bir şekilde belirlenmesine bağlıdır. Bu parametreler; enjeksiyon malzemesinin uygun seçimi, karışım oranları, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon debisi, enjeksiyon süresi ve zamanlaması gibi temel teknik unsurları kapsar. Uygulama öncesinde sahaya özgü jeoteknik ve hidrojeolojik verilerin detaylı analizine dayalı olarak hazırlanacak enjeksiyon tasarımı, iyileştirmenin etkinliğini doğrudan etkiler (Akbulut ve Yılmaz, 2018; Karakuş, 2020).

2.3.1. Enjeksiyon Malzemesi ve Karışım Oranları

Enjeksiyon uygulamalarında kullanılacak malzemenin, geçirimsizliği artıracak ve çevre koşullarına dayanım gösterecek şekilde seçilmesi büyük önem taşır. Çimento, bentonit, kimyasal katkıları ve su oranları, sahanın permeabilite özelliklerine göre belirlenmelidir. Örneğin, yüksek permeabiliteye sahip zonalarda çimento-bentonit oranının artırılması, karışımın viskozitesini yükselterek yayılımı kontrol altında tutabilir (Şimşek ve arkadaşları, 2021). Karışımın jeokimyasal uyumluluğu da göz önünde bulundurulmalı, özellikle agresif yeraltı suyu ortamlarında kimyasal direnç gösteren katkıları tercih edilmelidir.

2.3.2. Enjeksiyon Basıncı ve Debisi

Enjeksiyon işlemlerinde uygulanacak basınç, zemin özellikleri, yeraltı suyu seviyesi ve enjeksiyon yapılacak zonun derinliği göz önünde bulundurularak belirlenmelidir. Basıncın düşük olması, enjeksiyon karışımının hedeflenen bölgelere ulaşmasını engelleyebilirken; aşırı basınç ise yeni çatlakların oluşmasına ve karışımın kontrolsüz biçimde yayılmasına yol açabilmektedir (Ersoy & Uluğ, 2017). Geçirimsizliği düşük zeminlerde genellikle düşük debili-yüksek basınç yaklaşımı tercih edilirken, yüksek geçirgenliğe sahip ortamlarda ise daha yüksek debili-düşük basınç uygulamaları önerilmektedir. Uygulanan basınç, özellikle beton yapılara zarar vermeyecek düzeyde seçilmelidir. Konsolidasyon enjeksiyonlarında kullanılacak etkin basınç (kg/cm^2) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$PT = 2 + \frac{33 \cdot H}{100}$$

Burada H, enjeksiyon kademesinin ortasından kuyu başına kadar olan mesafeyi (m) ifade etmektedir.

Bir kuyu ya da kademedeki enjeksiyona son verme basıncı, manometrede okunan değer üzerinden belirlenir. Bu değer; deliğin açılış yönüne göre, şerbet

sütununun hidrostatik basıncının enjeksiyon basıncına eklenmesi veya çıkarılması ile bulunur.

Eğimli kuyularda ise deliğin düşey ile yaptığı açı (α) basınca etki eder. Bu nedenle tavan ve taban yan kuyularda manometre basıncı (P_m) aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır:

$$P_m = PT + \frac{(W * L * \cos \alpha)}{10}$$

Tavan ve tavan yan kuyular için:

$$P_m = PT - \frac{(W * L * \cos \alpha)}{10}$$

Taban ve taban yan kuyular için:

Burada;

PT: Enjeksiyon basıncı (kg/cm^2)

Pm: Manometrede okunan refü basıncı (kg/cm^2)

L: Kademenin ortasından kuyu başındaki manometreye kadar olan mesafe (m)

α : Kuyu eksenini ile düşey arasındaki açı (yalnızca yan kuyularda etkilidir)

W: Enjeksiyon şerbetinin özgül ağırlığı (g/cm^3)

Düşey ve yatay kuyularda $\cos \alpha = 1$ olduğundan, açı parametresi sonucu değiştirmemektedir.

Zamanlama ve Uygulama Sıralaması

Enjeksiyon işleminin zamanlaması, özellikle mevsimsel yeraltı suyu dalgalanmaları ve inşaat takvimiyle uyumlu olmalıdır. Ayrıca, enjeksiyon noktalarının sıralı ve kontrollü bir şekilde çalıştırılması, karışımın etkili bir şekilde yayılmasını sağlar. Yüzeye yakın zonlardan derin bölgelere doğru yapılan sıralı enjeksiyonlar, gerilme kontrolünü artırarak yeniden su girişini engeller (Doğan, 2019).

Tasarım ve Uygulama Uyumu

Uygulamanın başarısı için saha öncesi yapılan laboratuvar karışım test sonuçlarının, gerçek saha koşullarına göre revize edilmesi gerekebilir. Bu nedenle enjeksiyon planlaması, gözlem sondajları, enjeksiyon kayıtları ve gerçek zamanlı basınç-debi izlemeleri ile sürekli denetlenmeli ve gerekirse parametreler yeniden ayarlanmalıdır (Yıldız ve Koç, 2022).

3. ENJEKSİYON KARIŞIM TESTLERİ

3.1. Laboratuvar Deney Tasarımı

Enjeksiyon uygulamalarında başarının temel taşlarından biri, saha öncesi gerçekleştirilen laboratuvar deneyleridir. Bu deneyler, kullanılacak enjeksiyon karışımının mekanik, hidrolik ve jeolojik özelliklerinin belirlenmesi, malze-

meler arası uyumluluğun değerlendirilmesi ve optimum karışım oranlarının tespit edilmesi açısından kritik bir rol oynar (Gürkan ve Demirtaş, 2020; Öztürk, 2018). Ayrıca, laboratuvar ortamında elde edilen veriler, saha enjeksiyon parametrelerinin tasarlanmasında doğrudan kullanılabilir ve uygulama sırasında karşılaşılabilecek riskleri azaltır.

3.1.2. Kullanılan Malzemeler ve Amaçları

Laboratuvar karışım testlerinde genellikle çimento (Portland tipi), bentonit, silika füme, su ve farklı özelliklere sahip kimyasal katkı maddeleri kullanılır.

- **Çimento**, karışımın dayanımını ve sertleşme sürecini belirler.
- **Bentonit**, özellikle geçirimsizlik sağlamak ve süspansiyonun stabilitesini artırmak amacıyla tercih edilir (Kurt ve Arslan, 2019).
- **Silika füme**, mikro yapıdaki boşlukları doldurarak sızdırmazlık kabiliyetini iyileştirir ve çimento hidratasyonunu destekler.
- **Su/çimento oranı**, karışımın kıvamı, pompalama kolaylığı ve priz süresi üzerinde belirleyicidir.
- **Katkı maddeleri** (plastifiyanlar, hızlandırıcılar, priz geciktiriciler), özel saha koşullarına uyum sağlamak amacıyla kullanılır.

3.1.3. Enjeksiyon Karışım Deneyleri

Her projede enjeksiyon uygulamasına geçilmeden önce, TS EN 445-447 standartları veya eşdeğer nitelikteki standartlar doğrultusunda enjeksiyon karışım deneylerinin yapılması zorunludur. Bu kapsamda gerçekleştirilecek deneylerin türü ve sayısı, proje gereksinimlerine bağlı olarak artırılabilir ya da azaltılabilir. Ayrıca sülfata karşı dirençli çimento kullanılacaksa, bu çimento ile ilgili karışım deneylerinin, planlanan enjeksiyondan en az bir ay önce ve her bir karışım oranı için ayrı ayrı gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Enjeksiyon karışım deneyleri; enjeksiyon santrali kullanılacak ise hassas terazi yardımı ile yapılmalıdır. Enjeksiyon santrali kullanılmayacak ise çimento kilogram cinsinden, diğer katkı malzemeleri ise litre cinsinden, tam sayı olacak şekilde ölçülerek deneyler yapılır.

3.1.3.1. Özgül Ağırlık Deneyi

Enjeksiyon uygulamalarında kullanılan şerbetlerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, enjeksiyon işleminin başarısını doğrudan etkileyen kritik parametrelerdendir. Bu bağlamda özgül ağırlık, şerbetin yoğunluğunu ortaya koyan temel özelliklerden biri olup, bir maddenin birim hacimdeki kütesinin aynı koşullardaki saf suyun birim hacimdeki kütesine oranı şeklinde tanımlanmaktadır. Çimento enjeksiyonunda özgül ağırlık, hazırlanan enjeksiyon şerbetinin katı madde konsantrasyonunu, çimento-su oranını ve karışımın

yeraltı boşluklarını doldurma kapasitesini ortaya koyarak enjeksiyonun etkinliği hakkında önemli veriler sağlamaktadır. Kullanılacak tüm şerbetlerin özgül ağırlıklarının deneysel yöntemlerle belirlenmesi zorunludur. Deneysel ölçümler genellikle piknometre veya özel özgül ağırlık kapları ve enjeksiyon terazileri (Şekil 3.2b) kullanılarak gerçekleştirilir. Özellikle alüvyon enjeksiyonlarında, çimento esaslı şerbetlerin yanı sıra kil, bentonit, kimyasal katkı maddeleri, bitümlü bileşikler ve reçineler de kullanılabilir (Houlsby, 1990; Akbulut & Güner, 2018). Bu tür farklı içerikli şerbetlerde çimento esaslı sistemler için kullanılan standart deneyler tek başına yeterli olmayabileceğinden, her bir malzeme türüne özgü özgül ağırlık deneylerinin yapılması gereklidir. Özgül ağırlık değerlerinin doğru biçimde belirlenmesi, enjeksiyon uygulamalarında penetrasyon kapasitesini, permeabilite kontrolünü ve nihai mühendislik performansını doğrudan etkiler. Ayrıca elde edilen deneysel sonuçlar, enjeksiyon karışımının saha koşullarına uygunluğunun değerlendirilmesinde mühendisler ve yetkin teknik personel için temel bir referans niteliği taşımaktadır (Karol, 2003).

3.1.3.2. Viskozite Deneyi

Viskozite, bir akışkanın iç sürtünmesini ve kesme gerilmesine karşı gösterdiği direnci tanımlayan reolojik bir özelliktir. Çimento enjeksiyonunda viskozite, şerbetin akıcılığını ve enjekte edileceği zemine veya kaya kütlesine nüfuz etme kapasitesini belirleyen temel parametrelerden biridir. Viskozite ölçümleri çoğunlukla marsh hunisi veya benzeri cihazlarla gerçekleştirilmekte olup, elde edilen değerler enjeksiyon karışımının pompalanabilirliğini ve geçirimsizleştirme etkinliğini değerlendirmede kullanılmaktadır (Şekil 3.2a). Enjeksiyon şerbetlerinin işlenebilirlik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu deneyler, sahada hazırlanan her karışım oranı için uygulanmakta ve sonuçlar teknik personel tarafından değerlendirilerek yükleniciye resmi olarak bildirilmektedir (Houlsby, 1990). Bu yaklaşım, şantiyede hazırlanan her yeni karışımın performansının sürekli denetlenmesini sağlamakta ve kalite güvenliği açısından kritik rol oynamaktadır. Hazırlanan karışımların viskozite değerleri önceden belirlenen uygunluk kriterleri ile karşılaştırılmakta; sınır değerlerin dışında kalan şerbetlerin enjeksiyon uygulamalarında kullanılmasına izin verilmemektedir. Özellikle düşük viskoziteli şerbetler yüksek geçirgenliğe sahip zeminlerde etkin bir yayılım sağlarken, yüksek viskoziteli karışımlar düşük geçirgen ortamlarda nüfuz kabiliyetini sınırlayabilmektedir. Bu nedenle viskozite deneyleri, enjeksiyon işlemlerinde hem mühendislik güvenliği hem de kalite kontrol süreçlerinin ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilmelidir (Karol, 2003; Akbulut & Güner, 2018).



Şekil 3.2 Marsh Hunisi ve Enjektasyon Terazisi.

3.1.3.3. Çökeltme deneyi:

Enjektasyon şerbetlerinin performansını belirleyen en önemli parametrelerden biri, karışım içerisindeki katı maddelerin zamana bağlı çökeltme davranışdır. Çökeltme deneyi, şerbetin stabilitesini ve homojenliğini değerlendirmek amacıyla yapılır. Deney, 1000 ml hacme sahip, çapı 6 cm olan ve her 1 mm'de seviye göstergesi bulunan cam mezür içerisinde gerçekleştirilir. Hazırlanan şerbetin çökeltme miktarı, karışımın toplam hacmine göre yüzde (%) cinsinden hesaplanır. Deney sırasında çökelmeler, belirli zaman aralıklarında (30, 60 ve 120 dakika) ölçülerek kaydedilir. İki saatlik çökeltme oranının %5'i aşmaması, şerbetin enjektasyon için uygun kabul edilmesinde temel kriterdir. Bu sınır değerin aşılması, karışımın stabilite açısından yetersiz olduğunu gösterir ve ilgili şerbet sahada kullanılmaz (Houlsby, 1990; Warner, 2004). Çökeltme deneyleri, enjektasyon uygulamalarında özellikle düşük viskoziteli şerbetlerde, katı-sıvı ayrışmasının kontrolü için kritik önem taşımaktadır. Yüksek çökeltme oranı, enjektasyon sırasında tıkanmalara, homojen olmayan dağılıma ve mühendislik performansında düşüşe neden olabilir (Akbulut & Gürer, 2018).

3.1.3.4. Basınç Dayanım Deneyleri:

Enjektasyon şerbetlerinin mekanik performansını değerlendirmede kullanılan en temel parametrelerden biri basınç dayanımıdır. Bu deneyler, çimento veya sülfata dayanıklı çimentodan hazırlanmış numuneler üzerinde yürütülmektedir. Hazırlanan örnekler, belirli süreler boyunca su içerisinde kür edilerek standart koşullarda saklanır. Ardından 7 günlük ve 28 günlük dayanım testleri uygulanır. Deneyler sonucunda 28 gün sonunda elde edilen basınç dayanımı değerinin en az 10 MPa ($\approx 100 \text{ kg/cm}^2$) olması beklenmektedir. Bu sınır değeri, enjektasyon uygulamalarında kalıcı dayanım ve yapı güvenliği için kritik bir eşiiktir (Karol, 2003). Şayet elde edilen sonuçlar bu minimum değerin altında kalırsa, şerbet karışımı saha uygulamalarında uygun bulunmaz. Basınç dayanımı deneyleri, yalnızca laboratuvar standartlarının sağlanması için değil, aynı zamanda sahada enjektasyonun uzun vadeli performansının öngörülmesi açısından da büyük önem arz etmektedir. Nitekim literatürde, çimento esaslı

enjeksiyon karışımlarında 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin, enjeksiyonun hidrolik geçirimsizlik ve mühendislik güvenliği ile doğrudan ilişkili olduğu vurgulanmaktadır (Warner, 2004; Houlsby, 1990).

3.2. Önerilen Karışım Oranları

Enjeksiyon uygulamalarında kullanılan karışım oranları, uygulamanın yapılacağı ortamın geçirgenlik, çatlak yapısı, zemin mineralojisi, yeraltı suyu seviyesi ve mekanik dayanım özelliklerine göre önemli farklılıklar gösterebilir. Bu nedenle, enjeksiyon karışımları tek tip değil, her saha koşuluna özel olarak belirlenmelidir (Çelik ve Aksoy, 2019; Türkmen, 2021). Karışım oranlarının belirlenmesinde hem laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler hem de önceki saha uygulamalarına ait geri bildirimler dikkate alınmalıdır.

Zemin Ortamları İçin Önerilen Karışımlar

Geçirgenliği yüksek, ayrıışmış ya da gevşek yapıdaki zeminlerde (örneğin kumlu kil, çakıllı silt gibi) amaç, geçirimsizlik sağlamak ve boşlukları doldurmak olduğundan, daha viskoz, ancak pompalanabilirliği yüksek karışımlar tercih edilir. Bentonit katkısı, süspansiyonun stabilitesini artırmak amacıyla artırılırken, çimento oranı orta seviyede tutulur.

Tablo 3.1 Geçirgenliği yüksek, ayrıışmış ya da gevşek yapıdaki zeminlerde enjeksiyon oranları

Malzeme	Oran (kg/m ³)	Açıklama
Çimento (CEM I 42.5R)	300–400	Orta düzey dayanım
Bentonit	20–40	Süspansiyon stabilitesi
Su	700–800	Pompalama kolaylığı için
Silika Füme	10–20	Mikropor dolgu
Priz Geciktirici Katkı	0.5–1%	Uzun uygulama süresi için

Kaya Ortamları İçin Önerilen Karışımlar

Çatlaklı, ayrıışmış ya da zayıf bağlantılı kaya ortamlarında (örneğin tüf, kalker, şist gibi), amaç çatlakları doldurmak, taşıma gücünü artırmak ve su sızıntılarını engellemektir. Bu tür ortamlarda daha yüksek mukavemetli ve düşük ayrışma potansiyeline sahip karışımlar kullanılır.

Tablo 3.2 Çatlaklı, ayrılmış ya da zayıf bağlantılı kaya ortamlarında enjeksiyon oranları

Malzeme	Oran (kg/m ³)	Açıklama
Çimento (CEM I 42.5R)	450–600	Yüksek dayanım gereksinimi
Bentonit	10–20	Karışım stabilitesi için sınırlı
Su	500–600	Viskozite kontrolü
Silika Füme	15–25	Çatlaklara nüfuz kolaylığı
Hızlandırıcı Katkı	1–2%	Hızlı priz için

Karışım Seçiminde Dikkat Edilmesi Gerekenler

- Zemin-su ilişkisi göz önünde bulundurularak katkı maddeleri belirlenmelidir.
- Pompa sistemi kapasitesi ve enjeksiyon basıncı, viskoziteye uygun olmalıdır.
- Laboratuvar testleri ile belirlenen karışım oranları, ilk saha uygulamalarında pilot enjeksiyon yöntemiyle doğrulanmalıdır (Erkan ve Bayraktar, 2020).
- Priz süresi, uygulama alanının büyüklüğü ve enjeksiyon süresi ile uyumlu olacak şekilde ayarlanmalıdır.

Tablo 3.3. Zemin ve kaya ortamları için önerilen enjeksiyon karışım oranları(Houlsby, 1990; Karol, 2003).

Ortam Türü	Önerilen Su/Çimento Oranı (ağırlıkça)	İlave Katkılar	Amaç / Açıklama
Kumlu Zeminler	1:1 – 2:1	İnce çimento, bentonit	Geçirgenliği yüksek ortamlarda yeterli penetrasyon ve düşük viskozite sağlamak.
Siltli Zeminler	1:2 – 1:3	Bentonit, kimyasal katkıları	Orta geçirgen ortamlarda stabilite ve ayrışmayı önlemek.
Killi Zeminler	1:3 – 1:5	Kimyasal katkıları	Düşük geçirgen ortamlarda nüfuziyeti artırmak.
Kırıklı / Çatlaklı Kaya	0.5:1 – 1:1	Normal çimento	Çatlakların doldurulması ve dayanımın artırılması.

Ortam Türü	Önerilen Su/Çimento Oranı (ağırlıkça)	İlave Katkılar	Amaç / Açıklama
Masif Kaya	0.4:1 – 0.8:1	Çimento + düşük miktarda katkı	Hidrolik geçirimsizliği artırmak ve boşlukları kapatmak.
Sülfatlı Ortamlar	0.5:1 – 1:1	Sülfata dayanıklı çimento	Kimyasal dayanımı artırmak ve uzun vadeli stabiliteyi sağlamak.

Tablo 3.3'te görüldüğü üzere, enjeksiyon karışım oranları zemin ve kaya ortamlarının geçirgenliğine bağlı olarak değişmektedir. Geçirgenliği yüksek kumlu zeminlerde daha akışkan şerbetler (yüksek su/çimento oranı) tercih edilirken, düşük geçirgenlikli kaya ortamlarında daha yoğun ve dayanımı yüksek karışımlar (düşük su/çimento oranı) kullanılmaktadır. Killi zeminlerde nüfuziyeti artırmak için kimyasal katkılar, sülfatlı ortamlarda ise dayanıklılığı sağlamak için sülfata dayanıklı çimentolar önerilmektedir (Houlsby, 1990; Karol, 2003; Warner, 2004).

3.3. Karşılaştırmalı Değerlendirme

Tablo verilerine göre enjeksiyon reçetelerinin zemin ve kaya ortamlarında farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Zeminlerde gözenek içi dolgunun sağlanabilmesi için yüksek yayılabilirlik özelliğine sahip akışkan karışımlar tercih edilirken, kaya ortamlarında çatlak ve eklem boşluklarının kapatılması amacıyla düşük W/C oranlı ve katkılı, daha stabil karışımlar kullanılmaktadır. Bu durum, enjeksiyon tasarımının ortama özgü koşullara göre optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Tablo 3.4. Zemin ve kaya ortamlarında enjeksiyon reçetelerinin karşılaştırılması

Ortam	Hedef Alan	Karışım Özelliği	Karışım Türü
Zemin	Gözenek içi	Yüksek yayılabilirlik	Akışkan karışım (W/C > 1.0)
Kaya	Çatlak ve eklem boşlukları	Yüksek stabilite ve tutuculuk	Düşük W/C + katkılı karışım

4. UYGULAMA AŞAMALARI

Derivasyon tünellerinde karşılaşılan su sızıntıları, hem yapısal bütünlüğü tehdit etmekte hem de işletme güvenliğini riske atmaktadır. Bu nedenle, su sızıntılarının kontrol altına alınmasına yönelik geliştirilen enjeksiyon uygulamaları, jeoteknik ve hidrojeolojik veriler ışığında sistematik bir planlama süreci ile yürütülmektedir. Uygulama öncesinde, sızıntının kaynağı ve yayılım biçimi detaylı jeolojik ve jeofizik etütlerle belirlenmekte; ardından uygun enjeksiyon tipi (kontakt veya konsolidasyon) seçilerek tasarım aşamasına geçilmektedir. Kontakt enjeksiyonu, yapı ile zemin arasındaki boşlukların veya

çatlakların düşük viskoziteli karışımlarla doldurulmasını hedeflerken, konsolidasyon enjeksiyonu ise zemin kütlesinin taşıma gücünü artırmayı ve su geçirgenliğini azaltmayı amaçlamaktadır (Akın ve Ersoy, 2017; Çelik, 2021). Enjeksiyon süreci, karışımın hazırlanması, enjeksiyon basıncının belirlenmesi, kuyu aralıklarının planlanması ve izleme işlemlerini kapsayan çok aşamalı bir uygulama dizisini içermektedir. Uygulama sırasında elde edilen basınç, debi ve enjeksiyon hacmi gibi parametreler, enjeksiyonun etkinliğini değerlendirmek ve gerektiğinde revize etmek açısından kritik öneme sahiptir (Karakaya ve Yılmaz, 2019). Başarılı bir enjeksiyon uygulaması, yalnızca su sızıntısını engellemekle kalmaz, aynı zamanda tünelin uzun vadeli dayanımını da artırır.

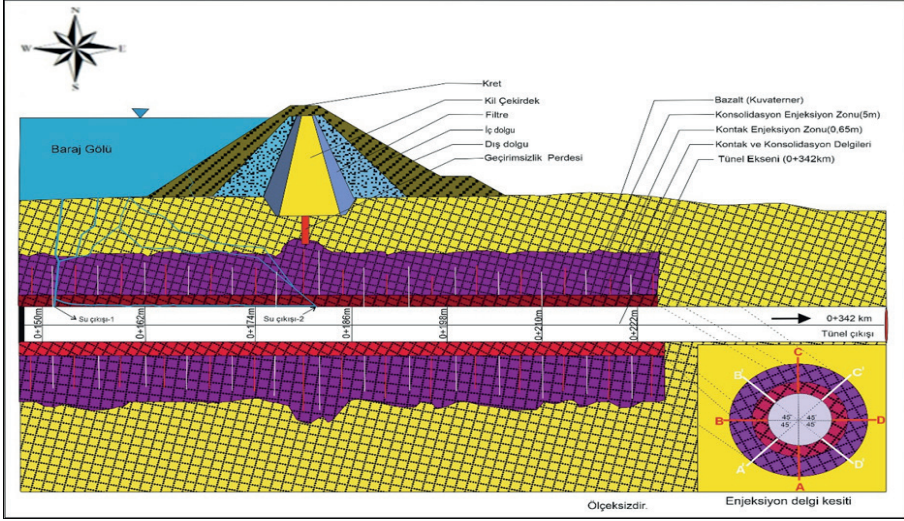
4.1. Hazırlık Aşaması

Kontakt ve konsolidasyon enjeksiyonlarına geçilmeden önce yürütülen hazırlık aşaması, uygulamanın başarısını doğrudan etkileyen kritik bir süreçtir. Bu aşamada öncelikle, tünel yapısında meydana gelen su sızıntılarının yeri, miktarı, süresi ve mevsimsel değişkenliği detaylı olarak belirlenir. Bu tespitler sırasında, jeolojik ve hidrojeolojik haritalar ile geçmiş tünel kazı kayıtları incelenmekte; ayrıca görsel gözlemler, debi ölçümleri ve gerekirse kamera destekli incelemeler yapılmaktadır (Şimşek ve Kara, 2020). Saha incelemelerine ek olarak, zemin ve kayaç örnekleri alınarak laboratuvar ortamında geçirgenlik, dayanım, çatlaklılık ve porozite analizleri gerçekleştirilir. Bu analiz sonuçları, enjeksiyon karışımının türü (çimento, silika, kimyasal katkıları vb.) ve viskozitesi gibi parametrelerin belirlenmesinde yol göstericidir. Bununla birlikte, enjeksiyon kuyularının konumu, derinliği ve aralıkları da bu aşamada belirlenir ve gerekli sondaj çalışmaları planlanır. Hazırlık sürecinde ayrıca, saha ekipmanları (enjeksiyon pompaları, ölçüm cihazları, karıştırma tankları vb.) temin edilerek iş güvenliği önlemleri gözden geçirilir. Tüm bu hazırlıkların amacı, enjeksiyon uygulamasının kontrollü, verimli ve çevresel etkiler gözetilerek gerçekleştirilmesini sağlamaktır (Demirtaş ve Uğur, 2018).

4.1.1. Saha Koşullarının İncelenmesi

Enjeksiyon uygulamalarının etkin ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için saha koşullarının ayrıntılı biçimde incelenmesi zorunludur. Bu kapsamda yapılan çalışmalar, tünel çevresindeki jeolojik birimlerin litolojik özelliklerinin, süreksizliklerin, çatlak yoğunluğunun, tabaka eğimlerinin ve zonlanmaların belirlenmesini içerir (Şekil 4.1). Özellikle geçirgenliği yüksek zayıf zonlar, kırıklı-kuvaterner dolgu alanları ve karstik boşluklar enjeksiyonun tasarımı açısından kritik öneme sahiptir (Öztürk ve Aslan, 2019). Hidrojeolojik incelemeler kapsamında yer altı suyu seviyesi, akım yönü, debi miktarları ve mevsimsel değişkenlikler analiz edilerek, enjeksiyonun uygulanabilirlik sınırları belirlenmektedir. Ayrıca, tünel çevresindeki kaya kütlesinin dayanımı, RMR (Rock Mass Rating), Q sistemi ve GSI (Geological Strength Index) gibi sınıflama sistemleri ile değerlendirilerek, enjeksiyon basıncının ne düzeyde

uygulanabileceği öngörülmektedir (Yıldız ve ark., 2021). Saha koşullarının doğru analiz edilmesi, hem enjeksiyon başarısının artırılması hem de çevresel risklerin (örneğin aşırı basınç sonucu tünel kaplamasında hasar oluşması) önlenmesi açısından vazgeçilmezdir. Bu nedenle, saha verilerinin titizlikle toplanması ve jeoteknik değerlendirmelerin disiplinler arası bir yaklaşımla yapılması gerekmektedir.



Şekil 4.1: Derivasyon tüneli su çıkışları (1-2) ve jeolojik en kesit (Morgedik barajı).

4.1.2. Ön Tasarım ve Planlama

Saha koşullarının incelenmesini takiben gerçekleştirilen ön tasarım ve planlama aşaması, enjeksiyon uygulamalarının mühendislik açısından doğruluğunu ve başarısını belirleyen temel süreçlerden biridir. Bu aşamada, jeolojik ve hidrojeolojik veriler ışığında, enjeksiyonun amacı (örneğin, boşluk doldurma, geçirimsizlik sağlama, taşıma gücünü artırma) net biçimde tanımlanır ve buna uygun enjeksiyon türü (kontakt, konsolidasyon, perde, vb.) belirlenir (Kurtuluş ve Çetin, 2020). Enjeksiyon yapılacak bölgede açılması planlanan delgi kuyularının sayısı, yerleşimi, derinlikleri ve aralıkları, kayaç özellikleri ve çatlak yoğunluğu dikkate alınarak projelendirilir. Ayrıca enjeksiyon basıncı, enjeksiyon karışımının viskozitesi ve katkı maddeleri gibi parametreler, zemin veya kaya ortamının özelliklerine göre hesaplanır. Karışımın zemine veya kaya ortamına ne derece nüfuz edebileceği, daha önceden yapılmış laboratuvar enjeksiyon testleri ve benzer saha uygulamalarının verileriyle kıyaslanarak değerlendirilir (Akbulut ve Yalçın, 2018). Planlama sürecinde iş güvenliği, uygulama süresi, malzeme temini, çevresel etkiler ve izleme stratejileri gibi operasyonel faktörler de dikkate alınarak uygulama senaryoları oluşturulur. Bu şekilde hazırlanan ön tasarım raporu, uygulama sırasında karşılaşılabilecek

olası jeoteknik problemlere karşı mühendislik çözüm önerileri içeren kapsamlı bir yol haritası sunar.

4.1.3. Ekipman ve Lojistik Hazırlığı

Kontakt ve konsolidasyon enjeksiyon uygulamalarında kullanılan ekipmanlar, süreç boyunca yüksek teknik hassasiyet gerektiren işlemlerin başarıyla yürütülmesini sağlar. Bu tür uygulamalarda ilk adım delgi makineleri ile başlar. Delgi makineleri, zemin veya kaya ortamına enjeksiyon yapılacak deliklerin açılmasında kullanılır. Bu makineler, zeminin sertliğine ve derinliğine göre pnömatrik veya hidrolik tipte olabilir. Delme işlemi sırasında deliğin stabil kalması için muhafaza boruları da kullanılır. Delme tamamlandıktan sonra, enjeksiyon karışımının yalnızca hedeflenen bölgeye ulaşması için paketör sistemleri devreye girer. Tekli veya çiftli olarak seçilen paketörler, delik içinde sızdırmazlık sağlar ve enjeksiyonun kontrollü bir şekilde yapılmasına imkân tanır. Enjeksiyon işleminin kalbi sayılan enjeksiyon pompaları ise karışımın istenen basınç ve debide zemine iletilmesini sağlar. Pompalar, uygulanacak basınca göre düşük veya yüksek basınçlı tipte seçilir. Enjeksiyon karışımının hazırlanmasında ise mikserler kullanılır. Bu karıştırıcılar, çimento, su ve katkı maddelerinin homojen bir şekilde karıştırılmasını sağlar. Hazırlanan karışım, enjeksiyon tanklarında geçici olarak depolanır. Bu tanklar, enjeksiyonun sürekliliğini sağlarken aynı zamanda karışımın viskozitesini ve sıcaklığını sabit tutacak izolasyon özelliklerine sahip olabilir. Enjeksiyon sırasında kullanılan basınç göstergeleri ve debimetreler, uygulamanın anlık olarak kontrol edilmesini sağlar. Bu cihazlar, karışımın zemine hangi basınçla ve ne kadar hacimde verildiğini ölçer. Modern uygulamalarda bu sistemler otomatik veri kayıt cihazları ile desteklenerek uygulamanın her aşamasının dijital olarak izlenmesi ve kayıt altına alınması sağlanır. Bu veriler, uygulama sonrası değerlendirme ve kalite kontrol açısından büyük önem taşır. Saha uygulamalarında karışımın uygunluğunu test etmek amacıyla kullanılan bazı laboratuvar ekipmanları da mevcuttur. Örneğin, viskozimetre ile karışımın akışkanlığı ölçülürken, permeabilite cihazları zeminin geçirgenliğini belirlemede kullanılır. Ayrıca sertleşen enjeksiyon karışımının dayanımı, karot alma ve pres cihazları ile yerinde test edilir. Tüm bu ekipmanların çalışabilmesi için uygun enerji sistemleri ve bağlantı elemanları gereklidir. Jeneratör grupları, elektrik ihtiyacını karşılarken, kimyasal ve basınca dayanıklı hortumlar ile enjeksiyon sistemlerinin bağlantısı sağlanır. Son olarak, saha uygulamalarında görev yapan personelin güvenliği için baret, gözlük, eldiven, iş elbisesi, reflektörlü yelek ve çelik burunlu ayakkabı gibi kişisel koruyucu donanımlar mutlaka kullanılmalıdır. Özellikle kimyasal katkı içeren enjeksiyon karışımlarının kullanıldığı durumlarda, özel kimyasal koruyucu ekipmanlar da gereklidir. Bu ekipmanların bir arada ve uyum içinde çalışması, enjeksiyon uygulamasının başarısını doğrudan etkiler. Dolayısıyla, hem ekipmanın teknik özelliklerinin doğru belirlenmesi hem de uygulayıcı personelin bu ekipmanları etkin bir şekilde kullanabilmesi, mühen-

dislik yapılarında güvenli ve kalıcı çözümler üretilmesi açısından büyük önem taşır.

4.2. Delik Açma ve Hazırlık

Tünel ve derivasyon tünellerinde kontakt ve konsolidasyon enjeksiyonunun etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesi, deliklerin doğru konumda, uygun aralıklarla ve tasarım parametrelerine uygun olarak açılmasına doğrudan bağlıdır (Erdem & Soysal, 2020). Bu nedenle sondaj işlemleri, proje kapsamında önceden belirlenmiş enjeksiyon ağına göre planlanır; deliklerin çapı, derinliği ve yönelimi, çevre kayaların jeolojik ve jeoteknik özellikleri ile uyumlu olacak şekilde belirlenir. Konsolidasyon enjeksiyonu, çoğunlukla en az iki kademeli olarak uygulanmakla birlikte, delgi boyunun 2 m'den kısa olduğu durumlarda tek kademeli uygulama yeterli görülmektedir. İşlem, proje gerekliliklerine uygun biçimde beton dökümü sırasında yerleştirilen en az 3 inç çapındaki borular aracılığıyla ve çapı 46 mm'den küçük olmayan, su devirdaimli rotary sondaj makineleri ile açılan kuyulardan yapılmaktadır. Tünel projelerinde enjeksiyon derinliği, ana kaya içerisinde genellikle D/2 oranında seçilirken, derivasyon tünellerinde özellikle tıkaç bölgelerinde bu derinlik D değerine kadar çıkarılmaktadır. Jeolojik veya jeoteknik özelliklere bağlı olarak karstik boşluk, göçük ve fay zonları ile karşılaşıldığında, enjeksiyon derinliği jeoteknik gerekçe raporu ile yeniden düzenlenebilir. Konsolidasyon enjeksiyonu, kontakt enjeksiyonu kuyuları üzerinden yürütülür ve tünellerde tüm uygulamalar 56 mm çaplı rotary tipli, su devirdaimli makinelerle karotsuz açılan kuyular aracılığıyla yapılır. Sondaj sürecinde, tünel yüzeyine zarar verilmemesi için düşük titreşimli ekipmanlar tercih edilir ve delik çapları enjeksiyon hortumları ile uyumlu olacak şekilde planlanır (Çakır & Arıkan, 2019). Açılan deliklerin içi, basınçlı hava veya su kullanılarak temizlenir; böylece kırıntılı malzemeler uzaklaştırılarak enjeksiyon karışımının homojen ilerlemesi sağlanır. Çevresel stabilitenin korunması amacıyla, gerekli durumlarda geçici veya kalıcı kılıf boruları (manşon) yerleştirilir ve enjeksiyon basıncını yönlendirmek için pakeler kullanılabılır (Şekil 4.2). Tüm bu hazırlıkların ardından, delikler enjeksiyona hazır hâle getirilir; uygulama öncesinde son kontroller yapılır ve elde edilen veriler kayıt altına alınır. Delik açma ve enjeksiyon sürecinde yapılan her işlem, enjeksiyon etkinliğini doğrudan etkilediği için deneyimli teknik personel gözetiminde yürütülmelidir. Saha uygulamalarında, enjeksiyon işleminin etkinliğini artırmak amacıyla, enjeksiyon yapılacak alanlarda uygun çap ve derinlikte delikler açılır. Bu delik açma işlemi sırasında dikkat edilmesi gereken önemli noktalar şunlardır:

- Mevcut yapıya zarar vermeyecek şekilde planlama yapılmalıdır,
- Sızıntı kaynaklarının tespiti için basınç ve akış testleri uygulanmalıdır,
- Enjeksiyon ekipmanlarının montajı için uygun zemin hazırlığı tamamlanmalıdır (Özdemir ve Yılmaz, 2020).

Bu aşamalar, enjeksiyonun başarılı bir şekilde uygulanması ve yapı güvenliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir.



Şekil 4.2 Derivasyon tüneli delgi ve enjeksiyon hazırlık çalışmaları (Morgedik Barajı).

4.3. Enjeksiyon Karışımının Hazırlanması

Derivasyon tünellerinde kontakt ve konsolidasyon enjeksiyonlarının başarısı, büyük ölçüde kullanılan enjeksiyon karışımının doğru hazırlanmasına bağlıdır. Enjeksiyon karışımı, kayaçtaki çatlakları doldurabilecek uygun viskoziteye, dayanıklılığa ve akışkanlığa sahip olmalıdır. Bu nedenle karışımın bileşimi, projenin jeolojik ve hidrojeolojik koşullarına göre titizlikle belirlenir (Öztürk ve Yılmaz, 2018). Genellikle enjeksiyon karışımında çimento, su, katkı maddeleri (plastikleştiriciler, sünekleştiriciler) ve gerektiğinde kimyasal maddeler (silika solüsyonları, poliüretan vb.) kullanılır. Çimento oranı, karışımın priz süresi ve dayanımını doğrudan etkilerken, katkı maddeleri karışımın işlenebilirliğini ve penetrasyon kabiliyetini artırır. Özellikle konsolidasyon enjeksiyonunda, karışımın tünel çevresindeki ince çatlaklara nüfuz edebilmesi için düşük viskoziteli ve akışkan bir yapı tercih edilir (DSİ, 2023). Enjeksiyon karışımının hazırlanması sürecinde, kullanılacak malzemeler önceden belirlenen oranlarda bir araya getirilir ve karışım homojen bir kıvamı ulaşıncaya kadar karıştırma işlemi sürdürülür. Hazırlanan karışım, enjeksiyon pompalarına uygun kıvamda olmalı ve enjeksiyon sırasında tıkanmalara yol açmamalıdır. Ayrıca karışımın priz süresi, enjeksiyonun uygulanacağı ortam sıcaklığı ve basınç koşulları göz önünde bulundurularak ayarlanmalıdır (Smith ve Brown, 2016). Sonuç olarak, enjeksiyon karışımının doğru hazırlanması, tünel çevresinde istenilen su yalıtımının sağlanması ve mekanik stabilitenin artırılması için temel bir adımdır. Bu nedenle saha deneyleri ve laboratuvar testleri ile karışım bileşimi optimize edilmeli, uygulama öncesinde deneme enjeksiyonları ile performans doğrulanmalıdır (Öztürk ve Yılmaz, 2018).

Tablo 4.1. Enjeksiyon uygulamalarında kullanılan şerbet karışım oranları(DSİ 2025).

Karışım Oranı	Çimento	Su	Bentonit	Katkı	Hacim	Yoğunluk
Çimento/Su	(kg)	(L)	(L)	(kg)	(L)	(gr/cm ³)
1/1	150	136,5	15	1,5	3,75	202,5
9/10	150	121,5	15	1,5	3,75	187,5
4/5	150	106,5	15	1,5	3,75	172,5
5/7	150	93,6	15	1,5	4,50	160
Yoğunluk (gr/cm ³)	3.13	1	1,12	2,5	1,22	-

4.4. Kontakt ve Konsolidasyon Enjeksiyon Uygulamaları

Enjeksiyon uygulamaları belirlenmiş bir prosedür çerçevesinde yürütülmektedir. İşleme, öncelikle 1 numaralı (1/1 oranlı) şerbet ile başlanmakta ve yaklaşık 1 m³ enjeksiyon gerçekleştirilmektedir. Basınçta herhangi bir artışın gözlenmemesi durumunda, işlem giderek yoğunluğu artırılmış karışımlarla devam ettirilir. Bu kapsamda; 2 numaralı şerbet (9/10) en fazla 1 m³, 3 numaralı şerbet (4/5) yine 1 m³'e kadar, 4 numaralı şerbet (5/7) ise 5 m³'e kadar

uygulanabilmektedir. Sonraki aşamalarda basınç yükselmezse, sırasıyla 5 numaralı karışım (5/7 + %25 kum) ve 6 numaralı karışım (5/7 + %50 kum) her birinde 5 m³ olmak üzere enjekte edilir. Nihai aşamada, 7 numaralı karışım (5/7 + %100 kum) harç pompası ile 5 m³ olarak uygulanır. Toplamda yaklaşık 23 m³ karışım kullanılmasına rağmen refü elde edilemez ve basınç artışı sağlanamazsa, enjeksiyon işlemi durdurularak karışım priz almaya bırakılır. Bu durumda, söz konusu kademede refü oluşmamasının jeolojik veya jeoteknik nedenleri araştırılmalı ve elde edilen bulgular doğrultusunda enjeksiyon yöntemi yeniden gözden geçirilmelidir. Tekrar enjeksiyona başlanmadan önce, kademe temizlenir ve işlem yeniden 1 numaralı şerbet ile başlatılır. Eğer başlangıç basıncı kademe refü basıncının yarısı veya daha düşük seviyelerde ise, bu aşamada yalnızca 0,25 m³ şerbet uygulanır ve ardından priz almış karışımla işleme devam edilir. Karstik bölgeler veya büyük boşlukların bulunduğu zeminlerde, standart prosedür gerekirse yetkililerin onayıyla revize edilebilir. Çimento esaslı veya kum katkılı karışımların uygulanması esnasında mevcut basınç kademe basıncının yarısına ulaşmamışsa bir sonraki karışıma geçilir; ancak basınç bu değerin üzerine çıkmışsa, refü oluşuncaya kadar aynı karışım ile enjeksiyona devam edilir.

4.4.1. Refü Şartı

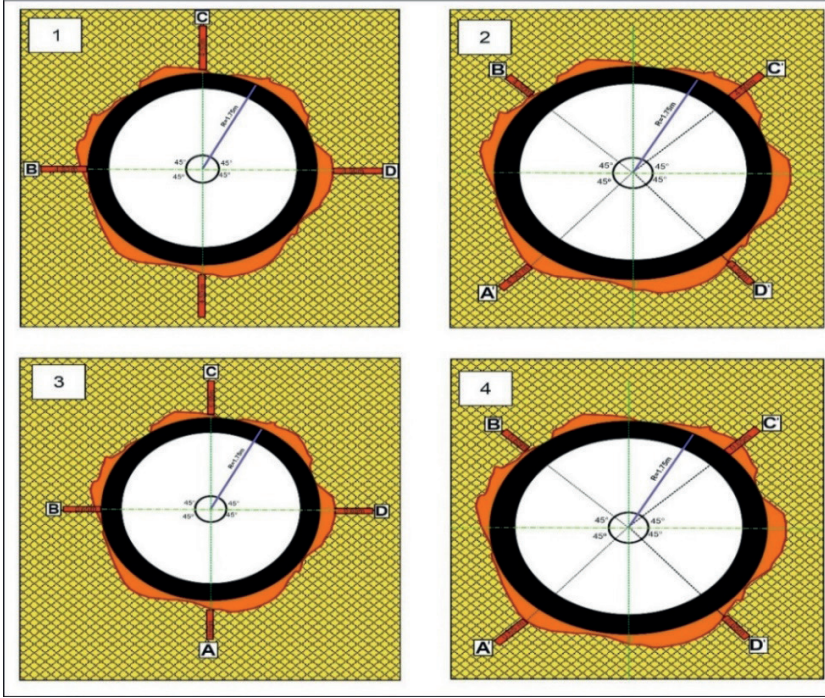
Enjeksiyon uygulamalarında, hem şerbet hem de kum katkılı karışımlar kullanılarak istenen basınç seviyesine ulaşılmaya çalışılır. Eğer kademe şerbeti veya kumlu karışım, uygulamanın ilk 10 dakikası içerisinde zemine yeterince nüfuz etmezse, enjeksiyona başlangıç şerbeti ile devam edilir. Bir kademede, 20 dakikalık süre zarfında şerbetin alışı 0,6 litre/metre/dakika veya daha az ise, refü sağlanmış kabul edilir; bu durumda söz konusu kademede enjeksiyon durdurularak bir sonraki kademe veya farklı bir kuyuya geçiş yapılır. Refü koşullarına ilişkin tüm değerler kayıt sistemine tanımlanarak sürekli olarak izlenir.

Enjeksiyon öncesi su kaçakları ile şerbet alış değerleri karşılaştırılır; eğer bu iki parametre arasında uyumsuzluk tespit edilirse, olası jeolojik ve jeoteknik nedenler incelenir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, ilgili kademenin enjeksiyon yöntemleri—şerbet kıvamları, uygulanan basınç ve benzeri parametreler—gözden geçirilir ve gerekli düzeltmeler yapılarak enjeksiyona devam edilir. Ayrıca, kademe uzunlukları, zeminin yapısı, yıkıntı durumu, çimento alışı ve su deneylerinin sonuçlarına bağlı olarak yeniden belirlenebilir.

4.4.2. Kontakt Enjeksiyonu

Tünel, galeri, denge bacası ve shaft gibi yapı elemanlarında, kaplama betonu ile temel kaya arasındaki boşluklar, beton ile çelik kaplama arasındaki potansiyel boşluklar, göçük kaynaklı boşluklar ve delme makineleri (DM) ile açılmış tünellerde çeper enjeksiyonu sonrası kalan boşlukların doldurulması amacıyla kontakt (dolgu) enjeksiyonu uygulanmaktadır. Bu uygulama, tüm

yüzey boyunca sürekli temas sağlamak için gerçekleştirilir. Tünel ve galerilerde kontakt enjeksiyon, genellikle 6 metrelik kesitler dikkate alınarak yürütülür. İşlem, taban kuyularından başlayarak üst doğrultuda ve enjeksiyon hatları şeklinde, delme-enjeksiyon yöntemi ile gerçekleştirilir. Daha sonra ara kesitlerde aynı prosedür tekrarlanır. Eğer 6 metrelik kesitler birbirine bağlanabiliyorsa, bu mesafe 12 veya 24 metreye çıkarılarak ano yöntemi ile enjeksiyon uygulanır. Tüm kontakt enjeksiyon kuyularında standart enjeksiyon basıncı 2 atm olarak belirlenmiştir. Enjeksiyon takımı, boru içerisinden kuyunun tamamına tek kademede enjeksiyon yapacak şekilde tasarlanır. Manometrede ölçülen basınç, kuyu orta noktası ile manometre arasındaki farktan kaynaklanan şerbet yükü dikkate alınarak, 2 atm'ye eklenir veya bu değerden düşülür. Eğimli tünel ve galerilerde enjeksiyon, en düşük kotlardan başlanarak yapılır. İşlem sırasında bir kuyudan şerbet veya harç basılırken, diğer kuyulardan akış olup olmadığı kontrol edilir. Su çıkışı mevcutsa, şerbet gelinceye kadar akışa izin verilir. Şerbet çıkışı varsa, ilgili kuyu enjeksiyon takımı ile veya takoz tıpa yardımıyla kapatılır ve enjeksiyon sırası geldiğinde tekrar delinerek işlem tekrarlanır. Refü sağlandıktan sonra enjeksiyon takımının ucundaki vana kapatılır, hortum sökülür ve takım kuyu içinde bırakılır. Zaman zaman vana açılarak geri şerbet akışı kontrol edilir; şerbet gelmiyorsa takım çıkarılır, geliyorsa priz alana kadar kuyu içinde bırakılır. Tünel kaplaması arkasındaki boşluklar 1 metreden büyük ise (örneğin göçük bölgelerinde), bu boşluklar beton kaplama dökümü sırasında doldurulur. Bu amaçla, beton pompasına uygun çapta çelik borular boşluğun tavanına ve farklı seviyelerine yerleştirilir. Beton dökümü sırasında boruların üst uçlarının tıkanmasını önlemek için enjeksiyon basıncıyla açılacak malzemelerle geçici tıkaç yapılır. Öncelikle boşluğun alt seviyesindeki borulardan uygun beton karışımı basılır; priz alındıktan sonra üst seviyelere geçilerek boşluk doldurulur. Boşluğun tamamı dolduktan sonra, enjeksiyon boruları içinden temel kayaya kadar delinerek dolmamış kısımlar için tekrar kontakt enjeksiyonu uygulanır. Her tünel kontakt enjeksiyonu, kesit numaraları ile gösterilir. Her kesitteki kuyular tabandan başlanarak, saat yönünde **a**, **b**, **c**, **d** şeklinde isimlendirilir (Şekil 4.4).

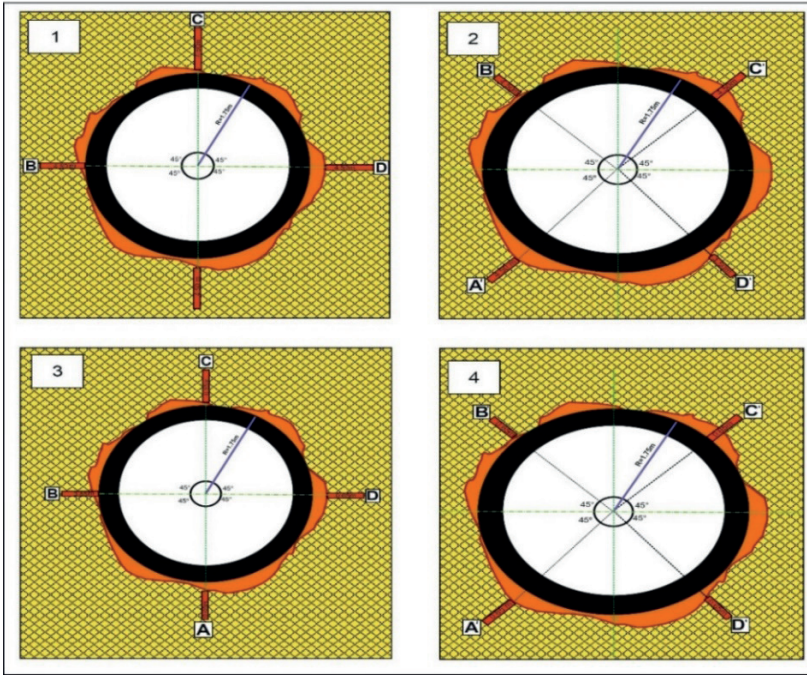


Şekil 4.3 Morgedik Barajı derivasyon tüneli kontakt enjeksiyonu delgi kesitleri. (1-4) tek kesit (A, B, C, D), çift kesit (A', B', C', D')

4.4.3. Konsolidasyon (Sağlamlaştırma) Enjeksiyonu

Konsolidasyon enjeksiyonları, yapıların çevresini saran veya yapının oturacağı temel kayanın dayanımını artırmak amacıyla, projelerde öngörülen kriterlere uygun şekilde gerçekleştirilir. Tünel, galeri, denge bacası ve benzeri yapılarda, konsolidasyon enjeksiyonu klasik yöntemle açılmış tünellerde, projede belirtilen kesit aralıkları ve her kesitte belirlenen kuyu sayısı ve derinliğe uygun olarak en az iki kademe halinde uygulanır. Konsolidasyon delgi boyu 2 m'nin altında ise, işlem tek kademe ile tamamlanır. Uygulama, beton dökümü sırasında projeye uygun olarak beton içine yerleştirilen en az 3 inç çapındaki borular ve minimum 46 mm çaplı su devirdaimli rotary makinelerle açılan kuyular aracılığıyla yapılır. Kuyu derinlikleri tünellerde ana kayada $D/2$, derivasyon tünellerinde tıkaç bölgelerinde ise ana kayada D olarak belirlenir. Ancak, kayanın jeolojik veya jeoteknik özelliklerine bağlı olarak karstik boşluk, göçük veya fay gibi süreksizlik zonlarıyla karşılaşılması durumunda, hazırlanan jeoteknik gerekçe raporu doğrultusunda bu derinlikler revize edilebilir. Konsolidasyon enjeksiyonları, kontakt enjeksiyonu kuyularından yapılır (D : proje kazı çapı). Tünellerde, kuyu çapı en az 56 mm olan, karotsuz açılan rotary tipli ve su devirdaimli makinelerle uygulanır. İdarenin talebi doğrultusunda açılacak karotlu kontrol kuyularında, kuyu tabanında minimum çap 66 mm olacak

şekilde önlem alınır. Konsolidasyon enjeksiyonuna, ilgili kesimdeki kontakt enjeksiyon işleminin tamamlanmasından en az 14 gün sonra ve o kesitteki kontakt kuyularının her iki yönünden 1 ano (24 m) mesafe içindeki enjeksiyonun bitirilmiş olması durumunda başlanır. İşlem, 6 metrelik kesitler halinde planlanır; taban kuyularından başlanarak üst doğrultuda ve enjeksiyon hatları şeklinde, sıra ile kuyu delinip enjekte edilir. Daha sonra ara kesitlerde aynı prosedür tekrarlanır. Eğer 6 m'lik kesitlerdeki kuyular birbirine bağlanabiliyorsa, bu mesafe 12 m veya 24 m'ye çıkarılarak ano yöntemi ile enjeksiyon yapılır. Tünel ve ulaşım galerilerinde konsolidasyon enjeksiyonu uygulanmaz. Her konsolidasyon enjeksiyonu, kesit numaralarıyla belirlenir ve her kesitteki kuyular tabandan başlanarak saat yönünde **a, b, c, d** şeklinde isimlendirilir.



Şekil 4.4 Morgedik Barajı derivasyon tüneli konsolidasyon enjeksiyonu delgi kesitleri (1-4) tek kesit (A, B, C, D), çift kesit (A', B', C', D')

Denge bacası, şaft ve benzeri yapı elemanlarında konsolidasyon enjeksiyonu, hem içeriden hem de dışarıdan uygulanabilir İçeriden yapılan uygulamalarda, kuyu sayısı ve derinliği normal konsolidasyon enjeksiyon prosedürüne uygun şekilde belirlenir. Dışarıdan yapılan enjeksiyonlarda ise kuyu yerleşimi ve sayısı, söz konusu yapının jeolojik ve jeoteknik özellikleri dikkate alınarak projelendirilir. Uygulamada kullanılacak enjeksiyon basıncı, betona zarar vermeyecek şekilde belirlenir. Tünel konsolidasyon enjeksiyonlarında efektif enjeksiyon basıncı (PT, kg/cm²) aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$PT = 2 + \frac{33}{100} * H$$

Burada, **H**, kademe ortasından kuyu ağzına olan mesafeyi (m) temsil eder. Bir kuyu veya kademenin enjeksiyonu tamamlandığında manometreden okunacak basınç, deliğin yukarı veya aşağı yönlü açılmasına bağlı olarak şerbet sütununun hidrostatik basıncı ile ayarlanır. Düşeyden açı yapılarak açılmış eğimli kuyularda, özellikle tavan ve tabanda yer alan yan kuyularda, hidrostatik basınca kuyu eğimi (α) etki eder. Bu nedenle manometrede ölçülen refü basıncı aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\text{Tavan ve tavan yan kuyularda: } Pm = PT + \frac{(W * L * \cos \alpha)}{100}$$

$$\text{Taban ve taban yan kuyularda: } Pm = PT - \frac{(W * L * \cos \alpha)}{100}$$

Burada;

PT = Enjeksiyon basıncı (kg/cm²).

Pm = Manometre refü basıncı (kg/cm²).

L = Kuyudaki enjekte edilecek kademenin ortasından kuyu başı manometresine kadar olan mesafedir. Birimi m'dir.

α = Kuyu yönü ile düşey arasındaki açıdır. Bu açı sadece yan kuyularda etken olmaktadır. Düşey ve tam yatay kuyularda Cos α değeri 1'e eşit olup neticeyi etkilememektedir.

W = Enjeksiyon şerbeti özgül ağırlığı (gr/cm³).

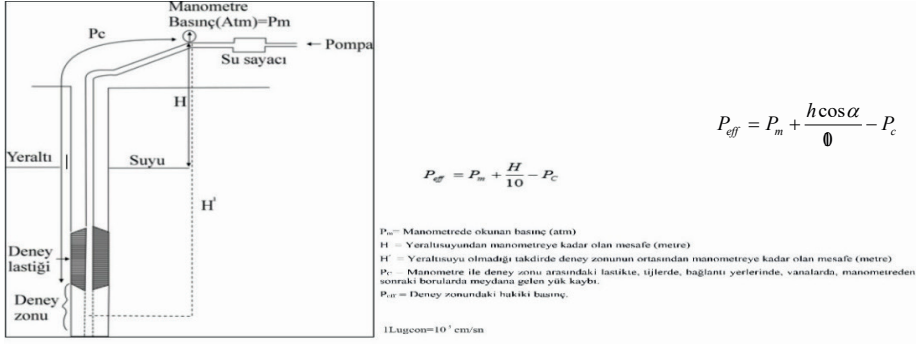
4.5. Enjeksiyon Kontrol Kuyuları

Enjeksiyon uygulamalarının doğruluğunu ve etkinliğini temin etmek amacıyla, projelerde belirlenen noktalar ve gerekli sayıda kontrol kuyuları açılır. Bu kuyular, kuyu ağzından tabana kadar karotlu yöntemle delinmeli ve kuyu tabanında minimum çapın 66 mm olması sağlanmalıdır. Kontrol kuyularının sondajında, üç tüplü, çift tüplü veya T tipi karotiyerler kullanılarak yüksek ve- rimde karot alınmasına özen gösterilir. Alınan karotlar, şartlara uygun şekilde sandıklanır, deskripsiyonları yapılır ve güvenli bir biçimde depolanır. Tüm işlemler tamamlandıktan sonra enjeksiyon uygulamalarına başlanır. Kontrol kuyularında gerçekleştirilen Basınç-Süre Testleri (BST), tek basınç seviyesinde ve iki adet 5 dakikalık süre ile uygulanır. Test sırasında kullanılacak basınç, o kademede uygulanan efektif enjeksiyon basıncının %90'ı kadar olmalıdır. Konsolidasyon enjeksiyonlarının etkinliğini izlemek amacıyla, yapı temelle-

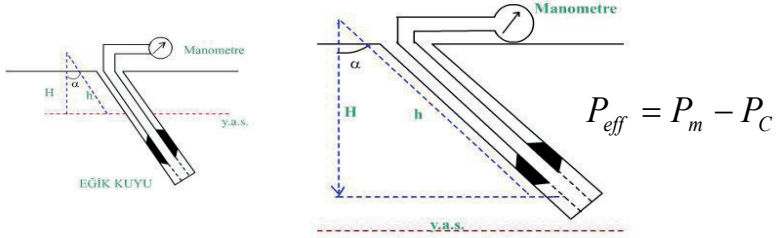
rinde, tünellerde (derivasyon, isale, enerji vb.), galerilerde, shaft ve denge bacalarında en az 66 mm çaplı karotlu kontrol kuyuları açtırılabilir. Bu kuyuların boyu, ilgili kesimdeki konsolidasyon enjeksiyon kuyularının uzunluğu kadar belirlenir. Tünellerde enjeksiyonu tamamlanan bir bölümde, fazla harç alışına sahip kesitlerin ortasına en az bir adet kontrol kuyusu açılır. Su çıkışı olan veya katı madde alımı fazla olan bölgelerde, gerekli iyileştirme işlemleri uygulanabilir. Özellikle temel sağlamlaştırma enjeksiyonlarında, fazla harç alışına sahip alanlara ilave kuyu açılması gerekir. Enjeksiyona başlamadan önce ve tamamlandıktan sonra, temel üzerinde elde edilen veriler jeofizik ve/veya jeomekanik yöntemlerle değerlendirilir. Ayrıca, temel sağlamlaştırma enjeksiyonlarında şerbet hazırlanırken bentonit kullanılmamalıdır. Kontakt enjeksiyonlarının kontrolü için de benzer yöntemler uygulanır. TDM ile açılan tüneller, galeriler, shaftlar ve denge bacalarında, en az 66 mm çaplı karotlu kontrol kuyuları açılır. Bu kuyuların boyu, ilgili kesimdeki kontakt enjeksiyon kuyularının uzunluğuna eşit olmalıdır; ancak göçük ve cep bölgelerinde kuyu boyları ana kayaya ulaşacak şekilde ayarlanır. Fazla katı madde alımı olan kesitlerde, ilave kuyular açılarak enjeksiyon tamamlanır. Sadece kontakt enjeksiyonu yapılan ve konsolidasyon enjeksiyonu uygulanmamış tünellerde de, enjeksiyonu tamamlanan bölümlerde su çıkışı veya fazla alış gözlenen kesitlerde kontrol kuyuları açılır. Kontrol kuyularından elde edilen veriler doğrultusunda, gerekirse ilave kuyular açılarak enjeksiyon işlemleri tamamlanır.

4.5.1. Lugeon Basınçlı Su Deneyi

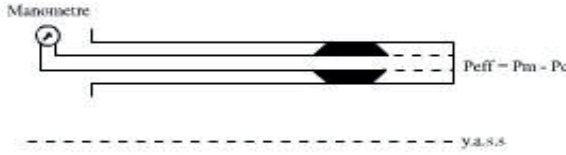
Enjeksiyon kuyularında yapılan basınçlı su deneyleri, kayanın geçirgenlik özelliklerini belirlemek amacıyla uygulanır. Deney sırasında, farklı basınç değerleri altında, belirlenen zonlarda kayaya sızan su miktarları ve debiler ölçülerek kayacın hidrojeolojik davranışı değerlendirilir. Geoteknik uygulamalarda kullanılan Lugeon birimi, 10 atmosferlik gerçek basınç altında, bir dakikada, 1 metre uzunluğundaki bir zon üzerinden 1 litre suyun sızması şeklinde tanımlanır. Lugeon testleri, genellikle 1, 2, 3, 5 ve 10 metrelik zonlarda gerçekleştirilir. Test uygulamasında, enjeksiyon işlemi on dakika boyunca, maksimum enjeksiyon basıncının %90'ı kadar basınç uygulanarak gerçekleştirilir. Deneye başlamadan önce, pompa kapasitesi ve yeraltı suyu seviyesi ölçülür. Her basınç kademesinde, on dakikalık süre boyunca kayıplar kaydedilir; daha hassas bir yöntem olarak, kaçak miktarları her beş dakikada bir ölçülüp kayıt altına alınabilir. Bu veriler, enjeksiyon uygulamalarının etkinliğini değerlendirmek ve temel sağlamlaştırma projelerinde kullanılacak enjeksiyon stratejilerini optimize etmek için temel oluşturur.



Şekil 4.5 Lugeon basınçlı su testi kuyu içi ölçüm kesiti



Şekil 4.6. Açılı kuyuda lugeon basınçlı su testi kuyu içi ölçüm kesiti



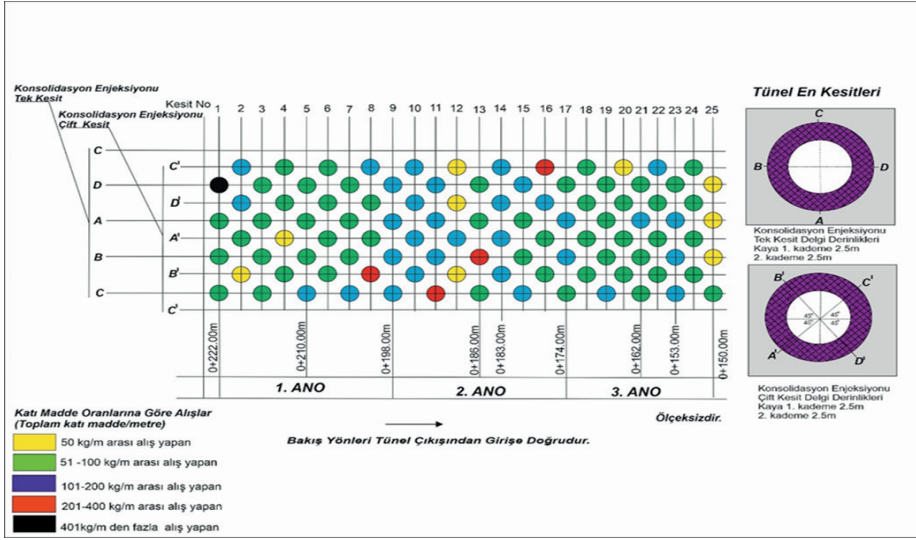
Şekil 4.7 Yatay kuyuda lugeon basınçlı su testi kuyu içi ölçüm kesiti

4.5.2. Kuyuların Doldurulması

Tünel ve galerilerde gerçekleştirilen enjeksiyon uygulamalarının tamamlanmasının ardından, enjeksiyon kuyuları 4 numaralı (7/5 oranlı) şerbet ile doldurularak kapatılır. Yatay ve yukarıya doğru açılmış kuyularda doldurma işlemi, kuyu ağzına yerleştirilen lastik tıkaç aracılığıyla gerçekleştirilir; 4 numaralı şerbet, tek kademede basılarak kuyuyu doldurur. Şerbet prizini tamamlayana kadar tıkaç kuyu ağzından çıkarılmaz. Ardından, tıkaç yuvası, daha yoğun ve hızlı priz alan katkılı çimento harcı ile doldurularak işlem tamamlanır. Bu yöntem, enjeksiyon kuyularının güvenli bir şekilde kapatılmasını ve uzun vadeli stabilitesinin sağlanmasını temin eder.

4.5.3. Basınç Düşürme Drenaj Kuyuları

Enjeksiyon ve drenaj galerilerinde, projelerde öngörülen yerlere uygun şekilde drenaj kuyuları açılır. Bu kuyuların aralıkları, zeminin geçirimsizlik özelliklerine göre belirlenir ve genellikle 6, 9, 12 veya 24 metre olarak uygulanır.



Şekil 4.9 Morgedik barajı konsolidasyon enjeksiyonu katı alışı grafiği.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu kitap bölümü, derivasyon tünellerinde su sızıntılarının kontrolü ve tünel güvenliğinin artırılması amacıyla kontakt ve konsolidasyon enjeksiyon yöntemlerini ele almıştır. Derivasyon tünelleri, özellikle yüksek su basıncı ve farklı zemin koşullarına sahip bölgelerde inşa edildiğinde, yapısal güvenlik ve su yalıtımı açısından ciddi riskler taşır. Bu nedenle, tünel mühendisliği uygulamalarında enjeksiyon tekniklerinin doğru ve etkili bir şekilde uygulanması hayati öneme sahiptir. Bölüm, mühendisler ve öğrenciler için enjeksiyon teknikleri hakkında sistematik ve uygulanabilir bilgiler sunarak, teorik bilgiyi pratik uygulama ile bütünleştirmiştir. Kontakt ve konsolidasyon enjeksiyonlarının uygulanma süreçleri, malzeme seçimi, dozaj ayarlamaları ve saha uygulama prosedürleri detaylı bir şekilde aktarılmıştır. Bu bilgiler, saha mühendislerinin uygulama öncesi hazırlık, uygulama sırasında dikkat edilmesi gereken noktalar ve olası sorunlara karşı alınacak önlemler konusunda rehberlik etmesini sağlamaktadır. Ayrıca, bölüm farklı zemin ve kaya koşullarına uygun enjeksiyon karışımlarının seçimi ve optimizasyonu konusunda da yol göstermektedir. Bu sayede, mühendisler sadece mevcut sorunları çözmekle kalmayıp, tünel ömrünü uzatan ve güvenliği artıran sürdürülebilir uygulamalar geliştirebilmektedir. Malzeme ve yöntem seçiminin doğru yapılması, su sızıntılarının kontrolü ve tünel yapısının uzun vadeli dayanıklılığı açısından kritik bir faktör olarak ön plana çıkmaktadır. Bölüm aynı zamanda, gelecekte yapılacak araştırmalar için sağlam bir temel oluşturarak literatüre katkı sağlamaktadır. Enjeksiyon yöntemlerinin saha uygulamalarındaki verimliliği, karşılaşılan zorluklar ve çözüm önerileri, mühendislik uygulamalarında standart yöntemlerin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu açıdan bölüm, yalnızca teknik bilgi

sunmakla kalmayıp, okuyuculara doğru kararlar alma ve uygulamalarda etkin çözümler geliştirme konusunda da yol göstermektedir. Sonuç olarak, bu bölüm, derivasyon tünellerinde güvenli ve etkili enjeksiyon uygulamalarının gerçekleştirilmesine önemli bir katkı sağlamakta, hem teorik hem de pratik açıdan okuyuculara kapsamlı bir rehber sunmaktadır. Enjeksiyon yöntemlerinin doğru uygulanması, tünel güvenliğini artırmak, su yalıtımını sağlamak ve olası riskleri minimize etmek açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, bölüm hem mühendislik eğitimine hem de saha uygulamalarına değerli katkılar sunmaktadır.

6. KAYNAKÇA

- Akbulut, S., & Yılmaz, H. (2018). Zemin iyileştirme teknikleri ve uygulamaları. Teknik Yayıncılık.
- Akın, M., & Ersoy, H. (2017). Tünel kazılarında enjeksiyon uygulamaları ve zemin iyileştirme teknikleri. *Jeoteknik Mühendisliği Dergisi*, 22(1), 45–58.
- Akın, S., & Yalçın, H. (2020). Yeraltı yapılarında enjeksiyon uygulamalarının izlenmesi ve performans değerlendirmesi. *Jeoteknik ve Zemin Mekaniği Dergisi*, 14(1), 45–58.
- Altun, S., & Şahin, M. (2018). Zemin enjeksiyonlarında hazırlık sürecinin önemi. *Zemin Mühendisliği Uygulamaları Dergisi*, 7(2), 41–52.
- Arslan, E., & Kaya, M. (2022). Tünel inşaatlarında su yalıtımı ve izleme teknikleri. *Teknik Mühendislik Yayınları*.
- Çelik, H., Yıldız, A., & Öztürk, S. (2023). Altyapı projelerinde enjeksiyon teknikleri: Uygulamalar ve analizler. *İnşaat Mühendisliği Yayınları*.
- Çelik, M., & Aksoy, B. (2019). Zemin ve kaya ortamlarında enjeksiyon tasarım kriterleri. *Geoteknik Mühendisliği Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 34–49.
- Çelik, R. (2021). Derivasyon tünellerinde karşılaşılan su sızıntılarının enjeksiyonla kontrolü. *Mühendislik Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi*, 10(2), 112–126.
- Demir, B., & Kaya, S. (2022). Düşük geçirgenlikli ortamlarda enjeksiyon karışımlarının laboratuvar performansı. *Yeraltı Su Mühendisliği ve Zemin Teknolojileri Dergisi*, 5(1), 21–32.
- Demirtaş, A., & Uğur, M. (2018). Zemin enjeksiyonlarında hazırlık aşamasının mühendislik başarısına etkisi. *Geoteknik ve Yeraltı Yapıları Dergisi*, 6(2), 33–48.
- Demirtaş, S., & Özçelik, B. (2021). Enjeksiyon sonrası zemin özelliklerinde gözlenen değişimlerin değerlendirilmesi. In *Yeraltı İnşaat Teknolojileri Sempozyumu (YITS 2021)* (pp. 67–73).
- Demirci, F., Yıldırım, S., & Aksoy, M. (2021). Yapı enjeksiyon teknikleri ve malzeme bilimi. *Mühendislik Yayınları*.
- Devlet Su İşleri. (2025). Temel sondaj şartnamesi. DSİ Genel Müdürlüğü.
- Doğan, T. (2019). Baraj derivasyon tünellerinde su sızıntılarına karşı enjeksiyon uygulamaları. In *Hidrojeoloji ve Zemin İyileştirme Sempozyumu Bildirileri* (pp. 109–116).
- Erdoğan, T., & Yılmaz, M. (2019). Konsolidasyon enjeksiyonlarında tasarım ve uygulama esasları. *Tünelcilik ve Yeraltı Yapıları Dergisi*, 12(1), 45–58.
- Erdoğan, T., & Yüzer, N. (2018). Yeraltı yapılarında enjeksiyon teknolojileri ve uygulamaları. *İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları*.
- Erkan, N., & Bayraktar, F. (2020). Saha uygulamalarında enjeksiyon karışımlarının performans analizi. *Yerbilimleri ve Zemin Teknolojisi Dergisi*, 6(1), 20–32.

- Ersoy, A., & Uluğ, A. (2017). Uygulamalı kaya mekaniği. Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- Güneyli, H., & Alkan, M. (2018). Konsolidasyon enjeksiyonunun geçirgenlik ve stabiliteye etkileri: Alan deneyimleri. *Jeoteknik Dergisi*, 24(3), 133–146.
- Güneyli, H., & Demir, H. (2020). Tünel inşaatlarında su sızıntılarına karşı alınan önlemler ve enjeksiyon uygulamaları. *Mühendislik Jeolojisi Dergisi*, 27(1), 55–67.
- Gürkan, H., & Demirtaş, M. (2020). Enjeksiyon karışımlarının laboratuvar testleri ile değerlendirilmesi. *Geoteknik ve Yapı Mühendisliği Dergisi*, 12(1), 35–46.
- Houlsby, A. C. (1990). Construction and design of cement grouting: A guide to grouting in rock foundations. Wiley.
- Kara, T., & Öztürk, E. (2019). Polimer katkılı çimento esaslı enjeksiyon karışımlarının performans analizi. *İnşaat Mühendisliği Dergisi*, 45(3), 123–135.
- Karakaya, A., Tunç, M., & Ersoy, H. (2020). Zemin ve kaya ortamlarında enjeksiyon teknolojileri: Konsolidasyon uygulamaları. *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, 39(2), 87–102.
- Karakaya, E., & Uçar, A. (2021). Enjeksiyon öncesi jeoteknik incelemeler ve risk değerlendirme yaklaşımları. *Yeraltı Yapıları ve Zemin Davranışı Dergisi*, 3(1), 14–27.
- Karakaya, N., & Yılmaz, Ö. (2019). Tünel enjeksiyonlarında tasarım ve uygulama kriterlerinin değerlendirilmesi. *Zemin ve Temel Mühendisliği Bülteni*, 18(3), 74–85.
- Karakuş, A., & Gül, M. (2019). Tünel projelerinde enjeksiyon etkisinin sayısal modellenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(3), 852–861.
- Karakuş, C. (2020). Zemin enjeksiyonunda tasarım kriterleri ve uygulama başarısı üzerine etkileri. *Jeoteknik Dergisi*, 35(2), 45–58.
- Karol, R. H. (2003). Chemical grouting and soil stabilization (3rd ed.). CRC Press.
- Keskin, V. (2025). Derivasyon tüneli su kaçaklarının enjeksiyonla onarımı (Morgedik Barajı, Van). Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi (yayınlanmamış).
- Kılıç, A., Yıldız, M., & Taşdemir, F. (2021). Tünel kaplama arkası enjeksiyonlarında başarı kriterleri: Vaka analizleri. *Geoteknik ve Zemin Mekaniği Dergisi*, 39(3), 89–102.
- Kılıç, M., & Demirtaş, O. (2018). Tünel enjeksiyon teknikleri ve uygulamaları. Maden Teknik Yayınları.
- Koç, B. (2020). Zemin enjeksiyonları ve uygulama prensipleri. Teknik Yayınevi.
- Kurt, R., & Arslan, Z. (2019). Bentonit katkılı çimento karışımlarının geçirimsizlik performansı üzerine bir deneysel çalışma. *Zemin Mekaniği Araştırmaları*, 14(2), 58–67.
- Özçelik, B. (2017). Tünel kaplamalarında yapısal dayanıklılığı artırmaya yönelik enjeksiyon teknikleri. In *Yeraltı İnşaat Teknolojileri Sempozyumu (YITS 2017)*

(pp. 112–118).

- Özdemir, H., & Yılmaz, A. (2020). Tünel ve yapı sızıntılarının kontrolü: Enjeksiyon teknikleri ve uygulamaları. Teknik Yayıncılık.
- Öztürk, A., & Aslan, M. (2019). Derivasyon tünellerinde enjeksiyon öncesi jeolojik zonlamanın belirlenmesi. *Tünel ve Yeraltı Yapıları Dergisi*, 4(1), 25–37.
- Öztürk, M., & Yılmaz, A. (2018). Derivasyon tünellerinde su sızıntılarının kontrolü için enjeksiyon teknikleri. *İnşaat Mühendisliği Dergisi*, 45(2), 112–125.
- Şimşek, R., & Kara, Y. (2020). Tünel su yalıtımı öncesi jeoteknik değerlendirme yöntemleri. *Yer Bilimleri ve Mühendislik Uygulamaları*, 11(1), 59–70.
- Şimşek, R., Aydın, M., & Arıkan, M. (2021). Enjeksiyon karışımlarında bentonit kullanımının geçirgenlik üzerine etkisi. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dergisi*, 29(3), 73–84.
- Smith, J., & Brown, L. (2016). Grouting techniques for tunnel leakage control. *Journal of Geotechnical Engineering*, 142(5), 04016012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0001472](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001472)
- Türkmen, S. (2021). Zemin iyileştirme teknikleri: Pratik uygulamalar ve laboratuvar yöntemleri. İnşaat Akademi Yayınları.
- Yalçın, N. (2021). Enjeksiyon karışımlarının viskozite davranışı ve uygulama yorumları. *Uygulamalı Jeoteknik Dergisi*, 9(3), 90–102.
- Yıldız, B., & Koç, E. (2022). Enjeksiyon süreçlerinde gerçek zamanlı veri takibi ile parametre optimizasyonu. *Geoteknik Mühendisliği Araştırmaları Dergisi*, 10(1), 15–27.
- Yıldız, H., Kaya, M., & Erdem, T. (2021). Kaya kütlelerinin sınıflandırılması ve enjeksiyon basıncı ile ilişkisi üzerine bir değerlendirme. *Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Dergisi*, 10(2), 85–98.
- Yıldız, T. (2019). Konsolidasyon ve kontakt enjeksiyonlarında uygulama öncesi planlama kriterleri. *Geoteknik Mühendislik Bülteni*, 10(1), 28–38.
- Warner, J. (2004). *Practical handbook of grouting: Soil, rock, and structures*. John Wiley & Sons.



DOĞAL ÇİÇEK BALININ TERAPÖTİK AKTİVİTESİNDE ETKİLİ FİZİKOKİMYASAL VE BİYOAKTİF ÖZELLİKLERİ

“ ”

Seda OĞUR¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi; Bitlis Eren Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü. ogursd@gmail.com ORCID No: 0000-0002-2041-0790

GİRİŞ

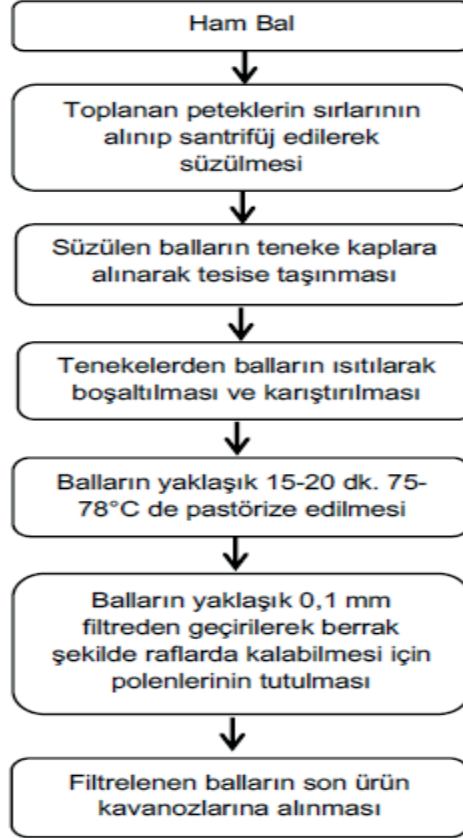
Arı ürünleri arasında üretim miktarı açısından birinci sırada yer alan bal yaygın olarak ulaşılabilen ve diğer arı ürünlerine oranla daha ucuz bir üründür. Apiterapi; arı ürünlerinin hastalıkların tedavisinde kullanıldığı tamamlayıcı tıp uygulamasıdır. Literatürde balın apiterapide kullanım potansiyeline dair kanıtların sunulduğu birçok bilimsel araştırma (Bilsel vd., 2002; Tonks vd., 2003; Swellam vd., 2003; Aljadi ve Kumaruddin, 2004; Alnaqdy vd., 2005; Kilicoglu vd., 2008; Jaganathan ve Mandal, 2009; Tsiapara vd., 2009; Erejuwa vd., 2010; Badet ve Quero, 2011; El Denshary vd., 2011; Uwaydat vd., 2011; Jenkins ve Cooper, 2012; Ahmed ve Othman, 2013; Doğan, 2014; Abdel-Latif, 2015; Kamaruddin vd., 2015; Abdulrhman vd., 2016; Krishnasree ve Ukkuru, 2017; Seyhan vd., 2017; Bobiş vd., 2018; Waheed vd., 2019; Ali vd., 2020; Sıcak, 2021; You vd., 2022; Abu-Farich, 2024; Kaźmierczak-Barańska ve Karwowski, 2024; Rasulova vd., 2025) bulunmaktadır.

Türk Gıda Kodeksi (TGK) Bal Tebliği (TGK, 2020)’nde bal; “bitki nektarlarının, arılar tarafından toplandıktan sonra kendine özgü maddelerle birleştirerek değişikliğe uğrattığı, su içeriğini düşürdüğü ve petekte depolayarak olgunlaştırdığı, doğası gereği kristalleşebilen doğal ürün” olarak ifade edilmektedir.

Kendine özgü yapısı ve aromasıyla sevilerek tüketilen, insan beslenmesinde öneme sahip birçok biyoaktif bileşence zengin olan bal temel olarak çiçek balı ve salgı balı olarak ikiye ayrılmaktadır. Çiçek balı; “bitki nektarından elde edilen balı”; salgı balı ise “bitkilerin canlı kısımlarının salgılarından veya bitkilerin canlı kısımları üzerinde bitki emici böceklerin (*Hemiptera*) salgılarından elde edilen balları” ifade etmektedir (TGK, 2020). Çiçek balının eldesinde tek bir çiçekten (monofloral) veya farklı çiçeklerden (multifloral) nektar toplanabilir. TGK Bal Tebliği (TGK, 2020)’nde kaynakları açısından bal çeşitleri ifade edilirken çiçek ve salgı balının dışında çam balı da tanımlanmıştır. Bir tür salgı balı olan çam balı; “bazı çam ağaçları (*Pinus brutia*, *P. nigra*, *P. pinea*) üzerinde yaşayan *Marchalina hellenica* (koşnil)’nın gelişim döneminde bu ağaçların karbonhidratça zengin tatlı öz suyundan oluşturduğu bal çiğinin, balarıları tarafından toplanıp değişikliğe uğratarak ürettiği salgı balı” olarak belirtilmiştir (TGK, 2020).

Arıların ürettiği bal tüketime sunulmadan önce çeşitli işlemlerden geçirilmektedir (Şekil 1). Özellikle süzme ve ısıtma aşamalarının spesifik görevleri olan önemli enzimlerin enzimatik etkinliklerinin deaktivasyonuna sebep olduğu; ısıtma yerine kullanılabilecek ikame bir teknik olmadığı, ancak filtrasyon aşamasında deaktivasyonun engellenmesi amacıyla mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon gibi yeni tekniklerin kullanılması gerektiğine (Subramanian vd., 2007) dikkat çekilmektedir.

Ham çiçek balı, sözkonusu işlem süreçlerinden geçmeyen işlenmemiş bir ürün olduğundan içerdiği bazı biyoaktif nitelikler (antioksidan, antikanser ve antimikrobiyal) bakımından ticari ballara göre daha üstündür (Aumeeruddy vd., 2019; Blasa vd., 2006).



Şekil 1. Bal işleme aşamaları

Bal yapısal olarak iki yüze yakın farklı çeşitte bileşen içermektedir. Bunlar; organik asitler, fenolik asitler, flavonoidler, mineraller, vitaminler, enzimler, aminoasitler vb. bileşenlerdir. Bal ihtiva ettiği bileşenler sayesinde besinsel değeri yüksek, çoğu hastalığa karşı koruyucu etkili ve bazı hastalıkların tedavisinde yararlanılan terapötik bir gıda ürünüdür (Özmen ve Alkın, 2006; Spilioti vd., 2014).

Balın bileşiminde bulunan bazı bileşikler ve miktarları Tablo 1’de sunulmuştur (Alvarez-Suarez, 2017; Nguyen vd., 2019).

Dünya genelinde apiterapi uygulamalarından faydalanan birçok ülke bulunmaktadır ve Türkiye Sağlık Bakanlığı'nın 27 Ekim 2014'te yayınladığı Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Uygulamaları Yönetmeliğinde apiterapi; “arı ve arı ürünlerinin koruyucu ve bazı hastalıkların tedavisinde destek olarak kullanılması biçimi” şeklinde ifade edilmiştir (Resmi Gazete, 2014).

Tablo 1. Balın bileşiminde bulunan bazı bileşikler ve miktarları

Bileşen adı	Ortalama miktarı	Miktar aralığı
Majör bileşenler (%)		
Su	17,9	13,2-26,5
Karbonhidratlar		
Fruktoz	39,4	37,1-42,7
Glikoz	28,2	18,2-32,1
Sakkaroz	3,2	0,4-16,6
Diğer karbonhidratlar	8,5	0,1-16,0
Minör bileşenler (%)		
Proteinler	1,1	0,2-2,9
Organik asitler		0,2-1,2
Fenolik bileşikler	0,1	0,02-0,2
Aminoasitler (mg/100g)		
Prolin	59,7	
Fenilalanin	14,8	
Asparajin+Glutamin	11,6	
Histidin	3,8	
Aspartik asit	3,4	
Glutamik asit	2,9	
Tirozin	2,6	
Mineraller (mg/100g)		
Potasyum		4,0-135,0
Klor		5,2-42,7
Sodyum		0,3-23,7
Kalsiyum		0,5-21,8
Magnezyum		0,2-56,4
Demir		0,04-22,4
Vitaminler (mg/100g)		
Askorbik asit (C)		2,2-2,0
Tiamin (B ₁)		0,00-0,01
Riboflavin (B ₂)		0,01-0,02
Niasin (B ₃)		0,1-0,2
Pantotenik asit (B ₅)		0,02-0,1
Pridoksin (B ₆)		0,01-0,3

TGK Bal Tebliği (TGK, 2020)'nde, Uluslararası Bal Komisyonu'nun tavsiyeleri doğrultusunda beslenme amacıyla kullanılan balın temel kalite kriterleri belirlenmiş olsa da apiterapitede kullanılacak arı ürünlerinin standardizasyonu ve kalite kriterleri ile ilgili konular henüz netleştirilmemiştir. Bu sebeple güncel bilimsel literatür çerçevesinde apiterapide kullanılacak arı ürünlerindeki kalite kriterlerini içeren yasal düzenlemelerin hayata geçirilmesi ve gerektiğinde güncellenmesi oldukça önem arz etmektedir (Atayoğlu, 2019).

Balın terapötik özellikleri, polenin alındığı bitkilerle güçlü bir şekilde ilişkili olan ana bileşenlerinden etkilenmektedir (El-Haskoury vd., 2018) ve farklı balların içerdikleri farklı değerli bileşenler dolayısıyla çeşitli tıbbi rahatsızlıklarda geniş bir kullanım yelpazesi bulunmaktadır. Balın tıbbi uygulamada ve özellikle apiterapide etkili bir ilaç olduğunu doğrulamak için, bileşiklerinin kalitesini onaylayabilen laboratuvar analizlerine sahip olmak gerekmektedir (Cucu vd., 2021). Balın olumlu terapötik etkileri esas olarak antioksidan kapasitesiyle ilişkilidir (De Almeida vd., 2016). Bununla birlikte, fenolik bileşikler en temsili antioksidanlardır (Battino vd., 2020), çünkü yürütülen araştırmalarda (Boussaid vd., 2018; Do Nascimento vd., 2018) fenolik içerik ile bu biyolojik özellik arasında yüksek bir korelasyon olduğu kanıtlanmıştır.

Doğal balların fiyatının yüksek olarak algılanması sebebiyle balda sıklıkla tağşişe rastlanmaktadır. Balın tağşişinde dekstroz, galaktoz ve yüksek fruktozlu mısır şurubu (HFCS) gibi şekerler kullanılmaktadır. Bu sebeple, balın bitkisel kaynağının belirlenerek orijinalliğinin kanıtlanması oldukça önemlidir (Sunay vd., 2006). Baldaki tağşişin saptanması hayli güçtür ve tağşiş amacıyla eklenen maddenin spesifik bileşiklerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda başvuru yöntemlerinin çoğunluğunda balların farklı parametreler aracılığıyla bitkisel veya bölgesel orijini tanımlanmaktadır (Ruoff ve Bogdanov vd., 2004; Anupama vd., 2003).

Ticari balların bitkisel orijinin tanımlanması güç olsa da bazı firmalar bu tanımlamayı tüketicilere etiketlerinde sunmaktadır. Balların kalitesiyle ilgili çeşitli ülkelerde araştırmalar yapılmış ve bu araştırmaların bulguları birçok mevzuatın oluşmasına sebep olmuştur. Avrupa Birliği Direktifleri açısından, balın bitkisel ve coğrafi orijinin balın ambalajında muhakkak belirtilmesi gerekmektedir. Bal denetiminde, hiçbir kuşku kalmadan orijininin açıklanabileceği parametreler saptanmalıdır (Terrab vd., 2004). Türkiye'de böyle bir zorunluluk olmasa da bazı bal üretici firmalar balın orijinine dair bilgileri karekod uygulamasıyla ürün etiketine yüklemektedir.

Balın bitkisel kaynağı genel olarak balın içerdiği polenlerin analizi ile tespit edilmektedir. Polen analizi gelişmiş görüntüleme yöntemlerine dayalı olarak polenin ışık mikroskobu altında incelenmesine dayanmaktadır (Verzera vd., 1998). Fakat bu yöntem uzun bir süre gerektirmekte ve analizin etkinliği

analizi yapan kişinin yeteneklerine ve becerisine bağlı olmaktadır. Ayrıca, bitki florasıyla şekillenen, balın elde edildiği bölgeye özgü özelliklerinin ve kalite karakteristiklerinin belirlenmesinde fizikokimyasal ve duyuşal özelliklerinin de birlikte incelenmesi önerilmektedir (Von der Ohe vd., 2004).

Türkiye’de balın kalite göstergesi olarak kullanılan temel fizikokimyasal analizler; nem içeriği, kül içeriği, suda çözünmeyen katı madde miktarı, renk değerleri, serbest asitlik ve pH değeri, elektriksel iletkenlik değeri, diyastaz sayısı, şeker kompozisyonu, $\delta^{13}\text{C}$ değerleri ve C4 şekerleri oranı, hidroksimetilfurfural (HMF) miktarı ve prolin miktarıdır (TGG, 2020).

Avrupa Konseyi Direktifi 2001/110/EC’de (Council of the European Union, 2001) ve bal için Codex Alimentarius Standardı (FAO, 2022)’nda da benzer şekilde birkaç tanınmış kalite standardı vardır. Bu kalite standartları, tüketim ve pazarlama amaçları için önerilen çeşitli parametrelerin (su içeriği, pH değeri, elektriksel iletkenlik değeri, 5-hidroksimetilfurfural (5-HMF) içeriği, diyastaz aktivitesi, renk değerleri, indirgeyici ve indirgeyici olmayan şekerler) (Bogdanov vd., 1999; Escuredo ve Carmen Seijo, 2019) maksimum içeriğine atıfta bulunur (Bucekova vd., 2020).

Biyolojik ve kimyasal açıdan organizma veya zararlı bir reaksiyon üzerinde kontrol edici etki gösteren, onu ortadan kaldıran ya da zararsızlaştıran etkilere biyolojik etkinlik, biyolojik etkinlik gösteren maddelere de biyolojik aktif madde denilmektedir. Bitkisel ürünler diğer organizmalardan farklı şekilde birçok biyolojik aktif madde üretebilme yeteneğine sahiptir. Biyokimyasal araştırmaların temelini oluşturan biyolojik etkinlik testleri olarak antioksidan kapasite (anti-aging), serbest radikal giderici aktivite, antimutajenik, anti-inflamatuar, antikanserijen, antitümoral, antiviral, antibakteriyel, antifungal, anti-insektisit ve antiherbisit aktivite gibi testler uygulanmaktadır (Russell vd., 2007; Bakkali vd., 2008).

Doğal Çiçek Balının Terapötik Aktivitesinde Etkili Fizikokimyasal Özellikleri

Nem miktarı

Viskozitesi yüksek olan bal kuru madde yoğunluğu arttıkça viskozitesi artarken şeker içerdiği için sıcaklık yükseldikçe viskozitesi azalır (Oroian, 2013). Balın nem içeriğinin temel kaynağı çiçek nektarıdır. Balın nem içeriği üzerinde iklim koşulları, hasat zamanı, sırlanmış petek yüzdesi ve depolama şartları etkilidir. Balın bulanık veya duru olması içerisindeki su oranının, kolloid maddelerin ve hava kabarcıklarının miktarının az veya fazla olmasına göre değişmektedir. Balın işlenmesi sırasında uygulanan işlemler sebebiyle hava kabarcıklarının miktarı artarsa bal daha berrak hale gelir. Çiçek nektarının alındığı bitkinin çeşidi balın kıvamını etkilemektedir. Hafif kumlu topraklarda ve sıcak bölgelerde yetişen bitkilerden elde edilen bal koyu kıvamlı olurken,

dağlık bölgelerde ve yayladaki çiçeklerden elde edilen ballar hem aroma ve lezzet bakımından daha üstün hem de daha akıcı olmaktadır (Erdoğan, 2007).

TGK Bal Tebliği (TGK, 2020)'ne göre balın nem içeriği %10-20 arasında olmalı, %20'yi geçmemelidir. Balın nem içeriği balın tadında, kalitesinde, viskozitesinde, kristalleşmesinde, olgunlaşma düzeyinin ve raf ömrünün belirlenmesinde önemli bir kriterdir. Balın su içeriğinin yüksek olmasının mayalanmaya neden olduğu, su içeriğinin az olmasının ise mayalanmayı engellediği saptanmıştır (Nombé vd., 2010; İslam vd., 2012; Karabagias vd., 2014; Stephens vd., 2015). Balın tam olgunlaşmadan hasat edilmesi su içeriğinin yüksek olmasına, fermentasyonuna ve erken kristalleşmesine sebep olmaktadır (Doğaroğlu, 2009). Dünya genelinde; nem miktarı en çok %17,8 olan ballar 1. sınıf, %18,6 olan ballar 2. sınıf, %20,0 olan ballar 3. sınıf olarak sınıflandırılmaktadır (Genç ve Dodoloğlu, 2002).

Kül miktarı

Mineral içeriği açısından oldukça zengin bir gıda olan balda potasyum, sodyum, kalsiyum, fosfor, iyot, klor, sülfür, alüminyum, boron, magnezyum, titanyum, bakır, molibden, krom, çinko, kalay, kurşun, demir, nikel gibi mineral maddelerin varlığı saptanmıştır. Çoğu araştırmanın sonuçlarına göre koyu renkli balların mineral içeriğinin açık renkli balların mineral içeriğinden daha yüksek bulunduğu gözlenmiştir (Krell, 1996; White, 2003).

Arıların bal yapmak için tercih ettikleri çiçek türlerine bağlı olarak balların kül yani toplam mineral madde miktarı da farklılık göstermektedir. Kül oranı yüksek ve daha koyu renkteki balların tadının genellikle acı olduğu belirtilmiştir (Singh ve Bath, 1997).

Suda çözünmeyen katı madde miktarı

Baldaki suda çözünür kuru madde miktarı; balın içerdiği şeker miktarı limitin üzerinde olduğunda baldaki taşışın belirlenmesinde güvenilir bir indis olabilmektedir. Balın suda çözünür kuru madde miktarı %78,8-84,0 arasında değişirken ortalama değeri %81,9 olarak bildirilmiştir. Bunun yanında, balın şeker ve nem içeriği arasında bir korelasyon vardır (Conti, 2000). Viskozitesinin yüksek olması, higroskopisitesi ve kristalleşmesi gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri, balın yüksek konsantrasyonda bir şeker çözeltisi olması sebebiyledir (Cavia vd., 2002).

Suda çözünmeyen katı madde içeriği, baldaki diğer petek artıkları, bal mumu, kir parçacıkları ve arı gibi safsızlıklarının tespiti için önemli bir kalite kriteridir (Pascual-Maté vd., 2018). TGK Bal Tebliği (TGK, 2020)'ne göre çiçek ballarının suda çözünmeyen katı madde miktarı en çok 0,1 g/100 g olmalıdır.

Renk değerleri

Balın renginin, özellikle karotenoidler olmak üzere çeşitli bitki pigmentlerinin içeriğiyle ilişkili olduğu bilinmektedir. Balın rengini maruz kaldığı iklim şartları ve doğa koşullarının, uygulanan ısıtma işleminin ve içerdiği mineral miktarı gibi etmenler etkilemektedir (Olas, 2020). Balın renginin değişiminde çiçek nektarındaki renk farklılıkları, polen rengi, esmerleşme reaksiyonları ve petek çerçevesinin kullanım süresi etkili olmaktadır (Nombre vd., 2010). Temel olarak balın rengi, kül yani toplam mineral içeriğiyle ilişkilendirilmektedir. Çoğunlukla toplam mineral içeriğinin az olduğu balların açık renkli olduğu, bununla birlikte toplam mineral içeriğinin fazla olduğu balların ise koyu renkli olduğu gözlemlenmektedir (Juan-Borrás vd., 2014). González-Miret vd. (2005)'nin yaptığı çalışma neticesinde lavanta, biberiye gibi açık renkli balların mineral madde içeriğinin düşük olduğu; funda, avakado ve kestane gibi koyu renkli ballarda ise mineral madde içeriği daha fazla bulunmuştur.

Balın rengi iki farklı şekilde ölçülebilmektedir. İlki, spektrofotometrik yöntem olan Pfund skalasına göre renk ölçümüdür. Diğer yöntem Hunter *L*, *a* ve *b* renk değerleri şeklinde de tanımlanan CIE $L^*a^*b^*$ tristimulus metodu (Bogdanov vd., 2004; González-Miret vd., 2005) denilen basit geliştirilmiş bir renk okuyucudur. TKG Bal Tebliği (TKG, 2020)'nde bal renginin su beyazından koyu amber renge kadar değişebileceği ve salgı ballarının renginin Pfund skalasına göre minimum 60 mm olması gerektiği bildirilirken çiçek balı için herhangi bir değer verilmemiştir. Türk Standartları Enstitüsü (TSE) Bal Standardı (TSE, 2023)'nde ise çiçek balının renginin “su beyazı ile koyu kahverengi arasında değişebilen” tonlarda olması gerektiği belirtilmiştir.

Balın renginin balın ticaretinde oldukça etkileyici bir yerinin olduğu, koyu renkli ballar daha çok endüstriyel amaçlı kullanılırken açık renkli balların ise bireysel tüketimde ön plana çıktığı ifade edilmektedir (Krell, 1996). Bal renginin balın lezzeti üzerinde de etkili olduğu iletilmektedir. Renkleri koyu olan balların tatlarının daha keskin ve belirgin iken açık renkli balların tatlarının daha yumuşak olduğu bildirilmiştir (White, 2003). Bal renginin botanik ve coğrafi kökenine bağlı olarak flavonoidler ve karotenoidler gibi renk pigmentlerinden etkilendiği bilinmektedir. Olgunlaşma derecesi ve depolama şartları bal renginin yoğunluğunu değiştirebilmektedir. Balın kıvamı ve rengi içerdiği polen, su ve sakkaritlerin miktarına göre de farklılık gösterir (Al-Farsi vd., 2018).

Balın rengi, tüketici tercihini etkileyen önemli kalite parametrelerinden biridir (Pascual-Maté vd., 2018). Çiçeksel köken ve balın mineral, polen ve fenolik içeriği balın rengini etkiler. Maillard reaksiyonu, fruktozun karamelizasyonu ve polifenol reaksiyonları depolama sırasında balın koyulaşmasını etkileyen faktörlerdir (Bertoncelj vd., 2007). Balın renginin,

bitkisel orijinine ve dolayısıyla kimyasal bileşimine göre şekillendiği (Khalil vd., 2010), balın rengi ne derece koyuysa, toplam fenolik içeriğinin o denli yüksek olduğu belirtilmiştir (Alvarez-Suarez vd., 2014).

Türkiye’de yürütülen bir yüksek lisans tez çalışmasında (Bahar, 2022) piyasada satılan farklı kaynaklara ait farklı renge sahip olan balların *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 suşuna karşı antimikrobiyal etkisi incelendiğinde ekstra beyaz renkli çiçek balında en yüksek antimikrobiyal etkinin görüldüğü, koyu renkli balların antimikrobiyal etkisinin daha yüksek olamadığı tespit edilmiştir. Koyu renkteki balların fenolik madde içeriğinin açık renkteki ballardan daha fazla olduğu için koyu renkli balların antioksidan kapasitesinin daha yüksek olduğu bulunmuştur (Ajibola vd., 2012). Özcan ve Ölmez (2014) tarafından da koyu renkteki çam, fiğ, sedir ve mavikantar balının antioksidan kapasitesinin açık renkteki balların antioksidan kapasitesine kıyasla daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Serbest asitlik ve pH değeri

Bileşiminde bulunan organik asitlerin ve asidik tuzların etkisiyle bal zayıf asiditeye sahiptir ve pH’si 3,5-5,5 arasında değişmektedir (Kasırga, 2019). Su ilave edilmeyen balın içerdiği asidite önemli bir antibakteriyel etki göstermesini sağlamaktadır. Ancak bala su ilave edilirse balın pH’si yükselir ve antibakteriyel etki gösteremez (Molan, 1999). Doğal balın pH’sinin 3,4-6,1 arasında değiştiği, ortalama olarak 3,9 olduğu belirtilmiştir (Korkmaz, 2010). Baldaki serbest asitlik derecesi içerdiği malik asit oranının saptanmasıyla belirlenmektedir. Genel olarak malik asit oranının %0,1-0,4 arasında değiştiği, malik asit oranı %0,4’ün üstünde olan balların kabul edilemez olduğu bildirilmektedir. Bal asidik karakter göstermesi sayesinde içerdiği pantotenik asit, askorbik asit, nikotinik asit, riboflavin, tiamin ve pridoksin gibi önemli vitaminlerin deformasyonunu engellemektedir (Tolon, 1999).

Bal arısının tükürük bezinden salgılanan glikoz oksidaz (GOx)’ kataliz edilmesiyle hidrojen peroksit (H_2O_2) ve asidite üretimi meydana gelmektedir. H_2O_2 bal arısı tarafından çeşitli dış etkenlere karşı sterilizasyon etkisinden dolayı sadece balın olgunlaşması esnasında üretilmektedir. Ham balda inaktif olan H_2O_2 bal sulandırılırsa, metal iyonları geçişi veya askorbik asit varlığı olursa yükselişe geçer. Çünkü asitliğin artması aksiyon halindeki enzimin pH’sini enzimin iş yapamayacağı bir noktaya indirir (Molan, 1998). Arquillué vd. (2001) tarafından değişik bitki kaynaklı 25 bal örneğinin antibakteriyel aktivitesi (*S. aureus* ATCC 25923’e karşı) üzerinde asiditenin etkisi araştırıldığında balın asiditesinin antimikrobiyal aktiviteyi etkilediği tespit edilmiştir.

Her türlü bal, düşük miktarda olmasına rağmen organik asitlerin varlığı nedeniyle bir miktar asitliğe sahiptir. Bu asitler hem balın aromasına hem de antimikrobiyal aktivitesine katkıda bulunmasının yanı sıra gıda matrisinin

stabilitesine de katkıda bulunur. En önemlisi glukonik asittir, ardından aspartik, sitrik, asetik, formik, fumarik, galakturonik, malonik, asetoglutarik, glukonik, glutamik, bütirik, glutarik, bütirik, şikimik, propiyonik, pirüvik glioksilik, 2-hidroksibütirik, α -hidroksiglutarik, izositrik, laktik, malik, metilmalonik, kinik, süksinik, tartarik, oksalik asit ve diğerleri gelmektedir (Cianciosi vd., 2018). Balda bulunan organik asitler orjinallik, tazelik veya bozulmanın bir işareti olup balların kendine özgü tadı ve aromasında rol oynarken, balın karakteristik kokusunu verir. Balın zamanla fermentasyona uğradığının bir işareti olarak kabul edildiği için serbest asitliğin yüksek olması istenmeyen bir durumdur (Kambur vd., 2016).

TGK Bal Tebliği (TGK, 2020)'nde çiçek ballarının serbest asitlik değerinin en çok 50 meq/kg olması gerektiği belirtilmiştir. Balın içerdiği enzimlerin asit oluşumunda etkili olduğu ve depolama sırasında asit üretiminin artabileceği ifade edilmektedir (Özcan ve Ölmez, 2014). Balın içeriğinde yer alan enzimler asit meydana getirdiğinden enzim içeriğinin fazla olduğu ballarda asit değerinin daha yüksek olduğu rapor edilmektedir (White, 2003).

Elektriksel iletkenlik değeri

Balın elektrik iletkenliği, 20 °C'de çözeltideki %20 (w/v) ağırlıklı balın santimetre başına mili Siemens (mS/cm) cinsinden ölçülen elektrik iletkenliği olarak tanımlanmaktadır (Acquarone vd., 2007). Salgı balları ile çiçek ballarının ayırımının yapılmasında kullanılan elektriksel iletkenlik asit miktarı ve mineral madde içeriğine göre değişirken salgı ballarında bu değer daha yüksek olmaktadır. Balın içerdiği yüksek protein, mineral ve organik asit miktarının elektriksel iletkenliği artırdığı, balın su içeriğinin artmasının ise elektriksel iletkenliği azalttığı belirlenmiştir (Chua vd., 2012). TGK Bal Tebliği (TGK, 2020)'nde salgı ballarındaki elektriksel iletkenlik değerinin minimum 0,8 mS/cm, çiçek ballarındaki elektriksel iletkenlik değerinin ise en çok 0,8 mS/cm olması gerektiği belirtilmiştir.

Diyastaz sayısı

Balı diğer tüm tatlandırıcı maddelerden ayıran özelliklerden biri de enzimlerin varlığıdır. Bu enzimler arı, polen ve nektardan, hatta balda bulunan mayalardan veya mikroorganizmalardan kaynaklanabilirler. Balda invertaz, diyastaz ve GOx olmak üzere üç ana enzim bulunmaktadır. İnvertaz sakkarozu basit bileşenlerini (glikoz ve fruktoz) serbest bırakarak parçalar, aktivitesini bir süre koruyarak balda kalır ve bal olgunlaştığında aktivitesini tamamlar. Esas olarak α -amilaz ve β -amilazdan oluşan diyastaz veya amilaz, nişastayı daha basit bileşiklere (glikoza) parçalar. Bu enzimin baldaki kökeni tartışmalıdır ve nektar, polen veya arıdan gelip gelmediği veya işlevlerinin ne olduğu, balda nişasta bulunmadığı için bilinmemektedir. Diyastaz aktivitesi bal kalitesinin önemli bir göstergesi olarak kullanılır. Bu enzimin içeriği ne kadar yüksek olursa, balın kalitesi de o kadar yüksek olur. GOx enzimi

glikozun, balın antimikrobiyal aktivitesinden sorumlu H_2O_2 ve glikonik aside dönüşümünü sağlar (Alvarez-Suarez vd., 2013; Khan vd., 2018). Enzimler genellikle arıların faringeal bezlerinde bulunur ve enzimatik aktiviteler, şekerin hidrolizi sırasında biyolojik değişiklikleri belirlemek için balda çok önemli bir rol oynar (Aparna ve Rajalakshmi, 1999). Balın olgunlaşması sırasında bal arısı tarafından diyastaz enzimi bala katılır ve ısı işlem görmüş ballardaki diyastaz aktivitesi azalırken, diyastaz aktivitesi fazla olan ballardaki yüksek asit oluşumu nedeniyle hızlı fermantasyon gerçekleşir (Kambur vd., 2016).

TGK Bal Tebliği (TGK, 2020)'ne göre çiçek ballarının diyastaz sayısı en az 8 olmalıdır. Yüksek diyastaz aktivitesi yüksek sıcaklığın uygulanmadığının göstergesi iken, 8'den düşük diyastaz aktivitesi ise toplanan bal örneklerinin doğal olduğunun göstergesidir (Özcan ve Ölmez, 2014). Dünya genelindeki bal ticaretinde baldaki tazelik göstergesi ve kalite kriteri açısından en önemli biyokimyasal parametrelerin diyastaz sayısı ve HMF içeriği olduğu bildirilmektedir (Fallico vd., 2004). Hem 5-HMF miktarının artması hem de diyastaz enziminin aktivitesinin düşmesi balın yanlış veya aşırı ısıtıldığının göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Diyastaz enziminin geri dönüşümsüz şekilde inaktivasyonuna neden olan sıcaklık değeri 90-100 °C olarak aktarılmıştır (Tosi vd., 2008). Ancak diyastaz enziminin fazla yüksek olması yüksek asit oluşumuyla balın fermente olmasına sebep olmaktadır (Tolon, 1999).

Şeker kompozisyonu

İçerdiği karbonhidratların başında monosakkaritler gelse de disakkaritler ve polisakkaritler de balda fazla miktarda bulunmaktadır. Balın yapısındaki karbonhidratlar:

- Monosakkaritlerden D-glikoz ve D-fruktoz,
- Disakkaritlerden sakkaroz, izomaltoz, maltoz, maltuloz, nigeroz, kojibiyoz, turanoz, α -, β -trehaloz, laminaribioz, gentiobiyoz, neorehaloz,
- Polisakkaritlerden erloz, panoz, maltatrioz, melizitoz, 1-ketoz, izomaltositglikoz, sentoz, theandroz, izopanoz, izomaltosiltetroz ve izomaltosilpentozdur (Krell, 1996; White, 2003).

Bal, esas olarak glikoz (%31) ve fruktoz (%38) içeren aşırı doymuş bir karbonhidrat çözeltisidir. Glikoz ve fruktoz konsantrasyonu ve aralarındaki ilişki, monofloral ballardaki ana sınıflandırma parametrelerinden biri olarak belirtilmiştir. Kuru ağırlığının %95'ini oluşturan karbonhidratlar yaklaşık 26 mono- ve di- sakkarit içermektedir (Olas, 2020). Karbonhidratlar arasında maltoz, sakkaroz, turanoz, izomaltoz, sellobiyoz, izopanoz ve farklı miktarlarda diğerleri de bulunabilir. Balda bulunan disakkaritler ve trisakkaritler, farklı tip

enzimlerle (invertaz ve α -glukozidaz gibi) monosakkaritlere hidrolize edilir. Bu şekerler, bal depolanması sırasında kimyasal değişikliklere maruz kalır. Uzun veya yanlış bir koruma, pentozlardan (furfural) ve heksoslardan (5-HMF) kaynaklanan istenmeyen bileşiklerin oluşumuna yol açmaktadır (Cianciosi vd., 2018).

Çoğu balda fruktoz miktarı diğer şekerlere göre daha fazladır, fruktozun ardından glikoz gelmektedir (White, 2003). Balın içerdiği şeker türlerinin saptanması taşıma amacıyla yapılan hilelerin tespit edilmesini sağlamaktadır. Enzimatik ve kimyasal yöntemlerle invert şeker ve HFCS üretimi sırasında oluşan oligosakkaritlerin balda tespit edilmesi yapılan hilenin anlaşılmasında kullanılan bir yöntemdir (Anklam, 1998).

TGK Bal Tebliği (TGK, 2020)'ne göre çiçek balının sakkaroz miktarı %5'ten çok olmamalı ve fruktoz/glikoz oranının 0,9-1,4 arasında bulunması istenmektedir. Fruktoz/glikoz oranı balın tatlılığını etkiler (Kamal ve Klein, 2011). Yüksek sakkaroz içeriği, balın sahteciliğinin veya erken hasat edilmesinin işareti olabilir (de Sousa vd., 2016). Glikoz oranının yüksek olduğu oda sıcaklığında muhafaza edilen ballar kristalleşme eğilimindedir (Cavia vd., 2002). Glikoz/su oranı 2,1'in üzerinde olan balların kısa sürede şekerlendiği gözlemlenirken glikoz/su oranı 1,7'nin altında olan ballar şekerlenmemektedir (Yayçep, 2001). Bitkisel kaynağına göre şekillenen fiziksel yapısı ile ilgili olan balın şekerlenmesi olayı balın bozulması olmayıp doyma noktası üzerindeki glikozun kristal hale dönüşmesidir. Şekerlenme olayı ve balın yapısı arasındaki ilişki glikoz/su veya fruktoz/glikoz oranlarıyla tespit edilmektedir. Eğer bitkideki glikoz miktarı fruktoz miktarından yüksekse bal daha çabuk şekerlenmektedir. Şekerlenen bal bozulmasa da dolaylı olarak fermentasyonun kolaylaşmasına sebep olmaktadır (Doğaroğlu, 2009; Korkmaz, 2010).

$\delta_{13}C$ değerleri ve C4 şekerleri oranı

Balda yapılan taşımanın saptanmasının önemli bir yolu da coğrafik karbon izotoplarının incelenmesidir. Şeker kamışı veya mısır bazlı şeker ilave edilen balın tespitinde günümüzde yaygın şekilde kullanılan yöntem, ilk kez 1978 yılında uygulanan $\delta^{13}C$ analizidir (White, 1979). Balın ve baldaki protein fraksiyonunun karbon izotop oranı ($^{13}C/^{12}C$) çeşitli balların saflığının kantitatif ve kalitatif bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Şeker katkılı balların saptanmasında başvuru olan $\delta^{13}C$ analizi; bitki bünyesinde fotosentez sebebiyle oluşan C3 ve C4 arasındaki izotop oranı farklılıklarına dayanmaktadır. Genel olarak C4 şekerleri içeren bitkilerin, örneğin mısırın, $^{13}C/^{12}C$ izotop oranı (-8‰)-(-20‰) arasında değişirken, çiçek nektarı içeren C3 bitkilerinde bu oran (-22‰)-(-35‰)'tir. C4 şekerleri ile beslenen arılardan elde edilen veya C4 şekerleri ilave edilerek üretilen ballardaki hileyi açığa çıkarmaya yarayan bu yöntemde, ham balın protein çözeltisinin tam olarak yakılmasının ardından oluşan CO_2 gazının içerdiği C atomunun $^{13}C/^{12}C$ oranının kütle spektroskopisi

cihazıyla saptanmasına, ardından bu değer kullanılarak %C4 şekeri oranının hesaplanmasına dayanmaktadır (Kerkvliet ve Meijer, 2000).

Hidroksimetilfurfural (HMF) miktarı

HMF, balın uygun olmayan ortamlarda (yüksek sıcaklıklarda) depolanması veya balın ısıtılmasıyla içerdiği şekerlerin kimyasal formunun değişmesiyle meydana gelen ve insan sağlığına zararlı bir bileşiktir (Kambur vd., 2016). HMF, pastörizasyon veya pişirme gibi ısı işlemler sırasında, heksozların asit katalizörlüğündeki dehidrasyonu veya aminoasitlerle indirgen şekerlerin etkileşimiyle meydana gelen, enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonu olan Maillard reaksiyonu sayesinde oluşmaktadır (Turkmen vd., 2006; Turhan vd., 2008). Balın içeriğindeki birçok asit ve yüksek orandaki basit şekerler (glikoz ve fruktoz), HMF oluşumuna oldukça uygun zemin hazırlamaktadır (Khalil vd., 2010).

Balın tazeliğini ifade eden (Kivrak vd., 2017) HMF içeriği; balın muamele edildiği ısı işlemin derecesi ve balın olgunluğu hakkında fikir sunmaktadır (Kambur vd., 2016). Baldaki HMF miktarının artışı, hasat sonrası uygulanan ısı işleminden, depolama sıcaklığından, depolama süresinden ve depolama sırasındaki pH değişiminden etkilenmektedir (Tosi vd., 2002; Fallico vd., 2004). TKG Bal Tebliği (TGK, 2020)'nde çiçek ve salgi ballarındaki HMF için izin verilen maksimum sınır 40 mg/kg'dır. HMF değerinin 150 mg/kg'ın üstünde saptanması bal içerisine invert şeker ilave edildiğini göstermektedir (Tosi, 2002). Balın HMF içeriği çiçeksel orijine göre değişmektedir (Al-Ghamdi vd., 2019). HMF nörotoksik, kanserojen, genotoksik ve mutajenik dahil olmak üzere birçok riske neden olan toksik bir madde olarak kabul edilmektedir (Shapla vd., 2018).

Prolin miktarı

Prolin, balın %50-85'ini oluşturan ana aminoasit olup, nektarın bala dönüşümü sırasında bal arısı tarafından elde edilir. Balda bulunan protein ve aminoasitler hem hayvansal hem de bitkisel kökenli olup, polen başlıca aminoasit kaynağıdır. Aminoasit profili ve prolin içeriği balın botanik kökeninin belirlenmesinde yararlı araçlardan biridir. Prolin içeriği balın olgunluğunun göstergesi olabilir (Janiszewska vd., 2012). Prolin, insan sağlığı açısından önemli olan esansiyel olmayan bir aminoasittir (Kivrak vd., 2017). TKG Bal Tebliği (TGK, 2020)'ne göre çiçek balının prolin içeriği minimum 300 mg/kg olmalıdır. Bitkilerde farklı miktarlarda bulunduğu için çiçek nektarından elde edilen bal ile şekerle beslenen bal arılarının ürettiği balın ayırt edilmesinde bir kriter olarak kabul edilmektedir (Guler vd., 2007).

Türk ballarının fizikokimyasal kalite parametreleri üzerine çeşitli araştırmalar (Çetin vd., 2011; Yücel ve Sultanoglu, 2013; Çiftci, 2014; Can vd., 2015; Kambur vd., 2015; Uçak Koç vd., 2017; Bengü ve Kutlu, 2018; Çiftci

ve Parlat, 2018; Bayram vd., 2019; Belli, 2019; Erturk vd., 2019; Karatas vd., 2019; Ateş ve Yaşar, 2020; Çakır vd., 2020; Gürbüz vd., 2020; Güzel ve Bahçeci, 2020; Keskin vd., 2020; Yaşar ve Söğütlü, 2020; Yurt ve Çakır, 2020; Akgün vd., 2021; Çelemlı vd., 2021; Kanbur vd., 2021; Tabay Sümbül, 2024; Akpınar ve Mutlu, 2025; Karlıdağ ve Solak-Amet, 2025) yapılmıştır. Bu çalışmalar, balın coğrafi kökenine ve bitkisel kaynağına göre fizikokimyasal özelliklerin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur.

Doğal Çiçek Balının Terapötik Aktivitesinde Etkili Biyoaktif Özellikleri

Balın en önemli biyoaktif özelliklerinin başında antioksidan kapasitesi gelmektedir. Bal antioksidan özelliğinin yanı sıra antimikrobiyal, antidiyabetik ve yara iyileştirici özellik de göstermektedir (Al-Waili vd., 2011; Cornara vd., 2017; Khan vd., 2018). Balın dermatoloji ve cilt bakımında kullanımına yönelik kapsamlı bir çalışma bulunmaktadır (Burlando ve Cornara, 2013). Balın terapötik etkinliği esas olarak, doğal olarak küçük miktarlarda bulunan flavonoidlerin veya fenolik asitlerin bilinen antioksidan aktivitelerinden kaynaklanmaktadır (Jibril vd., 2019). Balın antioksidan kapasitesi veya antiradikal aktivitesi, sahip olduğu biyoaktif bileşik varlığının bir göstergesi olarak düşünülmektedir (Olas, 2020). Antioksidan aktivitenin aynı zamanda balın terapötik etkinliğinin belirlenmesinde kullanılan temel indikatör olduğu ifade edilmektedir (Cucu vd., 2021).

Birçok çalışma, balın fizikokimyasal özelliklerinin hastalık önlemedeki önemini ortaya koymuştur. Örneğin, ozmoz özelliği yaranın suyunu çekerek yaranın iyileşmesine yardımcı olur ve böylece bakteri büyümesini önler. Bal ülser, ishal (Khan vd., 2014) ve akne tedavisinde de kullanılabilir (İsla vd., 2013).

Bal yalnızca bakterilere karşı değil, çoğu mantar, virüs ve parazit üzerinde de inhibe edici etki göstermektedir. Yürütülen bir çalışmada %10'luk bal çözeltisinin *Ecinooccus granulosus* parazitinde öldürücü etkiye sebep olduğu görülmüştür (Karadal ve Yıldırım, 2012). Balın içerdiği bileşenlerin antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri deri rahatsızlıkları, sindirim sistemi ve kanser gibi birçok hastalık üzerinde olumlu etkiler sağlamaktadır. Balın mide rahatsızlıkları arasındaki ülser hastalığına sebep olan *Helicobacter pylori* bakterisi üzerinde inhibe edici etki gösterdiği saptanmıştır (Ajibola vd., 2012). Balın içerdiği, fenolik asitlerin ve flavonoidlerin arasında yer aldığı çoğu bileşen kanser hücreleri üzerinde inhibe edici etkiye sahiptir (Othman, 2012). Diyetlerinde bal ile beslenen denek farelerindeki mide hastalıklarının azaldığı gözlenmiştir (Zanini vd., 2014). Uygun miktardaki bal düzenli bir şekilde tüketildiğinde birçok kanserin tedavi edilmesinde olumlu etki gösterdiği gözlenmiştir (Abdel-Latif, 2015). Birçok kronik yaranın tedavisinde iyileşme sürecini kısaltması sebebiyle balın sıklıkla kullanıldığı belirtilmektedir (Aljadi ve Kumaruddin, 2004).

Balın içerisinde yaranın tedavi edilmesinde çok önemli olan proteinler, vitaminler ve mineraller mevcuttur. Ayrıca balın anti-inflamatuar ve antioksidan etkileri aracılığıyla yara iyileşmesi oldukça hızlanmaktadır. Balın içerdiği antioksidan özellikteki bileşenler yaradaki iyileşme sürecine iki farklı şekilde katkıda bulunur. Bu antioksidan bileşenler ilk mekanizmada mikroorganizmalara karşı savaşarak yaradaki enfeksiyonu azaltmaktadır. İkinci mekanizmada ise yaranın içerdiği iltihabı ve reaktif oksijen türlerini azaltarak iyileşme sürecine katkıda bulunmaktadır. Balın içerdiği ve yara iyileşmesi için oldukça önemli olan diğer bir bileşen nitrik oksittir. Baldaki yüksek nitrik oksit düzeyi immünoşüpresif etki gösteren prostaglandinin miktarını düşürerek yaranın iyileşmesini olumlu şekilde etkilemektedir. Bal pH'sinin ve ozmolaritesinin etkisi sayesinde enfeksiyonun gelişmesini engellemektedir. Balın sahip olduğu fiziksel özellikleri, debridman ve yara alanını nemli tutma etkisi, doğal bir ajan olarak yara sargısı için kullanılmasını sağlamaktadır (Bobiş vd., 2018).

Çeşitli balların deri ülserlerinin (Alnaqdy vd., 2005) ve gastrit ülserin tedavisinde kullanıldığı (Tonks vd., 2003), kronik ve akut mide lezyonları üzerinde gastrit koruma sağladığı (Biglari vd., 2012), dış biyofilm birikimini kontrol ettiği ve dış plağı oluşumunu azalttığı (Badet ve Quero, 2011), antikatarakt (Aljadi ve Kumaruddin, 2004; Uwaydat vd., 2011), antimetastatik ve antitümör (Swellam vd., 2003), antihepatoprotektif (El Denshary vd., 2011) ve antiproliferatif (Sıcak, 2021) olduğu ortaya konulmuştur.

Deney hayvanları üzerinde ülseratif kolit modeli (trinitrobenzen sülfonik asit modeli) oluşturularak disülfüram ve perdnizolon isimli ilaçlarda bulunan etken maddelerle balın etkinliği karşılaştırıldığında, kısa süreli (3 gün) uygulamalardaki etkinin belirgin olmadığı, ancak uzun süreli (7 gün) uygulamalarda balın bazı parametreler açısından prednizolonun içerdiği etken maddeye yakın derecede etkili olduğu bulunduğundan balın ülseratif kolit ve bağırsak hastalıkları üzerinde olumlu etki gösterebileceği belirtilmiştir (Bilsel vd., 2002).

Bal ve diğer arı ürünlerinin karışımlarının çocuk sahibi olamayan çiftler (hem kadınlar hem erkekler) üzerinde etkili olduğu ve bu karışımlar tüketildiğinde epididimal sperm sayısının belirgin şekilde arttığı gözlemlenmiştir (Mohamed vd., 2010). Bal terapisi postmenopozal dönemdeki kadın hastalara belirli süre uygulandığı takdirde hafızanın güçlendirilmesini sağladığı görülmüştür (Othman vd., 2011). Muğla'da farklı hasat dönemlerinde ve çeşitli lokasyonlardan elde edilen bazı çam balı ekstraktlarının anti-inflamatuar aktivitesinin (%74,3-78,0) yöntemdeki pozitif standart olan ibuprofenin etkisinden (%73,2) daha yüksek olduğu saptanmıştır (Sıcak, 2021). Yürütülen *in vitro* bir araştırma neticesinde kalıtsal kemik iliği hastalıkları arasındaki fanconi anemisi hastalığında başvuru alan mitomisin C ilacının sebep olduğu kromozom anomalilerini balın engellediği bildirilmiştir (El-Dahtory ve Yahia, 2011).

Farklı farmakolojik ürünlerde çeşitli biyolojik aktif maddeler ayrı ayrı bulunurken balda hepsi bir arada bulunmaktadır. Manuka ağacından elde edilen Manuka balı tıbben çalışmalarda en etkili bulunan ve en çok pazarlanan çiçek balıdır. Gıda olarak kullanılan işlenmiş bala genellikle ısıtma işlemi uygulanır ve bu işlem sonucu balın yara iyileştirmede kullanılan biyoaktif bileşenlerin yok olduğu düşünülmektedir. Tıbbi kullanım için uygun olan Manuka balının 25-50 kGy'de gama ışınlanması ile sterilizasyonunun sağlandığı ve bu dozlardaki radyasyonun kullanılan balın kalitesini etkilemediği çalışmalarla gösterilmiştir (Stewart vd., 2014). Manuka balı 2015 yılında yanık ve ülser vakalarında kullanımına yönelik FDA onayı almıştır (Siashz, 2019).

Manuka ağacı Yeni Zelanda'ya ve Avustralya kıyılarının bazı bölgelerine özgüdür. Bu ağaçtan elde edilen manuka balı monofloral bir balıdır. Avustralya Sanayi Bakanlığı ve Avustralya Manuka Balı Derneği (AMHA) ihraç edilecek manuka balının standardizasyonunu sağlamak, baldaki hilelerin önüne geçmek ve saf olduğunu belirlemek amacıyla Manuka Balı Bilim Tanımı testi adı verilen bir hükümet standardı geliştirmiştir (Matheson ve Reid, 2011).

AMHA'nın orijinallik işareti taşıyacak Avustralya manuka balının tamamen Avustralya'da üretilen saf doğal manuka balı olması için doğal olarak oluşan metilglioksal-MGO (en az 85 mg/kg), dihidroksiaseton-DHA (en az 170 mg/kg) ve leptosperinin asgari standartlarını karşılaması gerekmektedir. AMHA'ya göre, MGO, manuka balının özel aktivitesinin çoğundan sorumludur ve manuka ağaçlarının çiçek nektarında doğal olarak bulunan DHA'dan türemiştir (AMHA, 2019).

Balın proliferatif fazda epitel oluşumunu, doku granülasyonunu arttırdığı ve yara iyileşme süresini kısalttığı saptanmıştır (Alam vd., 2014). Balın içerdiği nitrik oksit yara iyileşmesini hızlandıran, inflamasyonu azaltan, antimikrobiyal etkiye sahip bir maddedir (Childress ve Stechmiller, 2002). Balın yara iyileşmesinin her aşamasında farklı özellikler sergilediği belirtilmiştir. Yara iyileşmesi sırasında bakteri kolonizasyonunu önlediği, asiditeyi düzenlediği, antioksidan aktiviteyi arttırdığı, inflamasyon önleyici sitokinlerin salınımını arttırdığı, yara bölgesindeki ödemi azalttığı, yara izi oluşumunu azalttığı görülmüştür (Samarghandian vd., 2017).

Balın hasarlı bağırsak mukozasının onarılmasına destek olduğu ve yeni dokuların oluşumuna katkı sağladığı belirtilmiştir (Molan, 1999). Yapılan çalışmalarda balın boğaz enfeksiyonları, grip, bronşit ve zatürre gibi viral kaynaklı solunum hastalıklarının tedavi edilmesinde kullanıldığı gözlemlenmiştir (Samarghandian vd., 2017).

Doğal ısıtılmamış balın zararlı bakterilere, oral bakterilere ve gıda bozulma bakterilerine karşı olmak üzere geniş spektrumlu antibakteriyel etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Lusby vd., 2005).

Balda flavonoidler ve fenolik asit iki büyük fenolik bileşik ailesi olarak tanımlanmıştır. Flavonoidler, balın ana fonksiyonel bileşenleridir. Baldaki flavonoidlerin konsantrasyonu yaklaşık 20 mg/kg'dır ve balın botanik kökenine bağlı olarak değişmektedir (Afrin vd., 2019). Flavonoidler, fenolik bileşikler kapsamında en etkili üniteyi oluşturan 2-fenil benzo dihidro piran şeklindeki lavan türevlerine denilmektedir. Yapı açısından ise izoflavonoidler, antosiyanidinler, flavanonlar, kateşinler, flavonlar ve flavonoller şeklinde ünitelere ayrılmaktadır (Kahraman vd., 2002). Genel olarak, fenolik asitlerin bir karboksilik grubuna ait olan fenoller olduğu belirtilmektedir. Bunlar, hidroksibenzoik ve hidroksisinnamik asit türevleri şeklinde alt kategorilerden oluşmaktadır. Fenolik bileşiklerin anti-inflamatuar, antioksidan, antikarsinojenik, antiviral, antibakteriyel ve antimutajenik etkisi olduğu ileri sürülmektedir (Middleton, 1998; Almaraz vd., 2007). Fenolik asitler; *o*-kumarik asit, *p*-kumarik asit, ferulik asit ve kafeik asit şeklinde bazı sınıflara ayrılmaktadır (Robbins, 2003).

Dünya çapında neredeyse tüm balların kafeik, ellagik, ferulik ve *p*-kumarik asitler dahil olmak üzere benzer tipte fenolik asitler; apigenin, krisin, galangin, hesperetin, pinokembrin, kaempferol ve kersetin gibi flavonoidler; askorbik asit, tokoferol, glutatyon, katalaz ve süperoksit dismutaz gibi antioksidanlar içerdiği bildirilmiştir (Rao vd., 2016). Baldaki polifenollerin miktarının tayin edilmesi ve tanımlanması oldukça önemlidir. Çünkü balın içeriğindeki polifenoller renk ve acılık gibi kalite ve duyu parametreleri üzerinde etkilidir. Baldaki fenolik asit ve flavonoidler bitkisel ve coğrafi orijinin tanımlanmasında yaygın şekilde kullanılmaktadır (Sabatier vd., 1992). Fenolik bileşikler, özellikle flavonoidler; antibakteriyel, antioksidan, antialerjik ve antikanserojen etki gibi oldukça geniş ölçüde biyolojik etkinliklere sahiptir (Cook ve Samman, 1996). Bu nedenle balın tek başına tüketilebilen bir besin maddesi ve doğal tatlandırıcı olmasıyla birlikte, bazen ilaç olarak da kullanılabileceği (Cooper vd., 2001) uzun yıllardır dile getirilmektedir.

Balın içerdiği toplam fenolik madde miktarı ile antioksidan kapasitedeki artış ilişkilendirilmektedir (Alzahrani vd., 2012). Renk ve antioksidan kapasite arasında korelasyon olduğu (Olas, 2020), koyu renkteki ballarda fenolik madde miktarının açık renkteki ballardan daha fazla olması sayesinde antioksidan kapasitenin de yüksek olduğu çeşitli çalışmalarda ortaya çıkarılmıştır (Ajibola vd., 2012; Marshall vd., 2015). Bangladeş balları üzerinde yapılan çalışmada balın renginin ve içerdiği prolin aminoasidinin antioksidan özellik için bir gösterge olduğu belirtilmiştir (Islam vd., 2012).

Balın bileşimindeki flavonoidler, fenolik asitler; GOx, peroksidaz, oksidaz, katalaz gibi enzimler; riboflavin, karotenoidler, tokoferoller, askorbik asit ve tiamin gibi vitaminler de antioksidan özelliğinde etkilidir (Khalil vd., 2012; Isidorov vd., 2015). Balın antioksidan özellik göstermesi gıdalarda acılaşmaya ve esmerleşmeye sebep olan oksidasyon reaksiyonlarını

önlemektedir (Karadal ve Yıldırım, 2012). Bal, içeriğinde bulunan antioksidan kapasitesine bağlı olarak tüketildiğinde, serbest radikalleri temizleme görevi görmektedir. Bu sebeple antioksidan kapasitesi arttıkça balın kalite değeri yükselmektedir (Sen vd., 2000). Balın antioksidan aktivitesinin yüksek olmasının içerisinde kanserin de olduğu birçok hastalığın tedavisinde olumlu etki göstermesini sağladığı bildirilmiştir (Al-Habori vd., 2002; Pyrzynska ve Biesaga, 2009; Miotto, 2010).

Ardahan yöresi ballarında apiterapide kullanılan bazı biyoaktif bileşikler araştırıldığında, apiterapi uygulamaları için önemli olan toplam fenolik madde miktarı ile antioksidan kapasite arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu bulunmuştur (Aydın, 2023). Şahin (2017)'in çalışmasında toplam fenolik madde miktarı ile bal rengi arasındaki korelasyonun yüksek bulunduğu; bal, propolis, arı sütü ve polenin anti-inflamatuar ajan rolü üstlenerek insan testis hyaluronidaz enzimi üzerinde farklı IC_{50} değerlerinde inhibe edici etkiye sahip oldukları saptanmıştır.

Manuka balı (MH), kanser karşıtı, iltihap önleyici ve klinik olarak kanıtlanmış antibakteriyel özellikleri de dahil olmak üzere çeşitli sağlık geliştirici özellikleri nedeniyle bir süper gıda olarak kabul edilir. Manuka balının benzersiz bir özelliği, antibakteriyel potansiyeli olan yüksek metilglioksal içeriğidir. Manuka balı, toplam polifenol içeriği ve DPPH radikal temizleme yeteneği açısından test edildikten sonra, hücreleri oksidatif strese karşı koruma potansiyelini değerlendirmek için UV radyasyonuna maruz bırakılan insan fibroblast hücreleri üzerinde *in vitro* test edilmiştir. Sonuçlar, balın kendisinin hücre metabolizmasına önemli ölçüde müdahale ettiğini ve varlığının UV maruziyetinin etkilerini yalnızca biraz hafiflettiğini göstermiştir (Kazmierczak-Barańska ve Karwowski, 2024).

SONUÇ

Çiçek balının sahip olduğu fizikokimyasal özellikleri bir yandan standartlara uygunluğunu ve kalitesini gösterirken diğer yandan biyoaktif özelliklerinin şekillenmesini sağlamaktadır. Balın içerdiği biyoaktif bileşenler terapötik aktivitesini artırması sayesinde apiterapide kullanım imkanlarını genişletmektedir. Balın çeşitli hastalıkların tedavisindeki tamamlayıcı kullanımının sonuçları kabul edilse de ülkemizde apiterapi amacıyla kullanılacak olan çiçek balının kalite kriterleri ve standartları ile ilgili herhangi bir resmi düzenleme henüz bulunmamaktadır. Bu husus Türkiye'deki apiterapi uygulamalarının diğer ülkelerdeki gibi uygun şekilde ve uygun düzeyde yapılmasını engellemektedir. Sadece bal değil, apiterapide kullanım potansiyeli bulunan tüm arı ürünlerinin hangi hastalıklarda ne şekilde kullanılacağı, taşınması gereken kalite kriterleri ve standartlarıyla ilgili yasal düzenlemelerin hayata geçirilmesi ve arıcıların apiterapide kullanılacak arı ürünleri yetiştiriciliği konusunda eğitilmeleri gerekmektedir.

REFERANSLAR

- Abdel-Latif, M. M. (2015). Chemoprevention of gastrointestinal cancers by natural honey. *World Journal Pharmacology*, 4(1), 160-167.
- Abdulrhman, M. A., Hamed, A. A., Mohamed, S. A., ve Hassanen, N. A. A. (2016). Effect of honey on febrile neutropenia in children with acutelymphoblastic leukemia: A randomized crossover open-labeled study. *Complementary Therapies in Medicine*, 25, 98-103.
- Abu-Farich, B., Hamarshi, H., Masalha, M., Kmail, A., Aboulghazi, A., El Ouassete, M., ... ve Saad, B. (2024). Polyphenol contents, antibacterial and antioxidant effects of four palestinian honey samples, and their anticancer effects on human breast cancer cells. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 18(2), 1-14.
- Acquarone, C., Buera, P., ve Elizalde, B. (2007). Pattern of pH and electrical conductivity upon honey dilution as a complementary tool for discriminating geographical origin of honeys. *Food Chemistry*, 101(2), 695-703.
- Afrin, S., Haneefa, S. M., Fernandez-Cabezudo, M. J., Giampieri, F., al-Ramadi, B. K., ve Battino, M. (2019). Therapeutic and preventive properties of honey and its bioactive compounds in cancer: an evidence-based review. *Nutrition Research Reviews*, 33(1), 50-76.
- Ahmed, S., ve Othman, N. H. (2013). Review of the medicinal effects of Tualang honey and a comparison with Manuka honey. *Malaysian Journal of Medical Science*, 20(3), 6-13.
- Ajibola, A., Chamunorwa, J. P., ve Erlwanger, K. H. (2012). Nutraceutical values of natural honey and its contribution to human health and wealth. *Nutrition and Metabolism*, 9(61), 1-12.
- Akgün, N., Çelik, Ö.F., ve Kelebekli, L. (2021). Physicochemical. Properties, total phenolic content, and antioxidant activity of chestnut, rhododendron, acacia and multifloral honey. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 15, 3501-3508.
- Akpınar, S., ve Mutlu, N. (2025). Multidimensional analysis of honey from Eastern Anatolia (Kars): Pollen spectrum, physicochemical properties, and antimicrobial activity. *PLoS One*, 20(7), e0327861.
- Alam, F., Islam, M. A., Gan, S. H., ve Khalil, M. I. (2014). Honey: A potential therapeutic agent for managing diabetic wounds. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 2014(1), 169130.
- Al-Farsi, M., Al-Amri, A., Al-Hadhrani, A., ve Al-Belushi, S. (2018). Color, flavonoids, phenolics and antioxidants of Omani honey. *Heliyon*, 4(10), e00874.
- Al-Ghamdi, A., Mohammed, S. E. A., Ansari, M. J., ve Adgaba, N. (2019). Comparison of physicochemical properties and effects of heating regimes on stored *Apis mellifera* and *Apis florea* honey. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(4), 845-848.

- Al-Habori, M., Al-Meer, A., ve Al-Mamary, M. (2002). Antioxidant activities and total phenolics of different types of honey. *Nutrition Research*, 22(9), 1041-1047.
- Ali, H., Abu Bakar, M. F., Majid, M., Muhammad, N., ve Lim, S. Y. (2020). In vitro anti-diabetic activity of stingless bee honey from different botanical origins. *Food Research*, 4(5), 1421-1426.
- Aljadi, A. M., ve Kamaruddin, M. Y. (2004). Evaluation of the phenolic contents and antioxidant capacities of two Malaysian floral honeys. *Food Chemistry*, 85(4), 513-518.
- Almaraz, N., Campos, M. G., Avila, J. A., Naranjo, N., Herrera, J., ve Gonzalez, L. S. (2007). Antioxidant activity of polyphenolic extract of monofloral honeybee collected pollen from mesquite (*Prosopis juliflora*, Leguminosae). *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(2), 119-124.
- Alnaqdy, A., Al-Jabri, A., Mahrooqi, Z. A., Nzeako, B., ve Nsanze, H. (2005). Inhibition effect of honey on the adherence of salmonella to intestinal epithelial cells *in vitro*. *International Journal of Food Microbiology*, 103(3), 347-351.
- Alvarez-Suarez, J. M. (2017). *Bee Products-Chemical and Biological Properties*. New York: Springer.
- Alvarez-Suarez, J. M., Gasparrini, M., Forbes-Hernández, T. Y., Mazzoni L., ve Giampieri, F. (2014). The composition and biological activity of honey: a focus on Manuka honey. *Foods*, 3(3), 420-432.
- Alvarez-Suarez, J. M., Giampieri, F., ve Battino, M. (2013). Honey as a source of dietary antioxidants: structures, bioavailability and evidence of protective effects against human chronic diseases. *Current Medicinal Chemistry*, 20(5), 621-638.
- Al-Waili, N., Salom, K., ve Al-Ghamdi, A. A. (2011). Honey for wound healing, ulcers, and burns; data supporting its use in clinical practice. *The Scientific World Journal*, 11(1), 766-787.
- Alzahrani, H. A., Alsabehi, R., Boukraâ, L., Abdellah, F., Bellik, Y., ve Bakhotmah, B. A. (2012). Antibacterial and antioxidant potency of floral honeys from different botanical and geographical origins. *Molecules*, 17(9), 10540-10549.
- AMHA (2019). *Australian Manuka Honey Association – Our Quality Standards*. Australian Manuka Honey Association. [https://manukaaustralia.org.au/quality-standards/criteria/#:~:text=Honey%20that%20carries%20the%20AMHA's,%20and%20dihydroxyacetone%20\(DHA\)](https://manukaaustralia.org.au/quality-standards/criteria/#:~:text=Honey%20that%20carries%20the%20AMHA's,%20and%20dihydroxyacetone%20(DHA).). (Erişim Tarihi: 25.04.2025).
- Anklam, E. (1998). A review of the analytical methods to determine the geographical and botanical origin of honey. *Food Chemistry*, 63(4), 549-562.
- Anupama, D., Bhat, K. K., ve Sapna, V. K. (2003). Sensory and physico-chemical properties of commercial samples of honey. *Food Research International*, 36(2), 183-191.
- Aparna, A. R., ve Rajalakshmi, D. (1999). Honey—its characteristics, sensory aspects, and applications. *Food Reviews International*, 15(4), 455-471.
- Arquillué, C. P., Herrera, A., Juan, M. I., García, M., ve Juan, T. (2001). Polen analysis

- and antibacterial activity of Spanish honeys: Note. *Food Science and Technology International*, 7(2), 155-158.
- Atayoğlu, A. T. (2019). Apiterapiye genel bakış. *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research*, 3, 61-66.
- Ateş, Y., ve Yaşar, S. (2020). Chemical Investigations on Honey Produced in Bingöl and Surroundings. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 20(1), 72-80.
- Aumeeruddy, M. Z., Aumeeruddy-Elalfi, Z., Neetoo, H., Zengin, G., Blom van Staden, A., Fibrich, B., Lambrechts, S., Rademan, S., Szuman, K. M., Lall, N., ve Mahomoodally, F. (2019). Pharmacological activities, chemical profile, and physicochemical properties of raw and commercial honey. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 18, 101005.
- Aydın, F. (2023). Apiterapide kullanılan bazı biyoaktif bileşiklerin Ardahan yöresi balalarında araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyokimya (Veterinerlik) A.B.D., Kars.
- Badet, C., ve Quero, F. (2011). The *in vitro* effect of manuka honeys on growth and adherence of oral bacteria. *Anaerobe*, 17(1), 19-22.
- Bahar, S. (2022). Farklı bal tiplerinin renk sınıflandırmasına göre *Staphylococcus aureus* üzerindeki antimikrobiyal etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beslenme ve Diyetetik A.B.D., İstanbul.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., ve Idaomar, M., (2008). Biological effects of essential oils - a review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446-475.
- Battino, M., Giampieri, F., Cianciosi, D., Ansary, J., Chen, X., Zhang, D., ... ve Forbes-Hernández, T. (2020). The roles of strawberry and honey phytochemicals on human health: a possible clue on the molecular mechanisms involved in the prevention of oxidative stress and inflammation. *Phytomedicine*, 86, 153170.
- Bayram, N., Yüzer, M. O., ve Bayram, S. (2019). Melissopalynology analysis, physicochemical properties, multi-element content and antimicrobial activity of honey samples collected from Bayburt, Turkey. *Uludağ Bee Journal*, 19(2), 161-176.
- Belli, T. (2019). Muğla ilinde üretilen balların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- Bengü, A. Ş., ve Kutlu, M. A. (2018). Identification of Some Quality Criteria of Honey Produced in Bingöl. *Turkish Journal of Nature and Science*, 7(1), 7-10.
- Bertoncelj, J., Doberšek, U., Jamnik, M., ve Golob, T. (2007). Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey. *Food Chemistry*, 105(2), 822-828.
- Biglari, B., Linden, P. H., Simon, A., Aytac, S., Gerner, H. J., ve Moghaddam, A. (2012). Use of medihoney as a non-surgical therapy for chronic pressure ulcers in patients with spinal cord injury. *Spinal Cord*, 50(2), 165-169.
- Bilsel, Y., Bugra, D., Yamaner, S., Bulut, T., Cevikbas, U., ve Turkoglu, U. (2002). Could

- honey have a place in colitis therapy? Effects of honey, prednisolone, and disulfiram on inflammation, nitric oxide, and free radical formation. *Digestive Surgery*, 19(4), 306-311.
- Blasa, M., Candiracci, M., Accorsi, A., Piacentini, M. P., Albertini, M. C., ve Piatti, E. (2006). Raw Millefiori honey is packed full of antioxidants. *Food Chemistry*, 97(2), 217-222.
- Bobiş, O., Dezmirean, D. S., ve Moise, A. R. (2018). Honey and diabetes: the importance of natural simple sugars in diet for preventing and treating different type of diabetes. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018(1), 4757893.
- Bogdanov, S., Lüllmann, C., Martin, P., von der Ohe, W., Russmann, H., Vorwohl, G., ... ve Vit, P. (1999). Honey quality and International Regulatory Standards: review by the International Honey Commission. *Bee World*, 80(2), 61-69.
- Bogdanov, S., Ruoff, K., ve Oddo, L. P., (2004). Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: a review. *Apidologie*, 35(Suppl. 1), S4-S17.
- Boussaid, A., Chouaibi, M., Rezig, L., Hellal, R., Donsi, F., Ferrari, G., ve Hamdi, S. (2018). Physicochemical and bioactive properties of six honey samples from various floral origins from Tunisia. *Arabian Journal of Chemistry*, 11, 265-274.
- Bucekova, M., Bugarova, V., Godocikova, J., ve Majtan, J. (2020). Demanding new honey qualitative standard based on antibacterial activity. *Foods*, 9(9), 1263.
- Burlando, B., ve Cornara, L. (2013). Honey in dermatology and skin care: a review. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 12(4), 306-313.
- Can, Z., Yildiz, O., Sahin, H., Turumtay, E. A., Silici, S., & Kolayli, S. (2015). An investigation of Turkish honeys: Their physico-chemical properties, antioxidant capacities and phenolic profiles. *Food Chemistry*, 180, 133-141.
- Cavia, M. M., Fernandez-Muino, M. A., Gomez-Alonso, E., Montes-Perez, M. J., Huidobro, J. F., ve Sancho, M.T. (2002). Evolution of fructose and glucose in honey over one year: influence of induced granulation. *Food Chemistry*, 78(2), 157-161.
- Childress, B. B., ve Stechmiller, J. K. (2002). Role of nitric oxide in wound healing. *Biological Research for Nursing*, 4(1), 5-15.
- Chua, L. S., Abdul-Rahaman, N. L., Sarmidi, M. R., ve Aziz, R. (2012). Multi-elemental composition and physical properties of honey samples from Malaysia. *Food Chemistry*, 135(3), 880-887.
- Cianciosi, D., Forbes-Hernández, T. Y., Afrin, S., Gasparrini, M., Reboredo-Rodriguez, P., Manna, P. P., ve Quiles, J. L. (2018). Phenolic compounds in honey and their associated health benefits: A review. *Molecules*, 23(9), 2322.
- Cooper, R., Molan, P., Krishnamoorthy, L., ve Harding, K. (2001). Manuka honey used to heal a recalcitrant surgical wound. *European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, 20(10), 758-759.
- Cornara, L., Biagi, M., Xiao, J., ve Burlando, B. (2017). Therapeutic properties of bioactive compounds from different honeybee products. *Frontiers in Pharmacology*, 8, 412.

- Council of the European Union (2001). *European Council Directive 2001/110 Relating to Honey*. Official Journal of the European Communities. L10, 47-52. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex:32001L0110> (Erişim Tarihi: 25.04.2025).
- Cucu, A. A., Baci, G. M., Moise, A. R., Dezsı, Ş., Marc, B. D., Stângaciu, Ş., ve Dezmirean, D. S. (2021). Towards a better understanding of nutritional and therapeutic effects of honey and their applications in apitherapy. *Applied Sciences*, 11(9), 4190.
- Çakır, Y., Çobanoğlu, D. N., Dervişoğlu, G., Koçyiğit, S., Karahan, D., ve Yelkovan, S. (2020). Determination antimicrobial activity, palynological characteristics and chemical composition of some honey samples from Turkey. *Mellifera*, 20(1), 41-60.
- Çelemlı, O. G., Özkök, A., Özenirler, Ç., Mayda, N., Zare, G., ve Sorkun, K. (2021). Highlighting The Melissopalynological and Physicochemical Characteristics of Ayder-Rize (Turkey). *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series C Biology*, 30(2), 119-133.
- Çetin, K., Akın, E., ve Uçurum, H. (2011). Determination of Quality Parameters of Flower Honey Sold on the Market. *Journal of Food and Feed Science*, 11, 49-56.
- Çiftci, E. (2014). Konya yöresel yayla balı ile püren balının kalite kriterleri yönünden karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Besin Hijyeni ve Teknolojisi A.B.D., Konya.
- Çiftçi, M., ve Parlat, S. S. (2018). Konya bölgesindeki marketlerde satılan farklı ticari çiçek ballarının bazı kimyasal özelliklerinin Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliğine uygunluğunun araştırılması. *Selcuk Journal of Agriculture & Food Sciences/Selcuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 32(1), 38.
- Conti, M. E. (2000). Lazia region (central Italy) honeys: a survey of mineral content and typical quality parameters. *Food Control*, 11(6), 459-463.
- Cook, N. C., ve Samman, S. (1996). Flavonoids: chemistry, metabolism, cardioprotective effects and dietary sources. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 7(2), 66-76.
- De Almeida, A. M. M., Oliveira, M. B. S., Da Costa, J. G., Valentim, I. B., ve Goulart, M. O. F. (2016). Antioxidant capacity, physicochemical and floral characterization of honeys from the northeast of Brazil. *Revista Virtual de Quimica*, 8(1), 57-77.
- de Sousa, J. M. B., de Souza, E. L., Marques, G., de Toledo Benassi, M., Gullón, B., Pintado, M. M., ve Magnani, M. (2016). Sugar profile, physicochemical and sensory aspects of monofloral honeys produced by different stingless bee species in Brazilian semi-arid region. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 645-651.
- Do Nascimento, K. S., Gasparotto Sattler, J. A., Lauer Macedo, L. F., Serna González, C. V., Pereira de Melo, I. L., da Silva Araújo, E., ... ve de Almeida-Muradian, L. B. (2018). Phenolic compounds, antioxidant capacity and physicochemical properties of Brazilian *Apis mellifera* honeys. *LWT-Food Science and Technology*, 91, 85-94.

- Doğan, H. (2014). Çiçek ballarının kimyasal fiziksel ve antimikrobiyal özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği A.B.D., Erzurum.
- Doğaroğlu, M., (2009). *Modern Arıcılık Teknikleri*. İstanbul: Anadolu Matbaa ve Ambalaj Sanayi.
- El-Dahtory, F. A. M., ve Yahia, S. (2011). Cytoprotective effect of honey against chromosomal breakage in fanconi anemia patients *in vitro*. *Indian Journal of Human Genetics*, 17(2), 77-81.
- El Denshary, E. S., Al-Gahazali, M. A., Mannaa, F. A., Salem, H. A., Hassan, N. S., ve Abdel-Wahhab, M. A. (2011). Dietary honey and ginseng protect against carbon tetrachloride-induced hepatonephrotoxicity in rats. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 64(7-8), 753-760.
- El-Haskoury, R., Kriaa, W., Lyoussi, B., ve Makni, M. (2018). *Ceratonia siliqua* honeys from Morocco: physicochemical properties, mineral contents, and antioxidant activities. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(1), 67-73.
- Erdoğan, A.T. (2007). Bal ve Balda Kalite Kavramları. Bornova Veteriner Kontrol Araştırma Enstitüsü, İzmir.
- Erejuwa, O. O., Sulaiman, S. A., Wahab, M. S. A., Salam, S. K. N., Salleh, M. S. M., ve Gurtu, S. (2010). Antioxidant protective effect of glibenclamide and metformin in combination with honey in pancreas of streptozotocin-induced diabetic rats. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(5), 2056-2066.
- Ertürk, Ö., Kalın, S., ve Ayvaz, M. Ç. (2019). Physicochemical properties, bioactive components, antioxidant and antimicrobial potentials of some selected honeys from different provinces of Turkey. *British Food Journal*, 121(6), 1298-1313.
- Escuredo, O., ve Carmen Seijo, M. (2019). Honey: chemical composition, stability and authenticity. *Foods*, 8(11), 577.
- Fallico, B., Zappala, M., Arena, E., ve Verzea, A. (2004). Effect of conditioning on HMF content in unifloral honeys. *Food Chemistry*, 85(2), 305-313.
- FAO (2022). *Standard for Honey, Codex STAN 12-1981, Adopted in 1981. Revised in 1987, 2001. Amended in 2019, 2022*. Codex Alimentarius International Food Standards. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/en/> (Erişim Tarihi: 25.04.2025).
- Genç, F., ve Dodoloğlu, A. (2002). Arıcılığın Temel Esasları. Erzurum: Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yayınları.
- González-Miret, M. L., Terrab, A., Hernanz, D., Fernández-Recamales, M. Á., ve Heredia, F. J. (2005). Multivariate correlation between color and mineral composition of honeys and by their botanical origin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(7), 2574-2580.
- Guler, A., Bakan, A., Nisbet, C., ve Yavuz, O. (2007). Determination of important biochemical properties of honey to discriminate pure and adulterated honey with sucrose (*Saccharum officinarum* L.) syrup. *Food Chemistry*, 105(3), 1119-1125.

- Gürbüz, S., Çakıcı, N., Mehmetoğlu, S., Atmaca, H., Demir, T., Arıgül Apan, M., ... ve Güney, F. (2020). Physicochemical quality characteristics of Southeastern Anatolia honey, Turkey. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2020(1), 8810029.
- Güzel, N., ve Bahçeci, K.S. (2019). Çorum yöresi ballarının fenolik madde içerikleri ile renk ve antioksidan kapasiteleri arasındaki ilişki. *Gıda*, 44(6), 1148-1160.
- Isidorov, V., Bagan, R., Bakier, S., ve Swiecicka, I. (2015). Chemical composition and antimicrobial activity of Polish herb honeys. *Food Chemistry*, 171, 84-88.
- Isla, M., Cordero, A., Díaz, L., Pérez-Pérez, E. M., ve Vit, P. (2013). Cosmetic properties of honey. 1. Antioxidant activity. Stingless bees process honey and pollen in cerumen pots, Facultad de Farmacia y Bioanálisis, Universidad de Los Andes, 1-8, Mérida, Venezuela.
- Islam, A., Khalil, I., Islam, N., Moniruzzaman, M., Mottalib, A., Sulaiman, S. A., ve Gan, S. H. (2012). Physicochemical and antioxidant properties of Bangladeshi honeys stored form or than one year. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 12, 1-10.
- Jaganathan, S. K., ve Mandal, M. J. J. A. (2009). Honey constituents and their apoptotic effect in colon cancer cells. *Journal of Apiprodukt and Apimedical Science*, 1(2), 29-36.
- Janiszewska, K., Aniołowska, M., ve Nowakowski, P. (2012). Free amino acids content of honeys from Poland. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 62(2), 85-89.
- Jenkins, R., ve Cooper, R. (2012). Improving antibiotic activity against wound pathogens with manuka honey *in vitro*. *PLOS ONE*, 7(9), e45600.
- Jibril, F. I., Hilmi, A. B. M., ve Manivannan, L. (2019). Isolation and characterization of polyphenols in natural honey for the treatment of human diseases. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), 4.
- Juan-Borrás, M., Domenech, E., Hellebrandova, M., ve Escriche, I. (2014). Effect of country origin on physicochemical, sugar and volatile composition of acacia, sunflower and tilia honeys. *Food Research International*, 60, 86-94.
- Kahraman, A., Serteser, M., ve Köken, T. (2002). Flavonoidler. *Kocatepe Tıp Dergisi*, 3(1), 01-08.
- Kamal, M. A., ve Klein, P. (2011). Determination of sugars in honey by liquid chromatography. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 18(1), 17-21.
- Kamaruddin, M. Y., Bekdemir, Y., Öztürk, F., Akka, Z. S., Suhaimi, A., ve Mohdrazif, M. A. (2015). Bal sargısının kronik yaralar ve ülserlerin iyileşmesindeki etkinliği. *Arı Ürünleri ve Sağlık (Apiterapi)*, 11, 78-89.
- Kambur, M., Kekeçoğlu, M., & Yıldız, İ. (2015). Assesment of the honey samples produced in Yığılca district of Düzce city by using chemical and palynological analysis. *Uludag Bee Journal*, 15(2), 67-79.
- Kambur, M., Kekeçoğlu, M., ve Yıldız, I. (2016). Düzce ili yığılca ilçesinde üretilen

- balların kimyasal ve palinolojik analiz yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 15(2), 67-79.
- Kanbur, E. D., Yüksek, T., Atamov, V., & Ozelik, A. E. (2021). A comparison of the physicochemical properties of chestnut and highland honey: The case of Senoz Valley in the Rize province of Turkey. *Food Chemistry*, 345, 128864.
- Karabagias, I. K., Badeka, A. V., Kontakos, S., Karabournioti, S., ve Kontominas, M. G. (2014). Botanical discrimination of Greek unifloral honeys with physico-chemical and chemometric analyses. *Food Chemistry*, 165, 181-190.
- Karadal, F., ve Yıldırım, Y. (2012). Balın kalite nitelikleri, beslenme ve sağlık açısından önemi. *Erciyes Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 9(3), 197-209.
- Karatas, S., Aktumsek, A., ve Duru, M. E. (2019). Investigation of physicochemical properties of some monofloral honeys in South Western Anatolia. *International Journal of Secondary Metabolite*, 6(3), 251-262.
- Karlıdağ, S., ve Solak-Amet, O. (2025). Türkiye'nin farklı lokasyonlarından temin edilen ticari bal örneklerinin melissopalınolojik ve fiziko-kimyasal analizleri. *Ulu-dag Bee Journal*, 25(1), 89-107.
- Kasırga, O. (2019). Şırnak yöresinde üretilen balların fiziksel ve biyokimyasal özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bayburt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Müh. A.B.D., Bayburt.
- Kaźmierczak-Barańska, J., ve Karwowski, B. T. (2024). The Antioxidant Potential of Commercial Manuka Honey from New Zealand—Biochemical and Cellular Studies. *Current Issues in Molecular Biology*, 46(7), 6366-6376.
- Kerkvliet, J. D., ve Meijer, H. A. J. (2000). Adulteration of honey: relation between microscopic analysis and $\delta^{13}\text{C}$ measurements. *Apidologie*, 31(6), 717-726.
- Keskin, Ş., Mayda, N., Keskin, M., ve Özkök, A. (2020). Bilecik ballarının melissopalınolojik ve kimyasal özellikleri açısından değerlendirilmesi. *Gıda*, 45(2), 275-289.
- Khalil, M. I., Moniruzzaman, M., Boukraâ, L., Benhanifia, M., Islam, M. A., Islam, M. N., Sulaiman, S. A. ve Gan, S. H. (2012). Physicochemical and antioxidant properties of Algerian honey. *Molecules*, 17(9), 11199-11215.
- Khalil, M. I., Sulaiman, S. A., ve Boukraa, L. (2010). Antioxidant properties of honey and its role in preventing health disorder. *The Open Nutraceuticals Journal*, 3(1), 6-16.
- Khan, S. U., Anjum, S. I., Rahman, K., Ansari, M. J., Khan, W. U., Kamal, S., ve Khan, H. U. (2018). Honey: Single food stuff comprises many drugs. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(2), 320-325.
- Khan, U. I., Dubey, W., ve Gupta, V. (2014). Medicinal properties of honey: A review. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 2(5), 149-156.
- Kilicoglu, B., Gencay, C., Kismet, K., Kılıcoglu, S. S., Erguder, I., Erel, S., ... ve Akkus, M. A. (2008). The ultrastructural research of liver in experimental obstructive jaundice and effect of honey. *American Journal of Surgery*, 195(2), 249-256.

- Kivrak, Ş., Kivrak, I., ve Karababa, E. (2017). Characterization of Turkish honeys regarding of physicochemical properties, and their adulteration analysis. *Food Science and Technology (Campinas)*, 37(1), 80-89.
- Korkmaz, A. (2010). Arıcılık. Samsun İl Müdürlüğü Çiftçi Eğitimi ve Yayın Şube Müdürlüğü Yayını, Samsun.
- Krell, R. (1996). *Value Added Products from Beekeeping*. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations.
- Krishnasree, V., ve Ukkuru, M. P. (2017). In vitro anti-diabetic activity and glycemic index of bee honeys. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 16(1), 134-140.
- Lusby, P. E., Coombes, A. L., ve Wilkinson, J. M. (2005). Bactericidal activity of different honeys against pathogenic bacteria. *Archives of Medical Research*, 36(5), 464-467.
- Marshall, S., Gu, L., ve Schneider, K. R. (2015). Health benefits and medicinal value of honey: FSHN15-04/FS267, 4/2015. *EDIS*, 2015(3), 3-3.
- Matheson, A., ve Reid, M. (2011). *Practical beekeeping in New Zealand: The Definitive Guide: Completely Revised and Updated*. Titirangi: Exisle Publishing.
- Middleton, J. E. (1998). Effect of plant flavonoids on immune and inflammatory cell function. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 439, 175-182.
- Miotto, D. (2010). Elucidation of the components involved in the antioxidant activity of honey. MSc Thesis, Brock University, Faculty of Biology Science, Ontario, Canada.
- Mohamed, M., Sulaiman, S. A., Jaafar, H., ve Sirajudeen, K. N. S. (2010). Effect of different doses of Malaysian honey on reproductive parameters in adult male rats. *Andrologia*, 44, 182-186.
- Molan, P.C. (1998). A brief review of honey as a clinical dressing. *Primary Intention*, 6(4), 148-158.
- Molan, P.C. (1999). Why honey is effective as a medicine. 1. Its use in modern medicine, *Bee World*, 80(2), 80-92.
- Nguyen, H. T. L., Panyoyai, N., Kasapis, S., Pang, E., ve Mantri, N. (2019). Honey and its role in relieving multiple facets of atherosclerosis. *Nutrients*, 11(1), 167.
- Nombré, I., Schweitzer, P., Boussim, J. I., ve Rasolodimby, J. M. (2010). Impacts of storage conditions on physicochemical characteristics of honey samples from Burkina Faso. *African Journal of Food Science*, 4(7), 458-463.
- Olas, B. (2020). Honey and its phenolic compounds as an effective natural medicine for cardiovascular diseases in humans?. *Nutrients*, 12(2), 283.
- Oroian, M. (2013). Measurement, prediction and correlation of density, viscosity, surface tension and ultrasonic velocity of different honey types at different temperatures. *Journal of Food Engineering*, 119(1), 167-172.
- Othman, N. H. (2012). Honey and cancer: sustainable inverse relationship particularly for developing nations—a review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2012(1), 410406.

- Othman, Z., Shafin, N., Zakaria, R., Hussain, N. H., ve Mohammad, W. M. (2011). Improvement in immediate memory after 16 weeks of tualang honey (Agro Mas) supplement in healthy postmenopausal women. *Menopause*, 18(11), 1219-1224.
- Özcan, M. M., ve Ölmez, Ç. (2014). Some qualitative properties of different monofloral honeys. *Food Chemistry*, 163, 212-218.
- Özmen, N., ve Alkın, E. (2006). Balın antimikrobiyel özellikleri ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 6(4), 155-160.
- Pascual-Maté, A., Osés, S. M., Fernández-Muiño, M. A., ve Sancho, M. T. (2018). Methods of analysis of honey. *Journal of Apicultural Research*, 57(1), 38-74.
- Pyrzyska, K., ve Biesaga, M. (2009). Analysis of phenolic acids and flavonoids in honey. *Trends in Analytical Chemistry*, 28(7), 893-902.
- Rao, P. V., Krishnan, K. T., Salleh, N., ve Gan, S. H. (2016). Biological and therapeutic effects of honey produced by honey bees and stingless bees: a comparative review. *Revista Brasileira De Farmacognosia*, 26(5), 657-664.
- Rasulova, K., Kavak, D. E., Kavak, F. F., Irtegun Kandemir, S., ve Kizildag, S. (2025). The effect of multifloral honey on cytotoxicity and the mitochondrial apoptotic pathway in ovarian cancer cell. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 18(1), 69-80.
- Resmi Gazete (2014). Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Uygulamaları Yönetmeliği. Resmi Gazete, Sayı 29158, 27 Ekim 2014.
- Robbins, R. J. (2003). Phenolic acids in foods: an overview of analytical methodology. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(10), 2866-2887.
- Ruoff, K., ve Bogdanov, S. (2004). Authenticity of honey and other bee products. *Apistica*, 38(1), 317-327.
- Russell, J. M., Stephen, T. L., Dale, R. G., Kip, E. P. ve Lynn, F. J. (2007). Phytochemicals: The good, the bad and the ugly. *Phytochemistry*, 68(22-24), 2973-2985.
- Sabatier, S., Amiot, M. J. Tacchini, M. ve Auberts, S. (1992). Identification of flavonoids in sunflower honey. *Journal of Food Science*, 57(3), 773-775.
- Samarghandian, S., Farkhondeh, T., ve Samini, F. (2017). Honey and health: A review of recent clinical research. *Pharmacognosy Research*, 9(2), 121.
- Sen, C. K., Packer, L., ve Hanninen, O. (2000). *Handbook of Oxidants and Antioxidants in Exercise*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Seyhan, M. F., Yılmaz, E., Timirci, Kahraman, Ö., Saygılı, N., Kısakesen, H. İ., Eronat, A. P., ... ve Öztürk, O. (2017). Anatolian honey is not only sweet but can also protect from breast cancer: Elixir for women from artemis to present. *IUBMB Life*, 69(9), 677-688.
- Shapla, U. M., Solayman, M., Alam, N., Khalil, M. I., ve Gan, S. H. (2018). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: effects on bees and human health. *Chemistry Central Journal*, 12, 1-18.

- Siashz, M. S. (2019). Evaluation of the effect of honey on the healing of tooth extraction wounds in 4- to 9-year-old children. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 22(10), 1328-1334.
- Singh, N., ve Bath, P. K. (1997). Quality evaluation of different types of Indian honey. *Food Chemistry*, 58(1-2), 129-133.
- Sıcak, Y., Şahin-Yağlıoğlu, A., ve Öztürk, M. (2021). Bioactivities and phenolic constituents relationship of Muğla thyme and pine honey of Turkey with the chemometric approach. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(4), 3694-3707.
- Spilioti, E., Jaakkola, M., Tolonen, T., Lipponen, M., Virtanen, V., Chinou, I., Kassi, E., Karabournioti, S., ve Moutsatsou, P. (2014). Phenolic acid composition, antiatherogenic and anticancer potential of honeys derived from various regions in Greece. *PLOS ONE*, 9(4), e94860.
- Stephens, J., Greenwood, D., Fearnley, L., Bong, J., Schlothauer, R., ve Loomes, K. (2015). Honey production and compositional parameters. In *Processing and Impact on Active Components in Food* (pp. 675-680), Cambridge: Academic Press.
- Stewart, J. A., McGrane, O. L., ve Wedmore, I. S. (2014). Wound care in the wilderness: Is there evidence for honey? *Wilderness and Environmental Medicine*, 25(1), 103-110.
- Subramanian, R., Umesh Hebbar, H., ve Rastogi, N. K. (2007). Processing of honey: a review. *International Journal of Food Properties*, 10(1), 127-143.
- Sunay, A. E. (2006). Balda orijin tespiti. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Swellam, T., Miyagana, N., Onozawa, M., Hattori, K., Kawai, K., Shimazui, T., ve Akaza, H. (2003). Antineoplastic activity of honey in an experimental bladder cancer implantation model: *In vivo* and *in vitro* studies. *International Journal of Urology*, 10(4), 213-219.
- Şahin, K. (2017). Apiterapik değeri yüksek bazı arı ürünlerinin antioksidan ve anti-inflamatuar özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya A.B.D., Trabzon.
- Tabay Sümbül, D. (2024). Chemical quality of seven honey from Ağrı region: a study on proline content and sugar profile. *GUFBD/GUJS*, 14(4), 1195-1206.
- Terrab, A., Recamales, A. F., Hernanz, D., ve Heredia, F. G. (2004). Characterization of Spanish thyme honeys by their physicochemical characteristics and mineral contents. *Food Chemistry*, 88(4), 537-542.
- TGK (2020). Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği. Tebliğ No: 2020/7, Resmi Gazete Sayı: 31107. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/04/20200422-13.htm> (Erişim Tarihi: 30.04.2025).
- Tolon, B. (1999). Muğla ve yöresi çam ballarının biyokimyasal özellikleri üzerine bir araştırma. Doktora tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Tonks, A. J., Cooper, R. A., Jones, K. P., Blair, S., Parton, J., ve Tonks, A. (2003). Honey stimulates inflammatory cytokine production from monocytes. *Cytokine*, 21(5), 242-247.
- Tosi, E., Ciappini, M., Re, E., ve Lucero, H. (2002). Honey thermal treatment effects on hydroxymethylfurfural content. *Food Chemistry*, 77(1), 71-74.
- Tosi, E., Martinet, R., Ortega, M., Lucero, H. A., ve Ré, E. (2008). Honey diastase activity modified by heating. *Food chemistry*, 106(3), 883-887.
- TSE (2023). TS 3036 Bal Standardı, Türk Standartları Enstitüsü.
- Tsiapara, A. V., Jaakkola, M., Chinou, I., Graikou, K., Tolonen, T., Virtanen, V., ve Moutsatsou, P. (2009). Bioactivity of Greek honey extracts on breast cancer (MCF-7), prostate cancer (PC-3) and endometrial cancer (Ishikawa) cells: Profile analysis of extracts. *Food Chemistry*, 116(3), 702-708.
- Turhan, I., Tetik, N., Karhan, M., Gurel, F., ve Tavukcuoglu, H. R. (2008). Quality of honeys influenced by thermal treatment. *LWT-Food Science and Technology*, 41(8), 1396-1399.
- Turkmen, N., Sari, F., Poyrazoglu, E. S., ve Velioglu, Y. S. (2006). Effects of prolonged heating on antioxidant activity and colour of honey. *Food Chemistry*, 95(4), 653-657.
- Uçak Koç, A., Karacaoğlu, M., ve Doğan, M. (2017). Hayıt (*Vitex agnus-castus*), çam ve karışım çiçek balının bazı kalite kriterleri açısından karşılaştırılması. *Journal of Adnan Menderes University, Agricultural Faculty*, 14(1), 17-21.
- Uwaydat, S., Jha, P., Tytarenko, R., Brown, H., Wiggins, M., Bora, P. S., ve Bora, N. S. (2011). The use of topical honey in the treatment of corneal abrasions and endotoxin-induced keratitis in an animal model. *Current Eye Research*, 36(9), 787-796.
- Verzera, A., Campisi, S., Zappala, M., ve Bonaccorsi, I. (1998). SPME-GC/MS analysis in honey volatile components for the characterization of different floral origin. *American Laboratory*, 33(15), 18-23.
- Von der Ohe, W., Oddo, P. L., Piana, M. L., Marlot, M., ve Martin, P. (2004). Harmonized methods of melissopalynology. *Apidologie*, 35(2004), S18-S25.
- Waheed, M., Hussain, M. B., Javed, A., Mushtaq, Z., Hassan, S., Shariati, M. A., ... ve Heydari, M. (2019). Honey and cancer: A mechanistic review. *Clinical Nutrition*, 38(6), 2499-2503.
- White, J. W. (2003). Honey. In *The Hive and The Honey Bee* (pp. 869-918). Hamilton: Dadant and Sons. Inc.
- White, J.W. (1979). Composition of honey. In *Honey: A Comprehensive Survey* (pp. 157-158), London: Heinemann.
- Yaşar, S., ve Söğütlü, İ. (2020). Investigation of acidity, diastase number, HMF, insoluble dry matter and ash percentage values of some honey samples produced in Bingöl and districts. *Van Veterinary Journal*, 31(1), 42-45.

- Yayçep (2001). *Arıcılık*. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Teşkilatlanma ve Destekleme Genel Müdürlüğü Çiftçi Eğitimi ve Yayın Serisi, Yayın No: 33.
- You, R., Kwon, O. Y., Woo, H. J., ve Lee, S. H. (2022). Hovenia monofloral honey can attenuate *Enterococcus faecalis* mediated biofilm formation and inflammation. *Food Science of Animal Resources*, 42(1), 84.
- Yücel, Y., ve Sultanoglu, P. (2013). Characterization of honeys from Hatay Region by their physicochemical properties combined with chemometrics. *Food Bioscience*, 1, 16-25.
- Yurt, B., ve Çakır, S. (2020). Some Physicochemical Properties of Honey Produced in Iğdır and Region. *Turkish Journal of Nature and Science*, 9, 51-57.
- Zanini, S., Marzotto, M., Giovino, F., Bassi, C. ve Bellavite, P. (2014). Effects of dietary components on cancer of the digestive system. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(13), 1870-1885.



FOTOVOLTAİK MODÜLLERDEKİ KİRLENMENİN VERİM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

“ ”

Okan UYKAN¹

Güray ÇELİK²

Aşkın BİRGÜL³

1 ORCID ID (Okan UYKAN): 0000-0001-8243-1661, Bursa Uludağ Üniversitesi

2 Prof. Dr., ORCID ID: 0000-0003-0714-048X, Bursa Uludağ Üniversitesi

3 Doç. Dr., ORCID ID: 0000-0002-7718-0340, Bursa Teknik Üniversitesi

1. Giriş ve Kavramsal Çerçeve

Artan enerji ihtiyacı ile birlikte bu ihtiyacı karşılamak için son yıllarda enerji üretim kaynağı olarak güneş enerji santrallerinin (GES) kullanımı ön plana çıkmıştır. GES'lerde performans oranını etkileyen önemli hususlar bulunmaktadır. Performans oranı (PR), bir güneş enerji santralinin verimliliğini ve etkinliğini kontrol etmek için kullanılan temel göstergedir. Temel olarak, sistemin gerçek enerji üretimi ile teorik olarak üretmesi gereken enerji miktarının karşılaştırılmasıyla hesaplanır. PR, güneş enerjisini ne kadar verimli bir şekilde elektriğe dönüştürdüğünüzü gösterir. Temel hesaplama formülü (1) şu şekildedir:

$$PR = \frac{\text{Gerçek Üretim Değeri}}{\text{Beklenen Enerji Üretimi}} \times 100 \quad (1)$$

- **Gerçek Enerji Üretimi** GES'in ürettiği toplam kWh enerji miktarını ifade eder. Bu veri, belirli bir zaman diliminde güneş panellerinin üretimini kaydeden inverterlerden alınır.

- **Beklenen Enerji Üretimi**, mevcut çevresel koşullarda GES'in üretmesi gereken teorik enerji miktarını ifade eder. Bu veri, GES'in aldığı güneş ışınımı kullanılarak hesaplanır.

- **Güneş Işınımı**, aynı zaman diliminde PV santraline ulaşır ve GES sahasındaki meteoroloji istasyonunda bulunan ışınım sensörü ya da piranometre aracılığıyla ölçülür. Maksimum olası enerji üretimini hesaplamak için kullanılır.

- Uluslararası IEC61724-1:2021 standardına göre, performans oranı, sistemin son verimi Y_f 'nin referans verimi Y_r 'ye oranıdır ve sistemdeki tüm kayıpların toplam etkisini gösterir. PR formülü (2) aşağıdaki gibidir:

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} = \frac{E_{out} / P_0}{H_i / G_{i,ref}} \quad (2)$$

- **E_{out}**: PV sisteminden elde edilen enerji çıkışı (AC) [kWh]
- **P₀**: PV sisteminin kurulu nominal (DC) güç kapasitesi [kWp]
- **H_i**: Panel düzlemine gelen ışınım [kWh/m²]
- **G_{i,ref}**: Referans ışınım (genellikle 1000 W/m²)

Türkiye'de kurulu fotovoltaik gücü, uygun finansman planları, düzenleyici teşvikler ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik artan kurumsal talep sayesinde hızla artmıştır: 2022'de yaklaşık 9 GW'tan 2024 sonuna kadar yaklaşık 19 GW'a ulaşmıştır [1, 2]. Bu hızlı ivme, olumlu finansman planları, destekleyici düzenleyici teşvikler ve şirketlerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik artan talebiyle desteklenmiş olup, bu da geçişin hem ekonomik hem de çevresel itici güçlerini yansıtmaktadır [3].

GES'lerdeki enerji üretim performanslarına bakıldığında, ısınım, rüzgâr hızı ve yönü, kullanılan panel sıcaklığı, yağış miktarı ve kirlenme gibi çeşitli faktörlerin performans oranını düşürdüğü gözlemlenmektedir [4]. Bu faktörler arasında yer alan fotovoltaik modül kirliliğine, endüstriyel üretim kaynaklı kirlilik, partikül madde serpintisi, kum fırtınaları, yosun oluşumu ve kuş pisliği gibi biyolojik etkenler neden olmaktadır [5]. Bu alanda ilk çalışma 1942 yılında güneş ışınları ile su ısıtma sağlayan sisteme sahip bir düzenek üzerinde gerçekleştirilmiş ve tozun (fotovoltaik modülün yüzeyindeki kirliliğin) verimi %4,7 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Yarıiletken teknoloji alanında gerçekleşen ilerlemeler ve fotovoltaik modüllerin kullanım yelpazesinin artmasıyla bu alandaki çalışmalarda artmıştır [6, 7, 8]. Fotovoltaik modüllerin üzerindeki kir birikiminin karakterizasyonu, tozun özelliği ve yerel çevreyi etkileyen birbirine bağlı iki parametre vardır. Tozun özelliği boyut, bileşenler, şekil ve ağırlıktan oluşur. Ayrıca yüzey, kirlenme sürecine katkıda bulunan çok önemli bir faktördür. Yüzey pürüzsüz değil de pürüzlü, sert, yapışkan vb. ise daha fazla toprağın birikmesine neden olur. Çevresel faktörler göz önüne alındığında genellikle 10 μm 'den daha az ince partikül madde tabakalarının panel üzerine düşen ısınım miktarını düşürdüğü görülmektedir [9]. Toz; biyolojik, kimyasal, elektrostatik ve fiziksel özelliklere sahip bir oluşum olarak karakterize edilmektedir. Her coğrafik bölgede ayrı bir özelliklere ve yoğunluklara sahip olan toz, dünya üzerinde yaygın bir dağılıma sahip olup, fotovoltaik modüllerin yüzeyine yerleşerek güneş ışınlarının panel yüzeyine geçişini engellemekte, panelin sıcaklığını artırmakta ve panel modül camının aşınması gibi olumsuz etkilerle PV enerji sisteminin verimini önemli ölçüde azaltmaktadır [10].

2. Kirlenme Mekanizmaları ve Etkileyen Faktörler

Kirlenme süreci, parçacıkların panel yüzeyine taşınması, yüzeye tutunması ve birikmesi şeklinde ilerler. Ayrıca nem, yağmur ve sıcaklık değişimleri parçacıkların yapışmasını kolaylaştırır veya yüzeyden uzaklaşmalarını etkiler. Bu nedenle kirlenme mekanizmaları, hem meteorolojik hem de bölgesel koşullara bağlı karmaşık bir süreçtir.

Partikül maddeler (PM), taşıt ve baca emisyonları nedeniyle endüstriyel alanlardaki başlıca kirleticiler olarak bilinir ve fotovoltaik modüllerin üzerinde doğrudan birikerek veya atmosfere yerleşerek dolaylı etkiyle fotovoltaik modüllerde güneş ısınımının etkin bir şekilde emilmesini engelleyerek performans üzerinde olumsuz sebep olur [11]. Partikül madde, katı ve sıvı damlacıkların karışımından oluşur. Partikül madde ya doğrudan yayılabilir ya da çeşitli kaynaklardan gelen kirleticilerin atmosferde reaksiyona girmesiyle oluşabilir. Bazı partikül maddeler doğrudan yayılırken bazıları da çeşitli kaynaklardan yayılan kirleticilerin atmosferde reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır. $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} ve ağır metaller gibi partikül maddeler, nem ve rüzgâr gibi meteorolojik koşullarla etkileşime girerek oldukça değişken ve bölgeye özgü kirlenme davranışları oluşturur.

- PM_{10} , çapı 10 mikrometreden küçük partikül maddedir.
- $PM_{2.5}$ (veya ince partiküller) çapı 2.5 mikrometreden küçük partikül maddedir.

Verimliliği ve performans oranını etkileyen önemli çevresel faktörler arasında rüzgâr hızı, yükseklik, bağıl nem, yağış ve çiğlenme sıklığı gösterilmektedir. Nem, fotovoltaik modüllerin performansı üzerinde de olumsuz bir etkiye sahiptir. Nem arttığında, nem biriken partikül maddeleri çamura dönüştürmektedir ve partikül madde tabakasının fotovoltaik modüllerin yüzeylerine yapışmasını hızlandırmaktadır [12, 13, 14].

Fotovoltaik modülün güneş ışığı yönüne ve rüzgâra bağlı konumu da kirlenme işleminde önemlidir. Yüzey ne kadar yatay olursa o kadar fazla toz birikebilir. Ayrıca, yavaş esen rüzgâr da toz birikmesine neden olabilirken kuvvetli rüzgâr panel yüzeyini temizleyebilir. Ancak rüzgârdan kaynaklanan hava akışı, güneş panelinin belirli yerlerinde toz birikmesini veya dağılmasını etkileyebilir. Rüzgar hızı ve yönü, fotovoltaik sistemlerinin verimliliğine ve kirlenme birikiminin miktarına önemli ölçüde artırıcı etkiye bulunur [15, 16, 17, 18, 19].

Tüm yarı iletken cihazlar gibi, fotovoltaik modüllerin yapı taşı olan güneş hücreleri de sıcaklığa duyarlıdır. Sıcaklık artışı, yarı iletkenin bant aralığını azaltır ve böylece yarı iletkenin malzeme parametrelerini etkiler. Bir yarı iletkenin bant aralığındaki sıcaklık artışıyla birlikte azalma, malzeme-deki elektronların enerjisinin artması olarak görülmektedir. Bu nedenle, bağı kırmak için daha düşük enerjiye ihtiyaç vardır. Bir yarı iletkenin bant aralığı modelinde, bağı enerjisindeki azalma da bant aralığını azaltır [20]. Bu nedenle, sıcaklığın artırılması bant aralığını azaltır. Yükselen sıcaklık, kısa devre akımında (I_{sc}) hafif bir artışa ve açık devre geriliminde (V_{oc}) önemli bir azalmaya ve buna bağlı olarak fotovoltaik modülün çıkış gücünde (P) bir azalmaya neden olur [21, 22, 23, 24].

Yüzey kirliliğinin sistem çıkışı üzerindeki etkisini ölçmek için, Kirlenme oranı (SR), her bir sahadaki kirli panellerin güç çıkışının referans temiz panellerle karşılaştırılmasıyla şu formül (3) kullanılarak hesaplanmaktadır:

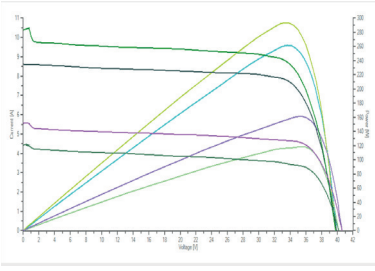
$$SR = \frac{P_{kirli}}{P_{temiz}} \quad (3)$$

3. Kirlenmenin FV Modüllerin Performansı Üzerindeki Etkileri

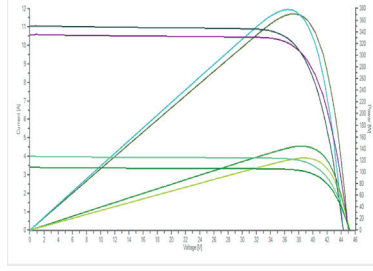
Fotovoltaik modüllerdeki koruyucu cam, güneş ışığının geçişine izin vermek için % 0,05'i aşmayan oranda demir oksit içeren temperli camdan yapılmıştır. 1000 °C'ye kadar sıcaklık değişimlerine dayanıklı olarak imal edilip ve tasarlanmaktadır. Önemli olarak görülen performans kayıp kaynaklarından biri de fotovoltaik modül ön yüzey yansımadır; çünkü bu temperli cam

yüzeyden yansıyan ışık %4'ün biraz üzerinde bir kayba neden olur. Bu optik kayıp, doğrudan foto-akım kaybına yol açar ve bu da modülden gelen güç çıkışını azaltır. Bu yansıma kayıpları, yansıma önleyici (AR) kaplamaların kullanımıyla giderilebilir ve şu anda ticari fotovoltaiik modüllerin yaklaşık %90'ında ön yüzeyde bulunan temperli cama uygulanan bir AR kaplamayla tedarik edilmektedir. Fotovoltaiik modüllerde kirlenmeden kaynaklı partikül madde birikimiyle; güneş ışınlarının modül üzerindeki cam yüzeyinin ışık geçirgenliği yine azalmaktadır. Cam yüzeydeki geçirgenliğin azalması sonucunda kirlenen yüzey gelen ışınlarını yeterince absorbe edilememektedir [25]. Kirlenme kayıpları, fotovoltaiik modüllerinin ön yüzeyleri için önemli bir sorundur. Yüzeyde toz, kir ve organik madde birikmesi olan kirlenme, ışığın zayıflamasına ve dolayısıyla güç çıkışının azalmasına neden olur. AR kaplamalar, ticari bir fotovoltaiik modülünün en dış katmanı olduğundan, AR kaplama yüzeyinin kirlenme performansına ciddi şekilde dikkat edilmelidir. Buna kanıt olarak gösterilen bir çalışmada; polenle dolu cam kuponlardan (yaklaşık 60 m2) toplanan toprak örnekleriyle Belçika'daki tozun fiziksel özelliklerini incelemiştir. Deney sahasında yalnızca beş haftalık açık hava maruziyeti sırasında kirlenme nedeniyle %4'e varan güç kayıpları kaydedilmiştir. Düzenli yağış aralıklarından sonra, çapı 2-10 mikrometre aralığında olan daha küçük toz parçacıkları için küçük bir temizleme etkisi bulunmuştur [26]. Ek olarak kirlenme kaynağına bağlı olarak fotovoltaiik modül cam yüzeyindeki anti-reflektif kaplama (AR kaplama) zarar görerek cam yüzeyin özelliğinin yitirilmesine sebep olabilmektedir. Ve kirlenme sonucunda optik kayıplar ve ışık geçirgenliği sebebiyle performans kaybı oluşmaktadır. Nemli ortamlarda, alkali metaller (örneğin K, Na) ve çözünmeyen kimyasallar (örneğin kalsit, silika) dahil olmak üzere farklı maddeler, modülün yüzeyinde yapışkan lekeler oluşturabilir ve bu da cam yüzeyin optik geçirgenliğini azaltır ve yüzeyin dokusunu ve mikro sertliğini etkiler. Ayrıca, fotovoltaiik modüller temiz bırakılmazsa kurumuş yapraklar, kuş pislikleri vb. güneş ışığını tamamen engelleyebilir. Kirlenme ayrıca kısmi gölgelenmeye neden olarak sıcak noktalar (hot spot) oluşturabilir. Bu gölgelenmeler, diğer hücreler tarafından üretilen akım akışına direnç gösteren hücrelere ulaşır. Sıcak noktalar enerji verimliliğini azaltır ve fotovoltaiik modülün ömrünü kısaltır [27].

Yüzeyde biriken partiküller optik kayıplara yol açarak panelin absorbe ettiği güneş ışınımını azaltır. Bu durum, akım-gerilim (I-V) eğrilerinde sapmalara, performans oranında (PR) düşüşlere ve enerji üretiminde önemli kayıplara sebep olur.



Figür 1. SPP-1 nolu GES Akım Gerilim Ölçüm (İnverter-1, Dizi-5) Grafiği
22.08.2024.



Figür 2. SPP-2 nolu GES Akım Gerilim Ölçüm (İnverter-9, Dizi-13) Grafiği
26.08.2024.

Aynı dizi ve modül için kirli ve temiz durumdaki Pmax (Maksimum Güç) değerlerini karşılaştırarak, kirlenmenin doğrudan neden olduğu performans düşüşünü net bir şekilde gözlemleyebilmekteyiz. Bu, kirlenmenin sistem verimliliği üzerindeki en önemli etkenlerden biri olduğunu göstermektedir. Dizideki tüm modüller temizlenmediği için kayıplar mevcuttur. IEC 61724 standardına göre yorumlanan grafiğe istinaden; oluşan minimal kayıpların önüne geçilmesi için modüllerin düzenli olarak temizlenmesi gerekir [28].

Çok sayıda uluslararası çalışma, kirlenmeden kaynaklanan ortalama yıllık enerji kayıplarının %3-5 aralığında olduğunu tahmin etmektedir; kirli veya kurak kentsel-endüstriyel ortamlardaki olağanüstü vakalarda ise günlük kayıpların %1-3, toplam aylık kayıpların ise %30'u aştığı bildirilmektedir. [29, 30, 31]. Bölgesel farklılıklar çöl iklimlerinde toz yoğunluğu, kentsel alanlarda ise ince partikül ve endüstriyel emisyonların etkisiyle belirginleşmektedir.

Küresel olarak yarı kurak ve endüstriyel ortamlarda gözlenen kirlenme kaynaklı verimlilik kayıpları %5 ile %17 arasında olmakta olup [32, 33], bu kayıp aralıkları Türkiye'dekilerle tutarlıdır [34]. Örneğin, Uykan ve ark. (2025) tarafından SPP-1'deki %12'lik kayıp, Elamim ve ark. (2024) tarafından Akdeniz ikliminde bildirilen %12,35'lik güç azaltımına benzerdir [35].

Uykan ve ark tarafından sunulan çalışma, modül başına kayıpları izole ederek ve bunları doğrudan gravimetrik kirlenme kütlesi ve mikro iklimsel rüzgar desenleriyle ilişkilendirerek daha yüksek çözünürlüklü bir analiz sunmaktadır; bu, birçok bölgesel çalışmaya göre metodolojik bir ilerlemedir. Bulgular, kirlenmeye bağlı performans düşüşünün %5 ile %17 arasında değiştiğini, en yüksek kaybın ise partikül birikiminin en yüksek olduğu kış mevsimine denk gelen SPP-2'de gözlemlendiğini doğrulamaktadır.

4. Karakterizasyon, Ölçüm ve Azaltım Yöntemleri

Kirlenmenin etkilerini anlamak için laboratuvar temelli optik ölçümlerden sahada kullanılan performans oranı analizlerine kadar çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Uykan ve ark. (2025) çalışması uyarınca iki saha için (SPP-1

Tablo 2. 09.2023-11.2024 tarihleri arasındaki verilere göre SPP-2 Çatı Güneş Enerjisi Santrali'nde Performans Oranı Hesaplama Tablosu

Yıl	Ay	Toplam Işıma (kWh/m ²) (PVSYST)	Gerçekleşen Enerji Üretimi (kWh)	Ortalama Günlük Güneşlenme Saatleri (h)	Tahmin Edilen Enerji Üretimi (PVSYST)	Performans Oranı (PR)
2023	Eylül	142.6	130830	8,79	158593	80,81%
2023	Ekim	91.8	106480	6,93	104387	
2023	Kasım	61.9	51740	4,06	76587	
2023	Aralık	47.6	53120	4,08	59289	
2024	Ocak	56.0	51990	3,77	69213	
2024	Şubat	66.1	77270	5,64	78941	
2024	Mart	108.1	117090	6,65	124458	
2024	Nisan	146.9	159590	9,08	162273	
2024	Mayıs	195.7	171610	9,07	205092	
2024	Haziran	212.9	206830	11,67	219095	
2024	Temmuz	218.1	201790	10,92	221277	
2024	Ağustos	190.4	197790	10,55	199051	
2024	Eylül	142.6	131670	8,4	154404	
2024	Ekim	91.8	112980	6,98	105417	
2024	Kasım	61.9	66310	4,55	73541	
			1837090		2.011.618 kWh	
Kaynak: PVSYST - Meteororm 8.1, Sat=100% - Synthetic						

Araştırmacılar, fotovoltaik sistemlerdeki kirlenme kayıplarını izlemek için makine öğrenme ve derin öğrenme tekniklerini kullanmışlardır. Yapay sinir ağları (YSA) gibi derin öğrenme teknikleri, güneş çiftliklerindeki kameralar tarafından çekilen görüntüleri tanımak ve işlemek, kirlenmeyi ve güneş panellerini etkileyen diğer çevresel faktörleri bulmak ve ölçmek için kullanılmaktadır. Liu ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışma, güneş enerjisi sistemleri için fotovoltaik modüllerdeki çeşitli kirlenme türlerinin belirlenmesinin önemini yapay zeka destekli olarak ele almaktadır [36, 37].

5. Gelecek Yönelimler ve Araştırma Alanları

Fotovoltaik teknolojisi maliyet açısından oldukça rekabetçi bir temiz enerji üretim teknolojisidir. Her geçen yıl bu önemi global ölçekte artırarak sürdürmekte ve tüm ülkelerde bu alanda kurulu güç kapasiteleri artarak devam etmektedir. Hükümet politikalarının ve fotovoltaik sektörüne yapılan yatırımların desteğiyle, küresel güneş fotovoltaik pazarı gelecekte hızlı bir büyümeyle istikrarlı bir şekilde artacaktır. İklim değişikliğiyle birlikte artan sıcaklık dalgalanmaları, kurak dönemler ve kentsel-endüstriyel kirlilik, gelecekte kirlenme sorununu daha da kritik hale getirecektir. Bu nedenle, fotovol-

taik enerji üretimi için hava kirliliği ve kirlenme etkilerine ilişkin kapsamlı incelemeye dayanarak, gelecekteki çalışmalar için öneriler aşağıda sunulmuştur:

1) Önceki çalışmalar, hava kirliliği ve kirlenmenin dünya çapında fotovoltaik güç üretimini önemli ölçüde azalttığını ortaya koymaktadır. Farklı hava kirleticilerinin ve toz türlerinin, başlıca fotovoltaik pazarlarındaki çeşitli fotovoltaik teknolojilerinin elektriksel ve termal özellikleri üzerindeki etkilerine dair bir anlayış geliştirmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Ayrıca, özellikle gelişmekte olan fotovoltaik pazarlarında, güneş enerjisinin optimum uygulamaları için gelecekteki aerosol emisyon senaryoları altında güneş enerjisi üretim potansiyelinin araştırılması faydalı olacaktır. Bir katı ya da sıvının gaz içerisinde çözünmeden dağılması ile oluşan heterojen karışımlara aerosol denir. Dağıtan faz gaz, dağılan faz katı ya da sıvı olabilir. Örneğin, baca dumanı, tozlu hava, bulut, sis ve spreyleyler. Güneş radyasyonu ve sıcaklık, atmosferin optik özelliklerinden ve özellikle aerosol içeriğinden etkilenir. Nitekim aerosoller, saçılma ve emilim yoluyla doğrudan güneş radyasyonu ile etkileşime girer [38] ve bulut damlacıklarının buharlaşmasıyla sonuçlanan sıcaklık değişikliklerine yol açar [39]. Dahası, aerosoller bulut özelliklerini etkiler, bulut damlacıklarının sayısındaki artışla bulut albedosunu artırır [40] ve yağış olasılığını düşüren daha küçük damlacıkların oluşumuyla bulutlanma süresini uzatır [41].

2) Fotovoltaik sektörü temsilcileri ve ilgili politika yapımcıların ulusal ve uluslararası enerji hedefleri çerçevesinde; eyleme geçirilebilir içgörüler sağlayarak, kirlenme ve termal etkilerin sistem tasarımına ve yönetimine dahil edilmesinin enerji verimini optimize edebileceğini, güvenilirliği artırabileceğini ve ilerlemeyi destekleyebileceğine dair stratejiler geliştirmelidirler. Ayrıca, politika yapımcılar ve yatırımcılar için kirlenmenin enerji dönüşümü hedefleri üzerindeki etkisini daha doğru tahmin etmeye yönelik modeller geliştirilmesi gerekmektedir. Kirlenme ve termal kayıpların azaltılmasının yalnızca teknik bir konu değil, aynı zamanda projenin uygulanabilirliği için ekonomik bir zorunluluk olduğunu vurgulanmalıdır. Dijital izleme ve yapay zeka destekli tahminler aracılığıyla daha da optimize edilebilen, özel temizlik protokollerinin uygulanması için bilimsel bir temel sunmalıdır. Ayrıca, korunan enerji verimi, Yenilenebilir Enerji Sertifikalarının (REC) değerini artırmakta ve depolama alanındaki tamamlayıcı yatırımlar için iş modelini iyileştirmektedir. Bu teknik, ekonomik ve dijital perspektifleri bir araya getiren çalışmalar, Türkiye'nin endüstriyel merkezlerinde çatı üstü fotovoltaik performansını optimize etmek için bütünsel bir yol haritası sunarak ulusal enerji güvenliğini, endüstriyel rekabet gücünü ve iklim hedeflerini desteklemektedir.

3) Kirlenme, çeşitli azaltma stratejileri olmasına rağmen, fotovoltaik güç üretimini etkileyen önemli bir faktör olmaya devam etmektedir. Gelecekteki

çalışmalarda, belirli konumlar için teknik ve ekonomik faydaların kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesiyle optimum temizleme sıklığının belirlenmesi gerekmektedir. Optimum temizleme sıklığı güneş enerji santralinin periyodik muayenesi ile çıkan sonuca göre belirlenebilecektir. Bu kapsamda GES yatırımcılarının uluslararası akredite (ISO/IEC 17020:2012) ve tarafsız A Tipi Muayene kuruluşlarından denetim ve muayene hizmeti alarak verilecek rapor ve reçeteye göre temizleme sıklığı ve takvimini en doğru şekilde öğrenebilirler. ISO/IEC 17020:2012, muayene yapan kuruluşların yeterliliği ve muayene faaliyetlerinin tarafsızlığı ve tutarlılığı için gereklilikleri belirler [42]. Hizmeti alacakları firmanın akreditasyon sertifikasının uluslararası geçerliliği, akreditasyon kapsamı (talep edilen hizmetlerin ilgili standartları kapsayıcı olması) ve tarafsızlık uyarınca A tipi olmasına dikkat etmeleri alacakları raporun da geçerli olması adına önem teşkil etmektedir. Bu muayene raporları vesilesiyle GES'in performansını etkileyen tüm hususlar raporlanarak santralin verimli çalışması ve optimizasyonu adına yatırımcıya reçete sunulmaktadır. Yenilikçi kirlenme önleyici kaplama malzemeleri ve ilgili tekniklerinin kirlenmeyle mücadele için daha derinlemesine araştırma ve geliştirmelere ihtiyacı vardır. Bu bağlamda yeni nesil kaplama teknolojileri, su kullanımını minimize eden temizlik sistemleri ve yapay zekâ tabanlı prediktif yaklaşımlar araştırma öncelikleri arasında olmalıdır. Çöl iklimlerinde, fotovoltaiik modülün kirlenmesini azaltmak için genel uygulama, kirlenme önleyici kaplamaların (ASC) ve yansıma önleyici kaplamaların (ARC) kullanımlarını içermektedir. ASC'nin fotovoltaiik modülün cam yüzeyine uygulanması, toz birikimini azaltarak güneş hücresi tarafından güneş ışığı emilimini artırır. Aynı zamanda, ARC, fotovoltaiik modül camının yüzey özelliklerini değiştirerek güneş ışığı yansımalarını azaltır ve daha fazla güneş ışığının güneş hücresine nüfuz etmesini ve elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlar. Bu kaplamalar, kirlenme ve güneş ışığı yansımalarının olumsuz etkilerini en aza indirerek fotovoltaiik modül performansını artırmak için öncelikli olarak kullanılır. Uluslararası Fotovoltaiik Teknoloji Yol Haritası'na (ITRPV) göre, ARC uygulaması fotovoltaiik endüstrisinde %90'lık bir pazar payıyla standart bir uygulama haline gelmiştir ve farklı fotovoltaiik uygulamaları için artmaya devam edecektir; ancak ASC daha az yaygın olarak kullanılmaktadır [43]. Ayrıca, özellikle düşük yağışlı kurak ve yarı kurak bölgelerde kirlenme izleme ve teorik kirlenme modellemesi konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

REFERANSLAR

- [1] EMBER.Türkiye Surpasses 2025 Solar Target as Capacity Doubles in 2.5 Years. 2025. Available online: <https://ember-energy.org/app/uploads/2025/01/EN-Turkiye-surpasses-2025-solar-target-as-capacity-doubled.pdf> (accessed on 1 September 2025).
- [2] Arslan, A.A.; Biçen, T.; Vardar, A. Changes in Climate Parameters and Their Effects on Renewable Energy Resources Potential: Bursa Sample. Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Derg. 2021, 35, 33–44.
- [3] ErdenTopal, Y.; Erdil, E. Market Formation in Turkish Solar Electricity Generation: Technology Innovation System Approach. İzmir İktisat Derg. 2023, 38, 625–645.
- [4] Mani M, Pillai R. (2010) Impact of Dust on Solar Photovoltaic (PV) Performance: Research Status, Challenges and Recommendations. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14 (9): 3124–3131.
- [5] İçel, Y. (2024). Kirliliğin PV Panel Verimine Etkisi ve Panel Temizleme Yöntemleri . In: Kaygusuz, K. (ed.), 21. Yüzyılda Mühendislikte Çağdaş Araştırma Uygulamaları Üzerine Disiplinler Arası Çalışmalar- VI. Özgür Yayınları. DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub426.c1854>.
- [6] Wakim, F. (1981). Introduction of PV power generation to Kuwait, Kuwait Institute for Scientific Researchers, Kuwait City.
- [7] Dorobantu, M.O., Popescu, Cl., ve Craciunescu, A. (2011). The effect of surface impurities on photovoltaic panels, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'11) Las Palmas de Gran Canaria, Spain.
- [8] Kaldellis, J.K., ve Kokala, A. (2010). Quantifying the decrease of the photovoltaic panels' energy yield due to phenomena of natural air pollution disposal, Energy, 35, 4862–4869.
- [9] Maghami M R, Hizam H, Gomes C, Radzi M A, Rezadad M I and Hajighorbani S (2016) Power Loss Due To Soiling on Solar Panel: A Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59 (1): 1307-1316.
- [10] Ju, F., ve Fu, X. (2011). Research on Impact of Dust on Solar Photovoltaic (PV) Performance, 2011 International Conference on Electrical Control Engineering, s. 3601–3606.
- [11] Kazem, H. A., and M. T. Chaichan. 2019. “The Effect of Dust Accumulation and Cleaning Methods on PV Panels’ Outcomes Based on an Experimental Study of Six Locations in Northern Oman.” Solar Energy 187: 30–38. doi:10.1016/j.solener.2019.05.036.
- [12] Al Siyabi, I., A. Al Mayasi, A. Al Shukaili, and S. Khanna. 2021. “Effect of Soiling on Solar Photovoltaic Performance under Desert Climatic Conditions.” Energies 14 (3): 659. <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/3/659>.

- [13] Zorrilla-Casanova, J., et al. 2011. "Analysis of Dust Losses in Photovoltaic Modules." World Renewable Energy Congress 2985–2992.
- [14] Beattie, N. S., R. S. Moir, C. Chacko, G. Buffoni, S. H. Roberts, and N. M. Pearsall. 2012. "Understanding the Effects of Sand and Dust Accumulation on Photovoltaic Modules." *Renewable Energy* 48: 448–452. doi:10.1016/j.renene.2012.06.007.
- [15] Csavina, J., J. Field, O. Félix, A. Y. Corral-Avitia, A. E. Sáez, and E. A. Betterton. 2014. "Effect of Wind Speed and Relative Humidity on Atmospheric Dust Concentrations in Semi-arid Climates." *Science Total Environmental* 487: 82–90. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.03.138.
- [16] Zorrilla-Casanova, J., et al. 2011. "Analysis of Dust Losses in Photovoltaic Modules." World Renewable Energy Congress 2985–2992.
- [17] Goossens, D., R. Lundholm, H. Goverde, and J. Govaerts. 2019. "Effect of Soiling on Wind-induced Cooling of Photovoltaic Modules and Consequences for Electrical Performance." *Sustainable Energy Technology Assessments* 34: 116–125. doi:10.1016/j.seta.2019.05.007.
- [18] Elminir, H. K., A. E. Ghitas, R. H. Hamid, F. El-Hussainy, M. M. Beheary, and K. M. Abdel-Moneim. 2006. "Effect of Dust on the Transparent Cover of Solar Collectors." *Energy Conversion and Management* 47 (18–19): 3192–3203. doi:10.1016/j.enconman.2006.02.014.
- [19] Mekhilef, S., R. Saidur, and M. Kamalisarvestani. 2012. "Effect of Dust, Humidity and Air Velocity on Efficiency of Photovoltaic Cells." *Renewable Sustainable Energy Review* 16 (5): 2920–2925. doi:10.1016/j.rser.2012.02.012.
- [20] P. Singh, S.N. Singh, M. Lal, and M. Husain 2008. "Temperature Dependence of I–V Characteristics and Performance Parameters of Silicon Solar Cell" *Solar Energy Materials and Solar Cells*, volume 92, issue 12, on pages 1611–1616.
- [21] Majid, Z. A. A., M. H. Ruslan, K. Sopian, M. Y. Othman, and M. S. M. Azmi. 2014. "Study on Performance of 80 Watt Floating Photovoltaic Panel." *Journal Mechanical Engineers Science* 7 (1): 1150–1156. doi:10.15282/jmes.7.2014.14.0112.
- [22] Chander, S., A. Purohit, A. Sharma, S. P. Nehra, and M. S. Dhaka. 2015. "Impact of Temperature on Performance of Series and Parallel Connected Mono-crystalline Silicon Solar Cells." *Energy Reports* 1: 175–180. doi:10.1016/j.egy.2015.09.001.
- [23] Nair, K. K., J. Jose, and A. Ravindran. 2016. "Analysis of Temperature Dependent Parameters on Solar Cell Efficiency Using MATLAB." *IJEDR* 4: 536–541.
- [24] Tagawa, K. 2012. "Effect of Sand Erosion of Glass Surface on Performances of Photovoltaic Module." *Sustainable Research Innovation Processing* 4.
- [25] Adam M. Law, Luke O. Jones, John M. Walls. "The performance and durability of Anti-reflection coatings for solar module cover glass" *Solar Energy* 2023, 261, 85–95.

- [26] Appels, R.; Lefevre, B.; Herteleer, B.; Goverde, H.; Beerten, A.; Paesen, R.; De Medts, K.; Driesen, J.; Poortmans, J. Effect of soiling on photovoltaic modules. *Sol. Energy* 2013, 96, 283–291.
- [27] Yilbas, B.S.; Ali, H.; Al-Aqeeli, N.; Khaled, M.M.; Said, S.; Abu-Dheir, N.; Merah, N.; Youcef-Toumi, K.; Varanasi, K.K. Characterization of environmental dust in the Dammam area and mud after-effects on bisphenol-A polycarbonate sheets. *Sci. Rep.* 2016, 6, 1–14.
- [28] Uykan, O., Çelik, G., Birgül, A., Quantifying the Impact of Soiling and Thermal Stress on Rooftop PV Performance: Seasonal Analysis from an Industrial Urban Region in Türkiye. *Sustainability* 2025, 17, 8038.
- [29] Bergin, M.H.; Ghoroi, C.; Dixit, D.; Schauer, J.J.; Shindell, D.T. Large Reductions in Solar Energy Production Due to Dust and Particulate Air Pollution. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2017, 4, 339–344.
- [30] Ilse, K.K.; Figgis, B.W.; Werner, M.; Naumann, V.; Hagendorf, C.; Pöhlmann, H.; Bagdahn, J. Comprehensive analysis of soiling and cementation processes on PV modules in Qatar. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 2018, 186, 309–323.
- [31] Banirazi Motlagh, S.H.; Hosseini, S.M.A.; Pons-Valladares, O. Integrated Value Model for Sustainability Assessment of Residential Solar Energy Systems towards Minimizing Urban Air Pollution in Tehran. *Sol. Energy* 2023, 259, 121–135.
- [32] Kapsalis, V.; Maduta, C.; Skandalos, N.; Wang, M.; Bhuvad, S.S.; D'Agostino, D.; Ma, T.; Raj, U.; Parker, D.; Peng, J.; et al. Critical assessment of large-scale rooftop photovoltaics deployment in the global urban environment. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2024, 189, 114005.
- [33] Borah, P.; Micheli, L.; Sarmah, N. Analysis of Soiling Loss in Photovoltaic Modules: A Review of the Impact of Atmospheric Parameters, Soil Properties, and Mitigation Approaches. *Sustainability* 2023, 15, 16669.
- [34] Jiang, Y.; Lu, L.; Lu, H. A novel model to estimate the cleaning frequency for dirty solar photovoltaic (PV) modules in desert environment. *Sol. Energy* 2016, 140, 236–240.
- [35] Elamim, A.; Sarikh, S.; Hartiti, B.; Benazzouz, A.; Elhamaoui, S.; Ghennioui, A. Experimental studies of dust accumulation and its effects on the performance of solar PV systems in Mediterranean climate. *Energy Rep.* 2024, 11, 2346–2359.
- [36] Liu, Y., Li, Y., Zhang, Y., Li, Z. & Wang, X. The soiling classification of solar panel using deep learning. *ResearchGate* 11, 1–9 (2021).
- [37] Zhang, W. et al. Deep-learning-based probabilistic estimation of solar PV soiling loss. *IEEE Trans. Sustain. Energy* 12, 2436–2444 (2021).
- [38] Angstroem A. Atmospheric turbidity, global illumination and planetary albedo of the earth. *Tellus* 1962;14:435–50.
- [39] Hansen J, Sato M, Ruedy R. Radiative forcing and climate response. *J Geophys Res* 1997;102:6831–64.

- [40] Twomey S. The influence of pollution on the shortwave albedo of clouds. J Atmos Sci 1977;34:1149–52.
- [41] Albrecht BA. Aerosols, cloud microphysics, and fractional cloudiness. Science 1989;245:1227–30.
- [42] https://www.iasonline.org/ias_certificate/AA-828/
- [43] ITPRV, International Technology Roadmap for Photovoltaic, 2022.



TEKSTİL SEKTÖRÜNDE ERGONOMİK RİSKLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

“ ”

Betül TURANOĞLU ŞİRİN¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, b.turanoglu@atauni.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7910-6312

1. GİRİŞ

Tekstil sektörü, Endüstri 4.0 devrimi ile beraber günümüzdeki makineleşmeye rağmen, insanların beden gücünü kullandıkları alanların başında gelmektedir. Çoğunlukla fiziki güç kullanan tekstil çalışanları, günlerinin büyük bir çoğunluğunu işyerlerinde geçirmektedir. Tekstil sektöründe en çok ciddiye alınması gereken ve ileri de gelen risk unsurları ise ergonomik risk unsurlarıdır.

Ergonomik risk nedenleri; uzun çalışma saatleri, duruş bozuklukları, zorlu iş akışı ve vücut şekline uygun olmayan iş parçalarının kullanılmasıyla oluşmaktadır. Yapılacak olan iş antropometrik ölçülere, aynı zamanda da fiziksel ve kişisel özelliklere göre de yapılması gerekmektedir. Çalışan farklılıkları ve ergonomik prensipler dikkate alındığında ekipmanlar, iş istasyonları, makineler ve aletler buna göre tasarlanmalıdır. Ergonomi son zamanlarda daha fazla önem kazanan, insan, makine ve üretim etkileşimi dikkate alınarak yapılan operasyonların daha da verimli hale olmasında temel unsurdur. Ergonomi kavramı ile insan ve sistem arasındaki uyum ve ilişki sağlanmalıdır. Yapılan işe bağlı, çalışanlarda ortaya çıkan meslek hastalıkları dalı olan Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıkları (KİSR) tekstil çalışanlarında yüksek oranlarda görülmektedir.

Tekstil işçilerinin, uzun vakitler boyunca ayakta ya da oturarak çalışması, çalışma sahalarının çalışana göre değil durağan sistemlerle olması, iş standardizasyonunun olmama durumu, iş sürekliliği ve işin zamanında yetiştirilme zorunluluğu şeklinde birden çok sebebe bağlılık ile çalışanların büyük bir çoğunluğunda KİSR gözlemlenmektedir.

Tekstil işçilerinin KİSR'i en yaygın olarak eller, dirsekler, kollar, ayaklar ve bacaklarda bulunur. KİSR'nin çalışanlar, üretim ve işverenler üzerinde olumsuz etkisi bulunmaktadır. KİSR semptomları, çalışan verimliliğinin azalmasına, tıbbi harcamaların artmasına, iş günlerinin kaybolmasına ve devamsızlığa neden olabilir. Tekstil işçilerinin mesleki kaynaklı ortopedik hastalıklarına çözüm bulabilmek için tehlikeli duruşlar, tekrarlayan çalışma ve aşırı efor gibi faktörler belirlenerek, insan sağlığına zarar veren nedenlerin önüne geçilmeye çalışılmaktadır.

2. ERGONOMİ

2.1. Ergonominin Tarihçesi ve Tanımı

Ergonomi; Yunanca ergon (çalışma, iş) ve nomos (bilim, hukuk) kelimelerinin birleşimi olup 1857'de Profesör Wojciech Jastrzebowski aracılığı ile bütün faaliyetleri kapsayan bir işletme yönetim bilimidir. ABD'de "İnsan Faktörleri Mühendisliği" ya da "İnsan Mühendisliği" olarak tanımlama yapılmaktadır. TDK tarafından ise 'İşbilim' tanımı ile Türkçe'ye çevrilmiştir. Ergonomi, kişisel çalışma bilimi olarak da tanımlanmıştır. Çalışanların ye-

tenek ve özelliklerinin inceleme altına alınarak, yapılacak olan işin çalışanlara uyarlanması ve çalışan kişilerin işe adaptasyonu için gerekli olan tüm koşulları sağlamaktadır. Bilimsel olarak, insanın anatomik yapısı, toleransı, antropometrik yapı ve fizyolojik yetenekler dikkate alınarak; çalışma alanı ve insan makine çevre uyumuyla ilgili ana teorileri inceleyen bilimsel bir disiplin olduğu söylenilebilir.

2.2. Ergonominin Amacı

Eski zamanlardan bu yana insanlar kaliteli ve konforlu bir yaşam için birtakım araştırmalar yapmışlardır. Ergonomi bilimi, deneme yoluyla da olsa insanların gereksinimlerini tanıyarak geliştirilmiş ve ergonomi kaidelerinin uygulanabilmesi amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Ergonominin ana hedefi çalışan sağlık ve güvenliğini korumak, yaralanma, sakatlık ve rahatsızlıkları önlemek, iş veriminin artmasını sağlamaktır. Günümüzün en önemli sağlık problemlerinden olan KİSR, çalışanlarda iş ile ilgili yaralanmaların en önde gelmekte olan sebeplerinden biridir. Ergonomide ilk maksat çalışanın KİSR'den korunmasıdır.

Ergonomi; işin tasarımının nasıl olacağını ve çalışana nasıl uyarlanacağını ve ayrıca işteki sağlık problemlerini ve iş verimliliğini artırmayı, çalışanı işe değil işi çalışana adapte etmeyi, artan yaşam kalitesinin yanı sıra insanların hayatlarını onlar için doğru hale getirmeyi amaçlar. Ergonominin amaçları arasında; çalışma saatlerini düzenlemek, çalışanların fizyolojik özelliklerine uygun bir şekilde düzen planlamak kullanılacak olan malzemelerin ve onu kullanacak olan kişinin uyumunu sağlamak da sayılabilir.

Ergonomik uygulamalar çalışma ortamında önemli avantajlar sağlar. Bu kazanımlar ışığında, çalışan sağlığı ve güvenliğinin tehlikeye girmeyeceği şekilde oluşturulmuş bir mecrada faal olmak ve işveren için çok daha fazla verim, üretim ve kazanç anlamına gelmektedir.

Ergonomi, işyerinde çalışmakta olan çalışanların sağlık durumlarını olumsuz yönde etkileyen çalışma şartlarının düzenlenmesi ile ilgilenir. Örnek olarak; sıcaklık, gürültü, kimyasallar, ışık yoğunluğu, titreşim, ortam tasarımı ve iş tasarımı olmak üzere birçok konu ile ilgilenmektedir. Ayrıca çalışma saatleri, mola, yemek, vardiya saatleri gibi konularda ergonominin çalışma alanına girmektedir.

2.3. Ergonomi Alanındaki İlk Çalışmalar

Ergonomi; insanlar ve sistemin diğer unsurları arasındaki etkileşimi anlamak için teorileri, ilkeleri, verileri ve yöntemleri uygulayan veya insanların genel refahının tasarımını optimize etmek için kullanılan bilimsel bir disiplin ve aynı zamanda da bir meslektir. Ergonominin bilimsel bir hala getirilmesi F.W. Taylor tarafından gerçekleştirilmiştir. Mühendis ve psikolog Gilberth'ler ise hareket konularında çalışmalar sürdürmüşlerdir. Ergonomi

konulu ilk kitap olan “Endüstriyel Etkinliklerde Psikoloji”, Munsterberg tarafından 1913 yılında yayınlanmıştır. 1912 yılında Cambridge Üniversitesi tarafından bir ilk olarak deneysel psikoloji laboratuvarı kurulmuştur. İkinci Dünya Savaşı’nda çalışmakta olan mühendis ve diğer çalışanların elverişli olmayan şartlarda çalıştırılması gözlemi sonucu, savaş sonrası vazife ve çalışma ortamının insan koşullarına göre organizasyon yapılması gerektiği ortaya koyulmuştur.

Stockholm’de 1961 yılında, uluslararası bir ergonomik kurul kurulması ve Londra’da uluslararası bir komite kurulmasına karar verilmiştir. 1960’ların sonunda Türkiye’de İTÜ ve Çalışma Bakanlığı ergonomi alanında araştırmalar yapmaya başladı. İlk olarak 1971 yılında İTÜ Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde ders olarak okutulmuştur.

2.4. Türkiye’de Ergonominin Tarihsel Gelişimi

Ülkemizde ergonomi alanı oldukça yeni bir araştırma konusudur. Ergonomi Bilimi’ne giriş, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi’nde kurulan “Ziraatta Canlı Kuvvet Kaynakları” kürsüsü ile sağlanmıştır. İnsan faktörü; 1969’dan sonraki dönemde, “İnsan Emeği ve Ziraattaki Prodüktivitesi” ve yine aynı dönemdeki “Çalışma Şekli ve Kas Yorgunluğu” yapıtlarıyla dahil olmuştur.

1969 yılında ergonomi biliminin üniversitelerde ders olarak verilmesi girişimi, İTÜ’DE “İş Bilim” dersi konuları içerisinde verilmesi ile gerçekleşmiştir. İş Bilim dersinin uygulamalı olan çalışmalarında antropometrik araştırmalara değer verilip yönelim sağlanırken; bu hedef doğrultusunda kurulmuş olan laboratuvarlarda konu üzerine birçok uygulamalı araştırma yapılmaktadır.

İş Sağlığı ve Güvenliği alanı konusunda ergonomi biliminin incelenmesindeki ilk adımlar Refik Saydam Hıfzıssıhha Enstitüsü’ndeki araştırmalarla atılmıştır. Çalışma Bakanlığı ve Dünya Çalışma Teşkilatı (ILO) beraberliği ile 1968 yılında çağdaş bir İş Sağlığı ve Güvenliği Merkezi oluşturulması için çalışmalara başlanmıştır. Fakat, 1972 yılında sadece ergonomi birliği kurulabilmiştir.

Ergonomi birliğinin liderliğinde kuruluş döneminde sınırlı sayıda uygulamalı olan araştırmalar yapılması üzerine, aksi yönde ilerleyen bazı durumlardan ötürü çalışmaların askıya alınmasına ve sonrasında ise laboratuvarın dağıtılmasına karar verilmiştir.

1971 yılında, ODTÜ Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde ergonomi eğitimi “Human Factors Engineering” alt dalı olarak verilmeye başlanmıştır. Yurt dışından gelen cihazlar ile 1975 yılında bölüm yapısında laboratuvar kurulmuştur. Endüstri Mühendisliği Bölümü tarafından 1980 yıllarında öğrencilerin endüstri alanında yapmış oldukları incelemeleri değerlendirme adına

iki kez “Öğrenci Sempozyumu” düzenlemiştir. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği’nin göstermiş oldukları ilgi ve destek ile ergonomi biliminin gelişmesine katkı sağlamışlardır. 1980’li yıllarda Dokuz Eylül Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde modern laboratuvar cihazlarıyla destekli “Ergonomi” dersini eğitim planlarına eklemişlerdir. İzmir Batı Alman Kültür Ataşeliği ile iletişim içerisinde 1984 ve 1986 yıllarında, iki kez Türk – Alman Ergonomi Sempozyumları hazırlanmıştır. Sempozyum bildirileri kitap şeklinde basılarak ergonomi adına değerli birer kaynak halini almışlardır.

Üniversitelerin dışında ergonomi biliminin iş dünyasında tanınması konusunda, Milli Prodüktivite Merkezi’nin değerli katkıları bulunmaktadır. Ergonomi bilimi düşüncesi, kurumca düzenlenmiş olan; “İşyerlerinde Fiziksel Ortamın İyileştirilmesi”, “Ergonomi” ve “Endüstri Mühendisliğinin İşletmelere Katkısı” seminerleri ile oluşturulmuştur. 1976 yılındaki “Endüstriyel İşyerlerinde Çevre Koşullarının Etkileri” ve 1980 yılındaki “Ergonomi” kitapları, Milli Prodüktivite Merkezi aracılığıyla yayınlanarak; ergonomi bilimi adına yararlı kaynaklar ve ergonomi literatürü adına öncü oldukları bilinmektedir.

İstanbul Teknik Üniversitesi ile iletişim halinde olan Milli Prodüktivite Merkezi, ilk kez ulusal ergonomi kongresinin toplanması adına büyük katkı sağlamıştır.

3. TEKSTİL SEKTÖRÜ

Tekstil sektörü, giyim endüstrisinin tedarik üretim zincirinde geniş bir üretim yelpazesini kapsamaktadır. Tekstil endüstrisindeki her türlü ihtiyaca cevap veren ürünler; örme kumaş, tufting yüzey, elyaf, iplik ve keçe, ev tekstili, halı vb. tekstil endüstrisinde bulunmaktadır. Üretim sürecindeki çoğu işlem, makine sermaye yatırımı gerektirdiğinden sermaye yoğun bir endüstridir.

Hazır giyim sektörü; üretilmiş olan kumaş ve aksesuarlarda ölçülere istinaden yoğun teknolojik üretim teknikleri kullanılarak yapılmakta olan, standart ölçüler ışığında hazır giyim yapım sürecini içermektedir. Hazır giyim imalatında ki çalışmalar; kalıp hazırlanması işlemi, kalıp çıkarma işlemi, pastal çizimi işlemi, kesme işlemi, dikme işlemi, temizleme işlemi ve son olarak ütüleme işlemi ve paketleme işlemi aşamalarından oluşmaktadır. Tekstil sektörü; elyaftan ipliğe ve bitmiş hazır kumaşa kadar olan aşamayı kapsarken, kumaştan giyim aşamasına kadar olan süreç de hazır giyim sektörüne girmektedir. Giyim endüstrisinde üretim sürecinde yer alan işlerin çoğunda emek yoğun çalışılmaktadır. Özellikle emek yoğun çalışılan sektörlerde, üretim yöntemlerinde kullanılmakta olan makine ve teçhizatla daha da karmaşık hale gelebilen üretim süreci, çalışma alanında çalışan sağlığı ve güvenliği açısından büyük önem arz etmektedir.

Nihai kullanıma hazır olan ürünler; gömlek, çorap, pantolon, takım elbise, kazak gibi giyim sektörü ürünleri; perde, çarşaf, halı ve zemin kaplamaları gibi ev tekstili ürünleri; ağ, halatlar, kablo, taşıma bandı, brandalar, koruyucu bez, filtreler, paraşüt, fren bezleri, keçe gibi hazır eşya, teknik eşya ve diğer tekstil ürünleri şeklinde sınıflandırılabilirler. Hazır giyimin nihai ürün olması sebebiyle, ürünün önceki üretim süreçleri, ürün performans özellikleri ve kalitesi üzerinde önemli bir etki yaratmaktadır. Moda sektörü, hazır giyim ürünlerinin ana belirleyicisidir. Modanın sürekli olarak kendini yenilemesi, insanları yeni ürünler almaya teşvik etmektedir. Moda tasarım uzmanları; uzunluk, hafiflik, renk, silüet, kumaş türü ve tasarlama gibi yeni stiller yaratır iken, geçmiş sezonların aksesuarları da alıcının zevk ve beğenilerine göre değişim göstermektedir. Alıcıların büyük bir çoğunluğu yüksek kaliteli ürünlerde stil, moda, estetiklik, kumaş kalitesi ve dayanıklılık gibi performans özelliklerini dikkate almakta ve tercih etmektedirler.

Hazır giyim dalı, tekstil sektöründe üretilmekte olan ürünlerin moda dalı için yapılan ve ülke ekonomisine değer katmakta olan önemli bir sektördür. Hazır giyim, emek yoğun bir sektör olduğundan; emeğin ucuz olduğu bir dal olup ve gelişme sürecinde olan ülkeler tarafından geliştirilen bir sektör olarak görülmektedir.

3.1. Tekstil Sektöründe Ergonomik Çalışma Düzeni

Günümüzde her bölümde olduğu gibi hızla gelişmekte olan teknoloji, çalışma hayatının üretim aşamasındaki yoğun makineleşme, çalışan kişilerin birtakım fiziksel ve entelektüel yönlerden yeteneklerini çeşitlendirmekte ve talep etmektedir. İnsan vücudunda, iskeletin ve kasların belirli bir esnekliği ve gücü; kas yapılarının enerji üretme, çevreyi algılama ve gerektiği halde ondan korunma yetenekleri bulunmaktadır. Dolayısıyla, çalışma alanında çalışan kişilerin beklentileri ile ana insan özellikleri ve yetenekleri arasında bir denge ve uyum olması gerekmektedir. Zıt beklentiler ve gelişmeler; insanları yormakta, iş verimini ve kalitesini düşürmekte, çalışma güvenliği ve personel sorunlarına neden olmaktadır. Bu sorunları ortadan kaldırmak ya da etkilerini en aza indirmek için, ergonomi bilimi oldukça önem arz etmektedir.

Çalışma alanlarında çalışan kişilerin sağlıklı, güvenli ve verimli çalışması; ergonomi bilimi alanında, çalışma alanının; yapısal, boyutsal ve psikolojik özelliklerine ve iş yerinde ihtiyaç duyulacak olan ekipmanların dışında, ses ve ışık gibi faktörlere de göre de önlemler alınması gerekmektedir. Ergonomi biliminin temel amacı, iş organizasyonunun gerçekleştirilmesi olarak ifade edilebilir. Bir yönden ergonomi bilimi; iş, çalışanın özelliklerine göre tasarlanacak, başka bir deyişle 'çalışma sistemi insan anatomisine ve fizyolojisine uyulanacak' şekilde tanımlanabilmektedir. Ergonomi bilimi, insanlara uygun iş alanları tasarlamayı, insanların yaşam kalitelerini iyileştirmeyi ve toplumun refahına pozitif katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Çalışan kişinin yapmış olduğu işin ergonomik değerlendirmesinde; güvenlik, sağlık, yorgunluk, rahatsızlık ve verimlilik gibi hususlar dikkate alınmalıdır. Çalışma yaşamında, her dört çalışandan biri tanesi sırt ağrısı ve beşte biri ise kas ağrısından yakınmaktadır. Bir yükün; çekilmesi, indirilmesi, kaldırılması, tutulması, itilmesi, taşınması veya hareket ettirilmesi tekstil sektöründeki en büyük yaralanma sebeplerindendir. Manuel paketleme, kas ve iskelet sisteminde aşamalı olarak tahrip olmasına ya da diğer aşamalı tahriplere, örnek verilecek olursa bel ağrısı veya akut travmalara kazalardan kaynaklanmakta olan kesik ya da kırıklara neden olabilmektedir. Tekstil sektöründe genel risk unsurları şunları içermektedir:

- Eğirme, kesme, ürün muayenesi ve paketleme gibi etkinlik sırasında yanlış pozisyonlarda çalışmak,
- Eğirme, kesme, ürün muayenesi ve paketleme gibi etkinlik sırasında tekrarlı hareketler,
- Depolama, inceleme, işleme, taşıma, son işlem aşaması ve tekstil aşaması kesimi sırasında manuel olarak kullanımdan kaynaklanan yorgunluk.

3.2. Tekstil Sektöründe İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları

Hazır giyim endüstrisi; dinamik yapısı, teknolojik gelişmeleri ve değişen pazarlara olan uyumuyla gelişmekte olan ülkelerin, sanayileşme aşamasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu firmaların çözülmesi zor imalat aşamalarına sahip olmaları, emek yoğun özelliklere sahip olmaları, endüstri çaplarının genel anlamda küçük ve orta çapta olması, sağlık ve güvenlik önlemlerine uyulmaması, mekânsal değişikliklerin fazlaca olması, işlerin kısa süreler içerisinde birbirine bağlı olmaları, firmaların mali yapısı ve piyasada gerçekleşen şiddetli rekabet, bu işyerlerinde kaza ve hastalıkların ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır. Bütün bu şartlar; girişimcilerin ve yöneticilerin çalışma alanında sağlık ve güvenliği etkin olarak yönetmesini ve uygulamasını engelleyen niteliktedir.

Gelişen teknolojiye karşın, giyim sektörü emek yoğun bir endüstridir. Artmakta olan rekabet ortamı, uygun olmayan postürler, sürekli ve tekrarlayan işler dikkate alındığında, hazır giyim sektöründeki zaman kısıtı kas-iskelet sistemiyle ilgili sorunlara sebep olmaktadır. İş kazaları ve meslek hastalıkları iş yaşamının en büyük problemidir. SGK'nın 2012 yılı iş kazası ve rahatsızlıkları istatistiki tablosuna göre, tekstil alanı en fazla iş kazası yaşanan üçüncü sektör konumundadır. Tekstil ve giyim sektöründeki fazlaca kayıt dışı gerçekleşen istihdam oranı sebebiyle işyerinde bildirilmiş olan kazaların ve meslek rahatsızlıklarının daha fazla olduğu düşünülmektedir.

Kadınların çalıştıkları tarım sektöründen sonra ikinci en gözde istihdam sektörü tekstil ve hazır giyim alt dallarının mevcut durumunun incelenmesi, ülkemiz adına en önemli konulardan birisidir. Çalışan kişilerin yeter-

siz eğitim seviyeleri iş kazaları ve meslek hastalıklarının temel sebebi olarak gösterilmektedir. Yetersiz eğitim düzeyi sebebiyle çalışanlar, yaptıkları işin mesleki anlamda risklerinin farkında değildirler. Bu da iş kazaları ve meslek rahatsızlıklarında artışa sebep olmaktadır. Çünkü eğitim seviyeleri düşük çalışanlar, hayatta kalabilmek adına zor ve riskli işlerde çalışmayı kabul etmekte ve çalışanları mesleki tehlikelere daha çok maruz altında kalmalarına sebebiyet vermektedirler.

Tekstil ve hazır giyim sektörünün büyümesiyle teknolojinin gelişmesi, çalışan kişilerin karşılaştıkları güvensiz durumların su yüzüne çıkmasının temelini oluşturmuştur. Güvenli olmayan durumların yanında çalışan kişilerin mevcut olan duruma uyum sağlama çabaları, fizyolojik ve psikolojik baskılara sebep olmaktadır. Bu tür bir olumsuzluk, çalışan kişilerin güvensiz davranışlar sergilemesine sebep olur. Bu sektörde çalışan kişilerin hem güvensiz davranışları hem de güvensiz durumları da iş verimliliğini etkilemekte olup ve tüm bu sebeplerden dolayı sağlık ve güvenlik faktörlerini önemli kılmaktadır.

3.2.1. Kas iskelet sistemi hastalıkları (KİSR)

KİSR, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde yer alan çalışan kişiler için genel olan sağlık problemlerinden bir tanesidir. Global Burden of Disease Study tarafından KİSR, dünyada disabiliteye sebep olan en yaygın ikinci sebep olarak gösterilmiştir. The Center for Disease and Prevention Center tarafından KİSR; eklem, sinir, kas, tendon, kıkırdak ve omurilik diskindeki yaralanmalar ve hastalıklar olarak tanımlanır.

Kronik KİSR 1990 ile 2010 yılları aralığında, %45 oranında artmış ve daha da çok artış gösterileceği düşünülmektedir. Bireysel, organizasyonel ve psikososyal kriterler KİSR oluşumunda rol oynamaktadır. KİSR eğer iş ile ilgili sebeplere bağlı olarak gelişmekte ise; Mesleğe Bağlı Kas İskelet Sistemi Rahatsızlığı olarak adlandırılmaktadır.

3.2.2. Mesleğe bağlı kas iskelet sistemi rahatsızlıkları (MKİSR) ve risk faktörleri

MKİSR, işe ya da mesleğe bağlı gelişen KİSR'nin bir alt dalıdır. İnflamatuvar ve dejeneratif aşamaların tetiklenmesi ile meydana gelmektedir. Dünya Sağlık Örgütü, MKİSR'nin akut ve kronik yaralanmalar olarak iki bölümde sınıflandırmıştır. Akut yaralanmalar, kısa bir sürede, ani olarak gerçekleşen yaralanma türüdür. Kronik yaralanmalar ise zaman içerisinde yavaş yavaş ortaya çıkan, kümülatif bir birikim söz konusu olan türüdür. MKİSR'nin en yaygın ortaya çıkan semptomları; güçsüzlük, ağrı, ödem, uyuşma, karınca lanma, yorgunluk, tutukluk ve işlevsel bozukluklar olarak sıralanabilir.

MKİSR semptomları, ilk aşamada dinlenme ile azalabilir ya da kaybolabilir. Orta aşamada semptomlar çalışmaya geri dönülmesi ile tekrar ortaya

çıkılmaktadır. Bu nedenle de iş performansında azalmalar görülür. İleri aşamadaki semptomlar dinlenme ile geçmemektedir ve iş performansı gözle görülür seviyede azalmaktadır. Çalışmanın bırakılması durumunda dahi semptomlar görülmeye devam eder.

MKİSR, çalışan kişilerin sağlık durumlarını ve yaşam kalitelerini kötü etkilemektedir. İş gücü kaybı, iş göremezlik, erken emeklilik gibi durumlara da yol açmaktadır. Tazminat ve çalışanların sağlık bakım masraflarındaki artış gibi sebeplerden dolayı da ekonomik yükler oluşturmaktadır.

Tekstil işçileri genellikle oturarak çalışırlar. Buna bağlı olarak, genel popülasyona göre daha çok omurga ve üst ekstremitte rahatsızlıkları görülür. Uzun süre oturarak çalışma, obeziteye ve alt ekstremitte sorunlarına yol açabilir (Grobler vd., 2018).

Tekstil işçilerinin kullandığı sandalye tipi de önem arz etmektedir. Ayarlanabilir sandalye sayesinde, işçi kendi vücut ölçülerine, makinanın tasarımı, masanın yüksekliğine göre yerden yüksekliğini ayarlayabilir. Sabit ve ayarlanamayan sandalyeye sahip olan işçiler, ayarlanabilir sandalyeye sahip olan işçilere göre 4,58 kat sırt ağrısı çekmektedir (Abraha vd., 2018).

Yetersiz ışıktaki çalışmak tekstil işçileri için bir risk faktörüdür. İşleri yeterli olarak aydınlatılmış ortamda çalışanlar, yetersiz aydınlatılmış ortamda çalışanlara kıyasla 2 kat daha fazla MKİSR'ye yatkındır. Az aydınlatılmış ortamda çalışan işçiler yaptıkları işe odaklanabilmek için daha fazla eğilmekte ve riskli postürde çalışmaktadır (Abraha vd., 2018).

Tekstil sektöründe çalışan işçilerin büyük bir çoğunluğu düşük eğitim ve öğretime sahiptir. Tekstil işçileri arasında yapılan bir çalışmada, eğitim ve öğretimi 1-8 yıllık arasında olanların, eğitim ve öğretimi 9 yıldan daha çok olanlara göre MKİSR geçirme sıklığı daha fazladır (Serkalem vd., 2014).

Postür bozuklukları ile MKİSR semptomları arasında bir ilişki vardır ($p \leq 0,05$). Comper vd. (2012) tekstil işçileri üzerinde yaptıkları çalışmaya göre, en sık gözlemledikleri postür bozuklukları, boyunda lordoz kaybı, sağ skapul elevasyon, omuz protrüzyonu, lomber hiperlordoz ve genu rekurvatumdur (Comper vd., 2012).

3.2.3. MKİSR'yi önleme ve korunma yolları

Yapılacak olan küçük bütçeli önlemler aracılığı ile MKİSR'den korunma yolları çoğaltılabilir ve bu rahatsızlıkların önüne geçilebilir.

Tekstil sektöründe çalışan işçiler, işlerinin çoğunu oturarak yapmaktadırlar. Uzun süre oturdukları için, karın kaslarında gevşeme, omurgalarda eğrileşme ve intervertebral basınçta artış gibi patolojiler görülebilir. Yüksekliği ayarlanabilir sandalye seçmek etkilidir. Sandalyelerin bel eğrilerine uyacak şekilde bel ve sırt desteğinin olması, uyluk bölgesini içine alabilecek

derinliğe sahip olması, oturma yüzeyinin kişide ağrı oluşturmayacak şekilde dizayn edilmesi, MKİSR'yi önlemede oldukça etkilidir. Çalışma masası, işçinin uygun çalışma postürüne göre ayarlanmalıdır. Otururken, işçinin ayaklarını yükseltecek takoz gibi yükselticilerin konulması çalışma ortamındaki ergonomik riskleri azaltmak adına oldukça etkili yöntemdir (Pun vd., 2004; Abeysekera ve Illankoon 2016; Hossain vd., 2018).

Çalışma ve mola sürelerinin ayarlanması etkili bir korunma yöntemidir. Çalışan kişiler, çalışma sürelerinin tamamında fiziksel strese maruz kalmaktadırlar. Çalışma ve mola sürelerinin düzenlenmesiyle, kas iskelet sisteminde yorgunluğa neden olan durumlardan uzaklaşılır. Çalışma ve mola sürelerinin düzenlenmesi, KİSR semptomu görülen çalışanlarda iyileşme için zaman oluşturabilmekte ve molaların düzenlenmesi de performanstaki verimliliğe katkı sağlamaktadır.

3.3. Tekstil Sektöründe Ergonomik Risklere Yönelik Genel Çözüm Önerileri

Tekstil atölyeleri ve fabrikalarında ürün yoğunluğu ile üretim süreçlerinden kaynaklanan unsurlar, çalışanlar üzerinde termal konfor açısından olumsuz etkiler yaratmakta; aşırı ısıya maruz kalma ya da ısı krampları gibi durumlara neden olmaktadır. Bu durum, uzun vadede çalışanlarda ciddi meslek hastalıklarının ortaya çıkmasına yol açabilmektedir.

Kış ve yaz mevsim farklarının çalışma ortamı üzerindeki etkisi belirlenerek, bu durumun sağlık şikâyetleri ve meslek hastalıkları üzerindeki nedenelliği saptanmalı; bu doğrultuda çeşitli önlemler alınmalı ve mühendislik çözümleri uygulanmalıdır.

Çalışma alanlarının genişletilmesi ya da makine, araç-gereç ve ekipman fazlalıklarının azaltılmasıyla, ısı kaynağı oluşturan unsurların çalışma ortamına olan etkisi en aza indirilmelidir. Doğal havalandırmanın mümkün olmadığı atölye ve fabrikalarda, havalandırma ve hava sirkülasyon sistemleri mühendislik prensipleri doğrultusunda tasarlanmalıdır. Projeye uygun şekilde iklimlendirme ya da havalandırma sistemleri hayata geçirilmelidir.

Isının çalışanlar üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla yansıtıcı paneller kullanılabilir. Yansıtıcı sistemler özel olarak planlanabileceği gibi, mevcut alanlar da düşük yansıma veya ışımaya sahip, ısıyı doğal ya da yapay havalandırma yoluyla kontrol altına alabilen ve konveksiyonel ısıya dönüştürebilen malzemelerle kaplanabilir.

Ortamda rutubet ve nemin azaltılması için buhar kaçakları önlenmeli; zeminlerin her zaman kuru ve temiz kalması sağlanmalıdır. Çalışanların kullandığı ekipman ve kıyafetler, ortama uygun olmalı ve aynı zamanda terleme sonucu oluşan vücut sıvısının ciltten uzaklaştırılmasına imkân tanınmalıdır.

Isı kaynağı içermeyen alanlar dışında kalan üretim bölgeleri, genel işletme alanlarından uygun fiziksel bölmelerle ayrılmalıdır. Yeni işe başlayan ya da uzun süre işten uzak kalmış personelin sıcak çalışma ortamına uyum sağlayabilmesi için gerekli süre tanınmalıdır.

İş kazalarının en sık yaşandığı pazartesi günleri ve vardiya başlangıçlarında, çalışma süreleri kademeli olarak artırılmalıdır. Mola sıklıkları artırılmalı; personelin sıcak ortamdaki uzaklaşabilmesi için gerekli imkânlar sunulmalı ve bu konuda talepler teşvik edilmelidir. Çalışanların yeterli miktarda sıvı tüketmesi sağlanmalıdır.

Tekstil işletmelerinde termal koşullar düzenli aralıklarla izlenmeli ve kayıt altına alınmalıdır. Termal konfor değerlendirmeleri yapılırken; çalışanların görev alanları, vücut duruşları, ortamın termal özellikleri ve metabolizma hızları birlikte göz önünde bulundurulmalıdır.

Özellikle yüksek sıcaklığa maruz kalınan ortamlarda çalışanlar için sağlık kontrolleri yapılmalı; sıcaklık toleransına göre çalışma süreleri ve dinlenme aralıkları belirlenmelidir. Sıcak ortama uyum sağlayamayan personel, daha uygun alanlarda görevlendirilmelidir.

Çalışanlara; sıcak ortam stresi, maruz kalma belirtileri, sıcağa bağlı rahatsızlıklar, yangın durumunda ilkyardım uygulamaları ve ısı stresinin önlenmesine yönelik yöntemler hakkında kapsamlı eğitimler verilmelidir.

4. SONUÇ

Tekstil sektöründe çalışanlar, tekrarlayan işler ve uzun süreli fiziksel zorlanmalar nedeniyle çeşitli sağlık sorunlarıyla karşı karşıya kalmaktadır. Ergonomik risklerin fark edilmesi ve uygun önlemlerin alınması hem çalışanların sağlığını korur hem de iş verimliliğini artırır. Basit düzenlemelerle bile ergonomik koşullar iyileştirilebilir ve iş kazaları ile meslek hastalıklarının önüne geçilebilir.

Tekstil sektöründe görülen ergonomik riskler; tekrarlayan hareketler, statik duruşlar, uygunsuz çalışma yüksekliği ve yetersiz ekipman tasarımı gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Bu durum, özellikle bel, boyun, omuz ve el bileği gibi bölgelerde kas-iskelet sistemi bozukluklarına yol açmaktadır. İş analizleri, ergonomik risk değerlendirme yöntemleri (REBA, RULA vb.) ve iş istasyonlarının uygun şekilde yeniden tasarlanması, bu risklerin azaltılmasında kritik rol oynamaktadır. Bu nedenle, ergonomik müdahaleler mühendislik, yönetsel ve davranışsal çözümlerle bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır.

Tekstil sektöründe ergonomik risklerin yaygınlığı, sektörel düzeyde kapsamlı önlemleri zorunlu kılmaktadır. Çalışma ortamlarının ergonomik yönden yeniden yapılandırılması, iş sağlığı mevzuatında bu alana özel düzenle-

meler yapılması ve periyodik ergonomi eğitimlerinin zorunlu hale getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, işverenlerin bu konuda bilinçlendirilmesi ve teşvik edilmesi, sürdürülebilir bir iş sağlığı ve güvenliği kültürünün oluşturulmasında önemli bir adım olacaktır.

KAYNAKÇA

- Abeysekera, J., & Illankoon, P. (2016). The demands and benefits of ergonomics in Sri Lankan apparel industry: A case study at MAS holdings. *Work*, 55(2), 255–261.
- Abraha, T. H., Demoz, A. T., Moges, H. G., & Ahmmed, A. N. (2018). Predictors of back disorder among Almeda textile factory workers, North Ethiopia. *BMC Research Notes*, 11(1), 304.
- Akbulut, T. (2016). *Ofis çalışanlarında ergonomi* (Yüksek lisans tezi). Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Aksüt, G. (2021). *Ergonomik risklerin değerlendirilmesi ve personel çizelgeleme: Tekstil sektöründe kadın çalışanlar için bir uygulama* (Doktora tezi). Avrasya Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Aksüt, G., Eren, T., & Tüfekçi, M. (2020). Ergonomik risk faktörlerinin sınıflandırılması: Bir literatür taraması. *Ergonomi*, 3(3), 169–192.
- Anonim. (2021, Aralık 15). *Antropometri*. Ankara Üniversitesi Açık Ders. https://acik-ders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/134487/mod_resource/content/1/ANTRO-POMETR%C4%B0.pdf
- Arslan, E. (2018). *Yoğun bakımda çalışan hemşirelerde ergonomik risk analizine göre tekrarlı hareketlerin kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına etkisi* (Yüksek lisans tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.
- Aytaç, S., & Kaya, Ö. (2019). Ergonominin çalışma yaşamındaki önemi. *İş Yazıları Dergisi*, 14, 1–14.
- Bayar, S. B. (2018). *Unlu mamül makineleri üreten fabrika çalışanlarının el ağrısı, üst ekstremité fonksiyonelliği ve kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Gaziantep Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, Türkiye.
- Berber, N. (2020). *REBA, BAUA, NIOSH ve Snook tabloları yöntemleriyle ergonomik risk analizi incelemesi: Gıda sektörüne yönelik bir uygulama* (Yüksek lisans tezi). Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Bulduk, S., Bulduk, E., & Süren, T. (2017). Reduction of work-related musculoskeletal risk factors following ergonomics education of sewing machine operators. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 23(3), 347–352.
- Çiçek, E., Kazanç, N., & Kahya, E. (2018). Bir otomobil işletmesinin montaj hattında ergonomik risk analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(0), 67–82.
- Çiçek, H., & Çağdaş, A. (2020). Ergonomik faktörlerin çalışan performansına olan etkileri. *OHS Academy*, 3(2), 135–143.
- Grobler, S. H., Mostert, K., & Becker, P. (2018). The impact of a change in work posture from seated to stand-up on work-related musculoskeletal disorders among sewing-machine operators. *American Journal of Industrial Medicine*, 61(8), 699–711.

- Hossain, M. D., Aftab, A., Al Imam, M. H., Mahmud, I., Chowdhury, I. A., Kabir, R. I., & Sarker, M. (2018). Prevalence of work related musculoskeletal disorders (WMSDs) and ergonomic risk assessment among readymade garment workers of Bangladesh: A cross sectional study. *PLOS One*, 13(7), e0200122.
- Jakobsen, E. L. T., Biering, K., Kærgaard, A., & Andersen, J. H. (2018). Neck–shoulder pain and work status among former sewing machine operators: A 14-year follow-up study. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 28(1), 80–88.
- Kanniappan, V., & Palani, V. (2020). Prevalence of musculoskeletal disorders among sewing machine workers in a leather industry. *Journal of Lifestyle Medicine*, 10(2), 121.
- Kaya, Ö. (2015). Design of work place and ergonomics in garment enterprises. *Procedia Manufacturing*, 3, 6437–6443.
- Penkala, S., El-Debal, H., & Coxon, K. (2018). Work-related musculoskeletal problems related to laboratory training in university medical science students: A cross sectional survey. *BMC Public Health*, 18(1), 1208.
- Pun, J. C., Burgel, B. J., Chan, J., & Lashuay, N. (2004). Education of garment workers: Prevention of work related musculoskeletal disorders. *AAOHN Journal*, 52(8), 338–343.
- Serkalem, Y. S., Haimanot, G., & Ansha, N. (2014). Determinants of occupational injury in Kombolcha textile factory, North-East Ethiopia. *International Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 5(2), 84–93.
- Shazzad, M. N., Ahmed, S., Haq, S. A., Islam, M. N., Abu Shahin, M., Choudhury, M. R., ... Rasker, J. J. (2018). Musculoskeletal symptoms and disorders among 350 garment workers in Bangladesh: A cross-sectional pilot study. *International Journal of Rheumatic Diseases*, 21(12), 2063–2070.



KARAYOLU ZEMİNLERİNİN TAŞIT KAYNAKLI YIPRANMASI VE KARAYOLU KULLANIM ÖMRÜNÜN ARTIRILMASI İÇİN TAŞIT KAYNAKLI TEDBİRLER

“ ”

M. Akif KUNT¹

Haluk GÜNEŞ²

1 Associate Prof. Dr., Kutahya Dumlupinar University, Tavsanli Vocational School, Motorized Vehicle and Transporting Technologies Department, ORCID: 0000-0001-5710-7253, mehmetakif.kunt@dpu.edu.tr

2 Associate Prof. Dr., Kutahya Dumlupinar University, Tavsanli Vocational School, Motorized Vehicle and Transporting Technologies Department, ORCID: 0000-0002-0915-0924, haluk.gunes@dpu.edu.tr

1. GİRİŞ

Karayolları, dünya genelinde yük ve yolcu taşımacılığının en yoğun gerçekleştiği ulaşım altyapısıdır. Özellikle kara taşımacılığının yoğun yapıldığı ülke ekonomilerinde, ticaretin sürekliliği, ulaşım güvenliği ve şehir içi mobilitenin sağlanması bakımından bu taşımacılık hayati bir rol oynamaktadır. Ancak karayolu altyapısının zamana bağlı olarak **taşıt kaynaklı yükler, tekrarlanan trafik geçişleri, aks basınçları ve dinamik etkilere maruz kalması** nedeniyle karayolu zeminlerinde ciddi fiziksel bozulmalar meydana gelmektedir (Papagiannakis & Masad, 2008; Huang, 2004). Karayolu zemininde meydana gelen şekilsel bozulmalar genellikle rutting (tekerlek izi oluşumu), yorulma çatlakları, asfalt ayrışması, zemin oturmaları ve aşırı deformasyon oluşumu şeklinde kendini göstermektedir. Bu bozulmalar ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu ana arterler ve otoyollarda diğer yollara nazaran daha erken ve daha şiddetli şekilde görülmektedir (Cebon, 1999). Karayollarında meydana gelen deformasyonlar konfor kaybına, yol güvenliğinin azalmasına, taşıma sürelerinin uzamasına ve yüksek bakım-onarım maliyetlerine neden olmaktadır (FHWA, 2017; Yao et al., 2021). Uzun yıllar boyunca trafik yüklemesinin karayolu altyapısı üzerindeki etkisi konusunda yalnızca statik yüklerin değerlendirilmesi genel bir yaklaşım olmuştur. Ancak hareketli taşıtların meydana getirdiği dinamik yüklemeler, yüklemenin yönü ve süresinin değişkenlik göstermesi zemin davranışı ve deformasyonu üzerinde çok daha karmaşık ve zararlı etkiler oluşturmaktadır (Zhou et al., 2014; Luo et al., 2023). Özellikle taşıt geçişleri sırasında oluşan başlıca gerilme yönü dönüşü (Principal Stress Rotation, PSR), geleneksel tasarım yaklaşımlarında sıklıkla göz ardı edilmekte; oysa ki bu dönüşüm, zemin yapısında ek deformasyonlara ve daha fazla kalıcı gerinim birikimine neden olmaktadır (Li et al., 2022). Taşıtların neden olduğu yıpranmalar mühendislik sorunlarına neden olmasının yanı sıra ciddi ekonomik sonuçlara da yol açmaktadır. Erken yol zemin bozulmaları, kamu bütçelerinde plansız ve yüksek maliyetli bakım harcamalarına, taşıma sektöründe zaman ve yakıt kayıplarına ve dolaylı olarak **karbon emisyonlarının artışına** neden olmaktadır (Gillespie, 1992; Gudipudi et al., 2017). Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan çalışmalara göre, karayolu altyapısının bakım ve onarımı için yılda ortalama 100 milyar dolardan fazla harcama yapılmaktadır (ASCE, 2021). Avrupa ülkelerinde ise karayolu ağının %40'ından fazlası kötü veya çok kötü durumda olup, bu durum yılda milyarlarca euroluk ekonomik kayba neden olmaktadır (European Commission, 2020). Türkiye özelinde de Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) 2022 verilerine göre, sadece bölünmüş yolların yıllık bakım-onarım harcaması 10 milyar TL'ye yaklaşmaktadır. Ağır taşıt trafiğinin etkisiyle erken hasar gören yolların ömürlerinin kısalması daha sık yol tamirata, trafik yoğunluklarının artması ve daha fazla yol tamir ve taşıma maliyeti meydana getirmektedir. Bu olumsuzlukların yanında, yol bozulmaları taşıma sürelerini uzatmakta, araç yakıt tüketimini ve bakım giderlerini artır-

makta, çevresel etkileri (örneğin karbon salımı) de çoğaltmaktadır (Gillespie, 1992; Gudipudi et al., 2017). Karayolu üstyapıları taşıt yüklerinin zemine güvenli şekilde iletilmesi ve yolun hizmet ömrü boyunca performansının korunması için çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Bu çok katmanlı yapı üstten aşağıya doğru kaplama tabakası (asfalt veya beton), temel tabakası, alt temel tabakası ve zemin tabakası (subgrade) olmak üzere dört ana kısımdan oluşmaktadır. İfade edilen tabakaların her katmanı taşıt yüklerinin yayılması, su tahliyesi ve deformasyon direnci gibi kritik görevleri yerine getirmektedir (Huang, 2004). En üst kaplama tabakası, doğrudan taşıt yüklerine maruz kalan ve aşınmaya direnci yüksek olması gereken tabakadır. Alt katman temel ve alt temel tabakaları bu yükleri daha geniş alana yayarak zemin tabakasına iletmektedir. Zemin tabakası ise, tüm üstyapıyı destekleyen ve taşıma kapasitesi bakımından sistemin en kritik katmanıdır (Papagiannakis & Masad, 2008). Her bir tabakanın mekanik özellikleri dinamik trafik yüklemeleri altında yol performansını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, yükleme koşullarına ve çevresel etkilere göre uygun malzeme seçimi ve tabaka kalınlıkları, karayolu dayanımı ve uzun ömürlülüğü açısından belirleyici olmaktadır (AASHTO, 2015). Bu çalışmanın temel amacı; taşıtların karayolu zeminlerine olan dinamik etkilerini azaltmaya yönelik alınabilecek **taşıt merkezli mühendislik tedbirlerini** değerlendirmektir. Aks yükü sınırlamaları, akıllı süspansiyon sistemleri, dinamik yük algılayıcıları, lastik-zemin etkileşimi optimizasyonu ve trafik yönetim stratejileri gibi taşıta özgü müdahaleler, karayollarının ömrünü artıracak potansiyele sahiptir. Bu tedbirlerin etkinliğinin değerlendirilmesi, daha sürdürülebilir, güvenli ve ekonomik karayolu altyapılarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Karayolu deformasyonu ile ilgili çalışmalar genellikle zemin özellikleri, iklim koşulları ve malzeme kalitesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Bunula birlikte taşıtlardan kaynaklanan etkenlerin de önemi açıktır. Özellikle ağır taşıtların oluşturduğu aks yükleri, karayolu yıpranmalarının başlıca nedenlerinden biridir (Huang, 2004). Ayrıca lastik türü, hız, taşıt süspansiyon sistemi ve trafik yoğunluğu gibi faktörler de deformasyonu etkiler (Federal Highway Administration, 2017). Ağır taşıtlar yüksek aks yükleri ve tekrarlanan geçiş sayıları ile karayolu üstyapısında fiziksel deformasyonlara ve performans kayıplarına neden olmaktadır. Özellikle ağır vasıta trafiğinin yoğun olduğu yollarda, yol kaplama yüzeylerinin daha kısa sürede yıpranması ve bakım-onarım gereksiniminin artması birçok akademik çalışmada ifade edilmiştir. (Cebon, 1999; Papagiannakis & Masad, 2008). Ağır taşıtların neden olduğu yıpranmalar tekerlek izi oluşumu (rutting) ve yorulma çatlakları oluşturmaktadır. Bu yıpranma ve çatlamlar özellikle sıcak iklim koşullarında ve yetersiz zemin taşıma kapasitesine sahip yollarda daha çabuk meydana gelmektedir. Aks yüklerinin miktarı ile karayolu yıpranma miktarı arasında doğrusal olmayan bir ilişki bulunmaktadır. Yıpranma ve deformasyonlar yükün dördüncü kuvvetiyle orantı-

lı olarak artmaktadır (Huang, 2004). Örneğin, taşıma yükünü iki katına çıkan bir aracın karayolu üzerinde yaklaşık 16 kat daha fazla tahribata neden olacağı ifade edilmektedir (Cebon, 1999).



Şekil 1. Asfalt Yollarda Meydana Gelen Kusur ve Hasar Çeşitleri (İnsapedia, 2018)

Son dönemlerde yapılan araştırmalarda ağır taşıt yüklerinin sadece düşey statik etkilerle sınırlı kalmadığını; aynı zamanda dinamik etkiler ve başlıca gerilme eksenli dönüşü (Principal Stress Rotation - PSR) gibi karmaşık yükleme senaryoları ile zemin davranışını daha da olumsuz etkilediği ifade edilmektedir (Li et al., 2022; Luo et al., 2023). PSR etkisinin dikkate alınmadığı tasarımlarda, yıpranma ve kalıcı deformasyon miktarları olduğundan düşük tahmin edilerek karayolu tasarım ömrünün daha erken sona ermesine durumu ortaya çıkabilmektedir. Bu bağlamda, ağır taşıtların yol altyapısına etkilerinin daha doğru anlaşılması, tasarım süreçlerine yük yönetimi, akıllı süspansiyon sistemleri, lastik özellikleri, aks yükü sınırlandırmaları ve trafik düzenleme stratejileri gibi çok boyutlu yaklaşımların entegre edilmesini gerekli kılmaktadır. Yalnızca zemin ve malzeme bazlı çözümler değil, aynı zamanda taşıt kaynaklı mühendislik önlemleri de yol ömrünün artırılmasında kritik rol oynamaktadır. Taşıt lastiklerinin yapısı, boyutları, hava basıncı ve sırt deseni gibi özellikler lastiklerin zeminle olan temas alanını ve bu temas alanına düşen basıncı belirlemektedir. Geniş ebatlı ve düşük basınçlı lastikler, ağırlık yükünü daha geniş bir alana yayarak zeminde oluşan gerilmeleri azaltmaktadır. Dar ebatlı ve yüksek basınçlı lastikler zemine daha yüksek yük uygulayarak lokal yıpranma riskini artırmaktadır (Moghaddam et al., 2016). Aynı zamanda, radyal lastikler tasarım özellikleri sebebiyle yol kaplamalarında daha düşük yüzey yıpranmasına neden olurken, bias-ply (çapraz katlı) lastikler daha agresif yük dağılımı sergileyerek yüzey bozulmalarını hızlandırabilmektedir (Miller & Bellinger, 2014). Taşıt hızı, yol yüzeyine uygulanan yükün büyüklüğü kadar uygulanma süresi ve frekansını da etkileyen bir parametredir. Yüksek taşıt hızlarında,

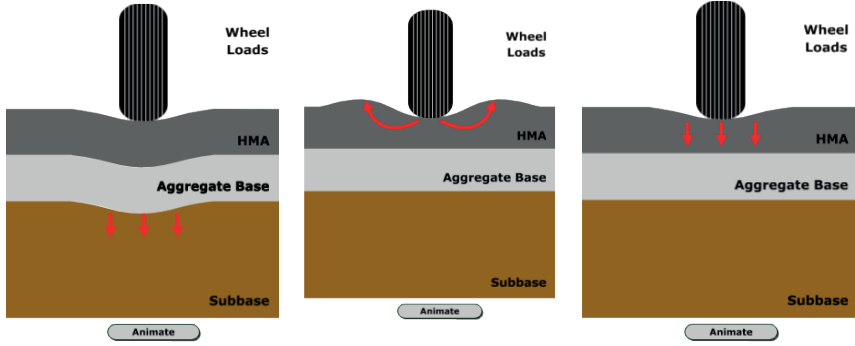
zemine olan yükleme süresinin azalması sebebiyle bazı gerilim etkileri kısa sürede sönümlenebilmektedir. Ancak yüksek taşıt hızı aynı zamanda darbe etkilerinin de artmasına neden olmaktadır (Zhou et al., 2014). Özellikle bozuk zeminlerde veya dalga yüzeyli kaplamalarda, yüksek hızla seyreden ağır taşıtlar, zemine ani ve yüksek genlikli yükler uygulayarak mikroçatlak oluşumu ve zemin gevşemesi gibi yıpranma biçimlerini tetiklemektedir (Xu et al., 2017). Süspansiyon sistemlerinin tipi (mekanik, pnömatik, adaptif vs.) ve süspansiyon sistemlerinin ayar özellikleri, taşıt-zemin etkileşimini etki eden başka bir etkidir. Geleneksel yaprak yaylı süspansiyon sistemleri yükleri zemine daha sert ve ani iletirken, havalı süspansiyon sistemleri yük dağılımını daha yumuşak dağıtarak zemin üzerindeki ani gerilme değişimlerini azaltmaktadır (Cole & Cebon, 1992). Yapılan akademik araştırmalar adaptif süspansiyon sistemlerinin, taşıtın dinamik yük etkilerini azaltarak hem taşıt stabilitesini hem de zemin korumasını artırdığı göstermektedir (Thom & Brown, 2001). Trafik yoğunluğu ise kaplama yıpranmasının zamanla birikimini belirleyen temel etkenlerden birisidir. Aynı ağırlıktaki bir taşıtın bir defa geçişiyle oluşan deformasyon sınırlı seviyelerde iken, bu geçişin binlerce kez tekrar edilmesi zeminde kalıcı deformasyon ve yorulma kaynaklı hasar birikimine neden olmaktadır (AASHTO, 2015). Bununla birlikte sabah ve akşam yoğun trafik saatlerinde artan dur-kalk tipi trafik akışları, özellikle yavaşlama ve hızlanma sırasında uygulanan kayma kuvvetleri nedeniyle kaplama üst yüzeyinde daha fazla bozulmaya yol açmaktadır (Loizos & Plati, 2007).

3. KARAYOLU ZEMİNLERİNDE YIPRANMA MEKANİZMALARI

Karayolu zeminlerinde yıpranma, aşağıdaki başlıca mekanizmalarla ortaya çıkmaktadır:

3.1 Rutting (Tekerlek İzleri Oluşumu): Karayolu kaplamalarında taşıt geçişlerinin neden olduğu, tekerlek izleri boyunca meydana gelen kalıcı deformasyon sonucu Rutting meydana gelmektedir. Bu deformasyon genellikle kaplama üstyapısının sürekli zorlanması sonucu oluşan plastik akma veya zemin oturması neticesinde gelişmekte ve yüzeyde çukurlaşma şeklinde gözlemlenmektedir (Huang, 2004). Rutting oluşumuna iki durum neden olmaktadır: Asfalt karışımının üst tabakalarında meydana gelen plastik deformasyon ve altyapı tabakalarında (özellikle zayıf alt temel ya da zemin) meydana gelen oturmalar. Rutting deformasyonu yol yüzeyine daha yakın katmanlarda genellikle bağlayıcının viskoelastik özelliklerine bağlı iken, yüzeyin alt tabakalarda oluşan deformasyonlar ise malzemenin taşıma kapasitesinin yetersizliğinden kaynaklanmaktadır (Sousa et al., 1994). Asfalt tabakasının kalitesi, agreganın şekli, bağlayıcı oranı ve boşluk yapısı gibi etmenler, rutting performansını doğrudan etkileyen unsurlardır. Ağır taşıtlar, özellikle tekli veya tandem aks düzenlemelerine sahip araçlar, asfalt kaplamalar üzerinde yüksek tekrarlı yüklemeler oluşturarak rutting oluşumunu hızlandırmaktadır. Zemin yükleme süresi, lastik basıncı ve temas yüzeyindeki stres dağılımı rutting deformasyo-

nun derecesini belirlemektedir (Cebon, 1999). Özellikle dar tabanlı veya yüksek basınçlı lastiklerle donatılmış ağır taşıtlar, daha küçük bir yüzey alanına yüksek yük uygulamaları sebebiyle kaplama tabakasında plastik deformasyonu artırmaktadır (Moghaddam et al., 2016).



Şekil 2. Karayollarında Rutting oluşumu (Pavement, 2025)

3.2 Yorulma Çatlakları: Aks yüklerinin aşırı olması asfaltın elastikiyetinin üzerinde zorlamalara neden olmaktadır. Bu çatlaklar taşıt yüklerinin karayolu kaplamalarının üzerinde tekrarlı yüklemesi sonucu ortaya çıkmaktadır ve karayolu kaplamasının hizmet ömrünü önemli ölçüde kısaltmaktadır. Özellikle esnek (bitümlü) kaplama yollarda meydana gelen bu hasar türü tekerlek izleri boyunca gelişen **krokodil derisi çatlağı** görünümünde ortaya çıkmaktadır (Huang, 2004). Zaman içinde ilerleyen bu çatlaklar, yol yüzeyinin su geçirgenliğini artırmakta ve yolun alt tabakalarında ilave hasarlara yol açmaktadır. Yorulma çatlamaasının meydana gelmesi yol yüzey yükleme büyüklüğü, yükleme sayısı, bağlayıcının viskoelastik özellikleri, kaplama kalınlığı ve sıcaklık gibi birçok değişkene bağlıdır.

Taşıt yükünün artması ve yüzeye dağılımı, yorulma çatlağı oluşumunun temel belirleyici nedenlerindendir. Özellikle tır, kamyon gibi taşıtlarda tekli akslarla taşınan yüksek yükler, yol kaplamada yoğun gerilmelere neden olmaktadır. Çoklu aks düzenlemeleri ise taşıt yükünü daha geniş bir yüzeye yayarak yorulma ömrünü uzatabilmektedir. Ayrıca, ağır taşıtların tekrarlı geçişleri, asfaltın alt liflerinde çekme gerilmeleri birikmesine neden olarak mikroyapısal bozulmayı hızlandırmaktadır (Zhou et al., 2014). Taşıt yükünün büyüklüğü kadar, tekrar sayısı da çatlak oluşumunda kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, yol tasarımlarında yükleme tekrarlarının etkisi genellikle eşdeğer tekli aks yükü (ESAL) üzerinden hesaplanmaktadır (AASHTO, 2015). Karayolunun yorulma direnci, önemli ölçüde asfalttaki bağlayıcı yapısına ve karışımın yapısına bağlıdır. Sert bağlayıcılar yüksek sıcaklıklarda daha dayanıklı bir karakter gösterirken, düşük sıcaklıklarda kırılğan bir form oluşturarak çatlaklar meydana getirmektedir. Polimer katkısı olan asfalt bağlayıcılar ve per-

formansa dayalı asfalt karışımları, yorulma dayanımını artıran mühendislik çözümleri olarak tanımlanmaktadır. Sıcaklık dalgalanmaları, ortam nem oranı ve donma-çözülme sıklıkları gibi çevresel etkenler, karayolu kaplama davranışına olumsuz etkiler yaparak çatlak ilerlemesini hızlandırabilir. Karayolu yorulma çatlakları genellikle krokodil çatlağı, blok çatlakları veya ağ tipi çatlaklar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Uluslararası sistemlerde bu çatlaklar genellikle çatlak uzunluğu, derinliği ve yoğunluğuna göre değerlendirilir. Kaplama kalınlığının artırılması, yumuşak geçişli süspansiyonlu taşıtların tercih edilmesi, tekerlek yükü sınırlarının kontrolü ve yük dağılımının iyileştirilmesi karayolu çatlaklılığını azaltma önerileri arasında yer almaktadır (Thom & Brown, 2001).



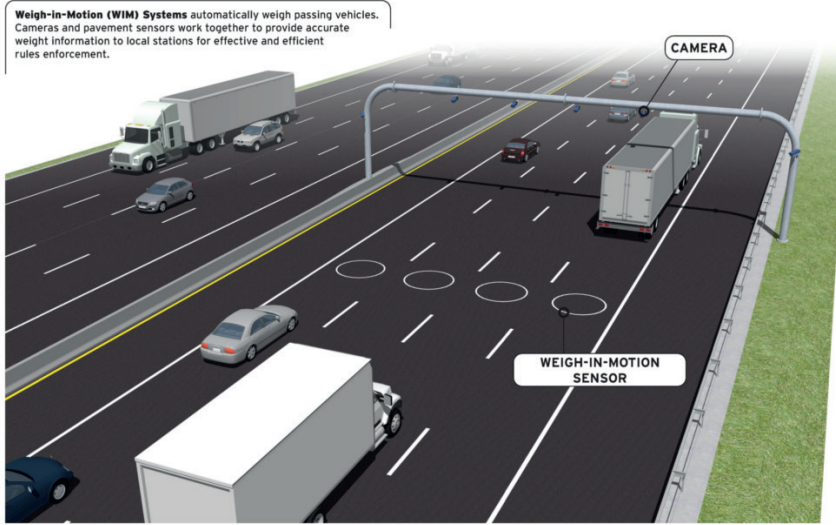
Şekil 3. Karayollarında yorulma çatlaklarının oluşumu (Pavementinteractive, 2025)

4. TAŞIT KAYNAKLI TEDBİRLER

4.1 Aks Yükü Sınırlamaları ve Denetimi

Aşırı aks yükleri karayolu zeminlerinde meydana gelen deformasyonların en önemli nedenlerinden birisidir. Aks yükünün artması kaplama tabakalarında oluşan gerilme ve şekil değiştirme miktarlarını doğrusal olmayan bir şekilde artırmaktadır. Aynı zamanda bu durum kalıcı deformasyon (rutting) ile yorulma çatlaklarının hızla gelişmesine hızlandırmaktadır (Huang, 2004; Monismith & Finn, 2007). Karayolu yıpranmalarını en aza indirmek için pek çok ülkede aks yükü sınırlamaları getirilmiştir. Aks yüklerinin yasal sınırların üzerinde kullanılması durumunda karayolu kaplamasının tasarım ömrü %40 varan oranlarda kısalmaktadır (Papagiannakis & Masad, 2008). Yasal sınırlamaların varlığı tek başına yeterli olmamaktadır. Etkin bir denetim sistemi

ile aşırı yüklü taşıtların tespiti ve önlenmesi bir zorunluluktur. Özellikle Weigh-in-Motion (WIM) sistemlerinin kullanımı, trafik akışı içerisinde aks yüklerinin sürekli ve gerçek zamanlı kontrolüne olanak tanımakta, böylece aşırı yüklü araçların neden olduğu yapısal yıpranmaların önlenmesinde önemli katkı sağlamaktadır (McCall & Vodrazka, 1997).



Şekil 4. Weigh-in Motion sistemi (Finish Line Project, 2025)

4.2 Lastik Tasarımı ve Hava Basıncı Optimizasyonu

Lastik tasarımı ve hava basıncı faktörleri karayolu zemininde meydana gelen yıpranmaların önemli sebeplerindendir. Lastik taban deseni, karkas yapısı ve yüzey temas alanı, yükün kaplama yüzeyine nasıl aktarıldığını doğrudan tesir etmektedir. Profili uygun tasarlanmamış veya yanlış lastik basıncıyla şişirilmiş lastikler, temas alanını artırarak zemin kaplaması üzerinde düzensiz gerilme dağılımına neden olarak rutting (tekerlek izi oluşumu) ile yorulma çatlaklarının hızlanmasına yol açmaktadır (Gillespie, 1992; Uddin et al., 2012). Aşırı yüksek lastik basıncı ise taşıt yükünün daha küçük bir temas yüzey alanında yoğunlaşmasına sebep olmakta ve asfalt yüzeyinde plastik deformasyon riskini artırmaktadır (Huang, 2004). Lastik tasarımlarında kullanılan radyal karkas lastik yapısı ve optimize edilmiş taban desenleri, yükün daha dengeli dağılımını sağlayarak kaplama ömrünü uzatmaktadır (Zhao et al., 2014). Ayrıca, hava basıncı optimizasyonu ile lastik-kaplama etkileşiminde ideal temas koşulları sağlanarak hem yuvarlanma direnci azaltılmakta hem de yol yüzeyinde meydana gelen kalıcı deformasyonlar minimuma indirilebilmektedir (Wong, 2001).

4.3 Akıllı Taşıt Sistemleri ve Hız Yönetimi

Akıllı Taşıt Sistemleri (ITS) ve hız yönetimi uygulamaları, karayolu yüzeylerinde oluşan yıpranmaların azaltılmasında büyük bir öneme sahiptir. Taşıt seyir hızları kaplama üzerinde oluşan dinamik yüklerin büyüklüğünü ve frekansını doğrudan etkilemektedir. Yüksek seyir hızlarında, lastik-yol etkileşimi sonucu dinamik yük amplifikasyonu meydana gelerek kaplama yüzeyinde rutting ve yorulma çatlaklarının hızlanmasına yol açmaktadır (Cebon, 1999). Akıllı hız yönetimi sistemleri, özellikle yoğun trafik kesimlerinde hızın optimum seviyede tutulmasını sağlayarak dinamik yük dalgalanmalarını azaltmakta ve kaplamanın daha dengeli yüklenmesine katkı sunmaktadır (Papagiannakis & Masad, 2008). İfade edilen avantajlara ilaveten ITS tabanlı araç-ağ iletişimi ve otomatik hız uyarlama sistemleri, ani hızlanma veya sert frenleme gibi yüzeye ek yük bindiren davranışları minimize ederek karayolu ömrünü uzatmaktadır (Zhao et al., 2015). Hız yönetiminin akıllı sistemlerle entegrasyonu, hem trafik güvenliği hem de karayolu yüzeylerinin yapısal bütünlüğünün korunması açısından sürdürülebilir bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

4.4 Taşıt-Tabanlı Sarsıntı Ölçüm ve Raporlama Sistemleri

Karayolu altyapısının durumunu izleme amacıyla taşıt-tabanlı sarsıntı ölçüm ve raporlama sistemleri, kaplama yüzeyindeki bozulmaların erken tespiti için önemli bir yöntemdir. Bu sistemler, araçlara entegre edilen ivmeölçerler, GPS modülleri ve veri iletişim üniteleri aracılığıyla kaplama yüzeyinde oluşan titreşimleri kaydetmekte ve zemin bozukluklarının türü ve şiddeti hakkında gerçek zamanlı bilgiler sağlamaktadır (Eriksson et al., 2008). Elde edilen gerçek zamanlı veriler, yol yüzeyindeki çatlaklar, çukurlar, rutting ve yüzey düzensizlikleri gibi deformasyonların haritalanmasına ve bakım planlamalarının daha etkin yapılmasına imkânı sağlamaktadır (Mednis et al., 2011). Taşıt tabanlı sarsıntı verilerinin geniş ölçekte toplanması farklı araç tiplerinin yol yüzeyine uyguladığı dinamik yüklerin karşılaştırılmasına da olanak vererek kaplama ömrü açısından kritik analizler yapılmasına katkılar sağlamaktadır (Zhang et al., 2019).

5. SONUÇ

Karayolu zeminlerinde meydana gelen taşıt kaynaklı yol yıpranmaları, yol altyapılarının hizmet ömrünü önemli ölçüde kısaltan ve bakım maliyetlerini artıran temel sorunlardan birisidir. Mevcut çalışmalar sadece zemin mühendisliği çözümleri ile bu sorunların üstesinden gelmenin mümkün olmadığını göstermektedir. Taşıt kaynaklı yüklerin etkili denetimi karayolu altyapısının uzun ömürlü olması sürecinde tamamlayıcı ve kritik bir rol oynamaktadır. Aks yükü sınırlamaları ve denetimleri, ağır taşıtların yol yüzeyinde oluşturduğu kalıcı deformasyonların azaltılmasında en etkili yöntemlerden birisidir (Owusu-Ababio & Nelson, 2002). Aynı şekilde, lastik profil tasarımı ve doğru hava basıncı optimizasyonu, yükün zemine daha dengeli dağıtılmasını sağlamakta,

rutting ve yorulma çatlaklarının ilerleme hızını düşürmektedir (Gopalakrishnan, 2012). Dinamik yüklerin ve taşıt hızlarının akıllı taşıt sistemleri (ITS) ile kaplama üzerindeki belirleyici etkisi önemini giderek artırmaktadır. Taşıt hızlarının optimizasyonu sayesinde, dinamik yük amplifikasyonu azaltılarak kaplamaların daha uzun süreli performans göstermesi sağlanmaktadır (Zhao et al., 2015). Ayrıca taşıt-tabanlı sarsıntı ölçüm ve raporlama sistemleri, yol yüzeyinde meydana gelen deformasyonların erken tespitinde ve bakım stratejilerinin doğru yönlendirilmesinde yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır (Eriksson et al., 2008; Mednis et al., 2011). Bu teknolojilerin yaygınlaşması, hem bakım-onarım maliyetlerinde düşüş sağlayacak hem de yol güvenliğini artıracaktır.

KAYNAKLAR

- Papagiannakis, A. T., & Masad, E. A. (2008). Pavement design and materials. Hoboken, NJ: Wiley.
- Huang, Y. H. (2004). Pavement analysis and design (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Cebon, D. (1999). Handbook of vehicle-road interaction. Amsterdam: Elsevier.
- Federal Highway Administration. (2017). Truck size and weight program. Washington, DC: U.S. Department of Transportation. Retrieved from <https://www.fhwa.dot.gov/>
- Yao, X., Liu, Y., & Zhang, J. (2021). Real-time traffic load effects on pavement performance. Transportation Infrastructure Geotechnology.
- Zhou, F., Scullion, T., & Hu, S. (2014). Mechanistic-empirical analysis for pavement performance prediction. College Station, TX: Texas Transportation Institute.
- Luo, Y., Zhang, X., & Liu, R. (2023). Multidirectional stress paths and their impact on subgrade response. Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering.
- Li, L., Zhang, Y., & Wang, Z. (2022). Influence of principal stress rotation on deformation behavior of granular materials under traffic loads. Soils and Foundations
- Gillespie, T. D. (1992). Fundamentals of vehicle dynamics. Warrendale, PA: SAE International
- Gudipudi, P., Khazanovich, L., & Smadi, O. (2017). Effect of climate change on pavement performance in the United States. Transportation Research Record, 2639(1), 1-10.
- American Society of Civil Engineers. (2021). 2021 report card for America's infrastructure. Reston, VA: Author.
- European Commission. (2020). The state of EU transport infrastructure. Brussels, Belgium: Author.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2015). AASHTO guide for design of pavement structures. Washington, DC: Author.
- İnşapedia. (2018, Ağustos 16). Asfalt yollarda meydana gelen kusur ve hasar çeşitleri. <https://insapedia.com/asfalt-yollarda-meydana-gelen-kusur-ve-hasar-cesitleri/>
- Moghaddam, S., Ksaibati, K., & Gisi, A. (2016). Influence of tire pressure and axle configuration on flexible pavement responses. Transportation Research Record, 2573(1), 50-57
- Miller, J. S., & Bellinger, W. Y. (2014). Distress identification manual for the Long-Term Pavement Performance Program (LTPP). Washington, DC: Federal Highway Administration
- Xu, J., Huang, B., & Shu, X. (2017). Investigation of vehicle-pavement interaction using a moving load model. Construction and Building Materials, 151, 697-707

- Cole, D. J., & Cebon, D. (1992). Truck suspension design to reduce road damage. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 206(2), 117–127
- Thom, N. H., & Brown, S. F. (2001). The effect of wheel loads and dynamic loading on pavement performance. Journal of Transportation Engineering, 127(2), 126–132
- Loizos, A., & Plati, C. (2007). Evaluating asphalt pavement surface characteristics using ground penetrating radar. Road Materials and Pavement Design, 8(4), 673–687
- Sousa, J. B., Craus, J., & Monismith, C. L. (1994). Mechanisms of permanent deformation in asphalt-concrete mixtures. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 63, 284–309
- Pavement Interactive. (t.y.). Rutting. <https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-management/pavement-distresses/rutting/>
- Thom, N. H., & Brown, S. F. (2001). The effect of wheel loads and dynamic loading on pavement performance. Journal of Transportation Engineering, 127(2), 126–132
- Monismith, C. L., & Finn, F. N. (2007). Pavement structural requirements for heavy axle loads. Transportation Research Record, 1610(1), 1–10. <https://doi.org/10.3141/1610-01>
- McCall, B. J., & Vodrazka, W. C. (1997). State's successful practices weigh-in-motion handbook (FHWA-IF-97-030). Washington, DC: Federal Highway Administration
- Finish Line Project. (n.d.). What is weigh-in-motion (WIM)? Retrieved from <https://i69finishline.com/what-is-weigh-in-motion-wim>
- Gillespie, T. D. (1992). Fundamentals of vehicle dynamics. Warrendale, PA: SAE International
- Uddin, W., Hudson, W. R., & Haas, R. (2012). Public infrastructure asset management. New York, NY: McGraw-Hill
- Wong, J. Y. (2001). Theory of ground vehicles (3rd ed.). Hoboken, NJ: Wiley
- Zhao, Y., Wang, K. C. P., & Li, Q. (2015). Intelligent transportation systems and pavement performance: A review. International Journal of Pavement Research and Technology, 8(2), 67–77. [https://doi.org/10.6135/ijprt.org.tw/2015.8\(2\).67](https://doi.org/10.6135/ijprt.org.tw/2015.8(2).67)
- Eriksson, J., Girod, L., Hull, B., Newton, R., Madden, S., & Balakrishnan, H. (2008). The Pothole Patrol: Using a mobile sensor network for road surface monitoring. In Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys '08) (pp. 29–39). New York, NY: ACM. <https://doi.org/10.1145/1378600.1378605>
- Mednis, A., Strazdins, G., Zviedris, R., Kanonirs, G., & Selavo, L. (2011). Real time pothole detection using Android smartphones with accelerometers. In 2011 International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and

Workshops (DCOSS) (pp. 1–6). New York, NY: IEEE. <https://doi.org/10.1109/DCOSS.2011.5982206>

Zhang, Z., Wang, K. C. P., Li, J. Q., Qiu, Y., & Chen, C. (2019). Vehicle-based continuous pavement roughness monitoring using low-cost sensors. *Automation in Construction*, 101, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.014>

Owusu-Ababio, S., & Nelson, C. R. (2002). Effectiveness of truck weight enforcement in pavement preservation. *Journal of Transportation Engineering*, 128(2), 147–153. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2002\)128:2\(147\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2002)128:2(147))

Gopalakrishnan, K. (2012). Tire-pavement interaction and its effects on pavement performance. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 5(4), 235–242.



**SOSYAL AĞ KULLANIM DÜZEYİNİN
BELİRLENMESİNDE VERİ MADENCİLİĞİ
SINIFLANDIRMA ALGORİTMALARININ
PERFORMANSLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI¹**

“ ”

Bahaddin ERDEM²

¹ 3.rd International Thales Congress on Life, Engineering, Architecture and Mathematics Konferasında özet bildiri olarak sunulmuştur.

² Öğr. Gör. Dr. Bitlis Eren Üniversitesi Adilcevaz MYO Bilgisayar Programcılığı Bölümü. bahaddin2363@gmail.com ORCID No: 0000-0003-3693-0966

1. Giriş

Veri madenciliği, verinin kendisi ile ilgilenerek, verilerden ilginç bilgiler ortaya çıkarmaktadır. Son yıllarda elektronik ortamda büyük miktarda veri bulunması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu tür verilerin büyük uygulamalar için yararlı bilgi ve bilgiye dönüştürülmesine ihtiyaç vardır.

“Sosyal Ağ” terimi, İnternet’te kullanıcıların ortak bir amaç için etkileşim kurmasını veya görüş paylaşmasını kolaylaştıran bir topluluğun oluşturulmasını ifade eder (Mahajan, 2009). Telekomünikasyon alanındaki son teknolojik gelişmeler, İnternet ve World Wide Web (WWW) çevrimiçi uygulamalar için daha fazla fırsatı ortaya çıkardı. Son on yıl içinde Web 2 olarak adlandırılan Web uygulamalarının önemli bir gelişimi, sosyal ağ sitelerinin ortaya çıkması ve yoğun kullanımıdır. Bu sosyal ağ sitelerinin bazı örnekleri Myspace, Facebook, LinkedIn, Twitter, Flickr, Instagram ve WhatsApp’tır (Eid, Al-Jabri, 2016). Genç yetişkinler (18 ila 29 yaş) sosyal medyayı kullanma olasılığı en yüksek olanıdır (Perrin, 2015). Bu nedenle üniversiteler sosyal ağların oluşturulmasında önemli yerlerdir (Mayer ve Puller, 2008).

Ağların ağı olarak bilinen İnternet, bir takım iletişim protokolleri vasıtasıyla bir birine bağlanan ağlardan oluşarak, iletişim ve haberleşme sağlayan evrensel bir bilgisayar ağıdır. Dünya çapında milyonlarca insanı birbirine bağlayan bir ağlar ağıdır. Şimdi internet kullanımı ve sonuçları tartışmalı bir konu haline gelmiştir. Bir yandan modern insanın en önemli ve yararlı ihtiyacı iken, diğer yandan insanlar buna bağımlı (Khan vd., 2014). Kullanıcı sayısı her geçen gün artmaktadır. 2024’te Türkiye’de İnternet Kullanımı %88.8’e çıkmıştır (TUİK, 2020). Yine aynı araştırmaya göre İnterneti sosyal ağlardan en çok %86.2 ile WhatsApp, %71.3 ile You Tube ve %65.4 ile Instagram oldu.

Üniversite öğrencilerinin internet bağımlılığı ve sosyal ağ kullanım düzeylerinin ne derece olumlu olup olmadıklarını belirlemek bu çalışmanın problemini oluşturmaktadır. Bu problem ifadesi ile akademik başarıları, zamanı verimli kullanmaları ve demografik değişkenlerle karşılaştırılarak öğrenci profillerini ortaya çıkarmak çalışmanın önemini oluşturmaktadır. Bu çalışmanın amacı veri madenciliği sınıflandırma yöntemleri kullanarak üniversite öğrencilerinin internet bağımlılığı ve sosyal ağ kullanım düzeylerini tahminde en iyi başarıyı vererek üniversite yönetimleri için önleyici ve geliştirici tedbirlerin sağlanmasına önerilerde bulunmaktır.

2. Sınıflandırma Algoritmaları ve İlgili Çalışmalar

Veri analiz tekniklerinden veri madenciliği yöntemi ile veri tabanlarında yer alan veriler üzerinde farklı amaçlar için istatistiksel analizler yapılmaktadır (Alan, 2012). Veri Madenciliği; çok miktardaki veriden henüz keşfedilmemiş bilgileri bulmak ve bunları karar verme ile eylem planını gerçekleştirmek sürecidir (Dener vd., 2009). Sınıflandırma, özniteliklerin değerlerine

dayalı olarak (kategorik) bir özniteliğin (sınıf) değerini tahmin etmekten oluşur (Romero vd., 2008). Veri madenciliğinde sınıflandırma teknikleri büyük miktarda veri işleyebilir (Nikam, 2015). Sınıflandırma iki aşamalı bir süreçtir. İlk adım sırasında model, eğitim veri setine sınıflandırma algoritması uygulanarak oluşturulur, daha sonra ikinci adımda çıkarılan model, modelin eğitilmiş performansını ve doğruluğunu ölçmek için önceden tanımlanmış bir test veri kümesine karşı test edilir (Nikam, 2015).

Sınıflandırma algoritmalarından literatürde en çok kullanılanlar C4.5 (J48), Yapay Sinir Ağları (YSA), Naive Bayes, K – En Yakın Komşu (IBK), Destek Vektör Makinaları (SVM), Random Forest ve KStar algoritmalarıdır (Tanyıldızı vd., 2018). Bu algoritmalar aşağıda kısaca açıklanmıştır:

Naive Bayes; Naive Bayes (NB) algoritması koşullu olasılıklara dayanmaktadır. NB, geçmiş verilerdeki değerlerin ve değer kombinasyonlarının sıklığını sayarak olasılığı hesaplayan bir formül olan Bayes Teoremini kullanır. Bayes Teoremi daha önce gerçekleşmiş bir olayın olasılığını göz önüne alarak meydana gelebilecek başka bir olayın olasılığını belirler (Vijayarani ve Muthulakshmi, 2013).

Yapay Sinir Ağları (YSA); YSA insanın sinir sisteminden ve beyin öğrenme fonksiyonundan esinlenerek geliştirilmiş bilgisayar sistemleridir (Öztemel, 2012). YSA metodolojisi sınırsız sayıda değişkenle çalışma, veriden öğrenme, genelleme yapma gibi çok önemli özelliklere sahiptir. YSA, doğrusal ve doğrusal olmayan modellemeleri gerçekleştirirken girdi ile çıktı değişkenleri arasında gerekli bir bilgiye ihtiyaç duyulmamaktadır (Ataseven, 2013). YSA örnek verileri kullanarak, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkileri analiz ederek, yeni örnek çıktıları bulmaktadır. Böylece YSA olayları farklı açılardan öğrenebilmek için farklı örnekler kullanmaktadır (Kurt vd., 2017).

Destek Vektör Makinaları (SVM); Veri madenciliği yöntemlerinden Destek Vektör Makineleri (DVM), verileri sınıflandırma veya tahmin amacıyla kullanılan, eğitici makine öğrenmesi yöntemidir. Destek Vektör Makinaları, sınıflandırmayı bir fonksiyon yardımıyla yerine getirir (Özkan, 2013) ve veriyi iki veya daha çok sınıfa ayırma yeteneğine sahiptir (Güran vd., 2014). Sınıflandırma işlemi yapılırken verilerin bir kısmı teste bir kısmı da eğitim için ayrılır. Çünkü sınıflandırıcının doğruluk tahmininde iyi sonuçların elde edilmesi için eğitim verilerinin kullanılması gerekir. Bu verilerin belirlenmiş bir formülle birbirine oranı sınıflandırma için doğruluk oranını etkilemektedir (Çomak, 2004).

J48 Algoritması; Bu veri madenciliği tekniği J48 algoritma sınıflandırma yöntemini kullanır. J48 algoritması en popüler sınıflandırma yöntemlerinden biridir, çünkü yorumlanması ve anlaşılması kolaydır ve elde edilen tahmin sonuçları karar vermede yardımcı olur. Bu veri sınıflandırma algoritması, sayısal (sürekli) ve ayrık verileri işleyebilme, eksik öznitelik değerlerini işle-

yebilme, kolay kurallar üretebilme gibi avantajlara sahip bir karar ağacı yöntemidir (Apriyana vd., 2016).

Random Forest; Sınıflandırıcıda amaç, bir karar ağacı üretmektense birçok sayıda ağacın kararlarını birleştirerek, farklı eğitim kümelerini eğitmektir. Farklı eğitim kümelerinde aynı dağılıma sahip rasgele özellik seçimi kullanılmaktadır. Karar ağaçlarını oluştururken nitelik belirlenir, diğer ağaçlardaki niteliklerle birleştirilerek öznitelik seçilir. Seçilen öznitelik karar ağacına dahil aynı işlemler tekrarlanır (Daş ve Türkoğlu, 2014).

K-Star; K-Star Algoritması, n verisini k kümelerine bölen bir kümeleme yöntemi olarak tanımlanabilir; burada belirli bir kümedeki her veri girişi, ortalama görüntüleme mesafesine yakındır. K-Star Algoritması, mesafeyi ölçmek için entropi kullanan örnek tabanlı bir algoritmadır (Wiharto vd., 2016). K-Star'ın diğer algoritmalara karşı temel farkı, entropi kavramının, ortalama olarak hesaplanan mesafe metriğini tanımlamak için kullanılmasıdır (Hernandez, 2015).

IBk; IBk, aynı mesafe ölçüsünü kullandığı için K-En Yakın Komşu sınıflandırıcı olarak bilinmektedir (Vijayarani ve Muthulakshmi, 2013).. K-En Yakın Komşu Algoritması kümeleme ve sınıflandırma alanlarında kullanımı yaygın ve basit bir yöntemdir. Bu yöntem, sınıf nitelikleri verilen bir gözlem değerlerine yeni değerin dahil edilmesiyle hangi sınıf niteliklerine sahip olduğunu belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. IBk yönteminde öncelikle k değeri ve gözlem değeri seçilir. Gözlem değeri ile örnek kümedeki gözlem değerleri arasındaki uzaklıklar hesaplanır ve en küçük uzaklığa sahip k sayıda gözlem seçilir. Seçilen gözlemler içinde sayısal karşılaştırma yapılarak en yüksek sayıya ulaşan sınıf seçilir (Aydemir, 2017).

Son on yılda veri tabanlarında (hem tıbbi hem de diğer alanlarda) toplanan ve depolanan veri miktarı, otomatik veri toplamayı mümkün kılan yazılım özelliklerindeki ve donanım araçlarındaki (donanım ve yazılım maliyetindeki düşüş trendi ile birlikte) ilerlemeleri nedeniyle önemli ölçüde artmıştır. Sonuç olarak, geleneksel veri analizi teknikleri, bu tür verilerin işlenmesi için yetersiz hale gelmiştir ve yeni teknikler geliştirilmiştir (Delen, 2005). Aşağıda tablo 2. 1.'de Literatürde ilgili alanda yapılmış çalışmaların başarı oranları verilmiştir.

Tablo 2.1. Literatür çalışmalarından bazı sınıflandırma algoritmalarının başarımlarını oranları

Veri Seti	Çalışma Yılı	Kullanılan Algoritmalar	Ölçüt	En İyi Tahmin Başarımı
20000'den fazla hasta verisi (Delen, 2005)	2005	Karar Ağacı, Yapay Sinir Ağları ve Lojistik Regresyon	Doğruluk	%93.6 Karar Ağacı
533 Üniversite 1.Sınıf öğrencileri (Dewatripont vd., 2009)	2009	Doğrusal Ayırma Analizi, Yapay Sinir Ağları ve Karar Ağacı	Doğruluk	%57.35 Doğrusal Ayırma Analizi
6500 diyabet hastası (Tapak vd., 2013)	2013	Lojistik Regresyon, Doğrusal Ayırma Analizi, Destek Vektör Makineleri, Yapay Sinir Ağları ve Random Forest	Doğruluk	%98.6 Destek Vektör Makineleri
SEER veri kaynağı (Coşkun ve Baykal, 1992)	1992	J48, Naive Bayes, Lojistik Regresyon ve KStar	F	%90.72 J48
1025 hasta verisi (Yücebaş, 2018)	2018	Karar Ağacı, Destek Vektör Makinesi ve Naive Bayes	Kesinlik	%75.68 ve %78.6 Destek Vektör Makinesi
205 konut verisi (Çomak, 2004)	2004	Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makinesi ve Çoklu Regresyon	Doğruluk	%82.37 Destek Vektör Makinesi
180 hasta verisi (Tanyıldızı vd., 2018)	2018	Naive Bayes, Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makinesi, IBk, KStar, J48, RandomForest ve Bulanık Tabanlı Kural	Doğruluk	1.İmmünoterapi için %85.55 RandomForest 2.Kriyoterapi için %96.66 KStar
1387 Üniversite Öğrencisi (Aydemir, 2017)	2017	J48, Naive Bayes, Destek Vektör Makinesi, Yapay Sinir Ağları ve IBk	Doğruluk	Akademik ortalamaya göre %59.98 Destek Vektör Makinesi ve Mezuniyet yılına göre %81.326 J48
961 hasta verisi (Mokhtar ve Elsayad, 2013)	2013	Karar Ağacı, Destek Vektör Makinesi ve Yapay Sinir Ağları	Doğruluk	%81.25 Destek Vektör Makinesi
86 Üniversite öğrencisi (Cihan ve Kalıpsız, 2015)	2015	J48, NB, BayesNet, SMO, MLP, IBk ve KStar	Doğruluk	%96.51 Çok Katmanlı Algılayıcı
182607 Kayıt verisi (Kıyak, 2006)	2006	Yapay Sinir Ağları, Karar Ağaçları ve Naive Bayes	Doğruluk	%89.48 Karar Ağacı
573 hasta verisi (Dangare ve Apte, 2012)	2012	Karar Ağaçları, Naif Bayes ve Yapay Sinir Ağları	Doğruluk	%100 Yapay Sinir Ağları
303 hasta verisi (Kumari ve Godara, 2011)	2011	RIPPER sınıflandırıcısı, Karar Ağacı, Yapay sinir ağları ve Destek Vektör Makinesi	Doğruluk	%84.12 Destek Vektör Makinesi
584 hasta verisi (Vijayarani ve Dhayanand, 2015)	2015	Naive Bayes ve Destek Vektör Makinesi	Doğruluk	%76.32 Destek Vektör Makinesi
10330 Üniversite öğrencisi (Kabakchieva, 2012)	2012	OneR Kural Öğrenen, Karar Ağacı, Sinir Ağı ve K-En Yakın Komşu	Doğruluk	% 73.59 Yapay Sinir Ağları
2303 anket verisi (Nancy ve Ramani, 2011)	2011	K-En Yakın Komşu, ID3, C4.5, RandomForest,	Hata Oranı	0.0004 RandomForest

3. Materyal ve Metot

Bu bölümde kullanılan yöntem ve materyallere ilişkin bilgiler ve deneysel sonuçlar verilmiştir.

3.1. Veri Setleri

Bu çalışmada literatürde en çok kullanılan sınıflandırma algoritmalarından Naive Bayes, K-Star, Random Forest, KNN, Yapay Sinir Ağları, J48 ve Destek Vektör Makineleri kullanılmıştır.

Araştırmada sosyal ağ kullanım düzeyini belirlemek amacıyla 1998 yılında Young tarafından hazırlanan ve Balta ile Horzum tarafından Türkçeye çevrilen (Esenyel, 2017) ve 20 maddeden oluşan “sürekli”, “arada bir” ve “hiçbir” olmak üzere üçlü likert tipi “İnternet Bağımlılığını Değerlendirme Ölçeği” kullanılmıştır. Ölçeğin önemli maddeleri Tablo 3.1.’de verilmiştir.

Tablo 3.1. İnternet bağımlılığını değerlendirme ölçeği

i3.	İnternette cinsel içerikli siteleri ziyaret ediyor musunuz?
i11.	Kendinizi tekrar internete girmeyi hayal ederken buluyor musunuz?
i14.	İnternet nedeniyle gece geç vakitlere kadar oturup uykusuz kaldığınız oluyor mu?
i15.	Günlük işlerinizi yaparken interneti düşünüyor, internette olduğunuz zamanlarla ilgili fantezi kuruyor musunuz?
i19.	Başkaları ile dışarıda zaman geçirmek yerine internette daha fazla vakit geçirmeyi tercih ettiğiniz oluyor mu?
i20.	İnternete girmediğiniz zaman keyifsiz, hırçın, sinirli oluyor musunuz?

Toraman (2013) tarafından hazırlanan 25 maddelik “sürekli”, “arada bir” ve “hiçbir” olmak üzere üçlü likert tipi “Sosyal Ağ Kullanım Düzeyini Belirleme Ölçeği” formları kullanılmıştır. Ölçeğin önemli maddeleri Tablo 3.2.’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Sosyal ağ kullanım düzeyi belirleme ölçeği

s1.	Sosyal ağlarda müzik, resim, video, belge paylaşıyor musunuz?
s2.	Sosyal ağlarda fikirlerinizi paylaşıyor musunuz?
s10.	Sosyal ağlarda çeşitli gruplara üye oluyor musunuz?
s11.	Sosyal ağlarda yürütülen kampanyalara katılıyor musunuz?
s15.	Sosyal ağlarda yaptığınız paylaşımlar bütün kullanıcılar tarafından görüntülenebiliyor mu?
s16.	Sosyal ağlarda tanımadığınız kişileri arkadaş listenize ekliyor musunuz?

Ölçekler Bitlis Eren Üniversitesi'nde öğrenim gören 858 gönüllü katılımcı tarafından doldurulmuştur. Katılımcılara ait demografik bilgiler Tablo 3.3'te gösterilmiştir:

Tablo 3.3. Sosyal ağ kullanım bilgileri.

Cinsiyet	Sayı	Evet	%	Hayır	%
Kız	388	231	59.5	157	40.5
Erkek	470	383	81.5	87	19.5
Toplam	858	614	100	244	100

Tablo 3.3'te cinsiyete bağlı olarak sosyal ağ kullanım oranları verilmiştir. Erkeklerin %81.5'i (383) sosyal ağ kullanırken, kızların %59.5'i sosyal ağ kullanmaktadır.

Veriler excel formatında hazırlanarak karma.arff adlı metin dosyasına yazdırılmıştır. Veri seti karma.arff metin dosyasının bir örneği aşağıda verilmiştir.

```
@relation karma
@attribute cins {erkek,bayan}
@attribute alan {EA,SAY,SOZ}
@attribute gelir {iyi,az,orta}
@attribute bilg {evet,hayir}
@attribute SosAg {evet,hayir}
@attribute yilbilg {cokyil,azyil,ortayil}
@attribute bilgsaat {az,cok,orta}
@attribute intsaat {orta,az,cok}
@attribute i1 { hicbir,aradabir,surekli }
@attribute i2 {hicbir,aradabir,surekli}
@attribute i3 {hicbir,aradabir,surekli}
@attribute i4 { hicbir,aradabir,surekli } ....
```

3.2. Deneysel Süreç

Veri madenciliğinde en çok üç yöntem kullanılmaktadır:

- Sınıflandırma
- Birliktelik Kuralları

• Kümeleme

Bu çalışmada sınıflandırma, birliktelik kuralları ve kümeleme algoritmaları kullanılmıştır. Uygulama işlemleri ücretsiz bir yazılım olan WEKA 3.8.3 ile gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işleminden önce hangi algoritmanın sosyal ağ kullanım düzeyini en iyi performans ile ölçebilecek özellik seçimleri uygulanmıştır. Özellik seçiminin bulunması için bilgi kazancı ve bilgi kazancı için de entropi değerleri kullanılmıştır. Kazanç ölçütleri hesaplanarak en yüksek değerden başlayarak performansı en iyi olan algoritmalar sıralanmıştır.

Sınıflandırma algoritmaları uygulanarak her sınıflandırmada, Üniversite öğrencilerinin sosyal ağ kullanım düzeyi tahmininde sınıflandırma başarımı en yüksek olan algoritmalar kullanılmıştır.

Sınıflandırma başarımı için doğruluk, duyarlılık ve özgünlük değerlerinin hesaplanması için karmaşıklık matrisi kullanılmıştır. Karmaşıklık matrisinin genel yapısı Tablo 4.2.'de verilmiştir:

Tablo 3.4. Karmaşıklık matrisi.

Gerçek Sınıf	Öngörülen Sınıf	
	EVET	HAYIR
	EVET	TP FN
	HAYIR	FP TN

Tablo 3. 4.'te yatay değerler gerçek sınıf, dikey değerler ise tahmini değerleri vermektedir. Tablodaki veriler kullanılarak doğruluk, duyarlılık ve özgünlük değerlerine ulaşılabilir. Yöntemin geçerlilik testlerinden biri doğruluk oranıdır ve bütün veri seti içinden ne kadarını doğru tahmin ettiğini ifade etmektedir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$$

Başka bir özellik ise duyarlılıktır. Duyarlılık, veri setindeki toplam pozitif örnek içinden doğru sınıflandırılmış değerleri ifade etmektedir.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TP}{TP+FN}$$

Diğer bir ölçüt ise özgünlüktür. Özgünlük ise veri setinde yer alan gerçekte yanlış olanların yanlış olarak tahmin edilmesi oranıdır.

$$\text{Özgünlük} = \frac{TN}{TN+FP}$$

3.3. Uygulama

Çalışmanın amacı doğrultusunda veri setini kullanarak sınıflandırma algoritmalarından etkili tahminler ortaya çıkarmak için her bir sınıflandırma algoritmaları için, test seçeneklerinden 10–kat çapraz doğrulama metodu kullanılmıştır. Veri seti üzerinden sosyal ağ kullanımı tahmininde başarı oranı en yüksek olan algoritmalar kullanılmıştır.

3.4. Deneyisel Bulgular ve Sonuçlar

Çalışmanın amacı doğrultusunda veri setini kullanarak sınıflandırma algoritmalarından etkili tahminler ortaya çıkarmak için her bir sınıflandırma algoritmaları için, test seçeneklerinden 10–kat çapraz doğrulama metodu kullanılarak, veri seti üzerinden sosyal ağ kullanımı tahmininde başarı oranı en yüksek olan algoritmalar kullanılmıştır.

Sınıflandırma için Sosyal Ağ Kullanım Düzeyini Belirleme Ölçeği ile çıkış değeri olarak demografik sorulardan sosyal ağ kullanımı (evet/hayır) işleme alındı. Buna göre sınıflandırma algoritmaları analiz değerleri Tablo 3.5.’te açıklanmıştır:

Tablo 3.5. İnternet bağımlılığı değerlendirme ölçeği sınıflandırma başarımları.

	Doğruluk	Duyarlılık	Özgünlük
Naive Bayes	0.718	0.715	0.725
IBk	0.727	0.803	0.537
KStar	0.754	0.782	0.684
J48	0.781	0.871	0.553
RandomForest	0.772	0.878	0.504
Yapay Sinir Ağları (YSA)	0.793	0.871	0.594
Destek Vektör Makinesi (SVM)	0.786	0.844	0.639

Tablo 3.5.’te sınıflandırma algoritmalarına ait doğruluk, duyarlılık ve özgünlük ölçüt değerleri verilmiştir. Yapay Sinir Ağlarının sınıflandırma da daha yüksek bir başarıma sahip olduğu ve Naive Bayes’in ise sınıflandırma da en düşük başarıma sahip olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 3. 6.’da Yapay Sinir Ağlarına ait karmaşıklık matrisi verilmiştir.

Tablo 3.6. Yapay sinir ağıları karmaşıklık matrisi

Doğru Sınıf	Öngörülen Sınıf	
	Sınıf=1	Sınıf=0
	Sınıf=1	Sınıf=0
Sınıf=1	535	79
Sınıf=0	99	145

Sınıflandırma için Sosyal Ağ Kullanım Düzeyini Belirleme Ölçeği ile çıkış değeri olarak demografik sorulardan sosyal ağ kullanımı (evet/hayır) işleme alındı. Buna göre sınıflandırma algoritmaları analiz sonuçları Tablo 3.7.'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Sosyal ağ kullanım düzeyini belirleme ölçeğine göre sınıflandırma başarımları

	Doğruluk	Duyarlılık	Özgüllük
Naive Bayes	0.818	0.831	0.787
IBk	0.822	0.871	0.697
KStar	0.825	0.863	0.730
J48	0.862	0.943	0.660
RandomForest	0.867	0.950	0.660
Yapay Sinir Ağları (YSA)	0.862	0.920	0.717
Destek Vektör Makinesi (SVM)	0.864	0.922	0.717

Tablo 3. 7.'de sınıflandırma algoritmalarına ait doğruluk, duyarlılık ve özgüllük ölçüt değerleri birlikte verilmiştir. Random Forest sınıflandırma da daha yüksek bir başarıma sahip olduğu ve Naive Bayes'in ise sınıflandırma da en düşük başarıma sahip olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 3. 8.'de Random Forest'a ait karmaşıklık matrisi verilmiştir.

Tablo 3.8. Random Forest karmaşıklık matrisi

Doğru Sınıf	Öngörülen Sınıf	
	Sınıf=1	Sınıf=0
	Sınıf=1	Sınıf=0
Sınıf=1	583	31
Sınıf=0	83	161

3. Tartışma

Çalışmanın literatür bölümünde veri madenciliği sınıflandırma algoritmaları kullanılarak, veri setlerinden daha anlamlı veriler elde edildiği anlaşılmaktadır. Alan yazında yapılan çalışmalarda kullanılan veri setlerinin büyüklüğü, tipi, bilgi işlem süresi, kullanılan parametreler gibi faktörler, sınıf-

landırma algoritmalarının başarımlarında farklılıklar oluşturabilmektedir.

Bu anlamda literatürde yapılan çalışmalardan; Karar ağacı, Bayes Ağı ve K-En Yakın Komşu algoritmalarının yer aldığı bir çalışmada karşılaştırmak için, doğru sınıflandırılmış örnekleri, yanlış sınıflandırılmış örnekleri, zaman, kappa istatistiği, göreceli mutlak hata ve kök göreceli kare hatası parametreleri dikkate alınmıştır (Shah ve Jivani, 2013).

Bir anket çalışmasında; veri madenciliği yazılımı kullanılarak altı sınıflandırma algoritması (Naive Bayes, Bayesian ağları, J48, RandomForest, çok katmanlı algılayıcı ve lojistik regresyon) uygulanmıştır. Bu algoritmalar, kök ortalama hata kareleri, alıcı çalışma karakteristik alanı, doğruluk, kesinlik, F-ölçümü ve hatırlama istatistiksel ölçütleri göz önüne alınarak karşılaştırılmıştır. Bulunan en iyi algoritma - lojistik regresyon - elde edilmiş ve olasılık oranlarını kullanarak varsayılan riske neden olan nitelikleri belirlemek için gerçek veri kümesine uygulanmıştır (Çığışar ve Ünal, 2019).

Başka bir makalede, üç sınıflandırma algoritması arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Bunlar (K- En Yakın Komşu sınıflandırıcı, Karar ağacı ve Bayes ağı) algoritmalarıdır. Çalışmada gerekli performans verimliliği ve zaman karmaşıklığı açısından sınıflandırma için her algoritmanın gücü ve doğruluğu ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Veri madenciliği sınıflandırma algoritmaları (Karar ağacı, KNN, Bayes Ağı) arasında karşılaştırma ve bahsedilen algoritmaların zaman karmaşıklığının analizi üzerine yapılan araştırmada, tüm karar Ağacı algoritmalarının daha düşük hata oranına sahip olduğu ve Bayes Ağı'nın KNN'ye kıyasla daha kolay algoritma olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Karar ağacı algoritmasının dezavantajları, süreci doğru bir şekilde tamamlamak için tipik olarak belirli bilgi istatistiksel deneyim gerektirir. Karar ağacına değişkenleri dahil etmek, yinelenen bilgileri hariç tutmak da zor olabilir. Çalışmada birçok özel karar ağacı algoritmasından bahsedilmiş ve CART karar ağacı algoritmasının, en kısa yürütme süresine sahip olan verilerin sınıflandırılması için en iyi algoritma olduğu belirtilmiştir. Veri kümesine uygulanan veri madenciliği tekniğinin sonucu olarak, Bayes sınıflamasının karar ağacı ile aynı doğruluğa sahip olduğunu, ancak KNN, Sinir Ağları, Kümelenebilirlik dayalı sınıflandırma gibi diğer öngörücü yöntemlerin iyi sonuçlar vermediğini göstermiştir. Bu nedenle veri madenciliğindeki (Karar ağacı, KNN, Bayes Ağı) algoritmaları arasında, KNN'nin daha az doğrulukta olduğu, Karar ağacı ve Bayes Ağı'nın eşit olduğu anlaşılmıştır. Ancak Karar ağacı algoritması genetik algoritma ile birleşmişse, bu şekilde Karar ağacı algoritmasının doğruluğu artacak ve daha güçlü hale gelecek ve diğer iki algoritma arasında en iyi model yaklaşımı olarak ortaya çıkacaktır. Bayes algoritması ve KNN kullanılarak sonuçların verimliliği, veri setlerinin sayısı ve öznel nitelikler ile artırılabilir. Zaman sorunu için, istatistikleri sınıflandırıcı için daha hızlı algoritmanın Naive-Bayes algoritması olduğu en yavaş algoritmanın ise KNN algoritması olduğu anlaşılmıştır (Abd Al-Nabi ve Ahmed, 2013).

Uygulama bölümünde 858 üniversite öğrencisi üzerinde yapılan bir anket çalışmasında, öğrencilerin sosyal ağ kullanım düzeylerinin tahmininde veri madenciliği algoritmalarının başarımlarının tespit edilmesi ve birliktelik kuralları oluşturulmaya çalışılmıştır. Çalışmada sınıflandırma algoritmalarına ait doğruluk, duyarlılık ve özgünlük ölçüt değerleri dikkate alınmıştır. Birliktelik kurallarında Apriori algoritması kullanılmıştır. İnternet bağımlılığını değerlendirme anketine verilen yanıtları doğru tahmin etme başarımlarını en iyi oranla Yapay Sinir Ağları ve en düşük oran ise Naive Bayes sınıflandırıcısı olmuştur. Sosyal ağ kullanım düzeylerini belirlemeye yönelik yapılan anket yanıtlarını en iyi başarımla tahmin etmeye çalışan algoritma ise RandomForest ve en düşük başarımla tahmini ise Naive Bayes tarafından üretilmiştir. Her iki ölçekte de Naive Bayes başarımlarının düşük olmasıdır.

4. Sonuç

Veri madenciliğinin temel amacı veri setlerinde gizli kalmış yeni verileri keşfetmektir. Bu amaçla kullanılan verilerin büyüklüğü ve kullanım alanları dikkate alındığında veri madenciliği yöntemleri kaçınılmaz olmuştur. Çalışmanın bu kısmında ilgili alanda yapılan çalışmalardan yola çıkarak araştırmacılar için sonuçlar üretmektir.

Literatürde yapılan veri madenciliği tekniklerinin karşılaştırılması ve bir takım uygulamaların geliştirilerek anlamlı sonuçlar üretmek uzmanlık gerektiren çalışmalardır. Veri madenciliği alanında yapılan çalışmalar gelecekte yapılacak çalışmalara da yön vermektedir. Yapılan çalışmalarda sürekli değişim ve yeni bir anlayış sağlama yeteneği, Veri Madenciliği sınıflandırma metodolojileri için temel avantajdır ve gelecekte Veri Madenciliği uygulamalarının merkezinde yer alacaktır. Yapılan çalışmalarda veri madenciliğinin yaşamın tüm disiplin alanlarında yerini aldığı ve kullanılan bilim metodolojileri, anketler ve istatistiksel yöntemler ile sık kullanılan bir araştırma teknolojisine dönüştüğü anlaşılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında üniversitede okuyan gençlerin İnternet bağımlılığına ve sosyal ağ kullanımına bağlı olarak veri madenciliği sınıflandırma algoritmaları kullanılarak bir sınıflandırma yapılmıştır. İnternet Bağımlılığını Değerlendirme Ölçeğine göre yapılan sınıflandırmada %79.25 başarımla Yapay Sinir Ağları daha başarılı bulunmuştur. Sosyal Ağ Kullanım Düzeyini Belirleme Ölçeğine göre yapılan sınıflandırmada %86.71 başarımla RandomForest algoritması daha başarılı bulunmuştur. Sonuçlar göstermektedir ki veri madenciliği sınıflandırma algoritmaları kullanarak üniversite öğrencilerinin sosyal ağ kullanım düzeyleri belirlenebilmektedir.

5. Öneriler

Bugün üniversiteler çok karmaşık ve oldukça rekabetçi bir ortamda faaliyet göstermektedir. Modern üniversiteler için temel zorluk gelecekteki eylem-

ler için bir strateji oluşturmaktır. Üniversite yönetimi, kabul edilen öğrencilerin profiline daha fazla odaklanarak [27]; mevcut verilerden veri madenciliği yöntemleri ile daha anlamlı veriler elde ederek beyin temelli öğrenme, yaşam boyu öğrenme, çoklu zeka kuramı ve bireysel farklılıkların dikkate alındığı öğretim süreçlerinde öğrencilerin belirli özelliklerinden daha önceden haberdar olmaları faydalı olabilir.

KAYNAKLAR

- Abd Al-Nabi, D.L. ve Ahmed, S.S. (2013). Survey on Classification Algorithms for Data Mining: (Comparison and Evaluation). *Computer Engineering and Intelligent Systems*, cilt 4(8), ss. 18-2
- Alan, M.A., (2012). Veri Madenciliği ve Lisansüstü Öğrenci Verileri Üzerine Bir Uygulama. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, cilt 33, ss. 165-173
- Apriyana, K.E., Putra, G.K.K. & Indrawan, G. (2016). Teknik Data Mining Untuk Mendapatkan Pola Transaksi Hotel Bendesa Dengan Algoritma J48. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Teknik Informatika*, Denpasar-Bali, 27 Agustus 2016
- Ataseven, B. (2013). Yapay Sinir Ağları ile Öngörü Modellemesi. *Öneri Dergisi*, cilt 10(39), ss. 101-115.
- Aydemir, B. (2017). *Veri Madenciliği Yöntemleri Kullanarak Meslek Yüksekokulu Öğrencilerinin Akademik Başarı Tahmini*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Cihan, P. Ve Kalıpsız, O. (2015). Öğrenci Anketlerini Sınıflandırmada En Başarılı Algoritmanın Belirlenmesi, *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, Cilt 8(1), ss. 41-49.
- Coşkun, C. Ve Baykal, A. (1992). Veri Madenciliğinde Sınıflandırma Algoritmalarının Bir Örnek Üzerinde Karşılaştırılması. <https://ab.org.tr/ab11/bildiri/67.pdf> Erişim Tarihi: 02.07.2020
- Çığışar, B. Ve Ünal, D. (2019). Comparison of Data Mining Classification Algorithms Determining the Default Risk. *Scientific Programming*, cilt 2019, ss. 1-8.
- Çomak, E. (2004). *Destek Vektör Makineleri Çoklu Sınıf Problemleri İçin Çözüm Önerileri*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya
- Dangare, C.S. ve Apte, S.S. (2012). Improved Study of Heart Disease Prediction System using Data Mining Classification Techniques. *International Journal of Computer Applications*, cilt 47(10), ss. 44-48.
- Daş, B., Türkoğlu, İ. (2014). DNA Dizilimlerinin Sınıflandırılmasında Karar Ağacı Algoritmalarının Karşılaştırılması. *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, 27-29 Kasım 2014, Bursa.
- Delen, D., Walker, G. Ve Kadam, A. (2005). Predicting Breast Cancer Survivability: A Comparison of Three Data Mining Methods. *Artificial Intelligence in Medicine*, cilt 34(2), ss. 113-127
- Dener, M., Dörterler, M., Orman, A. (2009). Açık Kaynak Kodlu Veri Madenciliği Programları: Weka'da Örnek Uygulama. *Akademik Bilişim 11-13 Şubat 2009* Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Dewatripont, M., Clement, F.T. ve Wilkin, L. (2009). Higher Education in A Globalized World: Governance, Competition and Performance, <https://ideas.repec.org/p/ulb/ulbeco/2013-57555.html> Erişim Tarihi: 23.06.2020.
- Eid, M.I.D., Al-Jabri, İ.M. (2016). Social Networking, Knowledge sharing, and Student Learning: The Case of University Students. *Computers & Education*. Cilt 99, ss. 14-27.
- En son kullanım zamanına ve cinsiyete göre bilgisayar ve İnternet kullanım oranları, 2004-2019. http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1028 Erişim tarihi: 22.01.2020.
- Esenyel, N.M. (2017). İktisat Fakültesi Öğrencilerinde İnternet Bağımlılığı Testi. *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi*, cilt 26, ss. 3-52

- Güran, A., Uysal, M. Ve Doğrusöz, Ö. (2014). Destek Vektör Makineleri Parametre Optimizasyonunun Duygu Analizi Üzerindeki Etkisi. *DEÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 16(48), ss. 86-93
- Hernandez, D.C.J. (2015). An Experimental Study of K* Algorithm. *I.J. Information Engineering and Electronic Business*, cilt 2, ss. 14-19
- Kabakchieva, D. (2012). Student Performance Prediction by Using Data Mining Classification Algorithms. *International Journal of Computer Science and Management Research*, cilt 1(4), ss. 686-690.
- Khan, R.B., Salim, M., Bilal, M., Hussain, A. & Haseeb, M. (2014). The Relationship Between Internet Addiction and Anxiety Among Students of University of Sargodha. *International Journal of Humanities and Social Science*, cilt 4(1), ss. 288-293
- Kıyak, E. (2006). *CRISP-DM Yöntembilimi Kullanılarak Deniz Kuvvetleri Verisi Üzerinde Veri Madenciliği Sınıflandırma Tekniklerinin Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kumari, M. Ve Godara, S. (2011). Comparative Study of Data Mining Classification Methods in Cardiovascular Disease Prediction. *IJCST*, cilt 2(2), ss. 304-308.
- Kurt, R., Karayılmazlar, S., İmren, E. Ve Çabuk, Y. (2017). Yapay Sinir Ağları ile Öngörü Modellemesi: Türkiye Kağıt-Karton Sanayi Örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, cilt 19(2), ss. 99-106.
- Mahajan, P. (2009). Use of Social Networking in a Linguistically and Culturally Rich India. *The International Information & Library Review*. Cilt 6(1), ss. 129-136
- Mayer, A., Puller, S.L. (2008). The Old Boy (and Girl) Network Formation on University Campuses. *Journal of Public Economics*, Cilt 92, ss. 329-347
- Mokhtar, S.A. ve Elsayad, A.M. (2013). Predicting the Severity of Breast Masses with Data Mining Methods. *International Journal of Computer Science Problems (IJCSI)*, cilt 10(2), ss. 1-9
- Nancy, P. Ve Ramani, R.G. (2011). A Comparison on Performance of Data Mining Algorithms in Classification of Social Network Data. *International Journal of Computer Applications*, cilt 32(8), ss. 47-53.
- Nikam, S.S. (2015). A Comparative Study of Classification Techniques in Data Mining Algorithms. *Oriental Journal of Computer Science & Technology*, cilt 8(1), ss. 13-19
- Özkan, Y. (2013). *Veri Madenciliği Yöntemleri*. Papatya Yayıncılık, 2. Basım Ocak 2013, İstanbul. ss: 185.
- Öztemel, E. (2012). Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık. http://www.papatya.gen.tr/PDF/yapay_sinir_aglari.pdf Erişim tarihi: 23.01.2020
- Perrin, A. (2015). Social Networking Usage: 2005–2015. Pew Research Center. <http://www.pewinternet.org/2015/10/08/2015/SocialNetworking-Usage-2005-2015/>. Erişim tarihi: 22.01.2020.
- Romero, C., Ventura, S., Espejo, P.G. And Hervas, C. (2008). Data Mining Algorithms to Classify Students. *The 1st International Conference on Educational Data Mining Montréal Canada, June 20-21, 2008*, Kanada
- Shah, C. Ve Jivani, A.G. (2013). Comparison of Data Mining Classification Algorithms for Breast Cancer Prediction. *4th ICCCNT July 4-6, Tiruchengode, India*
- Tanyıldızı, E., Karabatak, M., Yıldırım, G. ve Özpolat, Z. (2018). Siğil Tedavisinde Sınıflandırma Algoritmalarının Performans Analizi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 30(2), ss. 249-256
- Tapak, L., Mahjub, H., Hamidi, O. Ve Poorolajal, J. (2013). Real-Data Comparison of Data Mining Methods in Prediction of Diabetes in Iran. *Healthcare Informatics Research*, cilt 19(3), ss. 177-185

- Toraman, M. (2013). *İnternet Bağımlılığı ve Sosyal Ağ Kullanım Düzeylerinin Ortaöğrenim Öğrencilerinin Akademik Başarıları ile İlişkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü
- Vijayarani, M.S. & Muthulakshmi, M.M. (2013). Comparative Analysis of Bayes and Lazy Classification Algorithms. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, cilt 2(8), ss. 3118-3124.
- Vijayarani, S. Ve Dhayanand, S. (2015). Data Mining Classification Algorithms For Kidney Disease Predictions. *International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI)*, cilt 4(4), ss. 13-25.
- Wiharto, W., Kusnanto, H. & Herianto, H. (2016). Intelligence System for diagnosis Level of Coronary Heart Disease with K-Star Algorithm. *Healthcare Informatics Research*, cilt 22(1), ss. 30-38.
- Yücebaş, S.C. (2018). Hastalıkların Teşhisinde Veri Madenciliği Yöntemlerinin Başarım Karşılaştırması. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, cilt 4(1), ss. 14-27



**6831 SAYILI ORMAN KANUN'UNUN EK
16. ORMAN SINIRLARI DIŞINA ÇIKARTMA
İŞLEMLERİNE 6 İLİŞKİN YAPILAN
ÇALIŞMALAR: NURDAĞI (KARTAL
MAHALLESİ) ÖRNEĞİ**

“ ”

Fazıl NACAR¹

¹ Doç. Dr., fazılınacar@osmaniye.edu.tr, ORCID:0000-0001-8434-5038

1.GİRİŞ

Devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan ormanlar, özel yasa kurallarına bağlıdırlar (3402 sayılı Kadastro Yasası, Madde: 16/D). Ormanın hazine adına tapuya tescil edilmesi, herhangi bir harç, vergi veya resim ödenmeksizin (6831 sayılı Orman Kanunu, Madde 11), ormanla ilgili kuralları değiştirmez ve ormanın kamu malı olma özelliğini kaybetmesine neden olmaz. Ayrıca, yetkili kurum (Orman Genel Müdürlüğü) tarafından kamu malından çıkarılmadan, gerçek kişiler adına tapuya tescil edilmesi veya zamanaşımı yoluyla edinilmesi mümkün değildir. (Köktürk, E.(2024)

“Türkiye’de Genel Hayata Etkileyen Afetler Nedeniyle Alınacak Önlemler Yapılacak Yardımlara Dair Kanun”,(7269 sayı,1959 tarih) tabii afetler sonucu, umumî hayatı etkileyecek derecede yapı ve tesislerin hasar gördüğü veya hasar görme ihtimalinin bulunduğu yerlerde alınacak tedbirler ve yapılacak yardımlara ilişkin esasları belirlemektedir. Dolayısıyla afetten önce ve afetten sonra yapılacak yardım ve afete maruz kalanların yeniden iskânlarının sağlanmasını gerçekleştirmek üzere yetkilendirilen kamu idaresinin de görev ve yetkilerini belirlemektedir. İskân faaliyeti deyince haliyle afete maruz kalan kişi veya kurumların yeniden yerleştirileceği güvenli alanlar akla gelmektedir. Tam da burada ormanların kamu yararına konu olan barınma fonksiyonu ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda 7269 sayılı kanuna ilaveten 1999 yılında Ek 10. Madde eklenmiştir. Buna göre: “Orman Bakanlığınca, Orman sınırlarından çıkarılmış veya çıkarılacak olan, orman olarak korunması bilimsel ve teknik açıdan olanaksız olan ve tarımsal arazi olarak dönüşmesi olanaklı olmayan alanlar, kamu hayatını etkileyen doğal afet bölgelerinde devlet kurumları ile diğer afetzedelerin iskânını sağlamak üzere ilgili bakanlığa devredilebilir.” denilmektedir. (AFAD, 2015; Tolunay, A., Karahan, E., Türkoğlu, T. (2024).)

Öte yandan, henüz sınırlandırma ve tescil işlemleri tamamlanamamışken 1970 yılında 1255 Sayılı Kanun ile yapılan Anayasa değişikliği ve 1973 yılında 6831 Sayılı Orman Kanun’unda 1744 Sayılı Kanun ile yapılan değişikliklerle orman niteliğini kaybeden alanların orman rejimi dışına çıkarılması işlemleri başlatılmıştır (Türker, 2003). 2/B olarak bilinen bu uygulamalar ilerleyen yıllarda 2896 ve 3302 sayılı kanunlarla bazı değişikliklere uğrayarak günümüze kadar süre gelmiştir. ilk olarak 1744 sayılı kanunla; 15.10.1961 tarihinden önce bilim ve fen bakımından orman niteliğini tam olarak kaybetmiş yerlerin orman sınırı dışına çıkartılmasına olanak sağlanmıştır. Bu uygulamalar sonucunda 1.025,6 km2 alan orman sınırı dışına çıkarılmıştır (Köktürk ve Köktürk, 2004). 2007; URL-2, 2005)

2/B uygulamaları sonucunda 3302 sayılı kanunla birlikte (3.438,29 km2) toplam 4.734,19 km2 alan orman sınırları dışına çıkarılmıştır (Köktürk ve Köktürk, 2004). Öz bir ifadeyle, 2/B uygulamaları ile günümüze kadar or-

man varlığımızın yaklaşık %3'ü orman sınırları dışına çıkartılmıştır. Başlangıçtaki amacı, orman köylülerine yerleşim ve tarımsal etkinlikler için yer sağlayarak köylünün yaşam koşullarını iyileştirmek olarak belirlenebilen 2/B uygulamaları; günümüzde bütçeye önemli bir parasal kaynak sağlayıcı olarak görülmektedir.

1.369 adet birimde Orman yasası (6831) 2. Maddesinin b fıkrası çalışmaları bitirilmiş, 626 adet birimde ise Orman Kanun'una (6831) göre orman kadastro yapılan birliklerde teknik hataların düzeltilmesi ve tescile hazır hale getirilmesi işlemleri tamamlanmıştır. 2024 yılında; 3302 sayılı Kanunla değişik Orman yasası (6831) 2. Maddesinin b fıkrası kapsamında 12.000 hektar, - Orman yasasının (6831) Ek 16 ncı maddesi kapsamında 905,45 hektar, - Genel Hayata Etken Afetler Nedeniyle Alınacak Önlemlerle Yapılacak Yardımlar Hakkında Kanunun Ek 10 uncu maddesi kapsamında 905,45 hektar, 25,02 hektar – 6292 sayılı Orman Köylülerinin Kalkınmalarının Desteklenmesi ve Hazine Adına Orman Sınırları Dışına Çıkarılan Yerlerin Değerlendirilmesi ve Hazineye Ait Tarım Arazilerinin Satışı Hakkındaki Kanunun 4. maddesi kapsamında 24 hektar tahsis yapılmıştır. – Cumhurbaşkanlığı 6785 sayı ve 08/02/2023 tarihli Kararnamesi ile ilan edilen olağanüstü hal kapsamındaki illerde iskân ve yapılaşmaya ilişkin bazı tedbirlerin alınmasına dair 7452 sayılı Kanun kapsamında 975,13 hektar tahsis yapılmıştır. .(ogm 2024 faliyet raporu)

BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ	6831 SAYILI ORMAN KANUNU KAPSAMINDA YAPILAN 2/B UYGULAMASI			6831 SAYILI ORMAN KANUNUNA GÖRE ORMAN KADASTROSU YAPILAN BİRİMLERİN FENNİ HATALARININ GİDERİLEREK TESCİLE HAZIR HALE GETİRİLMESİ			UYGULAMA SONUCU	
	YIL SONU PROGRAM		UYGULAMA	YIL SONU PROGRAM		UYGULAMA		
	Adet/Birim	TL	Adet/Birim	Adet/Birim	TL	Adet/Birim		
1 ADANA	13	780.000	13	9	540.000	9	22	1.033.825
2 AMASYA	66	3.960.000	66	73	4.380.000	121	187	3.200.980
3 ANKARA	120	7.200.000	120	11	660.000	11	131	8.345.917
4 ANTALYA	11	660.000	11	18	1.080.000	29	40	882.952
5 ARTVIN	15	900.000	15	25	1.500.000	33	48	362.472
6 BALIKESİR	13	780.000	13	2	120.000	2	15	2.908.085
7 BOLU	77	4.620.000	77	3	180.000	3	80	3.682.714
8 BURSA	30	1.800.000	21	8	480.000	8	29	2.091.407
9 ÇANAKKALE	43	2.580.000	13	4	240.000	4	17	714.470
10 DENİZLİ	30	1.800.000	24	10	600.000	10	34	1.875.791
11 ELAZIĞ	243	14.580.000	243	10	600.000	10	253	12.820.870
12 ERZURUM	96	5.760.000	87	14	840.000	12	99	4.054.428
13 ESKİŞEHİR	27	1.620.000	27	6	360.000	6	33	884.500
14 GİRESUN	48	2.880.000	46	80	4.800.000	103	149	1.411.879
15 HATAY	12	720.000	12	17	1.020.000	17	29	869.169
16 İSPARTA	21	1.260.000	21	5	300.000	5	26	2.827.420
17 İSTANBUL	99	3.540.000	38	5	300.000	5	43	3.247.650
18 İZMİR	47	2.820.000	42	12	720.000	12	54	1.501.370
19 KAHRAMANMARAŞ	38	2.280.000	24	4	240.000	4	28	2.593.573
20 KASTAMONU	37	2.220.000	35	21	1.260.000	21	56	1.277.083
21 KAYSERİ	13	780.000	8	18	1.080.000	18	26	1.625.156
22 KONYA	23	1.380.000	20	8	480.000	8	28	554.763
23 KÜTAHYA	37	2.220.000	32	9	540.000	9	41	2.112.977
24 MERSİN	36	2.160.000	36	4	240.000	4	40	786.641
25 MUĞLA	112	6.720.000	112	13	780.000	13	125	10.591.249
26 SAKARYA	51	3.060.000	38	9	540.000	9	47	3.878.855
27 SİNOP	12	720.000	12	15	900.000	15	27	315.709
28 ŞANLIURFA	108	6.480.000	101	2	120.000	2	103	4.299.747
29 TRABZON	49	2.940.000	49	22	1.320.000	22	71	1.608.318
30 ZONGULDAK	13	780.000	13	63	3.780.000	101	114	444.856
TOPLAM	1.500	90.000.000	1.369	500	30.000.000	626	1.995	82.705.827
MERKEZ					10.000.000			3.982.202
TAPU VE KADASTRO GENEL MÜDÜRLÜĞÜ								358.000.000
GENEL TOPLAM	1.500	90.000.000	1.369	500	40.000.000	626	1.995	444.688.029

Ek 4: Orman Kadastro Projesi Uygulama Sonuçlarının Orman Bölge Müdürlükleri Dağılımı, 2024

Şekil 1. Türkiye orman kadastro çalışmaları (URL.5)

OGM tarafından henüz 7269 Sayılı Kanun’un Ek 10. Maddesi Uygulama Yönetmeliği yayımlanmamış olsa da teamüller ve diğer ormandan çıkarma uygulamaları ışığında afetzedelere ormandan yer tahsisi yapılmaya devam etmektedir. Kapsamlı bir mevzuat çalışması yapılarak, çıkarılacak olan uygulama yönetmeliği ile afetzedelere ormandan yer tahsisi yapıldığı takdirde orman alanları üzerindeki insan baskısının ormana olan zararları da ortaya

konulmalıdır. Ayrıca afetzedelerin iskânı için ormandan çıkarılan alanlara karşılık en az iki katı büyüklükte alan olmak koşulu ile tapuya kayıtlı Maliye Hazinesi arazilerinden ağaçlandırmaya uygun olan yerler tespit edilip ağaçlandırılmak üzere orman vasfıyla tescil edilmelidir. Hepsinden önemlisi; olası afet durumlarında yöre halkının yeniden iskâna tabi tutulacağı alanlar afet eylem planı ile önceden belirlenmeli, tapuda Maliye Hazinesi adına “Ham Toprak”, “Mera” ve “Orman” vasfıyla tescilli parsellerden yerleşime uygun alanlar belediyelerin ilgili yöneticileri ile muhtarların da görüşleri alınmak suretiyle tespit edilerek ilgili Bakanlıklar arasında yapılacak protokollerle rezerv alanı olarak ilan edilmelidir. İlan edilecek alanların tapu sicilinin beyanlar ve şerhler hanesinde hiçbir surette başka bir amaca tahsis edilemeyeceği ve afet sonrası iskân yeri rezerv alanı olduğu belirtilmelidir. Böylece afetin meydana geldiği yerlerde yöre halkının afet sonrası yerleştirilecekleri alanlarla ilgili iskâna uygun alanları tespit etmek ve yer seçimi yapmak için zaman kaybedilmemiş olacaktır (Tercan, 2020; Tolunay, A. ve ark. ,2024).

Orman sınırlarından çıkarma süreci, Nisan 2018’de torba yasa ile yürürlüğe giren Orman Kanunu’na 16. maddenin eklenmesiyle yeni bir boyut kazanmıştır ve Cumhurbaşkanı’na dilediği orman alanını orman rejiminden çıkarma yetkisi verilerek orman sınırlarından çıkarma süreci yeni bir boyut kazanmıştır. 2018 yılına kadar iskân edilmiş orman alanlarının orman sınırlarından çıkarılması mümkün hale gelmiştir. (Uysal, B., Birben, Ü. 2023.)

Gaziantep ilinin orman varlığı 2024 yılı itibarıyla 112.617 ha alanla il yüzölçümünün %0,48 ine karşılık gelmektedir. Nurdağı ilçesinde 13949,9 ha verimli, 10860 ha verimsiz ve 47979,4 ha açık alan olmak üzere 72789,2 ha orman alan bulunmaktadır.

Bu çalışmada Nurdağı ilçesi sınırlarındaki ormanla iç içe olan Kartal mahallesinde Ek.16 madde kapsamında yapılan çalışmalar ve orman ve milli emlak teşkilatına yapılan başvurular örnekleriyle değerlendirilmiş ve yapılan hazırlık çalışmaları örnekleriyle açıklanmıştır.

2.ÇALIŞMA ALANI

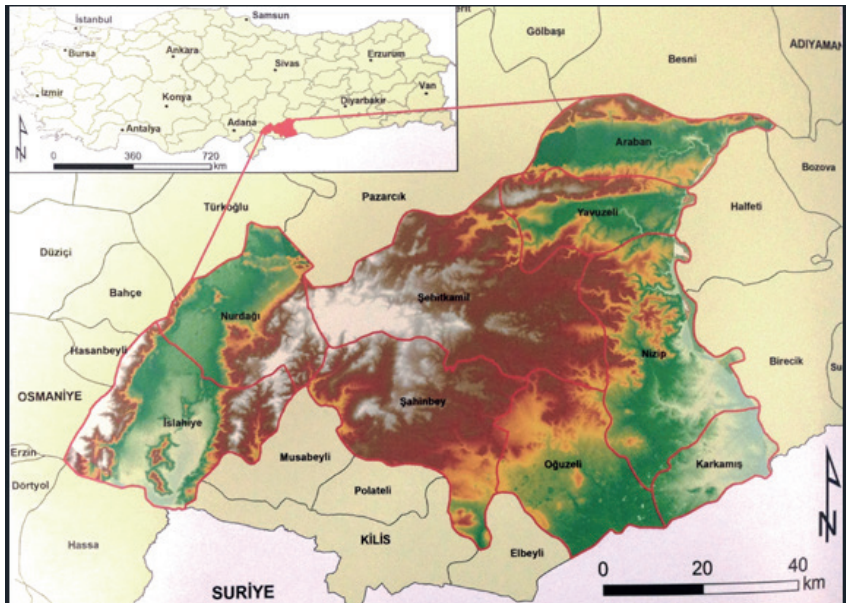
Nurdağı ilçesi Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinin kesişme noktasında yer alan bir komundadır. İlçenin doğusu Şahinbey ve Şehitkamil merkez ilçeleri (Gaziantep), batısı Bahçe ilçesi (Osmaniye), kuzeyi Türkoğlu ve Pazarcık ilçeleri (Kahramanmaraş), güneyi İslahiye ilçesi (Gaziantep) ile çevrilidir. (URL-1; URL-2). İlçenin TÜİK verilerine göre 2022 yılı nüfusu 41322 (URL-3). 2023 yılı nüfusu 39465 kişi (depremden sonra) olarak belirlenmiştir. Nurdağı ilçesinin konumu Şekil 2’de verilmiştir. 27 /02/1976 da belde olan Nurdağı, 1990 yılında ilçe olmuştur. (İçişleri Bakanlığı kararıyla)

Nurdağı ilçesi güneydoğu illerinin akdenize açılan kapısı durumundadır. Osmaniye, Gaziantep, K. maraş, Hatay, Gaziantep, Hatay ve Osmaniye

K. maraş yollarının kesişim noktası, içerinden oto yoların, hızlı tren hattının geçtiği uzun demiryolu ve otoyol tünellerinin olduğu yüksek boyutlu viya-dklerin bulunduğu bir konumdadır.

Nurdağı ilçesi doğu Toroslarla birleşen Amanos dağlarının ovayla birleştiği yerdedir. İlçe 14 ü kentsel ve 36 kırsal mahalleden oluşmaktadır. Şehrin nüfusunun yarıya yakını kırsal mahallelerde yaşamaktadır. Kadastro sisteminde 45 mahalle varken, Maks sisteminde 50 mahalle bulunmaktadır.

Bu 50 mahallenin 13 ü orman içi ve 25'i de ormanla komşudur.



Şekil 2 Nurdağı Fiziki haritası (URL. 4)

TABLO 1. Nurdağı ilçesi orman yada ormana komşu köy listesi.

NURDAĞI ORMAN İŞLETME ŞEFLİĞİ SINIRLARINDA KALAN ORMAN YA DA KOMŞU KÖYLER					
SIRA NO	İL	İLÇE	MAHALLE ADI	31. VE 32. MADDE	NÜF
1	GAZİANTEP	NURDAĞI	KATRANCI(TORUNLAR)	ORMAN İÇİ	142
2	GAZİANTEP	NURDAĞI	KARABURÇLU	ORMAN İÇİ	98
3	GAZİANTEP	NURDAĞI	ATMALI	ORMAN İÇİ	306
4	GAZİANTEP	NURDAĞI	BAŞPINAR	ORMAN İÇİ	498
5	GAZİANTEP	NURDAĞI	DURMUŞLAR	ORMAN İÇİ	240
6	GAZİANTEP	NURDAĞI	GÖKÇEDERE	ORMAN İÇİ	492
7	GAZİANTEP	NURDAĞI	HAMİDİYE	ORMAN İÇİ	388
8	GAZİANTEP	NURDAĞI	KIRKPINAR	ORMAN İÇİ	334
9	GAZİANTEP	NURDAĞI	BADEMLİ	ORMAN İÇİ	429
10	GAZİANTEP	NURDAĞI	KUZOLUK	ORMAN İÇİ	283
11	GAZİANTEP	NURDAĞI	KARTAL	ORMAN İÇİ	1784
12	GAZİANTEP	NURDAĞI	TANDIRLI	ORMAN İÇİ	111
13	GAZİANTEP	NURDAĞI	OLUCAK	ORMAN İÇİ	404
14	GAZİANTEP	NURDAĞI	BALIKALAN	ORMANA KOMŞU	184
15	GAZİANTEP	NURDAĞI	BELPINAR	ORMANA KOMŞU	145
16	GAZİANTEP	NURDAĞI	DEMİRLER	ORMANA KOMŞU	101
17	GAZİANTEP	NURDAĞI	EMİRLER	ORMANA KOMŞU	142
18	GAZİANTEP	NURDAĞI	GEDİKLİ	ORMANA KOMŞU	367
19	GAZİANTEP	NURDAĞI	GÖZLÜHÜYÜK	ORMANA KOMŞU	554
20	GAZİANTEP	NURDAĞI	İKİZKUYU	ORMANA KOMŞU	152
21	GAZİANTEP	NURDAĞI	İNCEGEDİK	ORMANA KOMŞU	191
22	GAZİANTEP	NURDAĞI	İNCİRLİ	ORMANA KOMŞU	512
23	GAZİANTEP	NURDAĞI	KÖMÜRLER	ORMANA KOMŞU	415
24	GAZİANTEP	NURDAĞI	KURUDERE	ORMANA KOMŞU	1203
25	GAZİANTEP	NURDAĞI	MESTHÜYÜK	ORMANA KOMŞU	173
26	GAZİANTEP	NURDAĞI	ÇİMLER	ORMANA KOMŞU	187
27	GAZİANTEP	NURDAĞI	NOGAYLAR	ORMANA KOMŞU	435
28	GAZİANTEP	NURDAĞI	TERKEN	ORMANA KOMŞU	654
29	GAZİANTEP	NURDAĞI	TOPLAMALAR(ALTINOVA)	ORMANA KOMŞU	290
30	GAZİANTEP	NURDAĞI	ATAKÖY	ORMANA KOMŞU	88
31	GAZİANTEP	NURDAĞI	ÇAKMAK	ORMANA KOMŞU	209
32	GAZİANTEP	NURDAĞI	İÇERİSU	ORMANA KOMŞU	470
33	GAZİANTEP	NURDAĞI	TÜLLÜCE	ORMANA KOMŞU	286
34	GAZİANTEP	NURDAĞI	YAYLACIK	ORMANA KOMŞU	92
35	GAZİANTEP	NURDAĞI	SAKÇAGÖZÜ	ORMANA KOMŞU	4621
36	GAZİANTEP	NURDAĞI	ŞATIRHÜYÜK	ORMANA KOMŞU	2658
37	GAZİANTEP	NURDAĞI	KIRIŞKAL	ORMANA KOMŞU	284
38	GAZİANTEP	NURDAĞI	ATALAR	ORMANA KOMŞU	2224

Tablo 1 de görüldüğü gibi Nurdağı ilçesinin 50 mahallesinin 13 ü orman içi mahalle ve 25'i de ormana komşu mahalle statüsündedir.

Nurdağı ilçesi kırsal mahallerinde ormanla ilişkili olan on (10) mahallede orman sınırı dışına çıkartma ile konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Orman yasasının Ek.16. maddesi gereği yapılan ve başka şehirlerde uygulamaları bulunan bu çalışma için sınırlandırma haritaları hazırlanarak müracaat da bulunulmuştur. (Tablo 2)

TABLO 2. Nurdağı ilçesi Ek.16 talebinde bulunulan köy listesi

Sıra no	Mahalle adı	Ev sayısı
1	ATMALI	4
2	BAŞPINAR	9
3	BELPINAR	10
4	HAMİDİYE	4
5	HİSAR	17
6	KARTAL	150
7	KURUDERE	10
8	KUZOLUK	8
9	OLUCAK	1
10	TERKEN	1

Çalışma yapılan kırsal mahallelerde 214 adet konut orman arazisinde kalmakta olup bu uygulama yapıldığında bu yapıların yıkılması durdurulmuş olacaktır. Arazi öncelikle maliye hazinesi adına tescil olacak ve sonrada kullanıcısına satışı yapılabilecektir.

Orman işletme şefliğinden alınan verilere göre Kartal şefliğinde 164 adet 2018 sonrası yapı için, 244 adet yapının da 2018 öncesi zaptı tutulmuştur. Ayrıca Nurdağı şefliğinin ise 76 adet yapı için 2018 öncesi ve 27 adet yapının zaptı ise 2018 sonrası tutulmuştur. Toplamda 511 yapının zaptı tutulmuştur. Bu yapıların 214 adedi Ek. 16 kapsamında orman sınırı dışına çıkarma kapsamında kalmaktadır.

3. UYGULAMA ALANI

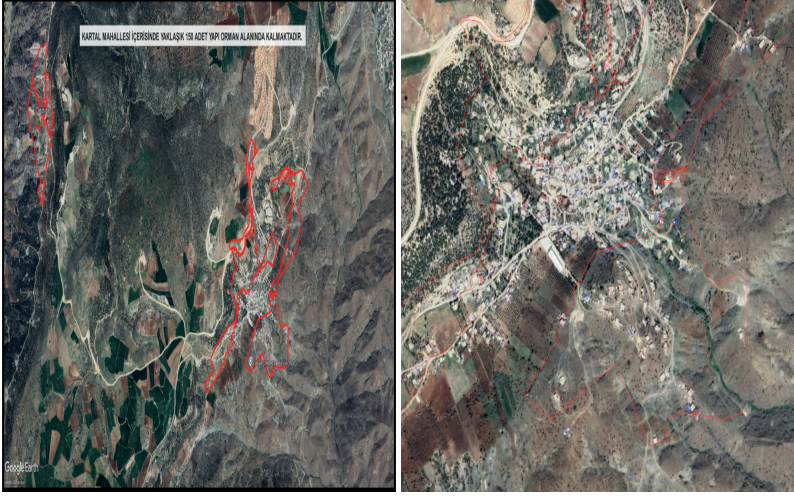
3.1 Kartal mahallesi Ek. 16 çalışmaları

Kartal mahallesi (köyü) Nurdağı ilçe merkezine kuş uçuşu 23 km araçla 30km mesafede orman içi ve en kalabalık bir yerleşim yeridir. Kartal köyünün nüfusu yaklaşık 1800 kişidir.



Şekil 3. Kartal mahallesi sınırı (parsel sorgu sistemi)

Kartal mahallesi 2142.98 hektarlık alansal büyüklüğü sahiptir. Bu alanın yüzde 80'i ormandan oluşmaktadır. Kartal mahallesinde 2018 sonrası 150 konut ormanda kalmakta olup bu konutların orman sınırı dışına çıkarılması için Nurdağı Belediyesi tarafından milli emlak şefliğine müracaat da bulunulmuştur.

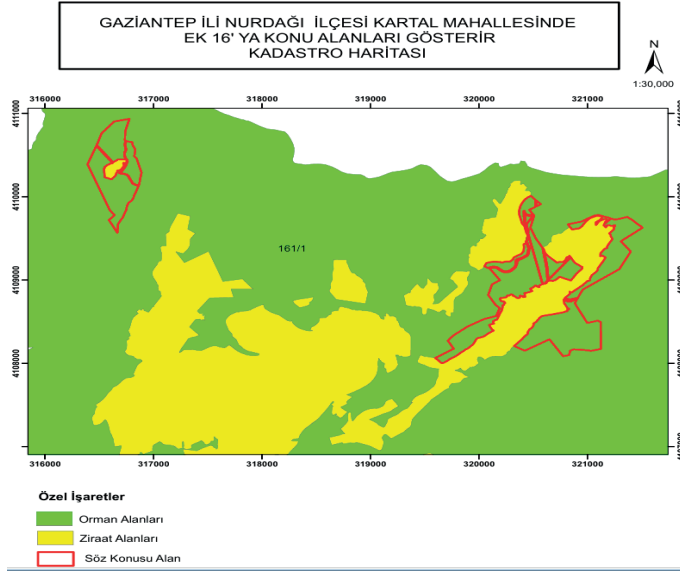


a)

b)

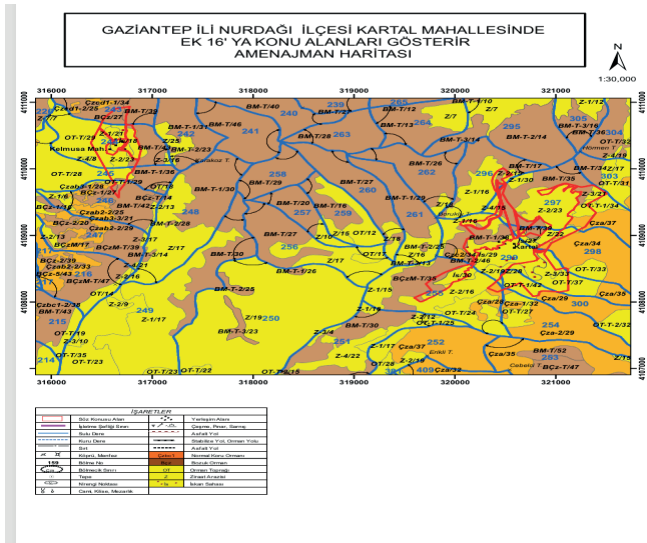
Şekil 4. Kartal mahallesi ek.16 sınırları

Şekil 4 de Kartal mahallesi ek.16 çalışması kapsamında orman sınırı dışına çıkarılması talep edilen alanlar gözükmemektedir(a). Bu alan yaklaşık 123 ha kadardır. (b) de konutlar detaylı gözükmemektedir.



Şekil 5. Kartal mahallesi orman kadastrosu haritası

Şekilde kartal mahallesi orman arazi ve ek.16 için çalışma yapılan yerler gözükmemektedir. Orman kadastro haritasında sarı renkler ziraat arazisini, yeşil renkler orman arazisini göstermektedir. Yine Ek.16 ya göre orman sınırı dışına çıkarılacak arazide kırmızıyla çizilmiştir. Görüldüğü gibi araziler tamamen yeşil renkli alanda kalmaktadır. Yani orman arazisidir.



Şekil 6. Kartal mahallesi orman amenajman haritası

cellenmiş olmaktadır. Ayrıca bu olay orman tahribatını artmasına neden olmaktadır.

Çalışma bölgemizin deprem bölgesi olması, depremin etkisiyle birçok orman alanı mücbir sebep gösterilerek olağan üstü hal kapsamında orman vasfını kaybederek arsa vasfına ve dolayısıyla yapılaşmaya açılmıştır. Deprem etkisinin çok geniş alanda ve büyük olması orman arazilerine konut yapımına (hızlı ve daha az maliyetli olduğu için) çaresiz olarak yol açmıştır.

Bu çalışmada Ek. 16 için yapılan teknik çalışmalardan örnekler sunulmuştur. Bu işlemlerden sonra milli emlak müdürlüğü, orman teşkilatına başvuracak, orman teşkilatı tarafından kurulan komisyonca arazide inceleme yapılacak ve uygun görülenler Cumhurbaşkanlığının onayı ile orman sınırı dışına çıkarılacaktır. Milli emlak adına tescil yapılacak ve milli emlak bu arazinin iki katı hazine arazisini orman için tahsis yapacaktır.

KAYNAKÇA

- AFAD (2015). Afet ve Acil Durumlara İlişkin Temel Mevzuat, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- KÖKTÜRK Erdal, (2004) Orman Kadastro, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi
- Tercan, B. (2020). Afet bölgelerinde yeniden yerleştirme ve iskân politikaları: doğubazıt depremi örneği. Türk Deprem Araştırma Dergisi, 2(1), 76-91. <https://doi.org/10.46464/tdad.737913>, 17.12.2023
- Tolunay, A . ve ark. (2024). Türkiye’de Umumi Hayata Müessir Afetler Dolayısıyla Orman Alanlarının Tahsisine Yönelik 7269 Sayılı Kanun Uygulamaları: Bingöl, Malatya Ve Ordu İlleri Örneği, Türkiye Mesleki ve Sosyal Bilimler Dergisi, Aralık 2024, Yıl:6, Sayı: 16, 25-37.
- Uysal, B., Birben, Ü. 2023. 6831 sayılı Orman Kanunu’nun 2/B maddesi uygulamaları ve sonuçları (Amasya ili örneği). Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 9(2), 90-100.
- URL-1. Nurdağı Tarihçe. <http://www.nurdagi.gov.tr/> Erişim tarihi: 24.01.2024
- URL-2. Gaziantep İl Afet Risk Azaltma Planı - İRAP. (2021) <https://gaziantep.afad.gov.tr/kurumlar/gaziantep.afad/E-Kutuphane/Il-Planlari/Gaziantep-IRAP.pdf> Erişim tarihi: 24.01.2024
- URL-3. Nurdağı Nüfus Verileri. <https://www.tuik.gov.tr/> Erişim tarihi: 24.01.2024
- URL4. <https://mefarmuhendislik.com/gaziantep-bolgesi-zemin-etut/>
- URL.5 <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/FaaliyetRaporu/2024%20-%20Orman%20Genel%20M%C3%BCd%C3%BCrl%C3%BC%C4%9F%C3%BC%20Faaliyet%20Raporu.pdf>



**GEMİ PERVANELERİNDE KAVİTASYON,
EROZYON VE KOROZYONUN
BİRLİKTE ETKİSİ: MALZEME SEÇİMİ,
KAPLAMALAR VE ÖMÜR TAHMİNİ**

“ ”

Hasan YILMAZ¹

¹ Dr., Makina Yük. Müh. Giresun Belediyesi
<https://orcid.org/0000-0002-6942-734X>)

Gemi pervaneleri, çalıştıkları deniz ortamında aynı anda kavitasyon, erozyon ve korozyon etkilerine maruz kalır. Kavitasyon, pervane dönerken su içinde oluşan buhar kabarcıklarının patlayarak yüzeye zarar vermesi olayıdır. Bu olgular, pervane yüzeyinde küçük kraterler açar ve malzemeden parçacıklar kopararak erozyona neden olur. Bir yandan da tuzlu su nedeniyle metal yüzeyinde korozyon (paslanma veya alaşım elementlerinin çözünmesi) gerçekleşir. (Basumatary, Nie ve Wood, 2015). Bu iki etki birbirini de kötüleştirir: Kavitasyon, metalin koruyucu yüzey filmini kırarak korozyonu hızlandırabilir, korozyon da malzemeyi zayıflatarak kavitasyon hasarını artırabilir. Sonuçta toplam zarar, kavitasyon ve korozyonun tek tek vereceği zararın toplamından daha büyük olur – bu duruma sinerji etkisi diyoruz. Örneğin Priyadarshi ve ark. (2023), bazı alaşımlarda toplam hasarın %50-80'inin bu etkileşimden kaynaklanabildiğini göstermiştir. Pervanelerde bu sorun, performansı düşürüp titreşimlere ve uzun vadede parça arızalarına yol açar. Bu nedenle, pervane tasarımında ve malzeme seçiminde bu üçlü etkiyi birlikte düşünmek ve uygun önlemleri almak gerekir. Bu bölümde, pervanelerde kavitasyon, erozyon ve korozyonun neden olduğu hasarı anlamak, kullanılan malzemeleri karşılaştırmak, yüzey kaplama ve işlemlerle direnci artırma yöntemlerini ve pervane ömrünü uzatma yaklaşımları açıklanacaktır.

Kavitasyon, Erozyon ve Korozyon Mekanizmaları

Kavitasyon nedir? Bir gemi pervanesi hızla dönerken, kanatçıklarının bazı bölgelerinde suyun basıncı aniden düşer. Basınç yeterince düşünce su, içinde küçük buhar kabarcıkları oluşturur. Bu kabarcıklar suyun içinde hareket edip basıncın normale döndüğü yerlere geldiğinde birden çöker (patlar). Her bir kabarcık patlaması, minyatür bir patlayıcı etki gibidir: Yakınındaki metal yüzeye çok yüksek basınçlı mini su jetleri ve şok dalgaları vurur. Bu darbeler tekrarlanarak metal yüzeyini döver ve zamanla malzemeyi yıpratır. İlk başta yüzeyde gözle görülmeyen mikroçatlaklar ve deformasyonlar oluşur (kuluçka evresi). Ardından kavitasyon devam ettikçe yüzeyden küçük parçalar kopmaya başlar ve erozyon hızı artar (hızlanma evresi). Bir süre sonra yüzey çok pürüzlü hale gelir, hasar bir miktar doygunluğa ulaşır ve kavitasyonun yıpratma hızı sabitlenir (durağan evre). Sonuçta kavitasyon erozyonu yüzünden metal yüzeyinde kraterler, girintiler ve pürüzlü bir doku meydana gelir.

Erozyon nedir? Yukarıda anlatılan kavitasyon sürecinin yarattığı aşınmaya kavitasyon erozyonu diyebiliriz. Temelde, pervane malzemesinin mekanik darbelerle aşınıp malzeme kaybetmesidir. Nasıl ki zımpara ile sürtülen bir metal yüzeyinden tozlar çıkar, burada da suyun içinde patlayan kabarcıklar adeta yüzeyi zımparalar. Erozyon miktarı genelde malzemenin sertliğine ve tokluğuna bağlıdır. Çok sert malzemeler (örneğin sertleştirilmiş çelik gibi) kavitasyon darbelerine daha iyi dayanır, daha az malzeme kaybeder. Daha yumuşak metaller (örneğin saf bakır veya pirinç) kolay çizilir ve daha çok

malzeme kopar. Ancak tek başına sertlik de mucize değildir; malzemenin yapısı, tane büyüklüğü gibi faktörler de etkiler. Mesela Amann ve ark. (2018) öğütülmüş (taşlanmış) bir paslanmaz çelik yüzey, çok ince bir sertleşmiş tabaka içerdiği için kavitasyona karşı cilalı halinden daha dirençli bulmuştur. Sonuç olarak, kavitasyonun mekanik tahribatı malzemeyi milimetrik ölçekte inceltir ve ağırlıktan kaybettirir.

Korozyon nedir? Korozyon, bildiğimiz paslanma veya metalin kimyasal olarak aşınması olayıdır. Deniz suyunda, özellikle klor iyonlarının etkisiyle, pervane malzemesi yavaş yavaş çözünür veya oksitlenir. Örneğin bronz alaşımları (bakır esaslı) deniz suyunda yüzeyde yeşil-mavi oksit tabakası oluşturur, bu kısmen koruyucu olsa da altındaki metalden biraz kayıp olduğunu gösterir. Paslanmaz çelikler kendi yüzeylerinde krom oksit bir film oluşturarak korozyona karşı direnç sağlarlar (bu yüzden “paslanmaz” deriz). Ancak bu film kavitasyon veya başka bir nedenle bozulursa, altından çıkan taze metal suyla temas edip hızla paslanabilir. Korozyon, erozyona göre daha “dengeli” ve yavaş aşındırır diyebiliriz; yani bir yüzeyin her yerinden birkaç mikron alır götürür. Ama bazen çukur korozyonu (pitting) denilen, lokal derin oyuklar oluşabilir. Özellikle klor iyonu, paslanmaz çelikte küçük delikler açabilir Wei ve ark. (2025) Pervanelerde korozyon genellikle yaygın aşınma yerine, kavitasyonla birleşirse lokal çukurcuklar şeklinde olur.

İkisi bir arada (Sinerjistik Etki): Asıl sorun, kavitasyon ve korozyon aynı anda olunca ortaya çıkar. Kavitasyon, anlattığımız gibi yüzey filmi ne varsa söker atar. Bu durumda metal çıplak kalır ve korozyon hızlanır. Öte yandan korozyon da malzemeyi biraz yumuşatır veya taneler arası boşluklar oluşturur; kavitasyon darbeleri bu zayıflamış yerlere gelince daha kolay parça koparır. Yani bir kısır döngü: Kavitasyon korozyonu artırır, korozyon kavitasyonu kötüleştirir. Bu etki “sinerjistik etki” olarak adlandırılır. Teknik olarak, eğer bir malzemenin salt kavitasyondan aşınması E , sadece korozyondan kaybı C ise, ikisi birlikte olduğunda toplam kayıp $E + C$ ’den daha büyük olur, aradaki fark “sinerji S ” kadar ekstra kayıptır. Her malzemede bu sinerji aynı değil. Örneğin Li ve ark. (2024) dayanıklı bir paslanmaz çelikte sinerjinin toplam hasarın sadece %10’u kadar olduğu ama daha az pasif (koruyucu film oluşturmayan) bir çelikte sinerjinin %50’ye vardığı bulunmuş. Aynı şekilde Amann ve ark. (2018) nikel alüminyum bronz (NAB) alaşımında kavitasyon altında korozyonun rolünün paslanmaz çeliğe göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. NAB’da kavitasyon hasarının önemli kısmı korozyonla birleşik etkiden gelmektedir. Bu şu anlama gelir: NAB alaşımında kavitasyon sırasında yüzeydeki farklı metalik fazlar (yani malzemedeki değişik yapılar) galvanik etki yaratır, bazı yerler daha fazla erir ve kavitasyon oraları daha çok döver. Paslanmaz çelik ise daha tekdüze bir yapıda olduğu için korozyonla kavitasyonun etkileşimi o kadar yüksek olmaz.

Değerlendirilmesi gereken diğer bir husus da şudur. Kavitasyon, suyu oksijen açısından hareketli kıldığı için aslında korozyona bazen iyi bile gelebilir. Mesela Amann ve ark. (2018) NAB alaşımı için rapor edilmiş ki, kavitasyon ortamında NAB'ın korozyon hızı, durgun sudakine göre daha düşük olabilmış. Bu ilginç durum muhtemelen kavitasyonla ortama yayılan bakır iyonlarının koruyucu bir etki göstermesiyle veya kabarcıkların korozyon ürünlerini temizlememesiyle ilgili. Yani genel kural: Kavitasyon çoğunlukla korozyonu artırır ama özel durumlarda korozyonu da azaltabilir. Ancak neticede, mühendis gözüyle baktığımızda, kavitasyon + erozyon + korozyon üçlüsü her halükârda malzemeye tek tek etkilerinden daha büyük bir zarar verir. Pervane malzemesi seçerken hem bu mekanik hem kimyasal saldırıya karşı dayanacak türden olmasına dikkat ederiz.

Malzeme Türleri ve Karşılaştırmaları

Pervaneler için kullanılabilecek malzemeler arasında çeşitli metal alaşımları ve hatta yeni geliştirilen özel materyaller bulunur. Burada en yaygın veya ilginç olanlardan bazılarını, karmaşık detaya girmeden kıyaslayalım:

- **316L Paslanmaz Çelik:** 316L, östenitik (yani manyetik olmayan) bir paslanmaz çeliktir. Korozyon direnci iyidir, çünkü içinde %16 civarı krom ve %10 civarı nikel vardır, ayrıca %2 civarı molibden içerir. Deniz suyunda paslanmaya karşı dayanıklıdır. Ancak sertliği düşüktür (yaklaşık 150-200 HV, bu Rockwell B ölçeğinde ~85 HRB gibidir). Bu yüzden kavitasyon erozyonu karşısında aşırı dayanıklı değildir. Yani kolayca yüzeyi ezilip parçacık kaybedebilir. 316L'in bir avantajı, şekillendirilebilir ve kaynak yapılabilir olmasıdır; bu nedenle bazı özel pervane milleri veya küçük pervaneler 316L'den imal edilir. Kavitasyon erozyonuna karşı direncine örnek verirsek, mesela 8 saatlik bir ultrasonik kavitasyon testinde 316L belli miligram seviyesinde kayıp verir ki NAB bronzla karşılaştırıldığında benzer mertebelerde olabilir. Ama şöyle düşünelim: 316L'nin sertliği NAB'dan düşük, o yüzden bir NAB pervaneye göre daha fazla hasar biriktirmesi beklenir. 316L'nin paslanmaz olması deniz suyuna karşı avantajdır; kavitasyon çukurcukları oluşsa bile bunlar pas dolmaz, yani bir çukur bir kere oluştuğunda altındaki metal yine pasif kalabilir. Genel olarak, eğer pervanenizde kavitasyon çok şiddetli değilse ama korozyon önemliyse 316L düşünebilirsiniz. Ticari gemilerde tüm pervaneyi 316L yapmak nadirdir (döküm sorunları ve maliyet yüzünden), ama mil veya küçük tekne pervanelerinde kullanılır. Ayrıca 316L'nin bir versiyonu olan XM-19 (yüksek azotlu) çelikler hem daha sağlam hem daha yüksek mukavemetli olup shaft malzemesi olarak çok başarılıdır Amann ve ark. (2018). Yani paslanmaz, korozyon işini çözer ama kavitasyon/erozyon için belki yüzey işlemi ister.

Nikel Alüminyum Bronz (NAB): Bu alaşım, gemi pervanelerinin yıllardır vazgeçilmezi olmuştur. Kimyasal kompozisyonu: ~%60 bakır, ~%9-10 Al, ~%5 Ni, ~%4-5 Fe ve çok az Mn. NAB'ın tercih edilmesinin sebebi hem

sağlam (çekme mukavemeti ~700 MPa civarı, sertlik ~170-200 HV), hem de deniz suyuna dayanıklı olması. Paslanmaz çelik kadar paslanmaz değil ama üzerinde bir oksit tabakası oluşturarak fazla ilerlemeyecek kadar korozyona uğruyor. Bu tabaka da yüzeyde koruma etkisi yaratıyor. Ayrıca dökümü ve işlenmesi görece kolay, büyük pervaneler dökülebiliyor. Kaviteasyon erozyon direnci de fena değil: NAB, literatürde kaviteasyona karşı “orta-yüksek” dayanımlı bir alaşım olarak geçer. Örneğin, cilalı bir NAB ve cilalı bir 316L paslanmaz çeliği kaviteasyon testine koyduğunuzda, 8-10 saat sonunda kütle kayıpları yakın çıkmıştır, hatta bazen NAB biraz daha iyi bile olabilir. Fakat NAB’ın dikkat edilmesi gereken yanı, mikroyapısında farklı sertlikte fazlar vardır (alfa matrisi ve kappa fazları). Dövme alüminyum bronzları %4 ile %12,5 arasında Al içerir. %8’den az Al mevcutsa, alaşımlar alfa fazlıdır Sert bir bileşenin küçük küreciklerinin ve plakalarının dağıldığı alfa fazının bir matrisine de kappa fazı denir. Bu yüzden kaviteasyon olduğunda bu fazlardan biri (yumuşak olan alfa) daha çok gider, sert olan kappa fazları çıkıntı yapar. Bu selektif aşınma, NAB yüzeyinde pürüzlü bir görüntü oluşturur ve eğer ihmal edilirse kaviteasyon ilerledikçe alfa faz cepleri büyür, kappa faz parçaları da düşer Basumatary ve Wood (2020). Dolayısıyla NAB pervanelerde kaviteasyon hasarı, “dimple” adı verilen küçük boşluklar olarak görülür. Yine de NAB epey toktur (yani darbelere dayanır, kırılğan değildir) ve yorgunluk ömrü de iyidir. Bu yüzden büyük gemilerin pervaneleri (yük gemileri, tankerler vs.) genelde NAB’dır. Dezavantajları, çok yüksek hızlarda yetersiz kalabilmesi ve galvanik korozyonda dikkat istemesi. Pervane NAB ise, gemideki katodik korruma anodu materyali ona uygun seçilmeli (genelde çinko anodu konur).

- **Mangan Bronz ve Pirinç:** Bunlar NAB’ın ataları diyebiliriz. Mangan bronz, aslında pirinç esaslı bir alaşım (bakır-çinko, biraz mangan, alüminyum, demir içerir). Eski pervanelerde kullanılan bir alaşımdır. Korozyon direnci NAB kadar iyi değil, ayrıca dökümde gözenek sorunu olabiliyor (Pantazopoulos ve ark., 2011). Bir örnekte, mangan bronz bir pervane 4-5 ay içinde kanat kırılması yaşadı. Hasarın nedeni malzeme kusurları ve yorgunluk olarak belirlendi. Yani bu alaşım modern gemiler için güvenlik riskleri taşıyabiliyor. Pirinç (bakır-çinko) ise daha yumuşak, daha çok küçük teknelerin pervanelerinde görülüyor. Onlar da korozyonla çinko kaybedip süngerimsi hale gelir (dezincification denir). Kısacası bu iki malzeme yeni bir tasarıma pek önerilmemektedir.

- **Dubleks Paslanmaz Çelik:** Dupleks demek, yarı östenitik yarı ferritik yapı demek, yani mikroyapıda iki faz vardır. Örneğin 22Cr-5Ni-3Mo dupleks çelik, pervane için son yıllarda kullanılan bir malzeme. Paslanmaz çeliğin korozyon avantajını, karbon çeliğinin mukavemet avantajıyla birleştiriyor. Sertliği NAB’dan yüksek (~250-300 HV), mukavemeti de iyi (~800 MPa çekme). Kaviteasyon erozyon direnci bu yüzden NAB’dan iyi olabiliyor. Basumatary ve ark. (2015)’nin bir çalışmasında dupleks çelik, NAB ile kıyas-

lanmış; saf su kavitasyonunda dubleks daha iyi dayanım göstermiştir, tuzlu suda korozyon devreye girince dubleks çelikte daha az hacim kaybı olmuş. Dubleksin kötü yanı, dökümü ve işlenmesi zordur, kaynakla tamir edilemez (kaynak yapınca gevrekleşir). Yine de bazı feribot ve askeri gemiler dubleks pervane kullanılmaktadır.

- **Titanyum Alaşımları (ör. Ti-6Al-4V):** Titanyum Grade 5 (Ti-6Al-4V, TC4 diye de bilinir) pahalı ama çok iyi özellikleri olan bir metaldir. Yoğunluğu çelikten düşük, mukavemeti yüksek, korozyona karşı neredeyse tamamen dirençli (deniz suyu titanyumu etkilemez diyebiliriz). Ayrıca sertlik değerleri de kabul edilebilir aralıktadır (~35 HRC yani 350 HV civarı). Kâğıt üstünde titanyum pervane mükemmel deriz. Fakat birincisi, malzeme pahalı ve büyük parçada üretmesi zor; ikincisi titanyum malzemede kavitasyon olunca ince bir titanyum dioksit tozu şeklinde aşınıyor (yani “güçlü ama bir giderse toz gibi gidiyor” denebilir). Yine de küçük boyutlu deniz araçlarında (ör. ROV’lar, torpidolar) titanyum pervane kullanıldığı olmuştur. Artık 3D yazıcı teknolojisiyle titanyum üretmek daha kolaylaştığı için, belki gelecekte büyük pervaneler bile titanyum alaşımlarından yapılabilir. Yani titanyum bile olsa, üretim yöntemi fark yaratmaktadır (Yang ve ark., 2024).

- **Yüksek Entropili Alaşımlar (HEA) ve Yeni Gelişen Malzemeler:** HEA denilen alaşımlar, 5-6 elementi neredeyse eşit oranda içeriyor; böylece çok kararlı ve sert bir yapı oluşturabiliyorlar. Li ve ark. (2024) CoCrFeNiMoCu gibi bir alaşım test edilmiş, kavitasyon + korozyon ortamında hasarın yarısı kavitasyon yarısı sinerji çıkmış (yani korozyon da epey rol oynamış). Bu malzeme, korozyona karşı 316L gibi dayanıklı, ama kavitasyonda o kadar başarılı değildir. Yine de geliştirilebilir. Bir de magnezyum-lityum alaşımları var, ultra hafifler (suda neredeyse yüzecek kadar hafifler, 1.4 g/cc densite). Mg-10Li-9Al-6Zn-4Si alaşımı kavitasyonda ilginç bir biçimde kendini “iyileştirmektedir”: İlk çatlaklar oluşuyor ama içindeki sert parçacıklar çatlağın ilerlemesini durduruyor, sonra yüzey oksitlenip çatlak içini kapatıyor. Yani malzeme oluşan çatlağı oksitleyip tıkayarak ilerlemesini durdurmaktadır. İleride belki hafif araçlar için böyle alaşımlar kullanılabilir.

Özetle, malzeme seçerken bir denge gözetiyoruz: **Sertlik vs. Korozyon Direnci vs. Tokluk vs. Maliyet** (Amann ve ark., 2018). Standart ve güvenilir çözüm NAB alaşımıdır – eksiklikleri ise yüzey kaplamalarıyla giderilebilir. Alternatif olarak paslanmaz çelik/dubleks seçip “paslanma derdi yok, erozyonu da orta halli” diyebilirsiniz, ama tamir zorluklarını kabul etmelisiniz. Eğer ömür önemli derseniz titanyum düşünebilirsiniz. Yeni malzemeler de ufukta ama henüz yaygın değil. Şimdi de malzeme yetmez, yüzey işlemleriyle direnci nasıl artırırız ona bakalım.

Yüzey İşlemleri ve Kaplamalar

Pervane malzemesini seçtik, diyelim NAB bronz veya paslanmaz çelik. Bunu olduğu gibi kullanmak yerine, yüzeyine uygulayacağımız bazı işlemlerle kaviteasyon ve korozyon direncini daha da artırabiliriz. Günümüzde uygulanan veya araştırılan bazı yöntemleri şöyle sıralayabiliriz:

- **Yüzey Sertleştirme (Mekanik):** En basit yöntem, pervanenin yüzeyini soğuk çalışmayla sertleştirmek. Örneğin shot peening (küçük bilyelerle yüzeye vurma) yaparak yüzeyde basma gerilimi ve sertleşme sağlayabilirsiniz. Bu, kaviteasyonun mikro çatlak başlatmasını zorlaştırır. Hatta bir araştırmada, NAB alaşımlı numunelerde shot peening'in kaviteasyon erozyon performansını ciddi oranda iyileştirdiği gösterilmiş. Benzer şekilde, roller burishing (yuvarlak bir aletle yüzeyi sıkıştırma) da yapılabilir. Bunlar nispeten ucuz yöntemler ve kaplama gibi kalınlık eklemes, yani pervanenin boyutunu değiştirmez. Dezavantajı, etkilerinin sınırlı derinlikte olması (en fazla 0.5 mm altına işler). Zamanla o tabaka erozyona uğrarsa altındaki yumuşak kısım yine ortaya çıkar (Krella ve ark. (2025), (Li ve ark., 2024)).

- **Taşlama/Polisaj:** Bir pervaneyi çok pürüzsüz yaparsanız (polisaj), kaviteasyonun tutunacak girintisi kalmaz. Ama öte yandan polisaj yüzeyi yumuşak bırakır. Taşlama (öğütme) yaparsanız yüzey hafif pürüzlü olur ama sertleşir. Acaba hangisi daha iyidir? Abedini ve ark. (2024) 316L çelik ve NAB bronzunu hem taşlanmış hem parlatılmış olarak test edilmiştir. Sonuç: Başlangıçta parlatılmış NAB daha iyi dayandı (çünkü pürüzsüzdü), ama 8.5 saat sonunda taşlanmış hali daha az kayıp gösterdi. 316L'de ise baştan sona taşlanmış olan daha iyiydi. Genel tavsiye: Orta derecede pürüzlü ama sertleşmiş yüzeyler, kaviteasyona karşı iyi bir başlangıç direnci verir. Pervaneler genelde dökümden sonra işlenir ama son adım olarak belki hafif bir kumlama/taşlama ile bırakılabilir, aşırı ayna gibi parlak yapılmayabilir.

- **Kaplamalar (Thermal Spray ve Kaynaklı Kaplamalar):** Burada büyük bir potansiyel var. Pervanenin tümünü süper malzemeden yapmak yerine, sadece dış yüzeyine koruyucu bir tabaka koymak. Mesela bir NAB pervanenin ana kenarına 1 mm kalınlığında sert bir alaşım kaplasak, kim bilir ne kadar ömrü artar. Bunun için çeşitli teknikler:

- **HVOF Kaplama:** Örneğin **tungsten karbür kaplama (WC-CoCr)** sıkça çalışılmıştır. HVOF yöntemiyle çelik üzerine kaplandığında, tungsten karbür kaplamalar kaviteasyonda müthiş dayanıklıdır. Zhang ve ark. (2019) çalışmasında WC-10Co4Cr kaplı 316L, çıplak 316L'ye göre %20 daha az kaviteasyon kaybı göstermiş. Hatta tuzlu suda paslanmaz çeliğin erozyonu artarken bu kaplamanınki fazla artmamıştır. Yani WC tabaka, adeta zırh gibi davranmaktadır. Keza Stellite 6 gibi kobalt bazlı sert kaplamalar da var, onlar da kaviteasyona karşı çok dayanıklıdır. HVOF'un avantajı, pervaneye sonradan uygulanabilmesidir (kaynağa göre ısı girdisi az, bozulma riski düşük).

o PTA Kaynak Kaplama: Bu, plazma ile yüzeye kaynak yapma, bir tür sert dolgu kaynağı. Örneğin 316L çeliğe Colmonoy 88 alaşımı PTA ile kaplanmış, kavitasyonda 316L'den 12 kat daha dirençli olmuş! 12 kat, muazzam bir fark. Bunun sebebi o kaplamanın 1500 HV gibi süper sert ve içinde WC parçaları olması. Pervane gibi büyük parçalarda PTA uygulamak daha uzun sürer, ama özellikle lokal bölgelere (örneğin kanat ön kenarına) yapılabilir (Zhang ve ark (2017)).

o Ark Sprey, Plazma Sprey: Bunlar da kaplama yöntemleri, HVOF gibi ama biraz daha gözenekli kaplama yapabilirler. Yine de mesela çelik pervane ucuna bir Fe-Cr-B amorf kaplama spreylenebilir, bu da erozyonu azaltır.

o Lazer Kaplama: Lazerle yüzeye bir toz ergitip kaplama oluşturmak. Bu da kaynak kaplamaya benzer bir sonuç verir ama ısı girişi kontrollüdür. NAB pervanelerde lazerle yüzeye biraz daha sert bronz alaşımı ekleyerek hem korozyonu hem erozyonu azaltan çalışmalar var (Krell ve ark. 2022).

o Polimer Kaplamalar: Bazı durumlarda, pervane yüzeyine esnek bir kaplama konabilir (mesela teflon bazlı veya kauçuk bazlı bir kat). Yumuşak kaplama darbenin şiddetini emer. Ama problem şu ki kavitasyon çok şiddetli, çoğu polimer kaplama uzun süre dayanamaz, parçalanır. Yine de küçük parçalarda, pompa çarklarında denenmiştir.

o Elektroliz/Nikelaj Kaplama: Pervanelerde galvanik kaplama pek kullanılmaz çünkü büyük boyutta homojen yapmak zordur. Ayrıca nikel gibi sert kaplamalar korozyon hücresi yaratıp altındaki malzemeyi yiyebilir. Bu yüzden genellikle termal sprej veya kaynak kaplamalar tercih edilir.

o Katodik Koruma ve Elektrokimyasal Tedaviler: Amann ve ark. (2018) çalışmasında, test sıvısına harici katodik potansiyel uygulanarak korozyon hızının dramatik biçimde azaldığı gösterilmiştir; bu, korozyon-kavitasyon aşınmasını %36–77 oranında düşürmüştür. Pratikte bu, benzer bir metotla galvanik pasivasyon veya cürufalama gibi yöntemlerle gerçekleştirilebilir.

• **Katmanlı İmalat Yöntemleri (3D Printing):** 3D yazıcıyla üretilen malzeme daha dayanıklı olabilmektedir. Gelecekte belki pervaneleri 3D print edip, lokal sertleştirmeyi de aynı anda yapacak yöntemler gelişebilir. Mesela aynı pervanede farklı yerleri farklı malzemeyle basmak gibi (işte ön kenarı süper sert tozla, diğer yerleri tok tozla basmak).

Sonuç olarak; Yüzey işlemleri, malzeme seçiminden bağımsız olarak, ekstra koruma sağlar. Diyelim NAB en iyi malzeme dedik, ama gemi çok hızlı gidecek, o zaman NAB + kaplama (örneğin NAB pervane, Stellite ön kenar). Veya paslanmaz dedik, ama üstüne tungsten karbür kaplayalım ki hiç aşınmasın. Bunlar tabii maliyetli çözümler, o yüzden genelde kritik askeri gemilerde veya pompaların çarklarında uygulanır. Ticari gemiler hala döküm NAB + belki ufak tamir kaynaklarıyla idare ediyor. Ama bilinmesi gereken,

bu teknolojilerin mevcut olduğudur. Eğer bir tasarımda ömür problemi çıkar-
sa, yüzeyi modifiye ederek bunu çözme şansımız var.

Laboratuvar Testleri ve Sonuçlarının Anlaşılması

Mühendislikte, bir malzemeyi veya koruma yöntemini seçmeden önce laboratuvar testleriyle performansını ölçeriz. Kavitasyon, erozyon ve korozyon için belli başlı testler şunlar:

- **Ultrasonik Kavitasyon Testi (ASTM G32):** Bir numuneyi titreşimli bir cihazın ucuna takıp suya daldırıyoruz, saniyede ~20 bin titreşim ile suyu kavitasyona uğratiyoruz. Bu düzenekte malzeme hızlıca kavitasyondan zarar görüyor, birkaç saatte yıllarca maruz kalacağı hasarı alabiliyor. Örneğin testler gösteriyor ki Zhang ve ark. (2017) sert bir çelik 8 saatte 5 mg kaybederken, yumuşak bir bronz 50 mg kaybedebilir. Tabii ki bu test, basitleştirilmiş bir model; gerçek pervanede kavitasyon her yerde aynı değil, dur kalk var vs. Ama malzemeleri kıyaslamak için çok faydalıdır. Bu test sonuçlarından bir eğride: başta az kayıp (kuluçka dönemi), sonra hızlı artış (aşınma hızı oturuyor), sonra sabit hız. Mühendis olarak, bu eğrinin sabit hız kısmındaki değeri (yani mm/sa veya mg/sa) malzemeler arası karşılaştırmada kullanılır. Yine de bu test deniz suyu yerine saf su ile yapıldığında korozyon etkisi ihmal edilmiş olur. Tuzlu su ile de yapılabilir ama o zaman kabarcık dinamiği değişir. O yüzden genelde testler damıtık su ile yapılır, sonra ayrı bir testle korozyon etkisine bakılır.

- **Jet Kavitasyon Testi (ASTM G134):** Bu testte yüksek basınçlı bir su jetinde kavitasyon oluşturulup numuneye çarptırılır. Bu, pervane arkasındaki akış kavitasyonuna daha çok benzer. Numune genelde döner bir disk olabilir veya sabit durur. Bu testin avantajı, birden fazla numuneyi aynı anda farklı pozisyonlarda test edebilmesi ve akışın etkisini dahil etmesi. Bazı malzemeler ultrasonik teste göre jette farklı sıralanabilir. Mesela çelikler vibrasyon testinde iyi, ama akışlı testte nispeten kötü çıkabilir, çünkü akışlı testte korozyon devreye daha çok girebilir. Jet testi pahalı bir düzenektir.

- **Korozyon Testleri:** Pervane malzemesi için standart bir tuzlu su daldırma testi veya elektrokimyasal testler yapılır. Örneğin bir NAB numunesini 3,5% tuzlu suya koyup potansiyodinamik polarizasyon yaparsınız, korozyon hızı (mm/yıl cinsinden) bulursunuz (Basumatary ve ark. 2020). Paslanmaz çelikte bu neredeyse 0 mm/yıl çıkar (pasif filminden ötürü), NAB'da belki 0.05 mm/yıl gibi bir değer çıkar. Bu test, hangi malzeme daha paslanır sorusunu yanıtlar. Pervane gibi parçalarda özellikle çukur korozyonu potansiyeli önemlidir, çünkü pervane varsa ufak çatlak/çukur bir kez oluşursa kavitasyon orayı sever, büyütür. Paslanmaz çeliklerde bir "kritik pitting sıcaklığı" vs. parametreleri vardır, bunlar malzeme kalite göstergesi. Genel kural, dubleks ve paslanmaz çelikler korozyon testlerinden çok başarılı sonuçlar almaktadır. Sonra bronz alaşımları gelir.

- **Eş Zamanlı Erozyon-Korozyon Testleri:** Bazı laboratuvarlar ultrasonik kavitasyona uğrayan numunenin elektrokimyasal akımını ölçer. Yani hem aşınıyor hem akım/potansiyel kaydediyor. Bu sayede, kavitasyon varken korozyon ne kadar artıyor ölçülebiliyor. Örneğin Basumatary ve ark. (2015, 2023) testinde NAB'ın korozyon akımı kavitasyon varken düşmüş idi, bu tip bir ölçümle belirlenmiş (açık devre potansiyelinde). Bu gibi testler malzeme seçimini öncelikli hale getiriyor: belki bir malzeme durgunken paslanıyor ama hareketliken paslanmıyor veya tersi. Son kullanıcı belki bunu fark etmeyebilir ama biz malzeme kıyaslarken göz önüne almalıyız.

- **Mikroskopik ve Yapısal Analizler:** Testlerden sonra numunelere SEM (elektron mikroskopu) ile bakılıyor. Bu pratikte de önemli: Pervanemiz hasar gördü, bir parça laboratuvara gönderirsiniz, orada incelenir “intermetalik fazlar kopmuş” denir. Mesela bir pervane kanadından kırılan parçaya bakıp “yorulma var” diyebiliriz. Analiz kısmı, bizim önlem almamız için rehber. Örneğin, eğer bir kaplamanın altındaki malzemeyle ayrıldığı görülürse, biliriz ki o kaplama yönteminde yapışma sorunu var; belki farklı kaplama yaparız.

- **Performans İndeksleri:** Sonuçları sayısal hale getiririz: Erozyon hızı (mg/sa), korozyon hızı (mm/yıl), sinerji %'si, vs. Bu sayede kataloglama yapabiliriz. Mühendis, malzeme seçeceği zaman bu verilere bakıp karar verir.

Özetle, laboratuvar testleri malzemeyi anlamamız için bize sayısal ve görsel veri sağlar. Bunlar olmasa, her malzemeyi gemide denemek zorunda kalırdık ki bu mümkün değil. Tabii her test tam gerçeği yansıtmaz, birden fazla test verisini birlikte kullanmak lazım. Mesela bir malzeme labda harika çıkabilir ama üretimi zor olur veya tam tersi. Yine de test sonuçları bize şunu net söyler: “Malzeme A, B’den şu kadar daha iyi veya kötü.” Bu bilgi, ömrü uzatmak için ne yapabileceğimiz konusunda temel oluşturur.

Gerçek Pervane Örnekleri ve Hasar Vakaları

Teori ve testler bir yana, gerçek hayatta neler olmuş bakmakta fayda var. Çünkü bazen öngörmediğimiz şeyler hasara yol açabilir. İşte birkaç vaka:

- **Döküm Bronzu Pervane Kanat Kırılması:** 2010’ların başında rapor edilmiş bir olay; bir geminin dökme mangan bronzu (eski tip pirinç diye-lim) pervanesi, hizmete girdikten birkaç ay sonra bir kanadını kaybetmiş. İnceleme diyor ki: Pervanede malzeme kusurları vardı (içerde gözenek, yanlış alaşım oranı vs.), ayrıca stres (gerilme) yorgunluğu emaresi var. Yani bu pervane muhtemelen hatalı üretildi ve belki bir de anormal titreşim/çarpma yaşadı, sonunda kırıldı. Sonuç olarak: Malzeme standardı ve kalite kontrol çok önemli. Kavitasyon bu olayda belki tetikleyici olma ihtimali var idi ama tespit edilememiştir. Raporda kavitasyondan bahsedilmemiş direkt yorgunluk denmiştir. Sonuçta malzeme seçimi kadar malzeme kalitesi de mühim (Pantazopoulos ve ark. 2011)

• **Paslanmaz Çelik Pervane Mili Kırılması:** Çift motorlu bir teknenin paslanmaz çelik tahrik mili (pervaneye güç ileten şaft) seyir esnasında ikiye ayrılıyor, gemi zor durumda kalıyor. Gemi 14 senedir çalışıyormuş. İnceleme diyor ki: “Mil yüzeyinde montaj veya bakım sırasında oluşmuş ufak bir çizik/ çentik varmış, buradan yorgunluk çatlağı başlamış, döne döne ilerlemiş ve kırmış”. Yani korozyon filan değil, düpedüz yüzey kusuru + yorgunluk. Demek ki mesela siz en iyi malzemeyi kullandınız (XM-19 SS, pahalı bir alaşım), ama montajda adam tornavidayla çizik attı. Bu pratikte çok önemli: Pervane de böyle, mükemmel malzeme seçersiniz, ama kaynakçı yanlış tel kullanır bir yerde, orası anot olur, korozyon ilerler. Veya nakliyyede yere düşer köşesi hafif ezilir, orası çabuk kavitasyon yapar. Yani uygulamada kalite ve dikkat şart. (Pantazopoulos ve ark. 2015).

• **Saha Deneyi (Küçük Balıkçı Teknesi):** Güney Kore’de yapılan bir deneyde, bir balıkçı teknesini iki şekilde işletmişler: Yavaş devir ve hızlı devir, 100’er saat. Pervane ağırlıklarını ölçmüşler. Yüksek devirdeki pervane 100 saatte, düşük devirdekine göre iki kat fazla ağırlık kaybetmiş. Bu demek ki hızlı gidildiğinde, kavitasyon hasarı ikiye katlanır. Ayrıca pervaneleri boyayla inceltip bakmışlar, düşük hızda oyuklar pervane kanadının arka kenarına, yüksek hızda ön kenarına yakın oluşmuş. Yani hız arttıkça kavitasyonun yeri ve şekli de değişiyor. Küçük tekneler genelde basit pirinç pervane kullanır, o yüzden bunlar 2-3 senede bir aşınıp değişir. Bu çalışma diyor ki ya tasarımı iyileştir (model test yap), ya malzemeyi değiştir. Küçük tekne üreticisi belki model test yapmaz ama malzemeyi iyi yapabilir. Mesela ucuz pirinç yerine NAB kullanabilirler, belki 2 yerine 4 sene gider. Veya yarı yarıya devri kısar, belki yakıttan bile kazanır. (Ju & Choi, 2022).

• **Genel Gözlemler:** Pervane hasarları genelde su altına dalıp bakınca anlaşılıyor (şeffaf olmayan suya sahip yerlerde gemi havuza çekilmeli). Belirtiler: Kanat yüzeyinde baloncuk patlamış gibi oyuklar, kenarlarda pürüzlenmeler, hatta küçük kenar kırıkları. Renk değişimi de ipucu: Bronzdaki yeşillenme aşırıysa korozyon fazla demek. Paslanmazsa kahverengi lekeler pitting demek olabilir. Yüzeyde siyahımsı parlak bölgeler kavitasyon erozyonunun taze yerleridir (metal parlak çıkar ya, su altında hafif kararır da olabilir). Eğer bir pervane dengesiz aşınırsa gemi titreşim yapmaya başlar. Yani makine dairesinde anormal bir titreşim fark edilirse, şüphelenip pervaneye baktırmak gerekir. Bazen kavitasyon, pervane palasını inceltir, pala esnemeye başlar, sonra da bükülür veya kopar. Ama bunlar genelde ya aşırı uzun bakım aralığından ya da malzeme hatasından kaynaklanmaktadır.

Bütün bu vakalar ve gözlemler bize şunu söylüyor: Kâğıt üstünde mükemmel görünen tasarım, uygulamada küçük hataları kaldırmıyor. O yüzden malzeme seçiminde güvenlik payı bırakmak, koruma önlemlerini kombinlemek ve periyodik kontrol yapmak şart. Mesela malzeme çok dayanıklı bile olsa, 5 yıl geçti mi bir dalgıç gönderip baktırmak gerekmektedir.

Ömür Tahmini ve Malzeme Seçimi Önerileri

Açıkçası, kavitasyon+erozyon+korozyon denkleminde kesin olarak ömür biçmek zordur. Ama elimizde testler ve tecrübeler bulunmaktadır, bunlara dayanarak ömür tahmini yapabiliyoruz. Aynı zamanda, malzeme seçimi ve koruyucu önlemlerle bu ömrü uzatmayı hedefliyoruz. İşte bazı öneriler:

- **Malzeme Seçerken:** Eğer gemi pervaneniz yüksek hızlı bir gemiye takılacaksa (örneğin askeri gemi, feribot, mega yat), kavitasyon erozyonu baskın sorun olacaktır. Bu durumda malzeme tercihinde sertlik ve mukavemet önceliğimiz olur (Amann ve ark., 2018) (Basumatary ve Wood, 2020). Dupleks paslanmaz çelik, martenzitik paslanmaz (17-4 PH gibi), hatta titanyum alaşımı düşünülebilir. Korozyon direnci bu malzemelerde zaten iyidir. Eğer gemi bir tanker, yük gemisi gibi orta hızda seyredecekse, NAB bronz yeterli olabilir – onun korozyon direnci de fena değil, tokluğu yüksek, şoklara dayanır (Ju & Choi, 2022). Küçük teknelerde genelde bronz veya pirinç kullanılıyor, ama imkân varsa NAB'e geçmek uzun vadede kazanç sağlar (daha seyrek değişim). Ayrıca pervane boyutu büyüdükçe, döküm kalitesi önem kazanır; paslanmaz çelik büyük pervanelerde dökümde iç gerilmeler vs. sorun olabilir, bu da bir parametre. Kısacası malzeme seçiminde geminin hızı, boyutu, işletme süresi (ömrü) ve bakım aralığı gibi bilgilerle birlikte karar verilmesi gerekir (Ju & Choi, 2022; Wei ve ark., 2025).

Bir tablo yapsak çok genel olarak:

- o Küçük tekne (balıkçı, yat): Malzeme = Pirinç/Pervane Bronz (ekonomik, hasar olsa da kolay değişir).

- o Orta boy ticari gemi: Malzeme = NAB (optimum denge).

- o Yüksek hızlı feribot/askeri: Malzeme = Dupleks Paslanmaz veya Özel bronz (HTB – yüksek dayanımlı bronzlar).

- o Özel durum (mesela maden araştırma gemisi, hassas titreşim istenmiyor): Malzeme = Titanyum (pahalı ama problem çözülür).

- **Koruyucu Kaplama:** Eğer malzeme seçiminizi kavitasyona göre yapmak zor, örneğin “gemim yavaş ama ben 10 yıl bakım yapmak istemiyorum, NAB kullanırsam 5 yılda bir aşınır” diyorsanız, malzemeyi değiştirmek yerine kaplamalar imdadınıza yetişir. Pervaneye bir sert kaplama (HVOF WC-Co mesela) uygulatıp, erozyon hızını yarıya düşürebilirsiniz (Wei ve ark., 2025). Özellikle pervane kanatlarının suya giriş kenarlarını kaplatmak etkilidir, çünkü hasar orada yoğunlaşır. Tabii kaplama da bir yatırımdır, geminin değerine göre karar verilmeli.

Eğer elektro-kimyasal koruma istiyorsanız, kesinlikle **katodik koruma** kullanılmalı Amann ve ark. (2018): Pervane bronz ise zaten bu koruma uygulanır, paslanmaz ise normalde gerek yok denir ama uygulanınca belki ko-

rozyona tamamen son verip sadece kavitasyonla uğraşılır. (fakat paslanmaz çelik pervane anoda bağlanırsa hafif hidrojen gevrekliği riski var bu nedenle uygulanacak potansiyele dikkat edilmeli).

- **Tasarım İyileştirmesi:** Malzeme ve kaplamanın yanında, pervane tasarımını kavitasyona karşı optimize etmek en etkili çözümdür – zira kavitasyon hiç oluşmazsa sorun kalmaz. Mesela malzeme mukavemeti yüksek seçerseniz, daha ince kanat profili yapabilirler, bu belki kavitasyonu azaltır (ama çok inceltirsen rezonans vs. çıkar, dikkat). Pervane çapını büyütüp devir düşürmek, kavitasyonu azaltır – ama her gemide çapı büyütemezsiniz. Yine de mesela bir yenileme projesi varsa, yeni pervaneleri bir miktar daha büyük çap/düşük devir yapıp daha kavitasyon dostu hale getirebilirsiniz.

Dümen ve pervane etkileşimi de önemlidir: Kavitasyon genelde pervane arkasında dümen üzerinde de hasar yapar. Dümen sacını mesela kavitasyon dirençli kaplamayla kaplayabilirsiniz.

- **Bakım ve İzleme:** Kavitasyon hasarı doğrusal olarak gitmez, bir noktada hızlanır (yarı inceline). Bu yüzden belirli aralıklarla kontrol şarttır. Örneğin her 2 yılda bir dalgıçla su altı muayene yapıp fotoğraflamak, her 5 yılda bir havuzda yakından bakmak gerekir. Küçük hasarlar birikiyorsa (mesela 2 mm derinlikte çukurcuklar) hemen onları doldurmak, taşlamak, parlatmak gerekir. Özellikle NAB pervanelerde kaynakla tamir kolaydır, ustası bulunur. Paslanmaz pervane tamiri risklidir ama genelde o kadar hasar görmez. Eğer malzeme zaten ucuzsa (pirinç gibi) belki onarmak yerine yenisiyle değiştirmek ekonomik olur.

Bazı gelişmiş gemilerde mil sensörleri vs. bulunmaktadır, ama pratikte belki *gemi performansı* ipucu verebilir. Mesela aynı hızda artık daha fazla yakıt yakıyorsa, pervanede kavitasyon erozyonu ile verim düşmüş olabilir. Veya titreşim analizi yapılıyorsa artan titreşimler pervane dengesizliği gösterebilir.

- **Çok Katmanlı Malzeme Kullanımı:** Pervaneyi çift metal yapabilirsiniz. Mesela çelik bir göbek, bronz dış kaplama gibi (bimetal pervane). Sovyetler zamanında bazı denizaltı pervaneleri böyle yapılmıştır. Yine de imalatı zordur. Fakat şimdi 3D yazıcılarla bu belki kolaylaşabilir. Bu sayede, göbeğe yakın kısım tok ve sağlam (çünkü oraya darbe az gelir ama yük biner), uç kısım kaplama ile korunmuş vs. bir kombinasyon. Yine, kompozit malzemeler (karbon fiber pervane) de kavitasyona bir çözüm olabilir.

Sonuçta, kavitasyon + erozyon + korozyon problemini tamamen ortadan kaldırmak gerçekçi değil; hedef, kabul edilebilir seviyeye çekmek ve pervane ömrünü gemi ömrüne yakın kılmak olmalı. Örneğin gemi 20 yıl çalışacaksa, pervane belki 10 yılda bir değişmeli/yenilenmeli, ya da küçük bakım ve kaplamalarla 20 yılı da görebilmeli. Malzeme bilimi burada bizim aracımız. Bu bölümde anlatılan bilgiler, hangi malzemenin neye karşı iyi, hangisinin zayıf

yönü ne, nasıl güçlendiririz gibi konularda bir rehber sunmaktadır. Uygulayıcı mühendislerin saha verilerini laboratuvar verileriyle birleştirerek karar vermesi gerekir. Yani eğer filodaki bir geminin pervanesi belirli bir malzeme ve şu kadar yılda şu hasarı gördü, literatürde benzer malzeme testlerde nasıl yapmış. Belki oradan “şu malzemeye geçsem iki kat uzun gider” denilebilir. Veya kaplama ekleyerek basitçe ömür uzatılabilir. Son olarak, gemi pervaneleri su altında çalışan dev pervaneler olduğu için, suyun sert şartlarına karşı akıllı malzeme ve yüzey seçimleri yapmak, uzun vadede güvenlik ve ekonomi açısından büyük fark yaratır.

KAYNAKLAR

- Basumatary, J., Nie, M., & Wood, R. J. K. (2015). The synergistic effects of cavitation erosion–corrosion in ship propeller materials. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 1(1), 12.
- Priyadarshi, A., Krzemień, W., Salloum-Abou-Jaoude, G., Broughton, J., Pericleous, K., Eskin, D. ve Tzanakis, I. (2023). *Effect of water temperature and induced acoustic pressure on cavitation erosion behaviour of aluminium alloys*. *Tribology International*, 189, 108994. doi:10.1016/j.triboint.2023.108994.
- Amann, T., Waidele, M., & Kailer, A. (2018). Analysis of mechanical and chemical mechanisms on cavitation erosion-corrosion of steels in salt water using electrochemical methods. *Tribology International*, 124, 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.04.012>
- Xueming Wei, Qixiang Jia, Fengyi Zhang, Lijun Zhang, Chunzhi Zhang, Kai Sun, Dongtao Duan, Gong Li, Investigating the corrosion and cavitation resistance of novel Al–Co–Cr–Ni eutectic high-entropy alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 2025 (Oct., in press). DOI: 10.1016/j.jallcom.2025.181349 (expected)
- Li, L., et al. (2024). Study on cavitation erosion-corrosion behavior of CoCrFeNiMo–Cu0.1 high-entropy alloy in 3.5 wt% NaCl. *Ultrasonics Sonochemistry*, 110, 107021.
- Basumatary, J., & Wood, R. J. K. (2020). Different methods of measuring synergy between cavitation erosion and corrosion for nickel aluminium bronze in 3.5% NaCl solution. *Tribology International*, 147, 104843.
- Pantazopoulos, G. A., Toulfatzis, A. I., & Tzompanakis, K. A. (2011). Failure analysis of a cast Mn-bronze propeller. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 11(2), 186–192.
- Yang, Z., Li, L., Qiao, Y., Li, C., Zhang, L., Cui, J., Ren, D., Ji, H. ve Zheng, Y. (2024). *Cavitation erosion-corrosion properties of as-cast TC4 and LPBF TC4 in 0.6 mol/L NaCl solution: A comparison investigation*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 108, 106947. doi:10.1016/j.ultsonch.2024.106947.
- Krella, A. K., et al. (2025). Damage development under cavitation erosion and electrochemical properties of a new lightweight multicomponent Mg–10Li–9Al–6Zn–4Si alloy. *Advanced Engineering Materials*, 27(1), 2402189.
- M Abedini, CLA y Lozano, A Kostka, S Hanke. (2024). Influence of surface finishing by grinding on the cavitation erosion resistance of 316L and NiAl-bronze. *Wear*, 554–555, 205432. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2024.205432>
- Zhang, H., Gong, Y., Chen, X., McDonald, A., & Li, H. (2019). A comparative study of cavitation erosion resistance of several HVOF-sprayed coatings in deionized water and artificial seawater. *Journal of Thermal Spray Technology*, 28(5), 1060–1071.

- Zhang, S., et al. (2017). Cavitation erosion and erosion-corrosion resistance of austenitic stainless steel by plasma transferred arc welding. *Engineering Failure Analysis*, 76, 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.02.007>
- Pantazopoulos, G., & Papaefthymiou, S. (2015). Failure and fracture analysis of an austenitic stainless steel marine propeller shaft. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 15(5), 762–767.
- Ju, H. J., & Choi, J. S. (2022). Experimental study of cavitation damage to marine propellers based on the rotational speed in the coastal waters. *Machines*, 10(9), 793.