MÜHENDİSLİK ALANINDA TEORİ VE ARAŞTIRMALAR

EDİTÖR:
PROF.DR.ADNAN HAYALOĞLU

gece kitaplığı

İmtiyaz Sahibi / Publisher • Yaşar Hız

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel

Editörler / Editors • Prof. Dr. Adnan Hayaloğlu

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Gece Kitaplığı

Birinci Basım / First Edition • © Eylül 2020
ISBN • 978-625-7243-56-8

© copyright
Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

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

Gece Kitaplığı / Gece Publishing
Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak Ümit Apt. No: 22/A Çankaya / Ankara / TR
Telefon / Phone: +90 312 384 80 40
web: www.gecekitapligi.com
e-mail: gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume
Sertifika / Certificate No: 47083

Mühendislik Alanında Teori ve Araştırmalar

Editör

Prof. Dr. Adnan Hayaloğlu

gece kitaplığı

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

ÇOK AMAÇLI PROBLEMLER İÇİN MOEA / D-DE ALGORİTMASININ PARAMETRE OPTİMİZASYONU

Mehmet BEŞKİRLİ 1

BÖLÜM 2

VERİ MADENCİLİĞİ İLE HASTALIK TESPİTİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ

Ayşe BEŞKİRLİ & Eyyüp GÜLBANDILAR & İdiris DAĞ 15

BÖLÜM 3

ENDÜSTRİ 4.0 PERSPEKTİFİNDEN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİMİ VE İSTİHDAMI

Nuşin UNCU 29

BÖLÜM 4

TOPLU GIDA ÜRETİMİNDE KARŞILAŞILAN ÖNEMLİ GIDA KAYNAKLI BAKTERİYEL PATOJENLER VE ÖNLEME YOLLARI

Mevhibe Terkuran 41

BÖLÜM 5

PVSYST İLE GÜNEŞ PANELİ KİRLİK ETKİLERİNİN İNCELENMESİ: ŞANLIURFA GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ ÖRNEĞİ

Murat ALTINTAŞ & Serdal ARSLAN 65

BÖLÜM 6

AFRODİSİAS VE HİERAPOLİS ANTİK KETLERİ DOĞALTAŞLARI-NIN KAYATOMİK ÖZELLİKLERİ VE ÇEVRE JEOLOJİSİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRMASI

Ramazan HACIMUSTAFAOĞLU & Fuzuli YAĞMURLU & Hakan ELÇİ 85

BÖLÜM 7

HARMONİ ARAMA ALGORİTMASI İÇİN EN UYGUN PARAMETRE SEÇİMİ

Mehmet BEŞKİRLİ 115

BÖLÜM 8
KOLOSTRUM: FARMAKOLOJİK, NUTRASÖTİKAL VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ
Merve KARLIDAĞ & Binnur KAPTAN 129

BÖLÜM 9
DENİZ LOJİSTİĞİ KAPSAMINDA ARAŞTIRMA KONULARI VE ÖNERİLER
Elifcan GÖÇMEN 151

BÖLÜM 10
SHRİNK FİLM MALZEMELERİ VE SERAMİK ENDÜSTRİSİNDE KULLANIMI
Gökhan AÇIKBAŞ & Nurcan ÇALIŞ AÇIKBAŞ..... 169

BÖLÜM 11
SİSMOLOJİ BİLİMİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ
Mehveş Feyza AKKOYUNLU..... 187

BÖLÜM 12
İNDÜKSİYON ISITMA SİSTEMLERİ VE UYGULAMA ALANLARININ İNCELENMESİ
Gençay Arda DUVARSEREN & İlyas TÜRKMEN 207

BÖLÜM 13
GERÇEK DÜNYA PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN YENİ BİR KAOTİK ATALET AĞIRLIKLI PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU
Mehmet Fatih TEFEK..... 235

BÖLÜM 14
TOPRAK SOLUCANLARI
Sakine UGURLU KARAAĞAÇ & Eren Mestan ŞENKAYA 249

BÖLÜM 15
KOMPOST VE VERMİKOMPOST
Sakine UGURLU KARAAĞAÇ & Eren Mestan ŞENKAYA..... 275

BÖLÜM 16
YAPAY SİNİR AĞI KULLANILARAK DISCONE ANTEN TASARIMI
Akif Atakan SEVİNÇ & Peyman MAHOUTİ &Mehmet Ali BELEN..... 307

BÖLÜM 17
ÇİFT YAKITLI SIKIŞTIRMA ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE MODELLENMESİ
Ramazan ŞENER 325

BÖLÜM 18
KÜÇÜKMUHSİNE PERİBACALARININ (KONYA) JEOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE JEOTURİZM POTANSİYELİ
Şeyda PARLAR & Yaşar EREN 345

BÖLÜM 19
ALTINAPA STROMATOLİT VE ONKOLİTLERİNİN (KONYA) OLUŞUMU, TİPLERİ VE JEOTURİZM POTANSİYELİ
Şeyda PARLAR & Yaşar EREN 367

BÖLÜM 20
BETONARME KOLON- KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNDE DENEYSEL ÖLÇÜM VE HESAPLAMA YÖNTEMLERİ İÇİN ÖRNEK BİR ÇALIŞMA
Alper BÜYÜKKARAGÖZ & Abdüssamet ARSLAN 383

BÖLÜM 21
ÜÇ BOYUTLU (3D) YAZICI TEKNOLOJİSİ VE UYGULAMA ALANLARI
Ali İhsan BAHÇEPINAR & İbrahim AYDIN..... 409

BÖLÜM 22
5S İŞ YERİ ORGANİZASYONU
Ali İhsan BAHÇEPINAR & İbrahim AYDIN..... 423

BÖLÜM 23
SEZGİSEL BİLGİ TEMELLİ ÇOK KRİTERLİ KARAR DESTEK SİSTEMİ

Fulya ASLAY 435
BÖLÜM 24
TEKSTİL SEKTÖRÜNDE GERİ DÖNÜŞÜM PROSESLERİ
Mihriban KALKANCI 449

BÖLÜM 25
FAY KAYAÇLARININ TARİHLENDİRİLMESİ
Elif AKGÜN 465

BÖLÜM 26
DERİ VE DERİ MAMULLERİ KARAKTERİZASYONUNDA KULLANILAN GELİŞMİŞ TEKNİKLER
Meruyert KAYGUSUZ & Nuray Olcay IŞIK 485

BÖLÜM 27
İNCE FİLM KAPLAMALAR VE UYGULAMA ALANLARI
Canser GÜL & Sevda ALBAYRAK 503

Bölüm 1

ÇOK AMAÇLI PROBLEMLER İÇİN MOEA / D-DE ALGORİTMASININ PARAMETRE OPTİMİZASYONU

Mehmet BEŞKİRLİ[1]

1 Dr. Öğr. Üyesi, Şırnak Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, mehmetbes@sirnak.edu.tr

1. Giriş

Optimizasyon, var olan imkanları kullanarak mümkün olan en iyi sonucu bulma işlemi olarak tanımlanmaktadır (Beskirli, Ozdemir ve Temutas, 2020; Beskirli, Temutas ve Ozdemir, 2020). Problemin amacına göre optmizasyon tek amaçlı ve çok amaçlı optmizasyon yöntemleri bulunmaktadır. Bu çalışma için çok amaçlı optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Çok amaçlı optimizasyon, optimizasyon faaliyetlerinin ayrılmaz bir parçasıdır ve neredeyse tüm gerçek dünya optimizasyon problemleri, birbiriyle çelişen birden fazla hedef kullanılarak modellenmek için idealdir. Bu tür problemleri çözmenin yolu öncelikle birden fazla hedefi tek bir hedefe ölçeklendirmeye odaklanırken, evrimsel araçlar ise çok amaçlı bir optimizasyon problemini olduğu gibi çözmek olmuştur. Literatüre bakıldığında tek hedefli optimizasyon problemleri, kısıtlı optimizasyon problemleri, kısıtsız optimizasyon problemleri ve çok amaçlı optimizasyon problemleri gibi birçok optimizasyon problemi vardır. Ayrıca bu problemler evrimsel algoritma (EA), parçacık sürü optimizasyonu (PSO) (Kennedy ve Eberhart, 1995), karınca kolonisi optimizasyonu (ACO) (Dorigo ve Gambardella, 1997) ve diferansiyel evrim (DE) (Storn ve Price, 1997) gibi birçok yöntemler kullanılarak algoritmanın bu problemler üzerindeki etkisi test edilmiştir. Bununla birlikte, bu algoritmalar çoğunlukla tek amaçlı optimizasyon problemlerini çözmede iyi performans gösterirken, gerçek dünyadaki birçok problemin birçok amacı vardır. Bu tür problemler, tek-amaçlı problemlerden çok farklıdır ve optimize edilmesi zordur. Çok amaçlı problemlerin genellikle iki veya daha fazla amacı vardır ve bu amaçlar karşılıklı olarak çatışır; geleneksel matematiksel yöntemler genellikle bunları iyi çözemez. Fakat literatüre bakıldığında araştırmacılar MOEA'ların bu tür problemleri çözmede avantajlar sağladıklarını belirtmişlerdir. Aynı zamanda çok amaçlı problemlerin geniş uygulama kapsamı nedeniyle, çok amaçlı evrimsel algoritmalar (MOEA'lar) üzerinde araştırmalar devam etmektedir. Çok amaçlı evrimsel optimizasyonda, ikiden fazla hedefi olan problemlere çok amaçlı optimizasyon problemlerini ifade ettiği söylenmektedir. Literatüre bakıldığında son yıllarda, çok amaçlı optimizasyon çalışmaları giderek daha popüler hale gelmiştir. Bu çalışmada çok amaçlı evrimsel optimizasyon MOEA/D-DE hibrit algoritmasının parametre optimizasyonu yapılmış ve tüm deneysel sonuçlar tablolarda gösterilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada literatürde iyi bilinen MOAE/D'nin yeniden başlatma stratejisi kullanarak elde edilen MOEA/D-DE algoritması kullanılmıştır. MOEA/D-DE algoritması Biswas vd. (Biswas, Das, Suganthan, ve Coello, 2014) tarafından önerilmiştir. Bu algoritma dinamik çok amaçlı optimizasyon test fonksiyonları (FDA1, FDA2, UDF1, UDF2, UDF3, UDF4, UDF5, UDF6, UDF7, UDF8, UDF9, UDF10) için IGD değerinin ortalaması kullanılmıştır. Tablo 3-10'da IGD değerlerinin ortalaması yer almaktadır.

Test fonksiyonları için ilk olarak Jin ve Sendhoff (Jin ve Sendhoff, 2004) tarafından önerilmiştir. Daha sonra bu fonksiyonlar geliştirilmeye başlandı. Farina (Farina, Deb, ve Amato, 2004) tarafından PF ve PS'deki dinamik yapıda amaç fonksiyonlarının zaman değişimini dikkate alarak dinamik çok amaçlı fonksiyonlara katkıda bulunmuştur. Karşılaştırmaları mevcut olan ZDT (Zitzler, Deb, ve Thiele, 2000) ve DTLZ (Deb, Thiele, Laumanns, ve Zitzler, 2005) multiobjektif problemlere dayanmaktadır. Ayrıca Mehnen (Mehnen, Wagner, ve Rudolph, 2006) tarafından ise bir dizi test fonksiyonu sunmuştur. Bu çalışmada Biswas vd. (Biswas et al., 2014) tarafından çalışılmış Tablo 1'deki test fonksiyonları kullanılmıştır.

Fonksiyon		Amaç fonksiyon sayısı	Pareto seti		Pareto cephesi		
			Yöntem	Değişim	Yöntem	Kaydırma	Açısal kaydırma / Eğrilik değişimi
F1		2	Trigonometrik	Yatay kaydırma	Sürekli	Diyagonal	Değişiklik yok
F2	UDF1	2	Trigonometrik	Dikey kaydırma	Sürekli	Diyagonal	Değişiklik yok
F3	UDF2	2	Polinom	Eğrilik değişimi + Dikey kaydırma	Sürekli	Diyagonal	Değişiklik yok
F4		2	Trigonometrik	Değişiklik yok	Ayrık	Diyagonal	Değişiklik yok
F5	UDF3	2	Trigonometrik	Değişiklik yok	Ayrık	Diyagonal	Değişiklik yok
F6		3	Trigonometrik	Değişiklik yok	Sürekli	Radyal	Değişiklik yok
F7	UDF4	2	Trigonometrik	Yatay kaydırma	Sürekli	Değişiklik yok	Açısal kaydırma + Eğrilik değişimi
F8		2	Trigonometrik	Dikey kaydırma	Sürekli	Değişiklik yok	Açısal kaydırma + Eğrilik değişimi
F9	UDF5	2	Polinom	Eğrilik değişimi + Dikey kaydırma	Sürekli	Değişiklik yok	Açısal kaydırma + Eğrilik değişimi
F10	UDF6	2	Trigonometrik	Değişiklik yok	Ayrık	Diyagonal	Yalnızca açısal kaydırma
F11		2	Trigonometrik	Değişiklik yok	Ayrık	Diyagonal	Yalnızca açısal kaydırma
F12	UDF7	3	Trigonometrik	Değişiklik yok	Sürekli	Radyal + kaydırma Merkez	Değişiklik yok
F13	UDF8	2	Trigonometrik	Rastgele Dikey veya Yatay kaydırma	Sürekli	Rasgele çapraz kaydırma	Rastgele açısal kaydırma veya Eğrilik varyasyon
F14	UDF9	2	Polinom	Rastgele Dikey veya Yatay kaydırma	Sürekli	Rasgele çapraz kaydırma	Rastgele açısal kaydırma veya Eğrilik varyasyon

Dinamik test fonksiyonlarının tüm amaç fonksiyonları en aza indirilmek için çeşitli çok amaçlı optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır.

3. Deneysel Sonuçlar

MOEA / D-DE algoritmasında yer alan updateprob değeri 0.1, 0.5 ve 0.9, Updatenb değeri 1 ve 2, F değeri 0.1, 1 ve 2, CR değeri ise 0.1, 0.5 ve 0.9 olarak alınmıştır. Çalışmada FDA1, FDA2, UDF1, UDF2, UDF3, UDF4, UDF5, UDF6, UDF7, UDF8, UDF9 ve UDF10 fonksiyonları kullanılmıştır. Parametre değerlerine göre elde edilen deneysel sonuçlar Tablo 1-18'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.1		
updatenb	1		
F	0.1		
CR	0.1	0.5	0.9
Fonksiyonlar			
FDA1	0.0527	0.0763	0.0463
FDA2	0.0196	0.0120	0.0161
UDF1	0.1312	0.1311	0.1465
UDF2	0.1392	0.1662	0.1667
UDF3	0.0279	0.0112	0.0095
UDF4	0.4170	0.4877	0.4620
UDF5	0.2495	0.1941	0.4751
UDF6	0.1581	0.1471	0.1664
UDF7	0.1423	0.0879	0.1842
UDF8	0.1059	0.0964	0.0947
UDF9	0.0347	0.0229	0.0215
UDF10	0.3570	0.4350	0.5086

Tablo 2. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.1		
updatenb	1		
F	1		
CR	0.1	0.5	0.9
Fonksiyonlar			
FDA1	0.5000	0.0575	0.0593
FDA2	0.0168	0.0253	0.0428
UDF1	0.0624	0.1386	0.1479
UDF2	0.0647	0.0922	0.0951
UDF3	0.0492	0.0802	0.0976
UDF4	0.6388	0.4251	0.5690
UDF5	0.4837	0.5437	0.7844
UDF6	0.2148	0.1966	0.2010

UDF7	0.0782	0.0516	0.0618
UDF8	0.1015	0.0849	0.0884
UDF9	0.0501	0.0919	0.0985
UDF10	0.2526	0.5085	0.5131

Tablo 3. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.1		
updatenb	1		
F	2		
CR	0.1	0.5	0.9
Fonksiyonlar			
FDA1	0.0519	0.0575	0.3093
FDA2	0.0291	0.0361	0.1559
UDF1	0.0933	0.1074	0.0902
UDF2	0.0901	0.1724	0.2718
UDF3	0.1025	0.1099	0.2305
UDF4	0.5231	0.9031	0.8285
UDF5	0.5325	0.3306	0.2398
UDF6	0.2010	0.2237	0.3226
UDF7	0.0846	0.0827	0.0998
UDF8	0.0994	0.1556	0.2152
UDF9	0.0807	0.1098	0.1368
UDF10	0.4129	0.8396	1.0237

Tablo 4. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.1		
updatenb	2		
F	0.1		
CR	0.1	0.5	0.9
Fonksiyonlar			
FDA1	0.1476	0.0562	0.0357
FDA2	0.0143	0.0126	0.0168
UDF1	0.2341	0.1487	0.1276
UDF2	0.1886	0.1438	0.1268
UDF3	0.0167	0.0312	0.0082
UDF4	0.5437	0.5476	0.5212
UDF5	0.3332	0.5660	0.3918
UDF6	0.2024	0.1291	0.1865
UDF7	0.1288	0.2885	0.1442
UDF8	0.0973	0.1478	0.1782
UDF9	0.0266	0.0176	0.0195
UDF10	0.4690	0.3253	0.4562

Tablo 5. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.1		
updatenb	2		
F	1		
CR	0.1	0.5	0.9
Fonksiyonlar			
FDA1	0.0368	0.0460	0.0494
FDA2	0.0164	0.0237	0.0277
UDF1	0.2057	0.0691	0.0679
UDF2	0.0786	0.0794	0.0957
UDF3	0.0760	0.0784	0.0822
UDF4	0.4221	0.6110	0.6607
UDF5	0.4841	0.6911	0.4216
UDF6	0.1789	0.1978	0.2310
UDF7	0.0791	0.0614	0.0827
UDF8	0.0726	0.1141	0.0992
UDF9	0.0644	0.0814	0.1091
UDF10	0.5589	0.4167	0.4664

Tablo 6. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.1		
updatenb	2		
F	2		
CR	0.1	0.5	0.9
Fonksiyonlar			
FDA1	0.0510	0.0916	0.1088
FDA2	0.0333	0.0389	0.1083
UDF1	0.0796	0.0847	0.1542
UDF2	0.1281	0.1935	0.2486
UDF3	0.0534	0.1218	0.1751
UDF4	0.7035	0.5911	0.7315
UDF5	0.6554	0.3202	0.4689
UDF6	0.2024	0.2973	0.6924
UDF7	0.2511	0.0743	0.1478
UDF8	0.0990	0.2107	0.2038
UDF9	0.0834	0.1727	0.1595
UDF10	0.5719	0.4933	0.7502

Tablo 7. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.5		
updatenb	1		
F	0.1		
CR	0.1	0.5	0.9

Fonksiyonlar			
FDA1	0.0746	0.0573	0.0782
FDA2	0.0187	0.0162	0.0105
UDF1	0.1520	0.1274	0.1336
UDF2	0.1217	0.0770	0.2579
UDF3	0.0199	0.0138	0.0123
UDF4	0.5114	0.4654	0.4559
UDF5	0.3020	0.2095	0.2030
UDF6	0.1758	0.1487	0.1718
UDF7	0.2001	0.1886	0.2704
UDF8	0.0803	0.1462	0.1362
UDF9	0.0264	0.0218	0.0235
UDF10	0.4623	0.5645	0.5921

Tablo 8. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.5		
updatenb	1		
F	1		
CR	0.1	0.5	0.9
Fonksiyonlar			
FDA1	0.0513	0.0493	0.1172
FDA2	0.0180	0.0204	0.0612
UDF1	0.0661	0.2656	0.2463
UDF2	0.0755	0.0878	0.1121
UDF3	0.0414	0.0310	0.0612
UDF4	0.4357	0.6675	0.6931
UDF5	0.7217	0.4883	0.2643
UDF6	0.1794	0.1994	0.2742
UDF7	0.2485	0.2140	0.0754
UDF8	0.0902	0.0986	0.1118
UDF9	0.0440	0.0534	0.0524
UDF10	0.5757	0.2858	0.5490

Tablo 9. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.5		
updatenb	1		
F	2		
CR	0.1	0.5	0.9
Fonksiyonlar			
FDA1	0.1061	0.0921	0.1971
FDA2	0.0227	0.0734	0.1030
UDF1	0.1537	0.0919	0.1128
UDF2	0.0840	0.1153	0.2466

UDF3	0.0590	0.1235	0.2149
UDF4	0.5981	0.4934	0.7235
UDF5	0.2550	0.4145	0.4986
UDF6	0.1867	0.2384	0.4091
UDF7	0.1930	0.1044	0.2168
UDF8	0.1903	0.1467	0.1981
UDF9	0.0649	0.0945	0.1148
UDF10	0.3822	0.6237	0.5772

Tablo 10. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.5		
updatenb	2		
F	0.1		
CR	0.1	0.5	0.9
Fonksiyonlar			
FDA1	0.1225	0.0875	0.0782
FDA2	0.0183	0.0137	0.0129
UDF1	0.1409	0.2644	0.1224
UDF2	0.1200	0.0976	0.1284
UDF3	0.0263	0.0170	0.0101
UDF4	0.9558	0.6362	0.5239
UDF5	0.5238	0.5076	0.6902
UDF6	0.1512	0.1587	0.1550
UDF7	0.2802	0.1521	0.2163
UDF8	0.0950	0.2036	0.1355
UDF9	0.0300	0.0268	0.0213
UDF10	0.5318	0.5955	0.4605

Tablo 11. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.5		
updatenb	2		
F	1		
CR	0.1	0.5	0.9
Fonksiyonlar			
FDA1	0.0590	0.0454	0.1038
FDA2	0.0201	0.0260	0.0345
UDF1	0.2924	0.1706	0.0844
UDF2	0.0861	0.0917	0.0990
UDF3	0.0398	0.0715	0.0716
UDF4	0.3700	0.7231	0.6307
UDF5	0.2524	0.4193	0.4501
UDF6	0.1770	0.2247	0.2091
UDF7	0.3703	0.0645	0.1345

UDF8	0.0769	0.1465	0.0882
UDF9	0.0419	0.0650	0.0682
UDF10	0.5647	0.2925	0.2943

Tablo 12. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.5		
updatenb	2		
F	2		
CR	0.1	0.5	0.9
Fonksiyonlar			
FDA1	0.0584	0.1276	0.1132
FDA2	0.0271	0.0577	0.0774
UDF1	0.1441	0.1441	0.1930
UDF2	0.2893	0.2961	0.2312
UDF3	0.0663	0.0973	0.1893
UDF4	0.7873	0.9263	0.9334
UDF5	0.3191	0.5016	0.3559
UDF6	0.2002	0.3098	0.6406
UDF7	0.0738	0.0875	0.2156
UDF8	0.0918	0.1502	0.1919
UDF9	0.0565	0.0940	0.0970
UDF10	0.5270	0.3797	0.6935

Tablo 13. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.9		
updatenb	1		
F	0.1		
CR	0.1	0.5	0.9
Fonksiyonlar			
FDA1	0.1453	0.1365	0.4044
FDA2	0.0323	0.0258	0.0195
UDF1	0.1359	0.2055	0.2237
UDF2	0.1866	0.1527	0.1288
UDF3	0.0290	0.0219	0.0149
UDF4	0.5239	0.5096	0.4114
UDF5	0.2739	0.2380	0.3486
UDF6	0.1785	0.1512	0.1506
UDF7	0.1258	0.1598	0.1523
UDF8	0.0991	0.1476	0.1026
UDF9	0.0413	0.0270	0.0276
UDF10	0.3032	0.5610	0.4176

Tablo 14. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.9		
updatenb	1		
F	1		
CR	0.1	0.5	0.9
Fonksiyonlar			
FDA1	0.0786	0.0815	0.1010
FDA2	0.0256	0.0235	0.0478
UDF1	0.1866	0.1463	0.1062
UDF2	0.1918	0.1160	0.1186
UDF3	0.0347	0.0257	0.0687
UDF4	0.5709	0.4704	0.5891
UDF5	0.5675	0.7485	0.8207
UDF6	0.1976	0.1795	0.1900
UDF7	0.1449	0.0974	0.1336
UDF8	0.0904	0.0993	0.0905
UDF9	0.0407	0.0422	0.0687
UDF10	0.3637	0.4231	0.2950

Tablo 15. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.9		
updatenb	1		
F	2		
CR	0.1	0.5	0.9
Fonksiyonlar			
FDA1	0.1323	0.1656	0.2407
FDA2	0.0466	0.0862	0.0680
UDF1	0.0872	0.0894	0.1769
UDF2	0.1264	0.1383	0.2300
UDF3	0.0621	0.1002	0.1204
UDF4	0.6358	0.5586	0.8527
UDF5	0.5365	0.2537	0.4437
UDF6	0.1921	0.2565	0.2017
UDF7	0.0781	0.1030	0.2036
UDF8	0.1557	0.0951	0.2209
UDF9	0.0466	0.0728	0.1390
UDF10	0.3893	0.5560	0.4215

Tablo 16. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.9		
updatenb	2		
F	0.1		
CR	0.1	0.5	0.9

Fonksiyonlar			
FDA1	0.1254	0.1400	0.1091
FDA2	0.0334	0.0218	0.0149
UDF1	0.1532	0.1877	0.2051
UDF2	0.1416	0.2129	0.1389
UDF3	0.0341	0.0279	0.0167
UDF4	0.4619	0.4343	0.6035
UDF5	0.2998	0.4180	0.2464
UDF6	0.1838	0.1782	0.1578
UDF7	0.1222	0.0992	0.0830
UDF8	0.1549	0.1361	0.0979
UDF9	0.0310	0.0238	0.0278
UDF10	0.3967	0.2999	0.3352

Tablo 17. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.9		
updatenb	2		
F	1		
CR	0.1	0.5	0.9
Fonksiyonlar			
FDA1	0.1422	0.0701	0.1328
FDA2	0.0221	0.0209	0.0351
UDF1	0.2448	0.0772	0.0604
UDF2	0.1463	0.0913	0.2530
UDF3	0.0336	0.0313	0.0424
UDF4	0.6291	0.7880	0.7874
UDF5	0.4243	0.4205	0.4421
UDF6	0.1841	0.1716	0.2028
UDF7	0.1141	0.1418	0.1835
UDF8	0.0935	0.1302	0.1004
UDF9	0.0320	0.0442	0.0684
UDF10	0.4878	0.3948	0.4452

Tablo 18. Parametre değerlerine göre sonuçlar

updateprob	0.9		
updatenb	2		
F	2		
CR	0.1	0.5	0.9
Fonksiyonlar			
FDA1	0.0925	0.1699	0.1933
FDA2	0.0348	0.0616	0.1291
UDF1	0.1095	0.1237	0.1762
UDF2	0.0818	0.1285	0.1377

UDF3	0.0554	0.0697	0.1685
UDF4	0.4702	1.0018	0.6289
UDF5	0.4453	0.5484	0.5423
UDF6	0.1896	0.2063	0.2689
UDF7	0.1213	0.0873	0.0998
UDF8	0.2021	0.2006	0.1764
UDF9	0.0578	0.0880	0.0736
UDF10	0.5327	0.5707	0.3715

4. Sonuçlar

MOEA / D-DE olarak adlandırılan hibrid çok amaçlı evrimsel algoritma, diferansiyel evrim ile ayrışamaya dayalı MOEA, tek-amaçlı Evrimsel Algoritmayı (EA) ile hibridleştirilmesi ile oluşan popülasyon temelli bir evrim algoritmasıdır. MOEA / D, çok amaçlı bir optimizasyon problemini bir dizi farklı tek objektif alt probleme ayrıştırır ve daha sonra bu alt problemleri aynı anda optimize etmek için popülasyon tabanlı bir yöntem kullanır. Bu çalışmada MOEA / D-DE algoritmasının performansını değerlendirmek için ters nesil mesafe (IGD)'ye göre parametre analizi yapılmıştır. Aynı zamanda algoritmanın performansına etkisi test edilmiş ve deneysel sonuçlar tablolarda gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan fonksiyonlar FDA1, FDA2, UDF1, UDF2, UDF3, UDF4, UDF5, UDF6, UDF7, UDF8, UDF9 ve UDF10'dur. Algoritmanın yapısında bulunan updateprob, updatenb, F ve CR parametre değerlerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Tablolar incelendiğinde updateprob, updatenb, F ve CR parametrelerinin değerleri sırası ile 0.1, 1, 0.1, ve 0.1 olduğunda problem sonuçları en iyi başarıyı sağladığını göstermiştir. Bu algoritmanın elde edilen parametre değerleri ile çok amaçlı problemlerin çözümünde başarılı olacağı düşünülmektedir. Gelecekteki çalışmalarda, popülasyon sayısının MOEA / D-DE algoritması üzerindeki etkisi analiz edilebilir ve problem seti genişletilebilir.

KAYNAKÇA

Beşkirli, A., Ozdemir, D. ve Temurtas, H. (2020). A comparison of modified tree–seed algorithm for high-dimensional numerical functions. *Neural Computing and Applications, 32, 6877-6911.*

Beşkirli, M., Temurtas, H., ve Ozdemir, D. (2020). Determination with Linear Form of Turkey's Energy Demand Forecasting by the Tree Seed Algorithm and the Modified Tree Seed Algorithm. *Advances in Electrical and Computer Engineering, 20(2), 27-34.*

Biswas, S., Das, S., Suganthan, P. N., ve Coello, C. A. C. (2014, 6-11 July 2014). *Evolutionary multiobjective optimization in dynamic environments: A set of novel benchmark functions.* Paper presented at the 2014 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC).

Deb, K., Thiele, L., Laumanns, M., ve Zitzler, E. (2005). Scalable test problems for evolutionary multiobjective optimization. In *Evolutionary multiobjective optimization* (pp. 105-145): Springer.

Dorigo, M., ve Gambardella, L. M. (1997). Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE Transactions on evolutionary computation, 1*(1), 53-66.

Farina, M., Deb, K., ve Amato, P. (2004). Dynamic multiobjective optimization problems: test cases, approximations, and applications. *IEEE Transactions on evolutionary computation, 8*(5), 425-442.

Jin, Y., ve Sendhoff, B. (2004). *Constructing dynamic optimization test problems using the multi-objective optimization concept.* Paper presented at the Workshops on Applications of Evolutionary Computation.

Kennedy, J., ve Eberhart, R. (1995). *Particle swarm optimization.* Paper presented at the Proceedings of ICNN'95-International Conference on Neural Networks.

Mehnen, J., Wagner, T., ve Rudolph, G. (2006). *Evolutionary optimization of dynamic multi-objective test functions.* Paper presented at the Proceedings of the Second Italian Workshop on Evolutionary Computation (GSICE2), CD-ROM proceedings.

Storn, R., ve Price, K. (1997). Differential evolution–a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of global optimization, 11*(4), 341-359.

Zitzler, E., Deb, K., ve Thiele, L. (2000). Comparison of multiobjective evolutionary algorithms: Empirical results. *Evolutionary computation, 8*(2), 173-195.

Bölüm 2

VERİ MADENCİLİĞİ İLE HASTALIK TESPİTİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ

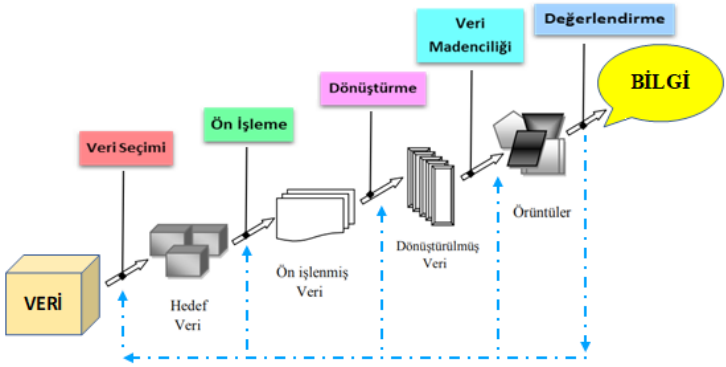
Ayşe BEŞKİRLİ[1]
Eyyüp GÜLBANDILAR[2]
İdiris DAĞ[3]

1 Doktora Öğrencisi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, abeskirli@mehmetakif.edu.tr

1 Öğretim Görevlisi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, abeskirli@mehmetakif.edu.tr
2 Prof. Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, egulbandilar@ogu.edu.tr
3 Prof. Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, idag@ogu.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde, bilişim teknolojilerde meydana gelen gelişmeler hızla artmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte bilgi miktarı, veri miktarı ve biriken veri miktarına bağlı olarak verilerin boyutu da her geçen gün artmaktadır (Özekes, 2003). Bu nedenle veri miktarı arttıkça bu verilerin anlaşılması, analiz edilmesi ve yorumlanması da zorlaşmaktadır. Bu bağlamda toplanan verilerin saklanmasının ve işlenmesinin önemi de gün geçtikçe artmıştır (Bilgin, 2009). Veri, bilginin işlenmemiş halidir (Shongwe, 2015). Bir verinin bilgiye dönüşmesi için verinin işlenerek anlamlı hale getirilmesi gerekmektedir. Bu sebepten dolayı verilerin işlenmesi ve yorumlanarak anlamlı sonuçların elde edilmesi için veri madenciliği yöntemi kullanılmaktadır. Veri madenciliği, toplanan verilerin işlenerek anlamlı hale getirilmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır. Toplanan veriler veri tabanında saklanır. Veri tabanından amaca uygun veri seçimi yapılır. Daha sonra gürültülü verinin çözülmesi için veri üzerinde bir ön işleme gerçekleştirilir. Gürültülü verinin kaldırılmasının ardından veri üzerinde dönüştürme işlemi gerçekleştirilerek veri, veri madenciliği için uygun bir hale getirilir. Birçok aşamadan geçerek veri madenciliği için kullanıma uygun hale getirilen veri, işlenerek amaca uygun olacak şekilde anlamlı hale getirilir. Son olarak ise veri madenciliği aşamasında elde edilen örüntünün anlamlı olup olmadığı sorgulanmaktadır. Anlamsız bir sonuç çıkıyorsa bir önceki aşamalara tekrar geri dönülmektedir. Şekil 1'de veri madenciliğinde bilgiye ulaşma adımları gösterilmiştir (Sağaltıcı ve ark.).



Şekil 1. Veri madenciliğinde bilgiye ulaşma adımları (Sağaltıcı ve ark.).

Veri madenciliği yöntemi pazarlama, biyoloji, bankacılık, sigortacılık, borsa, telekomünikasyon, genetik, sağlık, mühendislik, turizm, endüstri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Akgöbek ve Çakır, 2009; Özekes, 2003). Bu çalışmada ise sağlık alanında literatürde yer alan veri madenciliği ile hastalık tespiti üzerine yapılan çalışmalar incelenerek kullanılan yöntemlerin hastalık tespiti üzerindeki başarısının analizleri yapılmıştır.

2. Literatür Araştırması

Çeşitli problemlere uygulanmaya başlanan veri madenciliği yöntemi, özellikle sağlık alanında kullanımı daha yaygındır. Tıpta veri birikimine neden olan uygulamalarda teşhis koyma, tedavi, görüntüleme, halk sağlığı gibi daha birçok çalışma örnek olarak gösterilebilir. Veri madenciliği yöntemi sayesinde toplanan tıbbi veriler işlenerek anlamlı bilgiye ulaşılmasını, hastalık teşhisi sırasında ufak ayrıntıların hızlı bir şekilde farkına varılmasını, hastalığın daha erken ve aynı zamanda doğru bir şekilde teşhis edilmesi gibi birçok durumlara avantaj sağlamaktadır (Reddy, Kodali ve Gundabathina, 2012).

Literatür araştırmasına göre araştırmacılar, çeşitli veri tabanından hastalık türüne göre veri seti seçerek işleme başlamaktadırlar. Bu veri setinde hem hasta hem de hasta olmayan vakalara ait yaş, cinsiyet, kan değerleri gibi hastalık türüne bağlı olarak birçok özellik bulunmaktadır. Her hastalık için belirlenen kriter verileri araştırmacılar, veri madenciliğinde yer alan farklı yöntemlere uygulayarak hastalık tespiti için uygun olan yöntemi önermişlerdir. Aşağıda literatürde mevcut olan veri madenciliği ile hastalık tespiti üzerine yapılan bazı çalışmalar sunulmuştur.

Taşcı ve Şamlı, kalp hastalığının teşhisi için weka yazılımı ile zeror, oner, naive bayes, J48 karar ağacı, rastgele orman, çoklu algılayıcılar, k-en yakın komşu (k-Nearest Neighbour- k-NN), lojistik regresyon, destek vektör makinesi (support vector machine- SVM) gibi sınıflandırma algoritmalarını uygulamışlardır. Yaş, cinsiyet, kan şekeri, kalp atış hızı, elektrokardiyografik sonuçları gibi 13 parametre ile kalp hastalığı varlığının tahmini yapılmıştır. Algoritmaların doğruluk oranlarını karşılaştırdıklarında k-NN'nin en doğru tahmin sonucu elde eden yöntem olduğunu vurgulamışlardır (Taşçı ve Şamlı, 2020).

David and Belcy, veri madenciliği yöntemlerinden rastgele orman, karar ağacı ve bayes net algoritmalarını kullanarak kalp hastalığının olasılığının doğru bir şekilde tahmin edilmesi için model geliştirmişlerdir. Rastgele orman yönteminin, karar ağacı ve bayes net yöntemlerine göre %81 daha hassas tahmin ettiğini ve en iyi performansı sergilediğini söylemişlerdir (David ve Belcy, 2018).

Singh ve ark., veri madenciliği tekniklerinden yapay sinir ağlarını (YSA) kullanarak kalp hastalığı risk düzeyinin tahmini için yaş, cinsiyet, kan basıncı, kolesterol gibi 15 parametre ile kalp hastalığı tahmin etmek için etkili bir model geliştirdiklerini söylemişlerdir. Elde edilen sonuçları incelediklerinde kalp hastalığı risk seviyesini etkili bir şekilde tahmin edebileceğini söylemişlerdir (Singh, Singh, ve Pandi-Jain, 2018).

Cihan ve ark., kardiyovasküler hastalık tiplerinden biri olan koroner arter hastalığının doğru ve zamanında teşhis edilmesinin önemini belirt-

mişlerdir. Veri madenciliği algoritmalarının koroner arter hastalığının zamanında ve doğru tanımlanmasında önemli rol oynadığını vurgulamışlardır. Çalışmalarında veri madenciliği yöntemlerinden 1R, çok katmanlı YSA, J48 ve naive bayes gibi sınıflandırma algoritmalarını kullanmışlardır ve modelleri doğruluk, TP, FP, Kesinlik, F-ölçüt, ROC ve zaman açısından karşılaştırmışlardır. Doğruluk açısından incelediklerinde en iyi sonucun %83,498 oranı ile çok katmanlı YSA yöntemine ait olduğunu, daha sonra sırasıyla naive bayes ve J48 yöntemi ile elde edildiğini söylemişlerdir (Cihan, Karabulut, Arslan ve Cihan, 2018).

Sultana ve ark., çalışmalarında veri madenciliği tekniklerini kullanarak kalp hastalığı tahmini konusu ele almışlardır. Yapılan çalışmada kalp hastalığının doğru bir teknik ile tahmin edilmesi için weka yazılımı ile KStar, J48, SMO, bayes net ve MLP yöntemlerini kullanmışlardır. Kalp hastalığı tahmini için bayes net ve SMO yöntemleri ile elde edilen bulguların diğer yöntemlere göre optimum olduğunu söylemişlerdir (Sultana, Haider ve Uddin, 2016).

Shafique ve ark., çalışmalarında kalp hastalığı teşhisi için veri madenciliği sınıflandırma tekniklerinden karar ağacı, sinir ağı ve naive bayes algoritmalarını kullanmışlardır. Algoritmaların performanslarını değerlendirmek için doğruluk, kesinlik, F-ölçüsü, ROC eğrisi, TP hızı ve FB gibi farklı metrikleri göz önünde bulundurmuşlardır. Deneysel sonuçlara göre %89,914 oranı ile naive bayes algoritmasının en yüksek doğruluğa sahip olduğunu söylemişlerdir (Shafique, Majeed, Qaiser ve Mustafa, 2015).

Venkatalakshmi ve Shivsankar, kalp hastalığının erken aşamada tespit edilip tedavi edilmesi için veri madenciliği metotlarından karar ağacı ve naive bayes yöntemlerini kullanarak bir model oluşturmuşlardır. Deney sonuçlarını analiz ettiklerinde kalp hastalığı için naieve bayes yönteminin karar ağacına göre daha iyi tahmin sonucu elde ettiğini söylemişlerdir (Venkatalakshmi ve Shivsankar, 2014).

Taneja, kalp hastalığının tanısının güvenirliğini arttırmak için veri madenciliği tekniklerinden J48, sinir ağı ve naive bayes yöntemlerini kullanmışlardır. Deneysel sonuçları incelediklerinde J48 yönteminin, sinir ağı ve naive bayes yöntemine göre kalp hastalığının tespiti için daha iyi olduğunu vurgulamışlardır (Taneja, 2013).

Bhatla ve Jyoti, çalışmalarında kalp hastalığının tahmini için naive bayes, karar ağaçları ve sinir ağları veri madenciliği metotlarını kullanarak bir model oluşturmuşlardır. Deneysel sonuçları analiz ettiklerinde kalp hastalığının tahmini için sinir ağı ile elde edilen sonuçların doğruluğunun %100 olduğu gösterilmiştir (Bhatla ve Jyoti, 2012).

Walse ve ark., kronik böbrek hastalığı istatistiklerinin tahmini için weka yazılımındaki Apriori yöntemini kullanarak yaş, tansiyon, şeker,

kırmızı kan hücreleri, hemoglobin gibi yirmi beş farklı nitelikli 400 hasta örneğini içeren verilerin ön işlemesi yapılmış ve analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Önerdikleri model ile böbreğin daha az hasar görmesini öngörmüşler ve hastalık oranını teşhis etmişlerdir (Walse, Kurundkar, Muley ve Bhalchandra, 2020).

Rady ve Anwar, kronik böbrek hastalığı evrelerinin tahmini için veri madenciliği yöntemlerinden olasılıksal sinir ağları (PNN), çok katmanlı algılayıcı (MLP), destek vektör makinesi (SVM) ve Radyal temelli fonksiyon (RBF) algoritmalarına uygulamışlar ve elde etmiş oldukları sonuçları karşılaştırmışlardır. Kronik böbrek hastalığı evrelerinin tahmini için PNN algoritmasının diğer algoritmalara göre daha iyi tahmin sonucu elde ettiğini söylemişlerdir (Rady ve Anwar, 2019).

Kılıçarslan ve Çelik, çalışmalarında veri madenciliği yöntemlerinden biri olan rotasyon orman algoritması ile rastgele ağaç algoritmasının kombinasyonunu kronik böbrek rahatsızlığının tahmini için önermişlerdir. Elde edilen sonuçlarını değerlendirdiklerinde önermiş oldukları modelin diğer sınıflandırma algoritmalarına göre daha iyi performans gösterdiğini ve uzman hekimlere tedavi öncesi doğru teşhisin edilmesi için katkı sağlayacağını düşündüklerini belirtmişlerdir (Kılıçarslan ve Çelik, 2019).

Erdursun ve ark., kronik böbrek hastalığı tahmini için rastgele orman, naive bayes, SVM, sinir ağı, k-NN, lojistik regresyon yöntemlerini kullanarak farklı modeller oluşturmuşlardır. Çalışmalarında 124 hasta ve 92'si kontrol grubu olmak üzere toplam 216 klinik kayıtları baz almışlardır. Yapılan analiz sonuçlarına göre sınıflandırma algoritmaları içerisinden kronik böbrek hastalığı için en doğru tahmini gerçekleştiren %98,46 ile rastgele orman ikinci olarak %96,92 ile naive bayes, üçüncü olarak %93,85 ile SVM, dördüncü olarak %98,92 ile sinir ağı, beşinci olarak %96,92 ile k-NN son olarak ise %93,85 ile lojistik regresyon algoritması olduğunu söylemişlerdir (Erdursun, Erbay, Akmeşe ve Doğan, 2019).

Alam ve ark., veri madenciliği teknikleri ile diyabet hastalığının tahmini için model geliştirmişlerdir. Diyabet hastalığının tahmini için yapay sinir ağları, rastgele orman (RF) ve K-means kümeleme tekniklerini kullanmışlardır. Elde edilen bulgular neticesinde diyabet hastalığının doğru bir teşhisi için YSA tekniğinin daha uygun olduğunu belirtmişlerdir (Alam ve ark., 2019).

Wu ve ark., tip 2 diyabet hastalığının tahmini için veri madenciliği tekniklerine dayanan bir model önermişlerdir. Önerdikleri modelin doğruluğunu arttırmak için K-means algoritması ve lojistik regresyon yöntemlerini kullanmışlardır. Veri seti olarak total kolestrol, glikoz, hemoglobin, yaş, cinsiyet, boy, ağırlık, kan basıncı gibi geniş kapsamlı veri setini baz alarak K-means ve lojistik regresyon algoritmaları ile model oluşturmuş-

lardır. Elde edilen sonuçları literatürdeki diğer modellerle kıyaslamışlar ve önerdikleri modelin %3,04 oranında daha yüksek tahmin doğruluğu gösterdiği ve sağlık yönetimi için kullanılabilir bir model olduğunun sonucuna varmışlardır (Wu, Yang, Huang, He ve Wang, 2018).

Woldemichael and Menaria, diyabet hastalığını tahmin etmek için veri madenciliği tekniklerinden geri yayılım, J48, naive bayes ve destek vektör yöntemlerini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçları kıyasladıklarında geri yayılım yöntemi ile elde edilen sonuçların diyabet hastalığını %83,11 oranında doğru tahminde bulunduğunu söylemişlerdir (Woldemichael ve Menaria, 2018).

Kumar ve Umatejaswi, K means algoritmasını kullanarak diyabetin tipi (tip1 ve tip 2 diyabet) ve risk düzeylerinin (hafif, orta ve şiddetli) tahmini için bir model geliştirmişlerdir. Sonuç olarak önerilen modelin hastalarda diyabetin tanısının geliştirme ve erken iyileşmesi için yardımcı olduğunu söylemişlerdir (Kumar ve Umatejaswi, 2017).

Komi ve ark., diyabet hastalığının teşhisi için veri madenciliği yöntemlerinden GMM (Gaussian mixture model), SVM, ELM (Extreme learning machine), YSA ve lojistik regresyon olmak üzere beş farklı yöntem ile modelleme oluşturmuşlardır. Elde edilen bulgular sonucunda diyabetli hastayı tahmin edebilmek için en etkili yöntemin ilk olarak YSA ardından ELM ve GMM yöntemlerinin olduğunu söylemişlerdir (Komi, Li, Zhai ve Zhang, 2017).

Çelik ve ark., çalışmalarında siğil tedavisi seçeneklerinden biri olan immunotherapy yönteminin hastaya uygulanıp uygulanmaması konusunda hekimin daha doğru bir şekilde karar verebilmesi için veri madenciliği yöntemlerinden biri olan bayes net ile model oluşturmuşlardır. Toplamda 90 hastanın bulunduğu veri seti üzerinde bayes net algoritmasını çalıştırmışlardır. Elde edilen sonuçları incelediklerinde siğil tedavisi için uygulanacak tedavi yönteminin seçimi için hekimin daha doğru karar almasına yardımcı olacağını aynı zamanda hastalar için de zamandan kazanma, tedavi kalitesini iyileştirmek gibi birçok fayda sağlayacağını belirtmişlerdir (Çelik, Çeşmeli, Pençe ve Kalkan, 2019).

Uzun ve ark., çalışmalarında veri madenciliği yöntemlerinden lojistik regresyon ve karar ağacı algoritmalarını kullanarak siğil tedavisi için kriyoterapi ile immünoterapi tedavi seçeneklerinden hangisinin başarılı olup olmayacağını tahminini gerçekleştirmişlerdir. Veri tabanında 180 hastaya ait Immunotherapy Dataset ve Cryotherapy Dataset başlıkları altında yer alan iki veri setini baz alarak model oluşturmuşlardır. Elde edilen bulgular neticesinde siğil tedavisi için hangi yöntemin başarılı olacağını karar ağacı algoritması ile %85,56 oranında doğru olarak tespit edildiğini belirtmişlerdir (Uzun, İşler ve Toksan, 2019).

Cruz ve Tumibay, tüberküloz tedavisinin nüks etmesini öngörmek amacı ile weka yazılımında bulunan J48 karar ağacı algoritmasını 510 tüberküloz hastasının veri setine uygulamışlardır. J48 modeli için üç anlamlı değişken kategorisi olduğunu tanımlamışlardır. DSMM (Direct Sputum Smear Microscopy) sonuçları, yaş ve cinsiyet kategorileri tedavi nüksünün belirleyicisi olduğunu söylemişlerdir. Önerdikleri J48 tahmin modelinin kullanışlı ve avantajlı olduğunu belirmişlerdir (Cruz ve Tumibay, 2019).

Sebik ve Bülbül, akciğer kanseri hastalığının teşhisi için veri madenciliği yazılımı olan weka ile naive bayes, bayes net, lojistik regresyon, multi layer perceptron, kstar, banging, oner, zeror, J48 ve random tree algoritmalarını kullanarak çeşitli modeller oluşturmuşlardır. Oluşturulan modelleri doğruluk oranlarını karşılaştırdıklarında en iyi algoritmanın %91,1 oranı ile naive bayes, ikinci olarak %90,8 oranı ile bagging algoritmasının en iyi tahmin sonucu elde ettiğini vurgulamışlardır. Çalışmalarındaki en düşük başarı oranına sahip olan algoritmanın ise zeror olduğunu söylemişlerdir (Sebik ve Bülbül, 2018).

Dana ve Alashqur, çalışmalarında alzheimer hastaları hakkındaki tıbbi verilere dayanarak hastalığın durumunu tahmin edilmesine yardımcı olacak Alzheimer hastalığı tahmin modeli geliştirmişlerdir. Karar ağacı, bir yaprak düğüme ulaşana kadar yeni hastalara ait özellik değerlerine dayanarak kök düğümden aşağı doğru hareket ettirildiğini söylemişlerdir. Yaprak düğümü alzheimer hastalığının durum tahminini temsil etiğini belirtmişlerdir (Dana ve Alashqur, 2014).

Benyoussef ve ark., alzheimer hastalığı tanısını kolaylaştırmak için veri madenciliği tekniklerinden karar ağaçları, ayrım analizi ve lojistik regresyon olmak üzere üç sınıflandırma yöntemi ile tahmin modeli önermişlerdir. Elde edilen sonuçları incelediklerinde karar ağacının tahmin doğruluğunun %92, lojistik regresyonun tahmin doğruluğunun %67, ayrım analizi tahmin doğruluğunun ise %78 olduğunu söylemişlerdir (Benyoussef, Elbyed ve El Hadiri, 2017).

Dhamodharan, veri madenciliği metotlarından biri olan bayes sınıflandırma yöntemini kullanarak karaciğer hastalıkları içerisinden karaciğer kanseri, siroz ve hepatit hastalıklarının tespitini gerçekleştirmişlerdir. Önerdiği yöntemin diğer algoritmalara göre çok daha iyi olduğunu ve doğru bir tahmin aracı olduğunu vurgulamıştır. Bu sayede insanların karaciğer hastalığı tahminin olası sonuçlarını öğrenebileceklerini belirtmiştir (Dhamodharan, 2014).

3. Hastalık Tespiti için Kullanılan Yöntemler

Yapılan çalışmalarda hastalık tespiti gerçekleştirilirken ilk olarak teşhis edilmek istenen hastalığa ait veri kümesinin temin edilmesi gerekmektedir. Hastalık tespiti için kullanılan veri kümeleri her hastalık çeşidine

göre değişmektedir. Bir veri kümesi içerisinde çok fazla değişken olabilmektedir. Ancak araştırmacılar bu değişkenlerin hepsini kullanabilirler veya uzman görüşüne göre önemli olan değişkenleri veri kümesi içinden seçerek de kullanabilirler. Seçilen değişkenlere sahip olan veri kümesi veri madenciliğinde yer alan yöntemlere uygulanır. Daha sonra uygulanan yöntemlerin karşılaştırmalı analizleri yapılarak doğruluk ölçütü açısından incelenir. Böylece yapılan çalışmalarda hastalık tespiti gerçekleştirilirken hangi yöntemin daha etkili olduğunun tahmini gerçekleştirilmektedir.

Literatür incelendiğinde, hastalık tespiti için uygulanan yöntemlerin her problem için farklılık gösterdiği görülmektedir. Burada probleme uygun olan yöntemi bulmak önemlidir. Tablo 1'de belirtilen hastalık türleri için araştırmacılar farklı farklı yöntemler denemişler ve en uygun yöntemi tespit ederek literatüre katkı sağlamışlardır.

Tablo 1. Hastalık türleri ve araştırmacılar tarafından uygulanan yöntemler

Araştırmacılar	**İncelenen Hastalık Türü**	**Uygulanan Yöntem**
Taşçı ve Şamlı, 2020	Kalp hastalığı	Zeror, Oner, Naive Bayes, J48 Karar Ağacı, Rastgele Orman, Çoklu Algılayıcılar, k-NN, Lojistik Regresyon, Destek Vektör Makinesi
David ve Belcy, 2018	Kalp hastalığı	Rastgele Orman, Karar Ağacı ve Naive Bayes
Singh ve ark., 2018	Kalp hastalığı	Yapay Sinir Ağı (YSA)
Cihan ve ark., 2018	Koroner Arter hastalığı	1R, J48 Karar Ağacı, Naive Bayes ve Çok Katmanlı YSA
Sultana ve ark., 2016	Kalp hastalığı	KStar, J48, SMO, Naive Bayes ve MLP
Shafique ve ark., 2015	Kalp hastalığı	Karar Ağacı, Sinir Ağı ve Naive Bayes
Venkatalakshmi ve Shivsankar, 2014	Kalp hastalığı	Karar Ağacı ve Naive Bayes
Taneja, 2013	Kalp hastalığı	J48, Sinir Ağı ve Naive Bayes

Bhatla ve Jyoti, 2012	Kalp hastalığı	Naive Bayes, Karar Ağacı ve Sinir Ağı
Walse ve ark., 2020	Kronik böbrek hastalığı	Apriori
Rady ve Anwar, 2019	Kronik böbrek hastalığı	PNN, MLP, SVM, RBF
Kılıçarslan ve Çelik, 2019	Kronik böbrek rahatsızlığı	Rotasyon Orman Algoritması ile Rastgele Orman
Erdursun ve ark., 2019	Kronik böbrek hastalığı	Rastgele Orman, Naive Bayes, SVM, Sinir Ağı, k-NN, Lojistik Regresyon
Alam ve ark., 2019	Diyabet hastalığı	Yapay Sinir Ağları (YSA), Rastgele Orman (RF) ve K-Means
Wu ve ark., 2018	Tip 2 Diyabet hastalığı	K-Means Algoritması ve Lojistik Regresyon
Woldemichael ve Menaria, 2018	Diyabet hastalığı	Geri Yayılım, J48, Naive Bayes ve Destek Vektör Makinesi
Kumar ve Umatejaswi, 2017	Tip 1 ve Tip 2 Diyabet hastalığı	K-Means Algoritması
Komi ve ark., 2017	Diyabet hastalığı	GMM, SVM, ELM, YSA ve Lojistik Regresyon
Uzun ve ark., 2019	Siğil hastalığı	Lojistik regresyon ve Karar Ağacı
Çelik ve ark., 2019	Siğil hastalığı	Naive Bayes
Cruz ve Tumibay, 2019	Tüberküloz hastalığı	J48

Sebik ve Bülbül, 2018	Akciğer kanseri hastalığı	Naive Bayes, Bayes Net, Lojistik Regresyon, Multi Layer Perceptron, KStar, Banging, OneR, ZeroR, J48 ve Random Tree
Benyoussef ve ark., 2017	Alzheimer hastalığı	Karar Ağaçları, Ayrım Analizi ve Lojistik Regresyon
Dana ve Alashqur, 2014	Alzheimer hastalığı	Karar ağacı
Dhamodharan, 2014	Karaciğer Kanseri, Siroz ve Hepatit hastalıkları	Naive Bayes

4. Sonuçlar

Bu çalışmada ilk olarak veri madenciliği hakkında genel bilgilere yer verildikten sonra literatürde önemli bir yere sahip olan veri madenciliği ile hastalık tespiti üzerine yapılan çalışmalar ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda;

- Araştırmacılar, ilk olarak tespit edilmek istenen hastalığa ait veri kümesini temin etmişler ve uygun olan parametreleri seçerek weka programında yer alan yöntemlere uygulamışlardır.
- Her bir hastalık türü için zeror, oner, naive bayes, bayes net, J48 karar ağacı, rastgele orman, çoklu algılayıcılar, k-NN, lojistik regresyon, destek vektör makinesi, apriori, PNN, MLP, RBF, KStar, SMO, rotasyon orman algoritması, ayrım analizi, sinir ağı, K-Means ve yapay sinir ağı gibi farklı veri madenciliği yöntemlerini kullanarak farklı modeller oluşturmuşlardır.
- Her bir model için elde edilen deneysel sonuçları diğer yöntemlerle karşılaştırmışlardır.
- Ayrıca araştırmacılar tarafından kalp, kronik böbrek, diyabet, tüberküloz, alzheimer, akciğer, karaciğer hastalıklarının tespiti ve siğil tedavi seçeneğinin belirlenmesi için uygulanan yöntemlerin doğruluk ölçütü açısından karşılaştırmalı olarak analizlerini de gerçekleştirmişlerdir.

Elde edilen tıbbi verileri düzenleme, işlenebilir hale getirme ve anlamlandırma işlemlerinin veri madenciliği yöntemleri ile yapılmasının yanı sıra veri madenciliği yöntemleri kullanılarak hastalıkların teşhisi sı-

rasında farkına varılması güç olan detayların daha hızlı bir şekilde tespit edilip hastalıkların teşhis edilmesine yardımcı olabilmektedir. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar incelendiğinde veri madenciliği için kullanılan weka yazılım programının çoğunlukla kullanıldığı görülmektedir. Bu yazılım içerisinde yer alan algoritmalar veri setlerine uygulanarak hastalığın doğru bir şekilde teşhisini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, aynı hastalık türü için farklı bakış açısı geliştirerek doğru tahmini gerçekleştiren yöntemin tespitini gerçekleştirmişler ve böylece hastalık tespitinin %100 doğruluğa kadar ulaşmasını sağlamışlardır.

KAYNAKLAR

Akgöbek, Ö., ve Çakır, F. (2009). Veri madenciliğinde bir uzman sistem tasarımı. *Akademik Bilişim, 9*, 801-806.

Alam, T. M., Iqbal, M. A., Ali, Y., Wahab, A., Ijaz, S., Baig, T. I., . . . Ibrar, S. (2019). A model for early prediction of diabetes. *Informatics in Medicine Unlocked, 16*, 100204.

Benyoussef, E. M., Elbyed, A., ve El Hadiri, H. (2017). *Data mining approaches for alzheimer's disease diagnosis.* Paper presented at the International Symposium on Ubiquitous Networking.

Bhatla, N., ve Jyoti, K. (2012). An analysis of heart disease prediction using different data mining techniques. *International Journal of Engineering, 1*(8), 1-4.

Bilgin, T. (2009). Veri akışı diyagramları tabanlı veri madenciliği araçları ve yazılım geliştirme ortamları. *Akademik Bilişim, 9*, 807-814.

Cihan, Ş., Karabulut, B., Arslan, G., ve Cihan, G. (2018). Koroner Arter Hastalığı Riskinin Veri Madenciliği Yöntemleri İle İncelenmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 10*(1), 85-93.

Cruz, A. P. D., ve Tumibay, G. M. (2019). Predicting Tuberculosis Treatment Relapse: A Decision Tree Analysis of J48 for Data Mining. *Journal of Computer and Communications, 7*(7), 243-251.

Çelik, S., Çeşmeli, M., Pençe, I., ve Kalkan, A. (2019). *Siğil Tedavisinde Kullanılan Immunotherapy Yönteminin Uygunluğunun Bayes Yöntemi ile Tespiti*.

Dana, A.-D., ve Alashqur, A. (2014). *Using decision tree classification to assist in the prediction of Alzheimer's disease.* Paper presented at the 2014 6th International Conference on Computer Science and Information Technology (CSIT).

David, H., ve Belcy, S. A. (2018). Heart Disease Prediction Using Data Mining Techniques. *ICTACT Journal on Soft Computing, 9*(1).

Dhamodharan, S. (2014). *Liver disease prediction using bayesian classification.* Paper presented at the 4th National Conference on Advanced computing, applications ve Technologies.

Erdursun, M. İ., Erbay, H., Akmeşe, Ö. F., ve Doğan, İ. (2019). Kronik Böbrek Hastalığının Makine Öğrenmesi Teknikleri ile Sınıflandırılması.

Kılıçarslan, S., ve Çelik, M. (2019). Rotasyon Orman Sınıflandırma Algoritması Kullanarak Kronik Böbrek Rahatsızlığının Tahmini. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*(043), 21-34.

Komi, M., Li, J., Zhai, Y., ve Zhang, X. (2017). *Application of data mining methods in diabetes prediction.* Paper presented at the 2017 2nd International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC).

Kumar, P. S., ve Umatejaswi, V. (2017). Diagnosing diabetes using data mining techniques. *International Journal of Scientific and Research Publications, 7*(6), 705-709.

Özekes, S. (2003). Veri madenciliği modelleri ve uygulama alanları.

Rady, E.-H. A., ve Anwar, A. S. (2019). Prediction of kidney disease stages using data mining algorithms. *Informatics in Medicine Unlocked*, 100178.

Reddy, S. K., Kodali, S. R., ve Gundabathina, J. L. (2012). Classification of vertebral column using Naïve Bayes technique. *International Journal of Computer Applications, 58*(7).

Sağaltıcı, D., Alay, F. D., Efil, C., ve İlhan, N. Veri Madenciliği Yöntemleri İle Meteorolojik Verilerden Kayıp Güneş Işınım Değerlerinin Tahmini. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 3*(2), 49-53.

Sebik, N. B., ve Bülbül, H. İ. (2018). Veri Madenciliği Modellerinin Akciğer Kanseri Veri Seti Üzerinde Başarılarının İncelenmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi, 11*(3), 1-7.

Shafique, U., Majeed, F., Qaiser, H., ve Mustafa, I. U. (2015). Data mining in healthcare for heart diseases. *International Journal of Innovation and Applied Studies, 10*(4), 1312.

Shongwe, M. M. (2015). Knowledge-creation in student software-development teams. *South African Journal of Information Management, 17*(1), 1-8.

Singh, P., Singh, S., ve Pandi-Jain, G. S. (2018). Effective heart disease prediction system using data mining techniques. *International journal of nanomedicine, 13*(T-NANO 2014 Abstracts), 121.

Sultana, M., Haider, A., ve Uddin, M. S. (2016). *Analysis of data mining techniques for heart disease prediction.* Paper presented at the 2016 3rd International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT).

Taneja, A. (2013). Heart disease prediction system using data mining techniques. *Oriental Journal of Computer science and technology, 6*(4), 457-466.

Taşçı, M. E., ve Şamlı, R. (2020). Veri Madenciliği İle Kalp Hastalığı Teşhisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 88-95.

Uzun, R., İşler, Y., ve Toksan, M. (2019). WEKA Yazılım Paketinin Siğil Tedavi Yöntemlerinin Başarısının Tahmininde Kullanımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7*(1), 699-708.

Venkatalakshmi, B., ve Shivsankar, M. (2014). Heart disease diagnosis using predictive data mining. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 3*(3), 1873-1877.

Walse, R. S., Kurundkar, G. D., Muley, A. A., ve Bhalchandra, P. (2020). Prediction of Chronic Kidney Disease Statistics using Data Mining Techniques. *Studies in Indian Place Names, 40*(70), 504-515.

Woldemichael, F. G., ve Menaria, S. (2018). *Prediction of Diabetes Using Data Mining Techniques.* Paper presented at the 2018 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI).

Wu, H., Yang, S., Huang, Z., He, J., ve Wang, X. (2018). Type 2 diabetes mellitus prediction model based on data mining. *Informatics in Medicine Unlocked, 10*, 100-107.

Bölüm 3

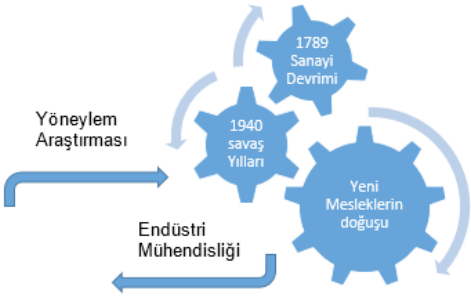
ENDÜSTRİ 4.0 PERSPEKTİFİNDEN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİMİ VE İSTİHDAMI

Nuşin UNCU[1]

1 Dr.Öğr.Üyesi, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, nuncu@atu.edu.tr

18.yüzyılda üretimin kas gücünden makine gücüne geçmesi ile sermaye birikiminin hızlı bir şekilde artması ekonomik hareketliliği arttırmıştır. Üretim hızının artışı ve ürün piyasasının arza doymaya başladığı 19. yüzyılda pazar payının sürdürülebilir olması için müşteri odaklı ürün ve üretim sistemleri tasarlanmıştır. Küresel rekabetin artışı ile kalite, verimlilik ve yenilikçilik unsurları 20. yüzyılda ön plana çıkmıştır. Teknolojik devrimler süreçler ve nesneler üzerinden ilerlerken bir taraftan da kas gücü yerine geçen makinenin, beyin gücü ve iletişim becerisine sahip olan makineye dönüşümü gerçekleşmiştir. Bilgisayarın ve sonrasında internetin hayatımıza girmesi ile veri depolama, bilgi üretme ve veri analizi gibi konulara daha hızlı erişen yöneticiler sadece üretim hızını değil karar alma süreçlerini de hızlandırmışlardır. Sanayi devrimi ile başlayan sürecin teknolojik ve bilimsel olarak ilerlemesi neticesinde dönüşüme uğrayan üretim ve üretim yönetim sistemleri dijitalleşme süreçleri ile büyük veri dediğimiz veri dünyasından verileri toplamakta, ilişkilendirmekte ve gerçek zamanlı analizler yapmaya altyapı sunmaktadır. Dijitalleşmenin üretim alanında dönüşüme yol açmasının yanı sıra üretimdeki beyaz ve mavi yaka çalışanların istihdamında da nitel ve nicel anlamda dönüşüme yol açacaktır.

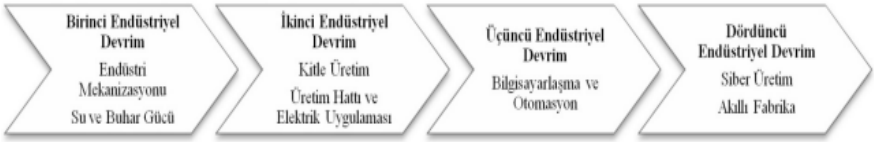
Sanayi devriminden sonra mühendislik mesleğinin ortaya çıkışını meslek odalarının kuruluşu açısından ele alırsak; ABD'de 1880 yılında Makine mühendisliği 1884 'te Elektrik Mühendisliği ve 1908 de Kimya mühendisliği ve 1948'de Endüstri Mühendisliği odaları kurulmuştur. Sanayi devrimi ve üretimin hızında ve sermaye birikimindeki artış, pazarda daralmaya neden olmuş ve dünya savaşını tetiklemiştir. Bu süreçte, özellikle savaş stratejilerinin geliştirilmesi ve savaş sonrası az kaynakla çok iş yapılması için yöneylem araştırması teknikleri ortaya çıkmıştır. Bu dönüşüm sürecinde yeni mesleklerin doğuşu kaçınılmaz olmuştur. Endüstri mühendisliği de savaş sonunda üretim yönetimi konularını bilimsel çerçeveye oturtmak ve kararları bilimsel teknikler ile almak, süreçleri düzenlemek ve planlamak konusunda uzman mühendislere olan gereksinimden dolayı ortaya çıkmıştır.



Şekil 1. Sanayi Devrimi ve Endüstri Mühendisliği mesleğinin doğuşu

Endüstri 4.0

Enerjinin buhar gücünden elde edilmesi ve sanayi devrimi ile başlayan endüstriyel devrim süreci, kitle üretiminden bilgisayarlaşma, otomasyon ve siber fiziksel sistemlerle akıllı fabrikalara kadar devam eden bir ilerleme süreci olarak ifade edilebilir (Şekil 2).

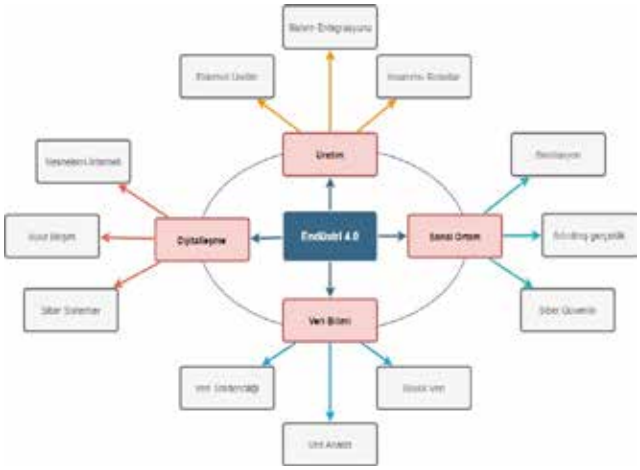


Şekil 2. Sanayi Devrimleri - Tarihsel Bakış (Szozda, 2017)

İlk kez 2011'de Almanya Hannover fuarında ortaya atılan Endüstri 4.0 ifadesi dördüncü sanayi devrimini ifade etmektedir. Endüstri 4.0 terimi, Alman hükümetinin Federal Eğitim ve Araştırma Bakanlığı'na ait 2020 stratejileri içerisinde desteklenen bir kavram olarak ortaya mıştır. Alman hükümeti, ileri teknoloji çalışmaları doğrultusunda Endüstri 4.0 çalışmalrına yüksek bir bütçe de ayırmış ve bu girişimi "Platform Industrie 4.0" adıyla kurumsallaştırmıştır.

İlk üç endüstriyel devrime kıyasla, dördüncü sanayi devrimi daha yaşanmadan önce adlandırılmış bir devrimdir. Bu proaktif yaklaşımın, yeni devrimde organizasyonlara geleceği önceden şekillendirme imkânı doğuracağı düşünülmektedir.

Endüstri 4.0 üretim, dijitalleşme, sanal ortam ve veri bilimi alanlarındaki teknolojilerin gelişimini tetiklemektedir (Şekil 3). Bilişim, veri ve fiziksel sistemlerin üretim alanında entegrasyonu ile yeni bir üretim yönetim sistemi ortaya çıkacaktır. Bu anlamda dijitalleşme ve veri bilimi ile başlayacak süreç boyunca sanal ortamlarda gerçekleştirilecek modellemeler ve 3D gibi teknolojilerin kullanımıyla eklemeli üretim ve yatay entegrasyon ile üretim verimliliği artacaktır. Bu süreçte siber fiziksel sistemlerle ilgili teknik konuların yanı sıra özellikle veri bilimi, sistem entegrasyonu ve modelleme konularında uzman mühendislere ihtiyaç duyulacaktır. Endüstri 4.0 disiplinler arası çalışmayı gerektirmesinin yanı sıra yeni uzmanlıkların ortaya çıkmasını da tetikleyecektir.



Şekil 3. Endüstri 4.0 teknolojileri

Teknolojik gelişmeler neticesinde dönüşen üretim süreçleri ve ilişkilerinde istihdam edilecek çalışanların uzmanlık alanlarının yanı sıra bir takım özellikler taşıması beklenir. 2018 Dünya ekonomik Forum'unda bazı niteliklerin önemini yitireceği ve 2022 yılından itibaren yeni özelliklerin ön plana çıkacağı öngörülmüştür. Endüstri 4.0 ile otomasyonun ötesine geçileceği için manuel beceriler, iletişimsel yetenekler, detaycılık gibi özelliklerin önemini yitireceği belirtilmiştir (Tablo 1). Bunun yerine özellikle sistemin bütününü anlamaya çalışan sistem analizi, teknoloji tasarımı ve programcılık alanlarındaki becerilerin önem kazanacağı vurgulanmıştır.

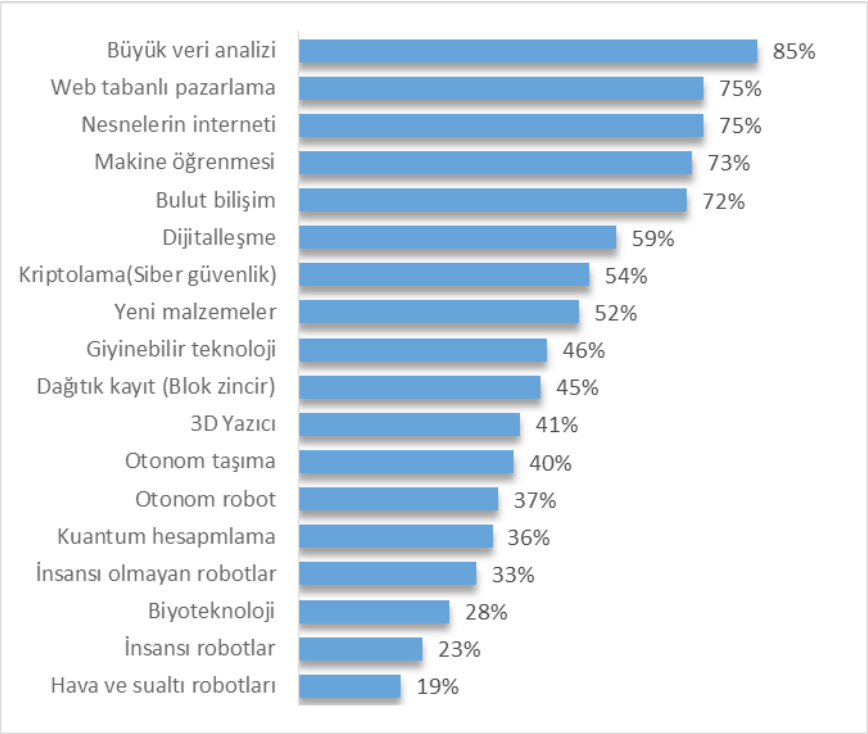
Tablo 1 Teknolojik gelişmeler ışığında istihdamda aranan iş becerileri

2018	2022	
Güncel	**Trend yetenekler**	**Önemini yitiren özellikler**
Analitik düşünme ve yenilik	Analitik düşünme ve yenilik	Manuel el becerisi, dayanıklılık ve hassasiyet
Karmaşık problem çözme	Karmaşık problem çözme	Bellek, sözel, işitsel ve mekânsal yetenekler
Eleştirel düşünme ve analiz	Eleştirel düşünme ve analiz	Finansal, maddi kaynakların yönetimi
Aktif öğrenme ve öğrenme stratejileri	Aktif öğrenme ve öğrenme stratejileri	Teknoloji kurulumu ve bakımı
Yaratıcılık, özgünlük ve inisiyatif	Yaratıcılık, özgünlük ve inisiyatif	Okuma, yazma, matematik ve aktif dinleme
Duygusal zekâ	Duygusal zekâ	Kalite kontrol ve güvenlik bilinci
Akıl yürütme ve problem çözme	Akıl yürütme ve problem çözme	Koordinasyon ve zaman yönetimi

Liderlik ve sosyal etki	Liderlik ve sosyal etki	Görsel, işitsel ve konuşma becerileri
Koordinasyon ve zaman yönetimi ↓	Sistem analizi ve değerlendirmesi ↑	Teknoloji kullanımı, izlenmesi ve kontrolü
Detaylara dikkat, güvenilirlik ↓	Teknoloji tasarımı ve programlama ↑	Personel yönetimi

Not: Dünya Ekonomik Forumu, 2018

Dünya genelinde farklı sektörel alanlarda faaliyet gösteren işletmelere yapılan anket çalışmasında işletmeler, özellikle büyük veri analizi, nesnelerin interneti ve web tabanlı pazarlama alanları başta olmak üzere Endüstri 4.0 bileşenleri alanlarında 2022 yılına kadar yatırım harcamalarını artıracaklarını ve bu teknolojileri işletmelerine adapte edeceklerini belirtmişlerdir (Şekil 4).

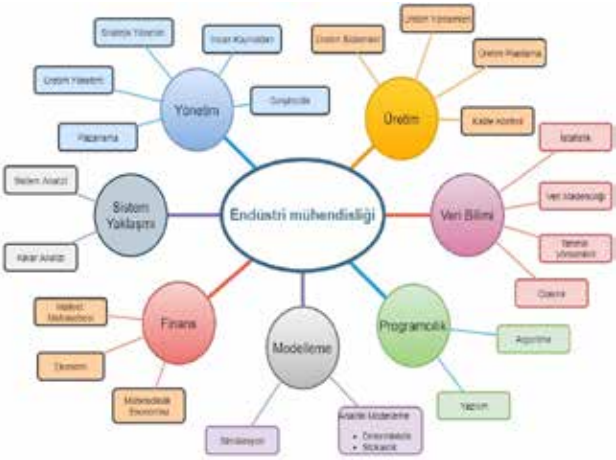


Şekil 4. Dünya genelinde farklı sektörlerden işletmelerin 2022 yılından itibaren adapte olmayı hedefledikleri teknolojiler *(Dünya ekonomik Forumu, 2018)*

Endüstri Mühendisliği Eğitimi ve İstihdamı

Endüstri mühendisliği en genel ifade ile insan, makine ve malzemeden oluşan sistemlerini en iyi şekilde tasarlayan, kuran ve geliştiren, ortaya çıkan problemleri sistemin bütününü ele alarak çözümleyen mühen-

dislik alandır. Endüstri mühendisliği lisans eğitiminde, temel bilimlerin dışında üretim, veri bilimi, yönetim, modelleme, sistem yaklaşımı, finans ve programcılık dersleri verilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Endüstri mühendisliği eğitim müfredatı ana konuları

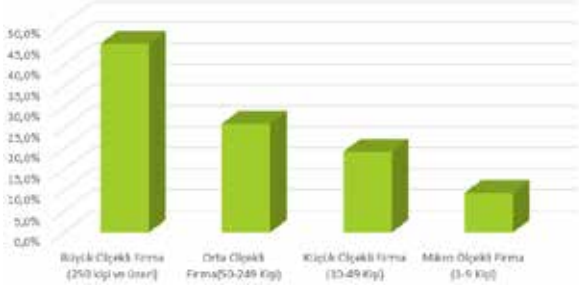
Mühendislik disiplinleri içerisinde yönetim dersleri ağırlıklı bir eğitim müfredatı olan endüstri mühendisliği bir sistemin kurulumundan yönetilmesine ve var olan sistemlerin analizine kadar birçok konuda verilen bilgilerle yönetici mühendis adayları yetiştirmektedir. Bu müfredat diğer disiplinlerle ortak derslere sahip olmasının yanı sıra istihdam alanında mezunların iş bulma konusunda esnek davranmalarına olanak sağlamakta ve geniş bir istihdam ortamı sunmaktadır. Endüstri 4.0 çağı dikkate alındığında Sackey ve Bester (2016), endüstri mühendisliği lisans eğitim müfredatının geleneksel yöntemlerden ziyade veriye dayalı yöntemlere ve siber fiziksel sistemlere göre gözden geçirilmesi gerektiğini söylemişlerdir. Çevik vd. (2018), dünya genelinde 32 üniversitenin mühendislik bölümlerinin eğitim müfredatlarının Endüstri 4.0 çağının gerektirdiği şekilde güncellenmesi için yapılması gerekenleri alanlar ve bölümler bazında ortaya koymuşlardır. Birçok üniversitenin endüstri mühendisliği bölümünün, çağın gereklerine uygun olarak inovasyon, girişimcilik, veri bilimi ve eklemeli üretim alanlarında eğitim müfredatına sahip olduğu görülmüştür.

Gelişen teknoloji ve Endüstri 4.0 olgusuyla birlikte birçok meslek alanında olduğu gibi endüstri mühendisleri de üniversite- sanayi ve teknoloji üçgenindeki konumunu ileriye taşımak için gerekli adaptasyonları ve aksiyonları üniversitelerde, meslek odalarında ve farklı platformlarda tartışmaktadırlar.

Cumhurbaşkanlığı İnsan Kaynakları Ofis'inden alınan 2019 istatistiklerine göre 2014-2018 yılları arasında Türkiye'de endüstri mühendisleri istihdam oranı %55 ve bunların da nitelik uyuşmazlığı yani alanı dışında çalışanların 0-3 ölçeğindeki puanı 0.75 gibi düşük bir düzeydedir. İş bulma süreleri mezun olduktan sonra 7 ay civarında olup kamuda işe girme oranı ise %3 'tür (Tablo 2). İstihdam edilenlerin büyük çoğunluğu ise büyük ve orta ölçekli firmalarda çalışmaktadır (Şekil 6).

Tablo 2 Endüstri mühendisleri 2014-2018 yılları istihdam istatistiği

	İstihdam Oranı	İş Bulma Süresi	Nitelik Uyuşmazlığı	Kamuda İşe Yerleşme Oranı
Endüstri Mühendisliği	% 55	7 ay 6 gün	0.75	% 3



Not: Kaynak, Cumhurbaşkanlığı İnsan Kaynakları Ofisi,2019

Şekil 6. Endüstri mühendislerinin firma büyüklüğüne göre istihdam oranları (*Cumhurbaşkanlığı İnsan Kaynakları Ofisi,2019*)

Doğru ve Meçik (2017), Endüstri 4.0 çağında Türkiye'nin hangi konumda olduğu ve piyasa üzerindeki etkilerle beraber işletmelerin beklentilerini belirlemek üzerine çalışma yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, güçsüz yönler teknoloji ve finansman yetersizliği, nitelikli işgücü ve yetkinlik eksikliği olarak ortaya çıkmıştır. Aynı çalışmada, Eğitim 4.0 önerisi ile orta, lise ve üst düzey eğitime kadar yeniliklere uyum sağlayacak nitelikli iş gücünün yetiştirilmesine yönelik öneride bulunmuşlardır.

Endüstri 4.0 ve Endüstri Mühendisliği Eğitimi İlişkisi

Teknolojik ilerlemeler karşısında dijital çağdaki üretim sistemlerindeki dönüşüm beraberinde istihdamda dönüşümü ve değişimi getirmektedir. Önümüzdeki yıllarda kısa vadede geçici bir istihdam sıkıntısı kaçınılmaz olsa da bir an önce eğitimde yapılacak dönüşümlerle yeniçağa ayak uydurmak ve küresel rekabette geri kalmamak gerekmektedir. Endüstri 4.0'ın getirdikleri incelendiğinde bilgisayar, elektrik elektronik ve makine mühendisliği gibi disiplinlerin endüstri mühendislerine göre daha avantajlı oldukları düşünülse de sistem entegrasyonu ve bütüncül yaklaşım tamamlanması ve sürdürülebilirliği için endüstri mühendislerine her zaman ihtiyaç olacaktır. Bu bölümde, Türkiye genelinde üniversitelerin endüstri mühendisliği bölümlerinin müfredatları ile Endüstri4.0 unsurlarına yöne-

lik yetkinlikler arasındaki ilişki ortaya konulmuştur.

Nesnelerin interneti: Lee vd.(2015), siber fiziksel sistemleri fiziksel sistemler ve hesaplama yetenekleri arasındaki birbirine bağlı sistemleri yöneten dönüştürücü teknolojiler olarak tanımlar. Birbirine bağlı sensör ve makinelerden oluşsan bu sistemlerin çalışma çerçeveleri nesnelerin interneti olarak değerlendirilir (Sivri ve Öztayşi, 2018). Bu çerçevenin oluşturulabilmesi için veri bilimin yanı sıra sistem yaklaşımı ve programcılık bilgilerinin de verilmesi gerekmektedir.

Büyük Veri: Bilgisayar bilimindeki ilerleme ile elektronik ortamda büyük bir hızla artan verilerin depolanması, ayıklanması ve analizi ile bilgiye dönüştürülmesidir. Eğitim müfredatındaki, istatistikten veri yapıları ve makine öğrenmesine kadar birçok ders bu kapsamda ele alınabilir.

Bulut Bilişim: Büyük veriden kaynaklanan depolama ve kaynak kullanım sıkıntısının bilgisayarlar ortamında geniş bir kullanıcı ortamına dönüştüren bilişim teknolojisidir. Programcılık derslerinin altında internet tabanlı sistemler ile ilgili müfredat konuları getirilmelidir.

Otonom robot: Otonom robotlar yani insansı robotlar bir iş için geliştirilmiş robot değil belirli bir düşünme algoritmasına sahip robotlardır. Düşünme algoritmasının geliştirilmesi programcılık, esnek üretim sistemlerinin içeriğinde olması dolayısıyla üretim sistemleri ile ilişkilendirilebilir.

Eklemeli üretim: Eksiltmeli üretimin aksine eklemeli üretim 3D yazıcılar ile katmanlar halinde üretim yapmaktır. Bu konuda endüstri mühendisliği üretim sistemleri derslerinde ilgili eğitim verilmektedir.

Sistem entegrasyonu: Yatay ve dikey entegrasyon olarak iki şekilde ele alınan karlılığı, müşteriye hızlı cevap verebilmeyi, kaynak verimliliğinin arttırılması için firmaların stratejik entegrasyonlarını ifade eder. Bu anlamda verilecek kararları alabilecek kişilerin sistem yaklaşımı, yönetim ve finans konularında yetkinliklerinin olması gerekir.

Siber güvenlik: Artan veri ve birbirine bağlantılı sistemler arasındaki veri güvenliğinin sağlanması ayrı bir gelişme açık alandır. Bu alanda endüstri mühendisliği eğitiminde herhangi bir konu eşleşmemiştir.

Simülasyon ve arttırılmış gerçeklik: Simülasyon ve arttırılmış gerçeklik ile mevcut sistemlerin bilgisayar ortamında modellenerek sistem parametrelerinin anlık olarak değerlendirilebilir. Endüstri mühendisliğinde kesikli olay simülasyonu eğitimi verilmektedir.

Endüstri 4.0'ın unsurları ile endüstri mühendisliği lisana müfredatının ana konularının ilişki matrisi Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3 Endüstri 4.0 ve endüstri mühendisliği ana konuları ilişki matrisi

	Veri Bilimi	Sistem Yaklaşımı	Model-leme	Programcılık	Üretim	Finans	Yönetim
Nesnelerin interneti	x	x		x			
Büyük veri	x			x			
Bulut bilişim				x			
Otonom robot				x	x		
Eklemeli üretim					x		
Sistem entegrasyonu		x				x	x
Siber güvenlik							
Simülasyon			x	x			
Artırılmış gerçeklik				x			

Bu ilişkiye bakıldığında eğitim müfredatı içerisinde Endüstri 4.0 ile ilgili özellikle nesnelerin interneti, büyük veri, sistem entegrasyonu konuları içeren birden fazla alan olduğu; müfredattaki veri bilimi, programcılık, sistem yaklaşımının ve üretim alanlarının Endüstri 4.0 sürecinde endüstri mühendislerinin istihdamında önemli rol oynayan yetkinlikler kazandıracak eğitim alanları olduklarını söylemek mümkündür.

Endüstri mühendisliği müfredatında modelleme, üretim ve sistem yaklaşımı dersleri birçok üniversitede alan dersleri olarak verilmektedir. Fakat veri bilimi ve programcılık konularında ders müfredat ve içerikleri üniversiteler arasında değişkenlik göstermektedir. Bu anlamda, veri bilimi ve programcılık alanında müfredattaki derslerin arttırılması; yeni nesil yazılımların takip edilerek eğitim müfredatının güncel tutulması mezun niteliklerinin artması açısından önemli olacaktır.

Sonuç

Dijitalleşme çağı ile kuşkusuz ki sanayideki dönüşüm mesleklerdeki dönüşümü beraberinde getirecektir. Dönüşüme ayak uyduran meslekler istihdamda yerini korurken, bu dönüşüme duyarsız kalan mesleklerin yerine yeni mesleklerin istihdamda yer alması kaçınılmaz olacaktır. İnsanı ve toplumsu yapıların sanal ortamda insanlık için üretimde yer alması insanlara bu aktiviteler için harcadıkları zamanı farklı etkinliklerde kullanma avantajı sağlayacaktır. İstihdamda azalma, çevresel kaygılar vb. dezavantajlar ise doğru bir dönüşüm programı ile geçici bir süre olumsuz anlamda etkili olabilecektir. Endüstri mühendisliği disiplininin bu dönüşümde çağın avantajlarından faydalanması için eğitim programında köklü bir değişim yapılmasına gerek yoktur. Bunun yerine, veri bilimi, program-

cılık ve siber fiziksel sistemler gibi konuların öğrenim çıktısındaki etkisi arttırıldığında iş gücü istihdamındakini yerini koruyabilir, bu anlamda önemli bir potansiyele sahiptir. Yeterli düzeyde yetkinlik verildiğinde herhangi bir istihdam kaygısının olmayacağı ve olası istihdam krizinde yakın disiplinlerdeki bilim alanlarına nispeten daha az etkilenecek mühendislik dalının da endüstri mühendisliği olacağı söylenebilir.

KAYNAKLAR

Cevik Onar, S., Üstündağ, A., Kadaifçi, Ç., Öztayşi, B., The Changing Role of Engineering. In A. Ustundag and E. Cevikcan (Eds.), *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, Chapter 8, 137-151, Springer, 2018.

Cumhurbaşkanlığı İnsan Kaynakları Ofisi, Erişim adresi, https://www.cbiko.gov.tr/projeler/uni-veri, Son Erişim Tarihi: 20.07.2020.

Doğru, B. N., & Meçik, O. (2018). Türkiye'de Endüstri 4.0'ın İşgücü Piyasasına Etkileri: Firma Beklentileri. *Suleyman Demirel University The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences Y*, *23*(Özel sayı), 1581–1606. Retrieved from https://orcid.org/0000-0002-7409-6266.

Dünya Ekonomik Forumu, 2018, Erişim adresi: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2018.pdf, Son Erişim Tarihi:10.08.2020.

Lee J, Bagheri B, Kao H-A. (2015). A Cyber-Physical Systems Architecture For İndustry 4.0-Based Manufacturing Systems. *Manuf Lett* 3, 18–23.

Sackey, S.M., Bester, A., (2016). Industrial Engineering Curriculum In Industry 4.0 In A South African Context. 27(4),101-114.

Sivri, Öztayşi, B., Data Analytics in Manufacturing. In A. Ustundag and E. Cevikcan (Eds.), *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, Chapter 9, 155-172, Springer, 2018.

Szozda, N. (2017). Industry 4.0 And Its Impact On The Functioning Of Supply Chains. Scientific Journal of Logistics, South African Journal of Industrial Engineering. 13(4), 401–414.

Bölüm 4

TOPLU GIDA ÜRETİMİNDE KARŞILAŞILAN ÖNEMLİ GIDA KAYNAKLI BAKTERİYEL PATOJENLER VE ÖNLEME YOLLARI

***Mevhibe TERKURAN*[1]**

1 Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Kadirli Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, Türkiye

* *Sorumlu yazar:* Mevhibe Terkuran (Dr. Öğr. Üyesi), Kadirli Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, Türkiye: (+90) 328 888 0090, E-posta: mevhibeterkuran@korkutata.edu.tr; Tel: (+90) 328888 0090

1.Giriş

Son yıllarda, insanların değişen yaşam biçimi ve satın alma gücündeki artışa paralel olarak ev dışında yemek yeme taleplerinde bir artış söz konusudur. Bu durum, yemek işletmelerinin sayısının artışı ile birlikte gıda çalışanlarının eğitim seviyelerinin arttırılmasını, özellikle gıda güvenliği ve hijyen konularında daha donanımlı olmalarını gerektirmektedir. Bu durum, üniversitelerde Gastronomi ve Mutfak Sanatları bölümlerine olan talebi de arttırmaktadır (Sani ve Siow, 2014; Ekincek ve ark., 2017). Bununla birlikte, yapılan çalışmalarda ev dışında tüketilen gıdaların gıda kaynaklı hastalıkların ana kaynağı olduğu bildirilmiştir (Rebouças ve ark., 2017; Tutu ve Anfu, 2019) . Gerek Avrupa Birliği ülkelerinde gerekse Amerika birleşik devletlerinde gıda kaynaklı salgınların son yıllarda artış gösterdiği gıda otoriteleri tarafından bildirilmiştir (EFSA, 2018; CDC, 2018). Bununla birlikte Ortadoğu ülkeleri özellikle de gelişmekte olan ülkeler, gıda kaynaklı hastalıkların potansiyel riskine daha fazla maruz kalmakta; buna karşın gıda kaynaklı salgınlar ile ilgili veri toplama ve kontrol etme politikaları geliştirmede ciddi sıkıntılar yaşamaktadır (WHO, 2015a).

Gıda güvenliği terimi, ‘’çiftlikten çatala gıdanın her aşamasında, fiziksel, biyolojik ve kimyasal tehlikelerin kontrol edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması’’ faaliyetlerinin tümünü ifade eder (Barjaktarović-Labović ve ark., 2018). Gıda güvenliğinin sağlanması, gıda kaynaklı zehirlenme ve/veya ölümlerin oluşumu nedeniyle tüm dünyada önemli bir halk sağlığı sorunudur. Örneğin, Avrupa birliği ülkelerinde her yıl yaklaşık 23 milyon kişinin gıda kaynaklı hastalıklara maruz kaldığı ve yaklaşık 5000 kişinin benzer sebeplerden öldüğü bildirilmiştir (WHO, 2015b). Amerika Birleşik Devletleri'nde ise yaklaşık 50 milyon kişinin gıda kaynaklı hastalıklar sebebiyle hastanede tedavi aldığı ve bunlardan 3.037’in de öldüğü bazı çalışmalarda bildirilmiştir (Scallan ve ark., 2011). Özellikle son yıllarda gıda kaynaklı zehirlenmeler ve bunlara bağlı hastanede tedavi vakaları ülkemizde de gözlenmektedir. Örneğin, Nisan 2014 tarihinde, Manisa İl Sağlık Müdürlüğü’ne bir besin zehirlenmesi olayı bildirilmiştir. Bildirimde aynı yemek şirketinden yemek tedarik eden farklı işyerlerinde çalışan çok sayıda kişinin bulantı, kusma, karın ağrısı, terleme, halsizlik şikayetleri ile sağlık merkezlerine başvurdukları bilgisi iletilmiştir. Yetkililer tarafından salgın inceleme kararının ardından ilk belirlemelere göre 23 farklı işyerinde, yaklaşık 2700 kişinin yemek yediği, bunların 257’sinin şüpheli vaka tanımını karşıladığı saptanmıştır. Hem gıda hem de su numunelerinden mikrobiyolojik analiz yapılmıştır. Su numunelerinde uygunsuzluk saptanmazken alınan gıda numunelerinden, yapımında krema kullanılan bir gıdada *Staphylococcus aureus* üremiştir (Zubaroğlu ve ark., 2015).

Gıda kaynaklı patojenlerin yayılmasında; gıda çalışanlarının yetersiz kişisel hijyen uygulamaları, yetersiz pişirme ve/veya soğutma, gıda-

ların uygunsuz koşullarda saklanması, çapraz bulaş ve güvenli olmayan gıda hammaddelerinin kullanımı gibi faktörler önemli rol oynamaktadır (WHO, 2015b). Bazı çalışmalarda, gıda çalışanlarının, kötü gıda hijyeni uygulamaları, çapraz kontaminasyona sebebiyet vermeleri, yanlış yemek pişirme ve soğutma ile gıda kontaminasyonu yoluyla gıda kaynaklı hastalıkların oluşmasında temel faktör olarak kabul edilmektedir (Al-Shabib ve ark., 2016; Sabbithi ve ark., 2017). Literatüre göre; toplu tüketim yerlerinde gıda kaynaklı zehirlenme vakalarının başlıca sebepleri; yetersiz soğutma (%46), hazırlama ve tüketim arasında bir veya daha fazla gün olması (%21), enfekte personel (%20), yanlış sıcaklık uygulanması (%16), yetersiz pişirme (%16), yetersiz ısıtma (%16), kontamine malzeme/hammadde kullanımı (%11), çapraz bulaş (%7), araç-gereçlerin yetersiz temizlenmesi (%7), uygunsuz/bozuk yiyecek hammaddelerinin kullanılması (%5) ve artan yemeklerin tekrar kullanımı (%4) şeklinde bildirilmektedir. Bu etkenlerin tamamının zaman ve sıcaklık kontrolü ile ilişkili olduğu dikkat çekmektedir (Baş, 2006; Şanlıer, 2009; Sezgin ve Özkaya, 2014).

Çeşitli yemek servisi işletmelerinde ve özellikle hastane, okul veya kışla gibi toplu gıda üretimi yapılan yerlerde uygunsuz gıda hammaddesi kullanımı, kısa sürede çok miktarda ve çeşitli yemek üretmek gibi faktörler gıda kaynaklı salgınlara neden olabilir, bu nedenle, bu kuruluşlarda gıda güvenliğinin sağlanması oldukça kritik bir konudur (Wang ve ark., 2013; Huang ve ark., 2017). Yapılan çeşitli çalışmalarda; gıda çalışanlarının yemek pişirme, çapraz bulaşma, soğutma veya hijyen konularında temel gıda güvenliği bilgisine sahip olmadıkları bildirilmiştir (Ovca ve ark., 2018; Al-Kandari ve ark., 2019; Gruenfeldova ve ark., 2019).

Tüm dünyada, gıda güvenliği ile ilgili yasal düzenlemelerin uygulanması, gıda işletmelerinin düzenli denetimi ve gıda çalışanlarının belli aralıklarla eğitilmesi gibi düzenli yapılan faaliyetlere rağmen ne yazık ki gıda güvenliğinin arttırılmasında önemli bir artış sağlanamamıştır. Bunun temel sebebi olarak, gıda çalışanlarının inançları, alışkanlıkları ve olumlu bir gıda güvenliği kültürünün oluşamamış olması bazı çalışmalarda bildirilmiştir (Yiannas, 2009).

Gıda güvenliği Türkiye'de önemli bir konudur. Son yıllardaki yasal düzenlemeler ile 24 Nisan 2006'da Türkiye'de Hazard Analysis Critical Control Point (Tehlike Analizleri Kritik Kontrol Noktaları) (HACCP) sisteminin gıda işletmelerinde uygulanma zorunluluğu getirilmiştir (Koçak, 2007). Ayrıca, 2015 yılında tüm gıda çalışanlarına ''Hijyen Eğitim Sertifikası'' alınması zorunluluğu getirilmiştir. Gıda çalışanlarının işletmelerde sıklıkla değişim göstermesi, yeterli teorik ve pratik eğitim alamadan başka birimlerde görevlendirilmesi ve/veya işten ayrılması gibi nedenlerle tüm personelin yeterli hijyen eğitimine/uygulamasına sahip olması zorlaşmaktadır. Her ne kadar yemek servisi işletmelerinde gıda çalışanları için

eğitim zorunlu olsa da, eğitilmemiş / kalifiye olamayabilecek gıda çalışanlarının hatalı uygulamalarından dolayı gıda kaynaklı hastalıklar ve/ veya zehirlenmeler ortaya çıkabilmektedir.

Bu çalışmada, toplu yemek üretimi yapılan gıda işletmelerinde karşılaşılan başlıca bakteriyel gıda zehirlenmelerinin nedenlerini oluşturan gıda kaynaklı patojenler hakkında bilgiler verilecek olup, çözüm yolları hakkındaki bilgiler özetlenmeye çalışılacaktır.

2. Başlıca gıda kaynaklı bakteriyel patojenler

2.1 Sık karşılaşılan gıda kaynaklı bakteriyel patojenler: Gıda zehirlenmelerine sebep olan bakteriler arasında Gram pozitif ve Gram negatif bakteriler yer alabilir. Bunlardan bazıları özellikle ürettikleri toksinler yoluyla çok ciddi gastrointestinal zehirlenmelere, felce hatta olümlere bile sebep olabilirler. Bakteriyel gıda zehirlenmelerinin yaklaşık %69'unu Gram negatif bakterilerin oluşturduğu bazı çalışmalarda bildirilmiştir. Dünyada yaygın olarak gıda kaynaklı hastalıklara bağlı ölüm nedenleri arasında en yaygın olan bakteriyel patojenler; *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., *Listeria monocytogene*s (*L. monositogenesler*) ve *Escherichia coli* (*E. coli*) türleridir (Le Loir ve ark., 2003; Zhao ve ark., 2014; Hemalata ve Virupakshaiah, 2016; Bantawa ve ark., 2018; Kebede ve ark., 2014; Assefa ve Bihon, 2018; Elmonir ve ark., 2018).

2.2.1. *Staphylococcus aureus*: İlk defa 1883 yılında Ogston tarafından tanımlanan *S. aureus*, mikroskobik görüntüsü üzüm salkımı şeklinde olan Gram(+) pozitif ve dünya çapında en yaygın görülen gıda kaynaklı patojenlerden ilkidir. İkinci sırada *Salmonella* kaynaklı gıda zehirlenmeleri gelir (Argaw ve Addis, 2015; Tsepo ve ark., 2016; Tessema ve Tsegaye, 2017; Dehkordi ve ark., 2019). *S. aureus*, kontamine gıdaların stafilokokal enterotoksinlerle tüketilmesinden kaynaklanan gıda zehirlenmesinin önde gelen nedenidir. *S. aureus* kaynaklı gıda zehirlenmelerinin belirtileri, gıdanın tüketiminden itibaren 4 saat sonra başlar. Sıklıkla, mide bulantısı, kusma, ishal, karın ağrısı görülür. Ayrıca, terleme, üşüme, halsizlik, iştahsızlık ve su kaybı da belirtiler arasındadır. Ölüm nadiren görülür. Hastalıkta yaklaşık 2 gün içinde iyileşme gözlemlenir (Yücel ve Bayizit, 1999). Tarımda, veterinerlik ve tıp alanlarında uygunsuz antibiyotik kullanımına bağlı olarak *S. aureus*'un hızlı antibiyotik direnci kazanması son yıllarda özellikle Metisilin Dirençli *Staphylococcus aureus* (MRSA) infeksiyonlarını önemli hale getirmiştir. İlk kez 1960'ların ilk dönemlerinde tanımlanan MRSA son yıllarda hastane kaynaklı majör patojenlerden biri haline gelmiştir. Özellikle kanatlı üretiminde görülmesi ve insanlara kros kontaminasyonla (çapraz bulaşma) bulaşabilmesi nedeniyle MRSA son yıllarda daha da önemli hale gelmiş olup, hem insanlarda hem de veteriner tıbbında görülen en önemli patojenlerden biri olarak değerlendirilmektedir

(Mohammed ve Nigatu, 2015; Tsepo ve ark., 2016; Elmonir ve ark., 2018; Dehkordi ve ark., 2019).

Sağlıklı insanların yaklaşık olarak %50 'sinde nazal yol, solunum yolu, cilt dokularında floranın bir parçası olarak görülen *S. aureus* bakterisi, mastitisli sığırların çiğ sütlerinde de sıkça görülen bir patojendir. İnsanlarda ve gıda olarak tüketilen hayvanlarda örneğin sığır, keçi, domuz, tavuk ve ördeklerde *S. aureus* genel olarak yaygındır. *S. aureus*'un gıdalardaki kontaminasyonun sebebi; direkt olarak enfekte olmuş olan hayvanların kesilmesi ya da işleme, depolama ve üretim aşamalarında yetersiz hijyen uygulamalarıdır. MRSA'nın insanlarda ciddi enfeksiyona sebep olmaları özellikle bağışıklığı baskılanmış hastalarda, organ nakli olan, onkoloji hastaları, uzun süre hastanede kalan hastalar, hemodiyaliz hastaları..vb. daha da önemli bir sorun oluşturmaktadır. Çünkü bu hastalarda MRSA infeksiyonun tedavisi oldukça zor ve pahalıdır (Tarekgne ve ark., 2015; Wang ve ark., 2017; Massawe ve ark., 2019; Garoy ve ark., 2019).

***S. aureus*'un gıdalara bulaşması;** özellikle hayvansal kaynaklı gıdalardan kontaminasyon yoluyla oluşur. Hayvansal ürünlere bu bakterinin bulaşmasında işleme, hazırlama, kıyma haline getirme ve depolama işlemleri önemli rol oynar. Kontaminasyon çeşitli gıda ürünlerinde farklı şekilde meydana gelebilir örneğin büyükbaş hayvanlar, kümes hayvanları, deniz ürünleri ve unlu mamüllerde sıklıkla enterotoksijenik *S.aureus* suşları görülebilir. Çeşitli gıda maddeleri stafilokokal enterotoksinlerle kontamine olabilir; özellikle nişasta ve protein içeren su aktivitesi yüksek gıdalar, domuz eti, sığır eti, kümes hayvanları ve yumurta ile süt ve süt ürünlerinde yaygındır. Çiğ et, *S. aureus* için iyi bir besin kaynağıdır. Ayrıca gıda işlemede kullanılan alet/ekipman ve makineler ile gıdanın temas ettiği yüzeyler ile enfekte gıda personelinin kıyfetleri ve eldivenleri gıdaların *S. aureus* ile bulaşmasında önemli kirleticilerdir (Abunna ve ark., 2016; Wu ve ark., 2016; Wang ve ark., 2017; Tefera ve ark., 2019; Dehkordi ve ark., 2019). Pişmiş gıdalar oda sıcaklığında uzun süre bekletildiğinde, gıdada bulunan *S. aureus* toksin üretebilir. Bu toksinler proteolitik (proteinleri parçalayan) ısıya ve ezimlere dirençli olup, bakteri olmasa da yiyecekte bulunabilirler. Stafilokokal enterotoksinler 23 farklı sınıfa ayrılırlar ve toksisite bakımından farklılık gösteren 6 adet ana serolojik tipe ayrılır; bunlar enterotoksin A, B, C1, C2, D ve E'dir. Bununla beraber, uluslar arası ticarette bulunan gıdalarda MRSA'nın yaygınlığı ve enterotoksin üretimi hakkında çok az veri bulunmaktadır (Argaw ve Addis, 2015; Wu ve ark., 2016; Wang ve ark., 2017; Rodríguez-Lázaro ve ark., 2017; Adugna ve ark., 2018).

Önleme ve kontrol: Stafilokoklar her yerde bulunur ve çevreden elimine edilmesi neredeyse imkansızdır. Stafilokok enfeksiyonlarının / ze-

hirlenmelerin önlenmesi için çeşitli bulaşma yollarını kesintiye uğratma stratejileri uygulanmalıdır. Bunlar; yiyecekleri iyice pişirmek, kirlenmeyi önlemek ve çapraz kontaminasyon ve kritik noktaların belirlenmesi, Stafilokok enfeksiyonlarını önlemenin etkili yollarıdır. Güvenli et işleme hakkında ve diğer konularda halkla ilgili kamuoyu bilinci oluşturmak, salgınları önlemede önemli proaktif yaklaşımlar olabilir. Kontrol programları kapsamında, sağlık çalışanları ve gıda çalışanlarının kişisel hijyen uygulamaları, ekipmanların, yüzeylerin ve giysilerin dekontaminasyonu, antibiyotik direnci ve bakterinin hızla antimikrobiyal direnç geliştirme yeteneği hakkında bilgilendirmeleri içermeli, özellikle MRSA (Metisilin Dirençli *Staphylococcus aureus*) hakkında hem gıda hem de sağlık çalışanları bilinçlendirimelidir (Kadariya ve ark., 2014; Argaw ve Addis, 2015).

2.2.2. Tifoidal olmayan *Salmonella*

Tifoidal olmayan *Salmonellae* spp. en önemli zoonotik bakteriyel gıda kaynaklı patojenlerdir. Hastalık belirtileri 12-24 saat arasında görülür. Karın ağrısı, ateşli ishal, üşüme nöbeti, kusma, elektrolit ve su kaybı ve baş ağrısı ile karakterizedir. Hastalık yetişkinlerde 2 ila 3 gün sürer (Koçak, 2015). *Salmonellae* doğada yaygın olarak bulunur. Ayrıca, hayvanlarda ve insanlardaki en önemli patojenik bakterilerden biridir. Bu grupta hayvanlardan insanlara geçen salmonellozisin başlıca iki serotipi *Salmonella Enteritidis* ve *Salmonella Typhimurium*'dur (Anonymous, 2012). Bu bakteriler gıda kaynaklı salgınlara yol açan etkenler olup, son yıllarda dünyada yaklaşık 93.8 milyon gıda kaynaklı hastalığa sebep olmuş ve yılda yaklaşık 155.000 kişinin ölümü ile sonuçlanmıştır (Heredia ve Garcia, 2018). Bu nedenle, *Salmonella*e bakterileri tüm dünyada ciddi bir halk sağlığı sorunu olmuş, özellikle antimikrobiyallare dirençli türlerinin ortaya çıkması ile bunların yayılması endişesine sebep olmuştur. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde antibiyotiklere dirençli *Salmonella* enfeksiyonları hem insanlarda hem de hayvanlarda önemli bir sağlık sorunu haline gelmiştir. İnsanlarda morbidite ve mortaliteye yol açmasının yanında sağlık maliyetlerinin artması, gıda ticaretinde özellikle kontamine hayvansal gıdalarda önemli kısıtlamalara neden olmaktadır- belirgin bir suş yaygındır ve hayvanlar taşıyıcı durumdadır (Addis ve ark., 2011; Kemal ve ark., 2015; Kassaye ark., 2015; Ejo ve ark., 2016; Tegegne, 2019). *Salmonellae* türleri çevrede, evcil ve vahşi hayvanlarda doğal olarak bulunur. *Salmonellae* türlerinin birincil yaşam alanı insan ve hayvanların bağırsaklarıdır; özellikle çiftlik hayvanları, insanlar, kuşlar, sürüngenler ve böceklerde bulunurlar. *Salmonell*a kaynaklı hastalıklarda, hayvanlar gıda kaynaklı rezervuardır. Tipoidal olmayan *Salmonella* türleri zoonotik ajanlardır ve hayvansal kökenli gıda ürünleri, bunların bulaşmasında rol oynar. Örneğin; kümes hayvanları, domuzlar ve sığırlar, et, yumurta ve süt gibi ürünleri en yaygın olarak *salmonella* bulaşmasında rol oynayan

gıda kaynakları olarak tanımlanır. Toplu beslenmede *Salmonella* kaynaklı gıda zehirlenmelerinin başlıca sebepleri; çiğ veya yetersiz pişirilmiş/yetersiz soğutulmuş/güvensiz gıdaların tüketimi, çapraz bulaşma, uygunsuz gıda depolama, kötü kişisel hijyen uygulamaları, gıda maddelerinin yetersiz soğutulması ve yeniden ısıtılması, hazırlama ve tüketme arasında uzun süreli zaman aşımı, gıda üreticilerinde/işleyicilerinde/çalışanlarında salmonelloz hastalığı olmasıdır (örneğin; bakteriler hayvancılığın herhangi bir noktasında besin zincirine girer, yem ve gıda üretiminde, işlenmesinde, perakende satışında, ikram ve hazırlamada, tipik ikram soğutmasında hayatta kalabilirler). Ayrıca, bu bakterilerin çoğalmaları için uygun sıcaklıklar ve koşulların olması bakteri sayısının artması ..vb. önemli sebeplerdendir. Antibiyotiğe dirençli *Salmonella* türleri ise, hem insan hem de hayvan enfeksiyonları oluşturduğundan evrensel bir endişe kaynağıdır, özellikle de gelişmekte olan ülkelerde, yetersiz hijyenik yaşam koşulları nedeniyle enfeksiyon riski yüksektir. Örneğin, hayvanlar arasında yakın temas, gıdaları çiğ tüketim gelenekleri ya da az pişmiş hayvansal kökenli gıda maddelerinin tüketim alışkanlığı bulaşmada önemli rol oynar (Addis ve Sisay, 2015; Heredia ve García, 2018 ; Tegegne ve ark., 2019; Abebe ve ark., 2020).

Gıda kaynaklı bulaşma; *Salmonella* enfeksiyonlarının ana nedeni, hayvansal kaynaklı gıdalardır. Ancak, *Salmonella* taşıyıcısı hayvan dışkılarının karıştığı suların tüketilmesi, kontamine hayvan etlerinin tüketilmesi ve gıda işlemede kontamine araç-gereç/makine/teçhizat kullanımı da bulaşta önemli rol oynar. Örneğin; tifoidal olmayan *Salmonella* serovarları ağırlıklı olarak; süt, yumurta, kümes hayvanları, sığır ve domuz etlerinde bulunabilir. Kontamine hayvan ürünleri genellikle enfekte hayvanların kakaslarının gıda üretiminde kullanılması veya karkas/yenilebilir organlarının kontaminasyonu sonucu oluşur. *Salmonella* ile çapraz bulaş ayrıca kesim işlemleri yoluyla da oluşur. Yumurta kabuğu ve yumurta içeriğinde *Salmonella* bakterisinin kontaminasyonu, tavuk üreme sisteminden kaynaklı ya da çevreden kaynaklı fekal bulaş yoluyla oluşabilir. Insanlarda gıda kaynaklı enfeksiyonlarının ana kaynağı, karkasın bu bakteri ile fekal ya da intestinal kontaminasyonudur (Dhama ve ark., 2013; Girma, 2015; Ejo ve ark., 2016; Meshack ve Jauro, 2017; Taddese ve ark., 2019).

Önleme ve kontrol: *Salmonella* nedeniyle gıda bozulmasını kontrol etmek ve önlemek için gelişmiş gıda işleme yöntemleri ile hazırlama ve saklama uygulamalarına ek olarak biyogüvenlik sistemleri ve biyogüvenlik uygulamalarının kurulması gerekmektedir. Zayıflatılmış DNA rekombinant canlı *Salmonella* aşılarının, kapsamlı kontrol stratejisiyle birleştirilerek hayvanlara ve hayvan yetiştirme proseslerinde görev alan personel ile hayvansal gıda üretiminde görev alan gıda çalışanlarına uygulanması salmonellozun engellenmesine yardımcı olabilir. Güvenli gıda hazırlama uygulamaları; pişirme, yiyeceklerin yeniden ısıtılması, sütün pastörizas-

yonu (kaynatılması/65˚C'de 30 dakika), yeterli soğutma ile gıda işleme alanlarındaki evcil hayvanların uzak tutulması sağlanmalıdır. İkincil kontaminasyonun önlenmesi için; temizlik, dezenfeksiyon, personel hijyeni ve uygun gıda işleme tekniklerinin uygulanması gereklidir. Bağışıklığı düşük ve/veya baskılanmış gruplar (kanser hastaları, organ nakli olan hastalar, gebeler ve yaşlılar..vb.) az pişmiş kırmızı et ve kanatlı etleri, çiğ süt, yumurta ve çiğ yumurta içeren gıdaları tüketmemelidir (Kemal ve ark., 2015; Addis ve Sisay, 2015).

2.2.3. *Campylobacter* spp.

Campylobacter cinsi 25 tür ve 8 alt tür içermektedir. *Campylobacter* türleri arasında, termofilik *Campylobacter* türleri, özellikle *C. jejuni* ve *C. coli*, besin kaynaklı önemli patojenlerdir. *Campylobacter* cinsi bakteriler, tıp, veterinerlik ve gıda güvenliği açısından büyük önem taşır (Woldemariam ve ark., 2009; Dhama ve ark., 2013; Hagos ve ark., 2019).

C. jejuni'nin neden olduğu gıda zehirlenmesi, ishal, kusma ve ateşle belirti verir. Ayrıca, baş ve kas ağrısına da sebep olur. Genel olarak hastalık, bakteri ile kontamine gıda ve suyun tüketiminden ortalama 2-5 gün sonra ortaya çıkar ve ortalama 10 gün sürer (Yücel ve Bayizit, 1999). *Campylobacter* türleri, hayvansal kaynaklı gıdaların kontaminasyonu yoluyla bakteri kaynaklı ishallerin dünya çapında başlıca nedenidir. *Campylobacter* spp. çoğu durumda sıcak- kanlı hayvanlarda ve kanatlılarda kolonize olabilir. Bu bakteriler, dünyada hastanede tedavi gerektiren gıda kaynaklı hastalıkların %15'ini ve gıda kaynaklı ölümle sonuçlanan hastalıkların %6'sını oluştururlar. Ayrıca, *Campylobacter* spp. enfeksiyonu nedeniyle yılda yaklaşık 400 bin vaka rapor edilmektedir. Bu durum ekonomik kayıplara (tedavi maliyetler, verimlilik kaybı, enfekte insanlar ve patojeni kontrol etmenin maliyetleri) da sebep olmaktadır. *C. jejuni*, en sık bildirilen *Campylobacter* türü olup (% 80 ila% 90), ardından *C. coli* (% 5 ila% 10) gelmektedir (Mdegela ve ark., 2006; Wieczorek ve ark., 2018; Mughal, 2018).

Campylobacter türleri, dünya çapında insan ve hayvan bakteriyel ishal hastalığının önde gelen nedenidir. Bu durum hem gelişmekte olan ülkelerde hem de gelişmiş ülkelerde önemli bir sağlık sorunudur (Mughal, 2018). Bu organizmalar doğada yaygın olarak dağılmıştır ve çoğunlukla zoonotik enfeksiyonlar olarak kabul edilmektedir. Hayvansal kaynaklı rezervuarları, özellikle tüyü dökülen kuş türleridir. *Campylobacter* spp. salgınları doğaları gereği sporadiktir ve mortaliteyle ilişkili değildir ancak ikincil komplikasyonlara neden olabilir. Tüm gıda hayvanları da dahil olmak üzere vahşi ve evcil kuşların ve memelilerin beslenme yollarını kolonize ettikleri bilinmektedir. *Campylobacter* spp. insanların ve hayvanların üreme organlarında, mide barsak sisteminde ve ağız boşluğunda bulunabilir, kümes hayvanlarının % 100'ü (tavuklar, hindiler ve su kuşları

dahil), sığır, koyun, domuz ve diğer gıda hayvanları, vahşi hayvanlar ve kuşlar yüksek oranlarda *Campylobacter* spp. rezervuarları olabilir (Mdegela ve ark., 2006; Wieczorek ve ark., 2018; Mughal, 2018; Abebe ve ark., 2020). Kümes hayvanları genellikle *Campylobacter* türleri için en önemli rezervuar olarak kabul edilmekle beraber, yumurta bu bakterinin önemli bir kaynağı olarak değerlendirilmemektedir. Buna karşın, çiğ kıyma, süt ve sığır eti dokularında bu mikroorganizma yoğun olarak bulunabilir. *Campylobacter* spp. enfeksiyonları için, seyahat, hayvanlarla yakın temas ve yetersiz pişirilmiş tavuk eti tüketimi önemli risk faktörleridir (Dhama ve ark., 2013; Abebe ve ark., 2020).

Gıda kaynaklı bulaşma: Doğrudan temas yoluyla gerçekleşebilir, enfekte hayvanlarla veya ekipmandan, sudan veya bir kesim hattında karkas giydirme sırasında bulaş oluşabilir. *Campylobacter* spp.'nin insanlara ana bulaşma yolu, özellikle kontamine yiyeceklerin hazırlanması, tüketilmesi ve özellikle kanatlı etlerinin tüketimidir. Hayvansal gıda ürünleri en çok kesim ve karkas giydirme veya dolaylı fekal kontaminasyon sırasında bu patojen tarafından kontamine olur. *Campylobacter* spp.'nin enfeksiyonları esas olarak kontamine gıda tüketiminden kaynaklanır; kümes hayvanları, sığır eti ve domuz eti veya diğer hayvan eti, et ürünleri, çiğ (pastörize edilmemiş) süt ve / veya peynir gibi süt ürünleri..vb. yemeye hazır yiyeceklerin, hazırlanması sırasında çapraz kontaminasyonunun yanı sıra hayvanlarla doğrudan temas da bazı çalışmalarda bildirilmiştir (Dhama ve ark., 2013; Abebe ve ark., 2020).

Önleme ve kontrol: Kontrol, hayvanların çevresindeki ve ahırlarında bakteri popülasyonunun azaltılmasına yönelik hijyen ve sanitasyona bağlıdır. Örneğin, et işleme tesislerinde yıkama, işleme ve karkasın dondurulması dahil olmak üzere HACCP sistemi kullanılarak mikroorganizma sayısı azaltılabilir ve kontrol edilebilir. Toplu gıda üretimi yapılan restoranlarda ve ev mutfağında yiyecek işleme becerilerinin geliştirilmesi, organizmanın bulaşmasını azaltacaktır. Ayrıca, kanatlı etlerinin 82°C'lik bir iç sıcaklıkta yeterli/uygun bir şekilde pişirilmesi organizmayı ortadan kaldıracaktır (Addis ve Sisay, 2015).Biyogüvenlik önlemleri ve kişisel hijyen uygulamaları *Campylobacter* spp. kaynaklı enfeksiyonları kontrol etmek için dikkate alınması gereken en önemli yaklaşımlardır. Ayrıca, uçucu yağlar, prebiyotikler, probiyotikler, bakteriyosinler, bakteriyofajlar ve aşılama önlemleri de *Campylobacter* spp. yayılımını kontrol etmede önemli bir role sahiptir (Shad ve Shad, 2019).

2.2.4. *Listeria monocytogenes*

Halk sağlığı açısından büyük risk teşkil eden bu patojen; Gram pozitif, halofilik, psikrotrof karakterli olup, optimum gelişme sıcaklığı 30-35°C ve 0-45 °C gibi geniş bir aralıkta ve pH 4.1-9.6 aralığında gelişebilmektedir. Optimum olarak, pH 6.0-8.0'de gelişir. *L. monocytogenes* süt

sığırı, keçi, koyun, balık gibi birçok omurgalı ve omurgasız hayvanlarda parazit olarak yasamaktadır. Hayvanlar ve taşıyıcı insanların dışkılarından izole edilebildiği için bitkisel ve hayvansal gıdalarda *Listeria* bulunması oldukça sık rastlanır. *L. monocytogenes*'in en sık görülen bulaşma yolu kontamine gıdaların tüketilmesidir. Kontamine olmuş gıda tüketildikten 12 saat sonra ateş, karın krampları, diyare, yorgunluk, bas ağrısı ve kusma ile seyredebilen gastrointestinal bir belirti ortaya çıkar. İlerleyen süreçte görülebilen ciddi durumlar; menenjit, septisemi, beyin iltihabı, karaciğer apsesi, endokardit, gebelerde düşük veya ölü doğumlar görülebilir. İnsandan insana geçmesinin çok nadir olmasının yanısıra anneden bebeğe geçişin mümkün olduğu bazı çalışmalarda belirtilmiştir (Halkman, 2013).

Gıda kaynaklı bulaşma; çiğ ve/veya yetersiz pastörize edilmiş süt, peynirler (özellikle yumuşak olanları), dondurma, çiğ sebze ve meyveler, çiğ etler, çiğ ve/veya tütsülenmiş deniz ürünleridir (USFDA, 2012; Halkman, 2013).

Önleme ve kontrol: Listeriyozun önlenmesi, gıdayla temas eden yüzeylerin etkili bir şekilde sterilize edilmesiyle yapılabilir. Listeriyozu sınırlamak ve kontrol stratejileri sağlamak için gıda güvenliği kontrol önlemleri uygun şekilde uygulanmalıdır. İyi hijyen uygulamaları, GMP ve sanitasyon, işletim prosedürlerinde en uygun stratejilerdir. Bağışıklığı düşük olan bireylere (hamile kadınlar, yaşlılar ve bağışıklığı baskılananlar) riski azaltmak için pastörize edilmemiş süt ürünlerini tüketmekten kaçınmaları önerilir. Et ve et ürünlerinin işleme, paketleme, satış…vb. gibi tüm aşamalarında standart yasal kontrollerin yapılması bu bakterinin bulaşmasının önlenmesinde en tekili yoldur. Gıdayı bu mikroorganizmadan korumanın yolu, üretim aşamalarında mikroorganizmanın yayılmasının engellenmesidir. Gıda üretiminde HACCP yaklaşımının uygulanması ve kurulması ile etkili kritik kontrol noktalarının belirlenerek izlenmesi önemli ölçüde *Listeria monocytogenes* kontaminasyon düzeyini düşürür. Ayrıca birçok ülkede dondurulmuş ürünlerde ve dondurmada uygulanan pastörizasyon standardı Listeriyozun önlenmesinde oldukça etkilidir (Dhama ve ark., 2013; Dhama ve ark., 2015; Pal ve ark., 2016).

2.2.5. *Shigella*

Shigella fakültatif anaerob, Gram-negatif, hareketsiz, spor oluşturmayan bir bakterilerdir. Bazı suşları enterotoksin ve Shiga- toksinleri üretir. Shiga toksini, Enterohemorajik *Escherichia coli* (EHEC) tarafından üretilen toksinle oldukça benzerdir. Bu bakterinin tek konakçısı insandır ve özellikle okul çağı öncesi çocuklarda ve yaşlı bakım evlerindeki hastalarda dizanteriye sebep olur. Hastalık, ateş, karın ağrısı ve diyare ile başlar. Diyarede kan görülebilir. *Shigella*'nın çevreye yayılımı feçes kontaminasyonu ile gerçekleşir. *Shigella* cinsi bakterilerin doğal florası insanların ve bazı maymunların gastrointestinal sistemleridir. Bu organizmalar, direkt

fekal bulaş ile ya da dışkı bulaşmış su ve gıdanın tüketimi ile gıda zehirlenmelerine sebep olmaktadır. Mutfak personelinin genel kural olarak, el ve kişisel hijyenini düzenli sağlaması gıdalara *Shigella* kontaminasyonunu önlemede başlıca faktörlerdir (USFDA, 2012; Halkman, 2013).

Gıda kaynaklı bulaşma: *Shigella* kaynaklı enfeksiyonların oluşumunda özellikle salatalar, süt ve süt ürünleri ve tavuk gibi gıdalar önemli rol oynar (USFDA, 2012; Halkman, 2013).

Önleme ve kontrol: *Shigella* kaynaklı enfeksiyonların önlenmesinde; toplu gıda üretilen mutfaklarda çapraz bulaşa izin verilmemesi (sebze meyveler ile et, balık, tavuk eti..vb ayrı kesme tahtalarında ve ayrı ekipmanlar ile doğranması; depolamada sızıntı yapan et, balık, tavuk, krema vb.. alt raflara yerleştirilmesi, pişmiş gıdalar ile çiğ gıdaların ayrı ayrı depolanması..vb), personel hijyenine dikkat edilmesi (gıda çalışanlarının özellikle tuvalet sonrası ve çiğ et, tavuk balık, yumurtaya dokunduktan sonra ellerini etkili bir şekilde yıkamaları), yiyecekleri yüksek sıcaklıklarda pişirip hızlı soğutma uygulanması, çevrenin sanitasyonu, sinek ve fareler ile diğer haşerelerin kontrolü ile hastalık önlenebilir (Koçak, 2015).

2.2.6. *Clostridium perfringens*

Clostridium perfringens, Gram-pozitif, sporlu, enterotoksin üreten zorunlu anaerob, toprak kökenli bir bakteri çeşidir. Bu bakteri türünün oluşturduğu sporlar ısıya karşı dirençlidir. Bu nedenle, bu bakterinin sporları pişirme sonrasında canlı kalabilmektedir. Örneğin; *C. perfringens* suşları ve sporları kaynamış suda 1 saatten daha uzun süre yaşamlarını sürdürebilmektedir. Patojenik olmayan *C. perfringens* türü yaygın olarak insan bağırsak sisteminde bulunur. *C. perfringens,* insanlarda iki farklı şekilde gıda zehirlenmelerine neden olabilir: Bunlar; 1- Gastroenterite neden olabilir, 2- Kolostridyal Nekrotik Enteriti'ne (Pig-bel hastalığı) neden olabilir. Bu enterit çeşidi; ince bağırsakta, jejunumun giriş kısmında nekrozis oluşumuna neden olan, diyare, distansiyon, abdominal ağrı ve bulantı ile seyreden ölümcül bir hastalıktır. *C. perfringens,* hazırlanmış gıdaların soğutma ve depolanması sırasında diğer pekçok bakteri türüne göre daha hızlı çoğalıp, gıda zehirlenmesine neden olabilecek sayılara ulaşabilir.

Gıda kaynaklı bulaşma: *C. perfringens*'in, gıda kaynaklı hastalık oluşumuna neden olmasına aracılık eden besinler; etler (özellikle kırmızı et ve tavuk eti), çiğ sebzeler, baharatlar, otlar ve işlenmiş gıdalardır (Ayhan, 2000; USFDA, 2012).

Önleme ve kontrol: *C. perfringens*'in sebep olduğu gıda kaynaklı zehirlenmeleri önlemek için; meyve ve sebzelerin çok iyi yıkanması, pişirme sıcaklığının merkezde en az 75°C olması, ön pişirme yapılan gıdalarda (köfte, tavuk…vb) soğutmanın hızlı bir şekilde yapılması (*Clostridium*

perfringens, pişirme ile inaktive edilmeyen ısıya dayanıklı sporlar oluşturur. Bu nedenle hemen yenmeyen ancak önceden hazırlanan yemekler, özellikle et yemekleri iki saat içinde 57 ° C ile 21 ° C arasında ve 6 saat içinde 57 ° C ile 5 ° C arasında soğutulmalıdır. 12 ° C ile 50 ° C arasındaki sıcaklıklarda kalmasına izin verilmemelidir, aksi halde, sporların yedikten sonra gıda zehirlenmesine neden olabilecek sayıda vejetatif bakterileri filizlemesine ve çoğaltmasına izin verebilir. Ayrıca hazırlanan ve saklanan yemekler, tüketilmeden önce en az 74°C'de 15 saniye ısıtılmalıdır. -mümkünse ön pişirme uygulamadan tek pişirim ile tüketiciye sunulması) ve uzun süre bekletmeden gıdaların tüketilmesi (oda sıcaklığında 2 saatten fazla bekletilmemesi) sıcaklık ve zaman kontrolünün yapılması (kalibre edilmiş gıda termometreleri ile), artan yemeklerin yeni yapılmış yemeklere eklenmemesi (özellikle pilav, makarna..vb) ve soğuk depolanmanın uygulanması gerekmektedir (Lund, 2015; Koçak, 2015).

2.2.7. *Clostridium botulinum*

Gram-pozitif, anaerob, mezofilik, sporlu, toprak kökenli bir bakteridir. Sporları ısıya karşı dirençlidir. Botulinum nörotoksini (botulin) olarak adlandırılan karakteristik bir proteini üretir. Botulin proteini, bilinen en kuvvetli biyolojik toksinler arasındadır. *C.botulinum* toksinleri ısıya karşı duyarlıdır. Örneğin; kaynama derecesinde birkaç saniyede tahrip olurlar. 80 °C'de 6 dakikada, 72°C'de 12 dakikada tamamen inaktif hale geçerler. Bu durum özellikle tekrar ısıtılarak yenen gıdalarda toksin riskini azaltmaktadır. *C. botulinum* zehirlenmesinde, ilk belirti, kontamine olmuş gıdanın tüketiminden itibaren 4 saat ile 8 gün içerisinde görülebilir. Belirtiler genellikle mide bulantısı ve kusma olup, bunu takiben görme bozuklukları (çift görme, net görememe, genişlemiş göz bebeği), ağız ve gırtlak fonksiyonlarında bozukluk (konuşma ve yutkunmada zorluk, ağız, boğaz ve dilde kuruma), genel bitkinlik ve kas koordinasyon kaybı ile solunumda zayıflama görülür.

Gıda kaynaklı bulaşma: Yeterli ısıl işlem görmeden yapılan ve tüketim öncesi pişirilmeden yenilen sebze konserveleri, tuz-sirke karışımına yatırılarak ve baharatla çeşnilendirilerek hazırlanan sebzeler, çiğ jambon, tütsülenmiş veya fermantasyon yolu ile lezzetlendirilmiş balıklar, buharla az pişirilen balıklar, salamura et ürünleri, çeşitli salata sosları vb gıdalardır. ABD'de ev tipi konserveler, Avrupa'da ise et ürünleri, Uzak Doğu ve İskandinav ülkelerinde ise balık ve balık ürünleri öne çıkmaktadır (USFDA, 2012; Halkman, 2013).

Önleme ve kontrol: Konserve üretiminde iyi üretim uygulamaları (GMP) ile (ısıl işlem - >121 ˚C, oksijen azlığı, asitlik artırıcı ajanlar – nitrit, sorbik asit, fenolik antiokasidanlar vb.) gıda kaynaklı *C. botullinum* bulaşlarının büyük bir kısmı önlenebilmektedir. Ayrıca, personel hijyenine uyum da olası bulaşların önlenmesinde etkili olabilmektedir (Schneider

ve ark., 2017). Ayrıca, toplu beslenmede, konserve kullanımında özellikle ambalajı şişmiş, bombe yapmış, içe doğru çökmüş ve/veya sızıntı yapmış konserveler kullanılmamalı, üretim ve son kullanma tarihlerinin kontrolüne özen gösterilmelidir.

2.2.8. *Escherichia coli (E. coli)*

Escherichia coli'nin tanımlanmış 6 patojenik türü içerisinden gıda kaynaklı zehirlenme oluşumunda yüksek oranda *Enterohemorajik E.coli* (EHEC) sebep olur. *E. coli* O157 suşu Hemolitik Üremik Sendrom (HUS) olarak adlandırılan ve kan pıhtılaşma bozuklukları, böbrek hasarı ile karakterize bir zehirlenmeye ve hatta ölüme neden olabilmektedir. Bu nedenle *E. coli*'nin gıda kontaminasyonunun engellenmesi oldukça önemlidir. Bakterinin enfektif dozunun 10^1 - 10^2 kob/g(mL) olduğu bazı çalışmalarda bildirilmektedir. Hastalık Kontrol Merkezi (CDC) ve Birleşmiş Milletler'de her yıl yaklaşık 63.000 EHEC enfeksiyonu vakası olduğunu bildirmiştir (USFDA, 2012; CDC, 2018).

Gıda kaynaklı bulaşma: Çiğ ve az pişmiş et ve et ürünleri (özellikle sğır eti) ve bu gıdaların temas ettiği mutfak araç- gereçleri, çiğ süt, yoğurt, fermente edilmiş soslar, peynirler ve pastörize olmayan meyve sularıdır. Aside tolerans gösterebilen bir bakteridir, pH<4.6 olduğu ortamlarda varlığı kanıtlanmıştır (USFDA, 2012; CDC, 2018).

Önleme ve kontrol: *E. coli*'nin neden olduğu gıda kaynaklı hastalıklar, diğer gıda kaynaklı hastalıkların önlenmesinde uygulanan benzer yöntemler ile aynıdır. Bununla birlikte, küçük çocuklardaki ağır sonuçları nedeniyle özel önlemler almayı gerektirir (Addis ve Sisay, 2015).

***E. coli* O157'nin kesim öncesi kontrolü:** İnsan sağlığını korumak için; gıda ve su güvenliğini geliştiren ve iyi hijyen prosedürleri ile sığır patojenlerinin azaltılması, yemek hazırlama uygulamaları ve nakliye yönetimi sırasında uygulanan bir kontrol stratejisinin geliştirilmesini gerektirir. Sığırlarda bir diğer seçenek olarak; probiyotikler, aşılama, antimikrobiyaller, sodyum klorat ve bakteriyofajlar gibi uygulamalar enfeksiyona karşı sürü direnci arttırmada önemlidir. *E. coli* O157'nin kolonizasyonunu azaltmada aşılama oldukça önemli rol oynar (Saeedi ve ark., 2017) .

***E. coli* O157'nin kesim sonrası kontrolü:** Günümüzde, kesim sonrası müdahale teknolojileri, deri ve karkas yıkama ve antimikrobiyallerin kullanımı değişen başarı oranları ile geliştirilmiştir. Gıda işleme sektöründe gıda güvenliği, HACCP yaklaşımına dayanmaktadır (bu yaklaşım sadece *E. co*li'nin kontrolüne özgü değil, genel olarak biyolojik, kimyasal ve fiziksel tehlikeleri de kapsar). Gıda işleme sektöründeki HACCP programları arasında mikrobiyal ürünün indikatör bakteri için ve / veya spesifik olarak test edilmesi *E. coli* O157 için başlıca şu faaliyetleri içerir: Kimyasallar veya antimikrobiyal ürünler, vakumlama, yıkama, akış pas-

törizasyonu, çoklu engel müdahaleler, gama ışınlaması, düşük doz düşük penetran radyasyon ve işleme hattında iyi üretim uygulamalarıdır. Gıda kaynaklı patojenlere halkın maruziyetini azaltmak için; perakende ve tüketicinin sistematik bir incelemesi, gıda güvenliği programları, gıda işleyicisinin eğitimi, gıda öncül denetimleri ve toplum temelli uygun gıda işlemeyi teşvik eden eğitim programları ve hazırlık tekniklerinin uygulanması gereklidir (Karmali ve ark., 2010).

Toplu gıda üretilen işletmelerde önleme ve kontrol: Gıda üretiminde görev alan personelin çalışmaya başlamadan önce ve tuvalet sonrası etklili (en az 20 saniye, ellerin tüm yüzeylerinin sabunla ovulduğu) el yıkama alışkanlığı olmak üzere, kişisel hijyen kurallarına uyum (düzenli aralıklarla saç, sakal, tırnak kesimi, bone, üniforma, maske ve eldiven kullanımı), pişirme işlemlerinde gıda iç sıcaklığının en az 75˚C'de ve/veya üzerinde olması, dezenfekte edilmememiş suyun, temizlik, dezenfeksiyon ve gıda üretiminde kullanılmaması, sıcak yemeklerin 63˚C'de ve/veya üzerindeki sıcaklıklarda sunulması, hemen tüketilmeyecekse hızlıca soğutularak 5˚C'de ve/veya altındaki sıcaklıklarda saklanması, sebze ve meyvelerin bu amaçlı evyelerde dezenfekte edilmesi, et tavuk ve balığın ayrı kesme tahtalarında ve ayrı bıçaklar ile doğranması- mümkünse ayrı alanlarda işlenmesi- *E. coli* O157 kaynaklı gıda zehirlenmelerinin önlenmesinde rol oynayan önemli noktalardır (Koçak, 2015).

2.2.9. *Brucella*

Gram-negatif, hareketsiz, sporsuz, mikro kapsüllü, fakültatif özellikte kokobasillerdir. Bruselloz, dünyanın en fazla yayılım alanına sahip zoonozu olarak bildirilmektedir. Hastalığın inkübasyon süresi ortalama 2-3 hafta olup, ateş, gece terlemesi, sırt ağrısı, kas ağrısı ve iştahsızlık gibi belirtiler görülür. Bruselloz sırasında, osteomyelit (kemik iltihabı), hepatomegali (karaciğerin büyümesi), splenomegali (dalağın büyümesi), menenjit (beyin iltihabı), endokardit (kalp iltihabı) ve epididimo-orşit (epididimin ve testisin iltihabı) gibi çok çeşitli komplikasyonların gelişebildiği de bilinmektedir.

Gıda kaynaklı bulaşma: Çiğ süt, enfekte olmuş hayvanın sütünden yapılan yumuşak peynirlerdir (USFDA, 2012; İrvem ve ark., 2015).

Önleme ve kontrol: Pastörize edilmiş süt ve süt ürünleri kullanımı, özellikle pastörize edilmemiş sütten üretilmiş peynirlerin tüketilmemesi, pastörize olmuş sütten üretilen peynirlerin tüketilmesi bruseloz oluşumunu engellemede önemlidir (EC, 2004). Toplu beslenmede, kullanılacak peynirlerin mutlaka pastörize edilmiş sütten üretilimiş olmasına, üretim ve son kullanma tarihlerinin kontrolüne, mutfak, depo ve çevresinde hayvan ve böceklerin uzaklaştırılması ile ilgili önlemlerin alınmasına özen gözterilmelidir.

2.2.10. *Bacillus cereus*

Bacillus cereus sporlu, Gram-pozitif, fakültatif anaerob çubuk formlu ve toprak kökenli sporlu bir bakteridir. Psikrotrof özelliktedir. Gelişebildiği pH aralığı 4.9-9.3 olup optimum ortam pH'ı 7.0'dır. Çiğ sütlere özellikle sağım sırasında bulasan *B. cereus*, psikrotrof özelligi nedeni ile soğutulmuş olsa dahi çiğ sütte gelişebilir ve ekzoselüler proteolitik enzimler salgılar. Sütün UHT ile sterilizasyonu sırasında sporlu bakteriler de ölür ama daha önce salgılanan bu enzimler imha olmaz. UHT sütün depolaması sırasında bu enzimler, süt proteinini parçalayarak sütün bozulmasına neden olur (USFDA, 2012; Halkman, 2013).

Gıda kaynaklı bulaşma: Pişmiş pirinç, makarna, et, kümes hayvanları etleri, sebze yemekleri, patates püresi, çeşitli çorbalar, pudingler, baharat ve soslar sayılabilir. *B.cereus*'un enfeksiyon dozu 10^5- 10^9/g olarak bildirilmiştir. İki farklı şekilde toksin oluşturur. İlki kontamine gıdanın tüketilmesinden 6 -15 saat sonra semptomların görüldüğü, sulu diyare, bulantı ve nadiren kusmaya neden olan enterotoksindir. İkinci tipi ise emetik (kusturucu) toksin olarak tanımlanan peptittir. Daha kısa bir inkübasyon süresinden sonra, yaklaşık 0,5-2 saat sonra bulantı ve kusma, nadir olarak diyare görülür. Pirinç içeren gıda tüketimine baglı olarak daha çok Japonya'da görülür (USFDA, 2012; Halkman, 2013).

Toplu gıda üretilen işletmelerde önleme ve kontrol: *B.cereus*'un enfeksiyonlarının önlenmesinde gıdaların uygun sıcaklıklarda pişirilmesi, hemen soğutulmayacak ise hızlı bir şekilde soğutularak 5˚C'nin altında depolanması, hemen servis edilecekse sıcak yemeklerin en az 63˚C ve üzerinde soğuk gıdaların 7 ila 8˚C'nin (ideali 5˚C) altında bekletilmesidir (EFSA, 2005; Lund, 2015; Koçak, 2015).

3.Sonuçlar ve öneriler

Gıda kaynaklı zoonotik bakteriyel patojenler, dünya çapında insanlarda gıda kaynaklı hastalıkların kaynağını oluşturmakta ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Ayrıca halk sağlığı sorunlarına yol açan bu bakterilerin başlıcaları; *S. aureus*, *Salmonella*e türleri, *Campylobacter* türleri, *L. monocytogenes* ve *E. Coli* ile ilişkili yaygın bakteriyel patojenler olup, daha ziyade hayvansal kökenli yiyeceklerle bulaşırmaktadır. Bu bakteriler, gıda hayvanlarının üretiminden başlayarak hayvansal ürünlerin nihai tüketimine kadar besin zincirine girebilirler. Günümüzde, bu bakteriyel patojenlerin, çoklu ilaca dirençli suşlarının ortaya çıkması nedeniyle halk sağlığı açısından büyük endişe yaratmaktadır. Literatürde, gıda hayvanlarında, hayvansal gıdalarda ve insanlarda gıda kaynaklı zoonotik bakterilerin yaygınlığına ilişkin raporlar bulunmasına rağmen, bu patojenlerin hayvansal kaynaklı gıdalardaki mikrobiyel yükü istenen (düşük) düzeylerde değildir. Ayrı-

ca, bilinen, ilişkili risk faktörleri açıkça tanımlanmamıştır ve insanlarda görülen zoonotik gıda kaynaklı enfeksiyonlarının insidansı ve bu enfeksiyonlara neden olan bakterilerin tanımlanması geleneksel yöntemlerle yapılmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, geçmişten gelen çiğ/pişirilmemiş hayvansal ürün tüketimi alışkanlığı, standart olmayan kesim süreci ve hijyenik olmayan gıda hazırlama prosedürleri ve işlenmesi gibi risk faktörleri, insanların gıda kaynaklı zoonotik bakteriyel patojenlere sıklıkla maruz kalmalarına yol açabilir.

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), besin zehirlenmelerini önleyebilmek için uygulanması gereken stratejileri 5 başlık altında belirlemiştir. Bunlar; 1. Kişisel hijyenin sağlanması, 2. Çiğ besinlerin pişmiş olanlardan ayrılması, 3. Besinlerin iyi pişirilmesi, 4. Çiğ ve pişmiş besinlerin uygun sıcaklıklarda muhafaza edilmesi ve 5. Güvenli su kaynaklarının kullanımı olarak sıralanmaktadır (WHO, 2006). Bu kurallar sadece gıda kaynaklı bakteriyel patojenler için değil, aynı zamanda son dönemde yaşanılan SARS-CoV2 virüsünün sebep olduğu COVID-19 hastalığının yayılımının önlenmesi açısından da önemli uygulamalardır. Özellikle kişisel hijyen uygulamaları (el yıkama, bone, maske, eldiven, kolluk gibi koruyucu ekipmanların kullanımı), gıda üretiminin ve dağıtımının her aşamasında standart iş kıyafetinin kullanımı ve bu kıyafetlerin dışarıda kullanılmaması gibi uygulamalar, düzenli hijyen eğitimi ve düzenli denetimlerin yapılması) gıda güvenliğinin sağlanmasında önemli uygulamalardır.

Gıda kaynaklı bakteriyel patojenlerin hastalık yapmalarının önlenmesi için tüm dünyada aşağıdaki önerilerin uygulanması etkili olabilir.

- Gıda kaynaklı zoonotik bakteriyel patojenlerin uygun ve etkili kontrolünün sağlanması için tüm ülkelerde koordineli ve etkin izleme sistemleri oluşturulmalıdır.

- Gıda kaynaklı zoonotik bakteriyel patojenler ile ilişkili insanlarda görülen enfeksiyonların risk faktörleri, sıklığı ile epidemiyolojik veriler ulusal düzeyde oluşturularak kayıt altına alınmalıdır.

-Toplumun bilinçlendirilmesi amacıyla; gıda kaynaklı zoonotik risk faktörleri ile farklı bulgulara dayanan bakteriyel patojenler hakkında bilimsel çalışmalar yapılmalıdır.

- Konrol ve önleme stratejilerinin geliştirilmesi amacıyla bu bakteriyel patojenler moleküler düzeyde karakterize edilmelidir.

Son olarak, gıda üretimi yapan işletmelerde ve özellikle toplu gıda üretimi yapan restoran, okul, hastane, kışla gibi gıda üretim tesislerinde iyi üretim uygulamaları (GMP), standartlaştırılmış ön hazırlık (donmuş ürünlerin çözündürülmesi, meyve- sebze dezenfeksiyonu, doğrama), pişirme, soğutma, yeniden pişirme ve hijyenik sunum prosedürleri ile hij-

yenik hayvansal ürün hazırlama teknikleri uygun şekilde uygulanmalıdır. Ayrıca, HACCP, ISO 22000 gibi gıda güvenliği ile ilgili kalite standartlarının gıda işletmelerinde etkili bir şekilde uygulanması, toplam kalite yönetimi anlayışının tüm işletmelerde yaygınlaştırılması ile ilgili politika ve planların ulusal ve ulaslarası düzeyde yapılması en etkili proaktif yaklaşım olacaktır.

KAYNAKLAR

Abebe, E., Gugsa, G., & Ahmed, M. (2020). Review on Major Food-Borne Zoonotic Bacterial Pathogens. *Journal of Tropical Medicine*, *2020*.

Abunna, F., Abriham, T., Gizaw, F., Beyene, T., Feyisa, A., Ayana, D., & Duguma, R. (2016). *Staphylococcus:* isolation, identification and antimicrobial resistance in dairy cattle farms, municipal abattoir and personnel in and around Asella, Ethiopia. *J Vet Sci Technol*, *7*(383), 2.

Addis, Z., Kebede, N., Sisay, Z., Alemayehu, H., Wubetie, A., & Kassa, T. (2011). Prevalence and antimicrobial resistance of *Salmonella* isolated from lactating cows and in contact humans in dairy farms of Addis Ababa: a cross sectional study. *BMC infectious diseases*, *11*(1), 222.

Addis, M., & Sisay, D. (2015). A review on major food borne bacterial illnesses. *Journal of Tropical Diseases & Public Health*.

Adugna, F., Pal, M., & Girmay, G. (2018). Prevalence and antibiogram assessment of *Staphylococcus aureus* in beef at municipal abattoir and butcher shops in Addis Ababa, Ethiopia. *BioMed research international*, *2018*.

Assefa, A., & Bihon, A. (2018). A systematic review and meta-analysis of prevalence of *Escherichia coli* in foods of animal origin in Ethiopia. *Heliyon*, *4*(8), e00716.

Al-Kandari, D., Al-abdeen, J., &Sidhu, J. (2019). Food safety knowledge, attitudes and practices of foodhandlers in restaurants in Kuwait. *Food Control*, 103, 103-110.

Al-Shabib, N. A., Mosilhey, S. H., &Husain, F. M. (2016). Cross-sectional study on food safety knowledge, attitude and practices of male foodhandlers employed in restaurants of King Saud University, Saudi Arabia. *Food Control*, 59, 212–217

Anonymous (2009) Food safety and fodborne illness. http://www.who..int/ topics/foodborne_ diseases/en 2009. Accessed: 10/12/2019.

Argaw, S., & Addis, M. (2015). A review on staphylococcal food poisoning. *Food Science and Quality Management*, *40*, 59-72.

Ayhan K. (2000) Gıda Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları. Gıdalarda Bulunan Mikroorganizmalar. 2. Baskı. Sim Matbaacılık. Ankara.

Bantawa, K., Rai, K., Limbu, D. S., & Khanal, H. (2018). Food-borne bacterial pathogens in marketed raw meat of Dharan, eastern Nepal. *BMC research notes*, *11*(1), 1-5.

Barjaktarović-Labović, S., Mugoša, B., Andrejević, V., Banjari, I., Jovićević, L., Djurović, D., ... & Radojlović, J. (2018). Food hygiene awareness and practices before and after intervention in food services in Montenegro. *Food control*, *85*, 466-471.

Baş, M., Ersun, A. Ş., & Kıvanç, G. (2006). The evaluation of food hygiene knowledge, attitudes, and practices of food handlers' in food businesses in Turkey. *Food control*, *17*(4), 317-322.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2018). Surveıllance for foodborne dis- ease Outbreaks — United States, 2016. *Annual report*. ([pii]) http://www.cdc.gov/foodsafety/fdoss/ (W. G)

Dehkordi, M. K., Shamsabadi, M. G., & Banimehdi, P. (2019). The occurrence of *Staphylococcus aureus*, enterotoxigenic and methicillin-resistant strains in Iranian food resources: a systematic review and meta-analysis. *Ann Ig*, *31*, 263-278.

Dhama, K., Rajagunalan, S., Chakraborty, S., Verma, A. K., Kumar, A., Tiwari, R., & Kapoor, S. (2013). Food-borne pathogens of animal origin-diagnosis, prevention, control and their zoonotic significance: a review. *Pakistan journal of biological sciences*, *16*(20), 1076.

Dhama, K., Karthik, K., Tiwari, R., Shabbir, M. Z., Barbuddhe, S., Malik, S. V. S., & Singh, R. K. (2015). Listeriosis in animals, its public health significance (food-borne zoonosis) and advances in diagnosis and control: a comprehensive review. *Veterinary Quarterly*, *35*(4), 211-235.

EC - European Commission (2004). Regulation (EC) No 853/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 laying down specific hygiene rules forfood of animal origin.*Official Journal of the European Communities*, 139,55–205.http://data.europa.eu/eli/reg/2004/853/oj.

EFSA (2005). Commission Regulation (EC) No. 2073/2005 of 15 November 2005 on microbiological criteria for foodstuffs, *Official Journal of the European Union*, L 338.

EFSA (2018). The European Union summary report on trendsandsources of zoonoses, zoonoticagentsandfood-borneoutbreaks in 2017. EFSA *Journal*, 16(12).

Ejo, M., Garedew, L., Alebachew, Z., & Worku, W. (2016). Prevalence and antimicrobial resistance of *Salmonella* isolated from animal-origin food items in Gondar, Ethiopia. *BioMed research international*, 2016.

Ekincek, S., Gode, M. O., Oncel, S., & Yolal, M. (2017). Gastronomy and Culınary Arts Educatıon in Turkey: Department Heads'perspectıve. *Studia Universitatis Babes-Bolyai, Negotia*, *62*(1).

Elmonir, W., Abo-Remela, E., & Sobeih, A. (2018). Public health risks of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* in raw bovine milk sold in informal markets in Egypt. *The Journal of Infection in Developing Countries*, *12*(07), 533-541.

Garoy, E. Y., Gebreab, Y. B., Achila, O. O., Tekeste, D. G., Kesete, R., Ghirmay, R., & Tesfu, T. (2019). Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA): prevalence and antimicrobial sensitivity pattern among pa-

tients—a multicenter study in Asmara, Eritrea. *Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology*, *2019*.

Girma, G. (2015). Prevalence, Antibiogram and Growth Potential of *Salmonella* and *Shigella* in Ethiopia: Implications for Public Health. A Review. *Prevalence*, *33*.

Gruenfeldova, J.,Domijan, K., &Walsh, C. (2019). A study of food safety knowledge, practice and training among food handlers in Ireland. *Food Control*, 105, 131–140.

Hagos, Y., Berhe, M., & Gugsa, G. (2019). Campylobacteriosis: Emphasis on its Status as Foodborne Zoonosis in Ethiopia. *J Trop Dis*, *7*(317), 2.

Halkman A.K. (2013). Gıda Mikrobiyolojisi II ders notları. Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 2013.

Hemalata, V. B., & Virupakshaiah, D. B. M. (2016). Isolation and Identification of food borne pathogens from Spoiled food samples. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *5*(6), 1017-1025.

Heredia, N., & García, S. (2018). Animals as sources of food-borne pathogens: A review. *Animal nutrition*, *4*(3), 250-255.

Huang, H.,Wu, S., Lu, J., Shyu, Y., &Wang, C. (2017). Current status and future trends of high-pressure processing in food industry. *Food Control,* 72, 1–8.

İrvem, A., Yücel, F.M., Aksaray, S., & Bor, E. (2015). Brusellozun Serolojik Tanısında Yeni ve Hızlı Bir Yöntem Olan *Brucella* Coombs Jel Testi ile Diğer Yöntemlerin Karşılaştırılması. *Mikrobiyol Bul*, *49*(2), 181-187.

Kadariya, J., Smith, T. C., & Thapaliya, D. (2014). *Staphylococcus aureus* and staphylococcal food-borne disease: an ongoing challenge in public health. *BioMed research international*, *2014*.

Karmali, M. A., Gannon, V., & Sargeant, J. M. (2010). Verocytotoxin-producing *Escherichia coli* (VTEC). *Veterinary microbiology*, *140*(3-4), 360-370.

Kassaye, B. K., Hassen, D. J., Leja, K. A., & Tsegaye, B. (2015). Study on Prevalence and Distribution of *Salmonella* Isolates from Apparently.

Kebede, T., Afera, B., Taddele, H., & Bsrat, A. (2014). Assessment of bacteriological quality of sold meat in the butcher shops of Adigrat, Tigray, Ethiopia. *Applied Journal of Hygiene*, *3*(3), 38-44.

Kemal, J., Sibhat, B., Menkir, S., Terefe, Y., & Muktar, Y. (2015). Antimicrobial resistance patterns of *Salmonella* in Ethiopia: A review. *African Journal of Microbiology Research*, *9*(46), 2249-2256.

Koçak, N. (2007). ISO 22000: Gıda Güvenliği Yönetim Sistemleri Uygulama Sürecinde Temel Adımlar. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, *9*(4):135-159.

Koçak, N. (2015). Yiyecek içecek işletmelerinde gıda ve personel hijyeni. *Detay Yayıncılık, Ankara*.

Le Loir, Y., Baron, F., & Gautier, M. (2003). *Staphylococcus aureus* and food poisoning. *Genet Mol Res*, *2*(1), 63-76.

Lund, B. M. (2015). Microbiological food safety for vulnerable people. *International journal of environmental research and public health*, *12*(8), 10117-10132.

Massawe, H. F., Mdegela, R. H., & Kurwijila, L. R. (2019). Antibiotic resistance of *Staphylococcus aureus* isolates from milk produced by smallholder dairy farmers in Mbeya Region, Tanzania. *Int. J. One Health*, *5*, 31-37.

Mdegela, R. H., Nonga, H. E., Ngowi, H. A., & Kazwala, R. R. (2006). Prevalence of thermophilic Campylobacter infections in humans, chickens and crows in Morogoro, Tanzania. *Journal of Veterinary Medicine, Series B*, *53*(3), 116-121.

Mohammed, S., & Nigatu, S. (2015). Review on livestock associated methicillin resistant *Staphylococcus aureus* and its zoonotic importance. *Int. J. Microbiol. Res*, *6*, 164-174.

Mughal, M. H. (2018). Campylobacteriosis-A Global Threat. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, *11*(5), 8804-8808.

Ovca, A.,Jevšnik, M., &Raspor, P. (2018). Food safety practices of future foodhandlers and their teachers, observed during practical lessons. *British Food Journal*, 2018; 120, 531-548.

Pal, M., Mulu, S., Tekle, M., Pintoo, S. V., & Prajapati, J. (2016). Bacterial contamination of dairy products. *Beverage and food world*, *43*(9), 40-3.

Rebouças, L. T., Santiago, L. B., Martins, L. S., Menezes, A. C. R., Araújo, M. P. N., & de Castro Almeida, R. C.(2017) Food safety knowledge and practices of foodhandlers, head chefs and managers in hotels' restaurants of Salvador, Brazil. *Food Control*, 73, 372-381.

Rodríguez-Lázaro, D., Oniciuc, E. A., García, P. G., Gallego, D., Fernández-Natal, I., Dominguez-Gil, M., ... & Hernández, M. (2017). Detection and characterization of *Staphylococcus aureus* and methicillin-resistant *S. aureus* in foods confiscated in EU borders. *Frontiers in microbiology*, *8*, 1344.

Saeedi, P., Yazdanparast, M., Behzadi, E., Salmanian, A. H., Mousavi, S. L., Nazarian, S., & Amani, J. (2017). A review on strategies for decreasing *E. coli* O157: H7 risk in animals. *Microbial pathogenesis*, *103*, 186-195.

Schneider K.R., Schneider R.M.G., Kurdmongkoltham P. & Bertoldi B. (2017). Preventing foodborne ilness: *Clostridium botulinum*. *Food Science and Human Nutrition*; *2017*(1): 1-7.

Sabbithi, A., Reddi, S. L., Naveen Kumar, R., Bhaskar, V., SubbaRao, G., &Rao, V. S. (2017). Identifying critical risk practice samong street foodhandlers. *British Food Journal*, 2017; 119, 390–400.

Sani, N. A.,& Siow, O. N. (2014). Knowledge, attitudes and practices of food-handlers on foodsafety in food service operations at the Universiti Kebangsaan Malaysia. *Food Control*, *37*, 210–217.

Sanlier, N. (2009). The knowledge and practice of food safety by young and adult consumers. *Food control*, *20*(6), 538-542.

Scallan, E., Hoekstra, R. M., Angulo, F. J., Tauxe, R. V., Widdowson, M. A., Roy, S. L., ... & Griffin, P. M. (2011). Foodborne illness acquired in the United States—major pathogens. *Emerging infectious diseases*, *17*(1), 7.

Shad, A. A., & Shad, W. A. (2019). Journal of Food: Microbiology, Safety & Hygiene.

Sezgin, A. C., & Özkaya, F. D. (2014). Toplu beslenme sistemlerine genel bir bakış. *Akademik Gıda*, *12*(1), 124-128.

Taddese, D., Tolosa, T., Deresa, B., Olani, A., & Shumi, E. (2019). Antibiograms and risk factors of *Salmonella* isolates from laying hens and eggs in Jimma Town, South Western Ethiopia. *BMC research notes*, *12*(1), 472.

Tarekgne, E., Skeie, S., Rudi, K., Skjerdal, T., & Narvhus, J. A. (2015). *Staphylococcus aureus* and other *Staphylococcus* species in milk and milk products from Tigray region, Northern Ethiopia. *African Journal of Food Science*, *9*(12), 567-576.

Tefera, M., Aleme, H., Girma, S., Ali, A., Gugsa, G., Abera, F., & Abubaker, R. (2019). Antimicrobial Susceptibility Pattern of Isolated from Sheep and Goat Carcasses. *The Open Microbiology Journal*, *13*(1).

Tegegne, F. M. (2019). Epidemiology of *Salmonell*a and its serotypes in human, food animals, foods of animal origin, animal feed and environment. *J Food Nutr Health. 2 (1): 7-14. J Food Nutr Health 2019 Volume 2 Issue*, *1*.

Tessema, D., & Tsegaye, S. (2017). Study on the Prevalence and Distribution of *Staphylococcus aureus* in Raw Cow Milk Originated from AlageAtvet College Dairy Farm, Ethiopia. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, *7*, 586.

Tsepo, R., Ngoma, L., Mwanza, M., & Ndou, R. (2016). Prevalence and Antibiotic Resistance of *Staphylococcus aureus* Isolated from Beef Carcasses at Abattoirs in North West Province. *Journal of Human Ecology*, *56*(1-2), 188-195.

Tutu, B. O., & Anfu, P. O. (2019). Evaluation of the food safety and quality management systems of the cottage food manufacturing industry in Ghana. *Food Control*, *101*, 24-28.

U.S. Food and Drug Administration (2012). Bad Bug Book, Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins. Second Edition, 2012. Erişim: (https://www.fda.gov/food/foodborneillnesscontaminants/causesofillnessbadb ugbook/). Erişim tarihi: 30.06.2020.

Wang, W., Baloch, Z., Jiang, T., Zhang, C., Peng, Z., Li, F., ... & Xu, J. (2017). Enterotoxigenicity and antimicrobial resistance of *Staphylococcus aureu*s isolated from retail food in China. *Frontiers in microbiology*, *8*, 2256.

Wang, L.,Xiao, L., Duan, L., Ye, J., Guo, Y., & Guo, M. (2013). Concurrent infections of *Giardia duodenalis*, *Enterocyto zoonbieneusi*, and *Clostridium difficile* in children during a cryptosporidiosis outbreak in a pediatric hospital in China. PLoS Neglected, *Tropıcal Dıseases*, 7, e2437.

Wieczorek, K., Wołkowicz, T., & Osek, J. (2018). Antimicrobial resistance and virulence-associated traits of *Campylobacter jejuni* isolated from poultry food chain and humans with diarrhea. *Frontiers in microbiology*, *9*, 1508.

Woldemariam, T., Asrat, D., & Zewde, G. (2009). Prevalence of thermophilic *Campylobacter* species in carcasses from sheep and goats in an abattoir in Debre Zeit area, Ethiopia. *Ethiopian Journal of Health Development*, *23*(3).

World Health Organization (WHO).(2006.). Five keys to safer food manual. Available at: https://www.who.int/foodsafety/publications/5keysmanual/en/ Erişim: 28 Nisan, 2020.

World Healthorganization (WHO) (2015a). Who Estımates of the Global burden of food-borne DISEASES. Geneva, Switzerland: World HealthOrganization. Retrievedfromhttp://www.who.int/foodsafety/areas.work/foodborne-diseases/ferg/en/.

World HealthOrganization (WHO) (2015b). Food Safety: What youshouldknow. Geneva, Switzerland: World Health Organization. Retrievedfrom http://www.searo.who.int/ entity/world_health_day/2015/whd-what-you-should-know/en/.

Wu, S., Duan, N., Gu, H., Hao, L., Ye, H., Gong, W., & Wang, Z. (2016). A review of the methods for detection of *Staphylococcus aureus* enterotoxins. *Toxins*, *8*(7), 176.

Yiannas, F. (2009). Food SAFETY culture: CREATING A BEHAVIOR-BASED food SAFETY MANAGEMENT system. New York, NY: Springer.

Yücel, A., A.Bayizit. (1999). Gıda Mikrobiyolojisi-2 Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Ders Notları No:66 Bursa 70 s.

Zhao, X., Lin, C. W., Wang, J., & Oh, D. H. (2014). Advances in rapid detection methods for foodborne pathogens. *J. Microbiol. Biotechnol*, *24*(3), 297-312.

Zubaroğlu, A. H., Boz, A., Topal, S., Temel, F., Sucaklı, M. B., Levent, B., ... & Kızılelma, M. (2015). Manisa'da aynı yemek şirketinden yemek alan farklı işletmelerde meydana gelen stafilokok kaynaklı besin zehirlenmesi. *Turkish Bulletin of Hygiene & Experimental Biology/Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji*, *72*(3).

Bölüm 5

PVSYST İLE GÜNEŞ PANELİ KİRLİK ETKİLERİNİN İNCELENMESİ: ŞANLIURFA GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ ÖRNEĞİ

Murat ALTINTAŞ[1]
Serdal ARSLAN[2]

1 Murat Altıntaş, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Harran University, Sanliurfa, Turkey, murat@mualmuhendislik.com.tr
2 Serdal Arslan, Department of Electrical, Harran University BirecikVocational HighSchool, Sanliurfa, Turkey, serdalarslan@harran.edu.tr

Güneş, dünya tarihi boyunca insanlığın ısı ve ışık kaynağı olmuştur. Kimi zaman insanlık; güneşe minnetini sunmuş, kimi zaman görünen en parlak gök cismi olduğundan ona ruhani anlamlar yüklemiştir. Güneşi önünde eğilmiş, güneş tutulduğunda ise onu kurtarmak için göğe doğru silahlarını çevirmişlerdir [1]. Güneş üzerine tarihsel gelişmelerin yanı sıra bilim ve teknolojideki gelişmeler ademoğlunu; güneşten etkin ve etkili biçimde nasıl yararlanılacağını göstermiştir. Aslında güneş enerjisinden elektrik üretimi 150 yılı aşkın geçmişe dayanmaktadır. Örneğin; Becquerel 1839 yılında fotovoltaik akımı bulmuştur [2]. 1893 yılında, Charles Fritts çalışmaları daha sonra 1914 yılında fotovoltaik hücrelerin verimliliği % 1, değerine ulaşmış ve % 6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren hücreler 1954 yılında silikon kristalinin kullanılması ile mümkün olmuştur [2]. İlerleyen yıllarda güneş panellerinin dünyamızda yaygın olarak kullanımı ise 1970'li yıllarda hesap makineleri ile başlamıştır [3]. Bunun yanı sıra; hücrelerden oluşan güneş panelleri kullanılarak sağlanan elektrik enerjisi, iklimlendirme sistemi, cep telefonu şarj etme sistemleri, uzay araştırmalarında, enerji hasatlayıcı sistemleri vb. sistemlerde de kullanılmaktadır. Aslında günümüzde çevresel faktörler düşünüldüğünde (fosil kaynakların çevreye verdiği zararlı etkiler, vb.) artan enerji ihtiyacını verimli şekilde güneş enerjisi ile karşılamak çok önemli konu haline gelmiştir.

Fotovoltaik panellerin verimliliğini etkileyen faktörler açık alanda bulunduklarından jeolojik ve meteorolojik koşullar olarak ikiye ayırabiliriz. Jeolojik koşullar, üretim santralinin bulunduğu sahaya ait tozlanma, herhangi bir fiziksel yapıdan kaynaklı (ağaç, otlar, binalar, vb.) gölgeleme, sahaya yakın kumsal, santral sahası yakınlarında yer alan su kaynakları, santral sahası yakınındaki kuşların genelde kullandığı bilinen mevsimsel göç yolları gibi etkenlerdir. Bu etkenlerin neden olduğu panellerdeki kirlenme oranı panel verimliğini ve dolayısı ile elektrik santralinin toplam üretim değerini etkilediği bilinmektedir. Bu faktörlerin neden olduğu kirlenme oranı santral sahasının konumu ve arazinin yapısal nedeni ile ortaya çıktığından jeolojik koşullara bağlı kirlenme adını almaktadır. Meteorolojik koşullar ise güneş açısı, konumu, güneşin radyasyon değerleri, mevsim geçişleri ile kar, yağmur, rüzgâr gibi meteorolojik değişkenler ve bu değişkenlere bağıl olarak elektrik üretim değerlerini etkilemektedir. Bu faktörlerin bir araya getirdiği etki meteorolojik koşullar olarak tanımlanmakta, buna bağlı kirlenme oranı ise meteorolojik kirlenme adını almaktadır. Her iki koşul ve buna bağlı kirlenme oranı, henüz santral kurulmadan, proje aşamasında konusunda uzman kişilerin inceleyerek rapor hazırlaması ile öngörülebilir olgulardır. Santral sahasında mevcut koşulların meydana getirdiği kirlenme oranı, panellerin üretim değerlerini ve kullanım ömrünü azaltmaktadır. Bu nedenle panelleri temizlenmesi ve bakımlarının belirli aralıklar ile yapılması gerekmektedir. Kirlenme sadece toz birikimi değil,

aynı zamanda bitki ürünleri, kurum, tuz, kuş pisliği ile yüzey kirlenmesini de içerir, optik performansı olumsuz etkiler. Kirlenmeden başka önemli performans sınırlayıcı faktörler sıcaklık etkileri, yüksek bağıl nem, yüksek rüzgâr hızı, korozyon olarak sıralanabilir [4]. Toz-kir tabakasının bu kademeli ve/veya sürekli birikmesi, panelin içine gömülü güneş hücrelerine ulaşan güneş ışığının miktarını azaltır ve sonuçta güç çıkışını azaltır [5]. Kül, kalsiyum, kireçtaşı, toprak, kum ve silika gibi tozlar paneller üzerinde daha önemli etkiye sahiptir. Panel üzerinde doğal toz birikiminden ziyade yapay (yerel endüstrilerden kaynaklanan hava kirliliğinin neden olduğu) toz birikiminin panel üzerinde olumsuz etkisi vardır [6]. Kirlenme nedeniyle gölgelendirme, hava kirliliği gibi yumuşak gölgelendirme ve biriken toz gibi bir katı güneş ışığını bloke ettiğinde oluşan sert gölgelendirme olmak üzere iki kategoriye ayrılır [6]. Yumuşak gölgelemenin PV modülü tarafından sağlanan akımı etkilediğini, ancak voltajın aynı kaldığını gösterir. Sert gölgelendirmede ise PV modülünün performansı, bazı hücrelerin gölgeli olup olmadığına veya PV modülünün tüm hücrelerinin gölgeli olmasına bağlıdır [6]. Aslında, PV modülünün yüzeyinde biriken toz miktarı, PV modülünden günlük, aylık, mevsimsel ve yıllık bazda verilen genel enerjiyi etkiler [6]. Örneğin güneş panellerinde toz birikimi Riyad 'ta 8 ay sonunda %32 Kuveyt'te ise 6 gün %17 performansta azalma göstermiştir [7]. Riyad, Suudi Arabistan'da yaklaşık 10 g/m^2'lik bir ayda kümülatif toz birikimi ve Kuveyt uluslararası havaalanında bir ay içinde 400 g/m^2'den fazla kümülatif kum birikimi çok daha yüksek bir seviyede kaydedildi [8]. Çünkü paneldeki kum birikimi miktarı coğrafi ve meteorolojik duruma bağlıdır. Ayrıca tozun/kumun tanecik boyutu da önemlidir. Namibya kumunun tipik çapı 200-300 µm iken, Doha tozunun çapı yaklaşık 6-10 µm'dir [9]. Bu nedenle, panellerinin periyodik olarak temizlenmesi gerekmektedir. Kısacası şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistemin üretmekte olduğu enerji birçok faktöre bağlıdır. Fotovoltaik sistemde meydana gelen kayıplar % olarak sıralanabilir [10]:

- Gölgelenme %7, Sıcaklık % 4.6,
- Evirici (İnvertör) %3,
- Yansıma %2.5, Tozlanma % 2,
- Işınım %1.5, Spektrum % 1,
- DC kablo %1, Uyumsuzluk % 0.7, AC kablo % 0.5,

Özellikle güneş enerjisi santralleri (GES) ile elektrik enerjisi üretimi ülkelerin enerji politikaları gerek enerji talebini karşılamak gerekse enerji ithalatını azaltmak amacı ile kanun, yönetmelik, tebliğ, kararlar ile yasal mevzuat kapsamında belirlenmiştir. Ülkemizde de uygulamaların her adımı; dağıtım şirketleri ve lisanslı elektrik üretimi yapan kurum, kuruluş, otoprodüktörler, lisanssız elektrik üreticileri açısından belirlen-

miştir. Kayıpların azaltılmasına yönelik yasal düzenlemeler olabilir ancak fotovoltaik sistemde kayıpların yüzdelik değerlikleri sıfırlanması çevresel (gölgelenme, tozlanma, sıcaklık vb.) ve imalat faktörlerinden dolayı mümkün değildir. Literatürde GES'lerin tasarımı için DDS-CAD PV, Pvsyst, Homer, TRNSYS, System Advisor Model, PV F-Chart, SolarDesignTool, SolarNexus, INSEL, SolarPro, Polysun, RETScreen, vb. [11] kullanılmaktadır. Pvsyst yazılımı ile gerçek bir GES için gölge analizi yapılmıştır [12]. Başlıca bazı illeri için Aydın [13], Batman [14], Malatya [15], Ankara [16], Niğde [17] GES tasarımlarının yapılmış, termal otel [18], belediye [19] enerji ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılamaya yönelik Pvsyst ile tasarım çalışması gerçekleştirilmiştir.

1. ŞANLIURFA GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ VE ELE ALINAN GES BİLGİLERİ

Güneydoğu Anadolu Bölgesi yıllık ortalama 2993 saatlik güneşlenme süresine sahipken Şanlıurfa ili için ortalama güneş radyasyonu 4.34kWh/m^2/gün olarak gerçekleşmektedir (Şekil 1) [20]. Bu çalışma da Şanlıurfa ili Karaköprü semti, Bölücek mahallesinde kurulan 1296 kWp fotovoltaik devresinin benzetimi yapılarak değerler analiz edilmiştir. Şekil 1-2'de arazide yere uygulanması planlanan teorik GES yerleşkesi ve uygulaması görülmektedir.

(a) *(b)*

Şekil 1. Araziye uygulanması planlanan teorik GES yerleşkesi ve uygulaması; a-Pvsyst Teorik olarak tasarım, b- Ges Santrali Enerji Üretim Sahası

Şekil 2. Araziye uygulanmış GES yerleşkesi uydu görüntüsü

2. PVSYST İLE ANALİZ ÇALIŞMALARI

PVsyst programı vasıtasıyla PV sistemlerin boyutlandırılması ve veri analizi yapılabilmektedir. İçeriğinde yer alan araçlar sayesinde mimar, mühendis ve araştırmacılar çalışmalarını kolay bir şekilde gerçekleştirebilmektedirler. PVsyst, birçok farklı kaynaktan elde ettiği bölgesel verileri bulundurduğu gibi Meteonorm verilerini de alabilmektedir. Ayrıca PVsyst programı, şebekeye bağımlı sistemlerin modellemesini yapabildiği gibi şebekeden bağımsız sistemlerin de modellemesini yapabilmektedir. PVsyst programı hesaplamalar yaparken bazı detayları dikkate alarak işlemini gerçekleştirmektedir. Bu detaylar arasında [21];

- Tesisin kurulacağı yerdeki meteorolojik veriler,
- Bölgenin kirlilik oranı
- Detaylı güneş ışınım değerleri,
- Gölgelenme ve bulutlu gün sayılarına ait analizler,
- Yeryüzünden gerçekleşen yansıma oranları,
- Yerleşim planları,
- Kurulması düşünülen güneş panelinin yönü ve açısı,
- Kullanılması düşünülen güneş paneline ait özellikler,
- Güneş panellerine ait yıllık verim kaybı oranları,
- Evirici cihazlarına ait özellikler,
- Besleme kablolarının mesafesi,
- Yapılan bağlantı noktasına dair sayı,
- Elektrik dağıtım şebekesine dair özellikler,

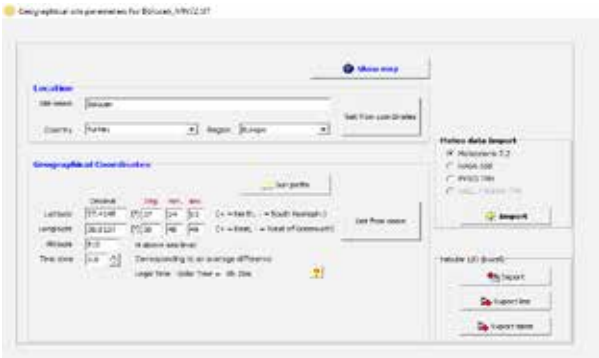
gibi detaylara yer vererek hesaplamalar yapmaktadır [21]. Programda şebekeye bağlı/bağımsız, su pompası ve DC şebeke olmak üzere dört farklı modelin proje tasarımının yapılmasına imkan tanır. PV sistemlerin hava durumu verileri, panel bilgileri, vb. farklı verilerin girilebildiği araçlar (tools) menüsü de bulunmaktadır. Şekil 3'deki ekran görüntüsü bu programın giriş ekranıdır:

Şekil 3. PVsyst programı arayüz görünümü

PVSyst; FV sistemlerin modellenmesini, ön tasarım (preliminary design) ve proje tasarımı (project design) olarak iki aşamada gerçekleştirme imkânı sağlamaktadır [22]. Yapılmak istenen sistemin ve kullanılan donanımların boyutlarını değerlendirebilmek için yazılımın öntasarım kısmı kullanılmaktadır. Ön tasarım giriş ekranında, modellenecek sistemin bulunduğu lokasyon seçiminin gerçekleştirileceği yer seçimi (meteo database) ve modelin tanımlandığı ve değerlerin elde edildiği sonuçlar (results) bölümler bulunmaktadır.

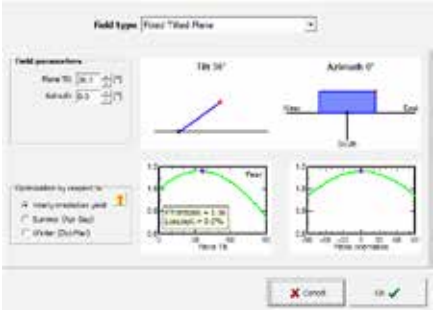
Programda modellenecek sistemin lokasyonu belirlenir ve bu lokasyon için hava durumu, meteorolojik verilerin seçimi gerçekleştirilir. Ön tasarım penceresinde lokasyon belirleme "meteo database" kısmından yapılır. Bu durum; programın veri tabanında yok ise veriler programın araçlar (database) penceresinden elle girilmek suretiyle gerçekleştirilir. Ayrıca "Database" penceresinde harici hava durum verileri, FV modül türleri, inverter çeşitleri, bataryalar gibi FV sistemin donanımları ve bu programın farklı özelliklerinin bulunduğu ekran karşımızı çıkmaktadır.

Veri tabanı penceresinde Coğrafik yer (geographical sites) butonuna basılarak modelelenen lokasyonun yer seçimi yapılmaktadır. Lokasyon seçimi ekranında ülke seçimi yapılarak çıkan listede, modellenen bölge bulunuyorsa aç (open) sekmesi kullanılarak gerekli düzenlemeler yapılabilir. Burada farklı bir kaynaktan lokasyon programa yüklenilebilir ya da programda bulunan yeni (new) düğmesi kullanılarak lokasyon sıfırdan oluşturulur (Şekil 4).



Şekil 4. PVSyst programında coğrafi koordinat penceresi

Bu pencerede öncelikle oluşturulacak olan lokasyon ve hangi ülkede/kıtada bulunduğu belirlenir. Oluşturulan bu lokasyonla ilgili yerin enlem ve boylam bilgileri, yükseklik ve zaman dilimi bilgileri bir haritadan bulunarak pencerede ilgili yerlere girilir. Bu bilgiler programa girildikten sonra ekrandaki aylık meterolojik veri (monthly meteo) butonu kullanılarak aylık hava durumu bilgilerin girildiği ekrana geçilir. Yeni oluşturulan lokasyonla ilgili meteorolojik bilgilerin girileceği ekranda, "aylık küresel ışınım bilgileri" ve "aylık ortalama sıcaklık bilgilerinin" girilmesi zorunludur. Ayrıca isteğe bağlı olarak girilen "aylık ışınım bilgileri" ve "rüzgâr hızı bilgileri" için de bölümler vardır. Bu bilgiler elle girilebildiği gibi bir tablodan kopyala/yapıştır yöntemi kullanılarak girilebilir. Elimizde seçilen bölgenin meteorolojik bilgileri yoksa bu durumda Default (NASAS-SE) sekmesi kullanılarak, programın veri tabanında bulunan NASA'nın belirlediği aylık küresel ışınım bilgileri ve aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılabilir. Şekil 5'te ekran görüntüsü verilen bölümde FV panellerin yerleşim açıları belirlenmektedir. FV panellerin yönelim açıları farklı bir kaynak kullanılarak veya hesaplanarak bu ekrana doğrudan girilebilir. Ayrıca en optimum hali göster sekmesi kullanılarak açılan ekrandan en iyi eğim açısı belirlenebilir. En uygun işlemin yıllık, yaz ya da kış mevsim durumu belirlenir. Bu bağlamda uygun eğim açısı, kayıp/iyileştirme (%Loss/opt) değeri sıfır değerinde olduğunda bulunur.

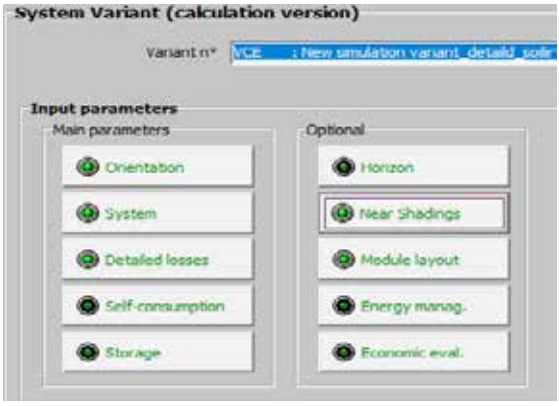


Şekil 5. PVSyst programı panelim yönelim eğim açısı belirleme penceresi

FV panellerin arazi alanına göre belirlendiği bu pencerede, modellenen sistemde, panelin türü ve gücü, arazinin alanı ve panelin kapladığı toplam alan, inverter sayısı ve panel dizilim şekli tasarımcı tarafından belirlenir. PVSyst, kurulacak sistem için kullanılacak panel ve evirici değerlerini üretici firma ve nominal güçlerine bağlı olarak Şekil 6'da görüldüğü gibi seçme olanağı sunmaktadır.

Şekil 6. PVSyst'te benzetim bileşenlerinin seçilmesi

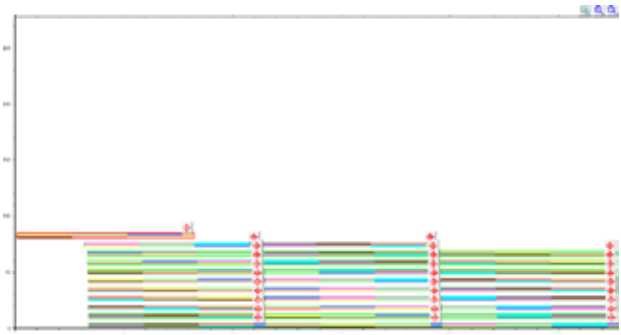
Ön tasarım panelinin Şekil 7'de görülen yakın gölgelenme (Near Shadings) ekranı görülmektedir. Modellenen sistem için arazinin durumuna göre panel dizilimi ve yakın gölgelenme analizi hakkında öneride bulunmaktadır. Şekil 8'de detaylı elektrik hesaplama "Detailed Electrical Calculation" sekmesi seçildikten sonra inşaat "Construction/Perspective" ekranında arazi yapısına göre panel dizilimi yapılıp, yakın gölgelenme analizi yapılarak, ekranın sağındaki butonlara basılarak butonda belirtilen özellikler ekrana getirilir.



Şekil 7. FV sistemin arazi panel dizilimi ve yakın gölgelenme seçim penceresi

Şekil 8. FV sistemin arazi panel dizilimi, yakın gölgelenme analiz tablo ve grafik penceresi

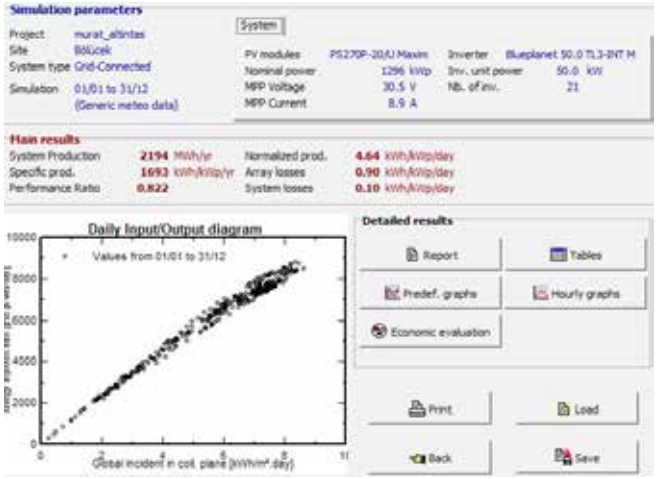
Şekil 9'da görülen Modül düzeni (Module Layout) ekranı görülmektedir. Modellenen sistem için arazinin durumuna göre otomatik olarak panel dizilimi yapmaktadır. Paneller arası uzaklık, dikey veya yatay dizilip tipleri ile bir sehpada bulunacak panel sayısı hakkında tasarım yapma imkânı sağlamaktadır. Bu alanda kullanılacak toplam panel sayısı, panel tipi, seri ve paralel bağlanan panel sayıları ve arazi yerleşim şekli görsel olarak verilmektedir.



Şekil 9. FV sistemin araziye otomatik panel dizilimi penceresi

Pvsyst tasarım panelinde tasarım işlemleri bittikten sonra simülasyonu çalıştır "Run Simulaiton" bölümünde program, modellenen sistem için AC ve PV nominal güç durumu hakkında öneride bulunmaktadır. Simülasyonu çalıştırdıktan sonra ekranın altındaki rapor "Report" butonuna basılarak istenen tablo ve grafikler ekrana getirilir. Ön tasarım panelinde bulunan Ekonomik Değerlendirme bölümünde sistem için ekonomik değerlendirme imkânı sunmaktadır. Burada santral için kullanılan tüm data bilgileri sol üstte görünmektedir. Sistemin maliyet için sol altta görülen sistemde kullanılan teçhizatlar seçilerek ve birim fiyatları girilerek toplam yıllık maliyetle, enerji birim fiyatı sonuçları elde edilir. Ekonomik

değerlendirme ara yüzünde bulunan “Karbon Dengesi” seçeneği tıklanarak yıllık ve sistemin ömrü boyunca kg ve ton cinsinden karbon salınım değerleri alınır. Sonuçlar menüsü (Şekil 10); ön değerlendirmeler (sistem bileşenlerini, boyutlarını, aylık üretim ve performanslarını) yapar. Araçlar menüsü ise veri tabanındaki veri bileşenlerinin yönetimi ile grafik görüntüler ve tabloları içerir.



Şekil 10. PVSyst sonuçlar menüsü

Sistem tasarımı yapılırken, performans oranının %80’den fazla olması istenir. Önemli olan bir diğer unsur ise ‘Pnom ratio’ değeridir. Pnom oranı, kurulu Pv gücünün sürücünün Pnom'una (ac) göre oranıdır. Bu değer inverteri boyutlandırırken yaygın olarak kullanılan bir göstergedir [23]. Ülkemizde bu değer 1.15 ve daha aşağısında kabul edilir.

3.1. Enerji Analizi

Çizelge 1’de benzetim parametreleri gösterildiği gibi tasarlanmıştır. Santralin enlem-boylam değerleri ve diğer parametreler sistem bileşeni olarak programa kaydedilmiştir.

Çizelge 1.Benzetim parametreleri

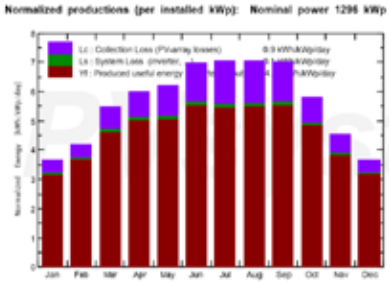
Şebeke Bağlantılı Sistem: Benzetim Parametreleri İlk yıl operasyonları			
Proje: Ham Toprak Üzerine Çakım uygulamalı GES			
Coğrafik alan: Şanlıurfa / Bölücek			Ülke: Türkiye
Enlem: 37.41°	Boylam: 38.81°	Eğim: 36°	Azimuth: 0°
			Rakım: 819 m

Çizelge 1’deki benzetim sonuçlarını incelediğimizde 4800 adet fotovoltaik polikristal modül kullanıldığı, arazideki modül alanı 7809 m², hücre alanının ise 7009 m² olduğu görülmektedir. Her modül 270 Wp olarak seçilmiş, I mpp’nin 150 A olduğu, U mpp’nin 900 V olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca nominal gücü 1050 kWac olan 21 evirici kullanılmıştır.

Çizelge 2. Şebeke bağlantılı GES santralinin benzetim parametreleri

Simülasyon değişkenleri		
Fotovoltaik dizi karakteristiği		
FV modül sayısı	Seri: 25 modül	Paralel: 192 dizi
Toplam FV modül sayısı: 4800 Polikristal (Phono Solar)	Nominal hücre gücü: 270 Wp	Nominal güç (STK): 1296 kWp
I mpp: 150 A	U mpp: 900 V	
Hücre alanı: 7009 m²	Modül alanı: 7809 m²	
Evirici (KACO blueplanet 50.0 TL M1 WMOD IIGX)	Operasyon gerilimi: 580-900 V	Nominal gücü: 50 kWac
	Evirici sayısı: 21	Toplam Nom güç: 1050 kWac

Dizilerden, eviricilerden oluşan kayıp değerleri optimize edilmiştir. Aylık veriler incelendiğinde sıcaklığın düşük olduğu kış aylarında evirici çıkışında elde edilen enerji kazancı yüksek olmasına rağmen dizi ve evirici kayıpları minimum seviyededir. Ancak haziran ayına baktığımızda maksimum enerji kazancı elde edilirken kayıp değerleri de maksimum seviyeye ulaştığı incelenmiştir. Şekil 11‘de standart koşullarda üretilen faydalı enerji ve kayıp değerleri grafiği verilmiştir:



Şekil 11. Standart koşullarda üretilen faydalı enerji (çok kristal silisyum)

kWp başına elektrik üretimi Haziran ve Temmuz aylarında 5,5 kWh/kWp/gün ile en yüksek iken, en düşük değer Aralık ayında ve 3,1 kWh/kWp/gün’dür. En yüksek enerji çıktısı 226,1 MWh ile Ağustos ayında gerçekleşmiştir.

Ay ve yıl bazında verilen değerler listelenmiştir. Şimdi bütün değerler ayrı ayrı analiz yapılması sonucunda;

• Santralimizde bir yıl içerisinde yatay düzlemde küresel ışınım miktarı 1807,6 kWh/m²’dir.

• Yıllık ortalama ortam sıcaklığı 16,22 °C

• Eğimli PV toplayıcı düzlemdeki küresel ışınım miktarı (optik düzeltmeler yokken): 2058,7 kWh/m²’dir.

• Toplayıcılardaki ‘asıl’ küresele ışınım miktarı (optik kayıplar, yakın- uzak gölgelenmeler, kirlenme kayıpları, vb.): 1946,5 kWh/m²’dir.

• Fotovoltaik dizi tarafından üretilen enerji miktarı: 2242,2 MWh

• Şebekeye verilen enerji miktarı (Evirici ve AC iletken kayıpları dâhil): 2193,9 MWh

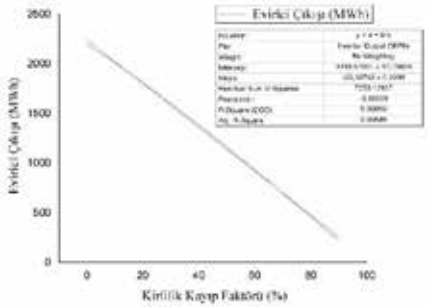
Çizelge 3. Enerji üretimi ile ilgili ana sonuçlar

1MW Ges Santrali								
Aylar	Küresel ışınım kWh/m²	Dağınık ışınım kWh/m²	Ortam Sıcaklığı °C	Eğimli FV Toplayı cı kWh/m²	Asıl küresel ışınım kWh/m²	Dizi çıkışında üretilen enerji MWh	Şebekey e basılan enerji MWh	Perf. Oranı
Ocak	69,2	31,85	3.13	112.8	106.1	130.8	127.9	0.875
Şubat	82,1	33,00	4.76	117.2	111.6	136.9	133.8	0.882
Mart	137,0	49,44	9.76	169.2	160.7	190.7	186.5	0.850
Nisan	169,2	68,51	13.89	180.2	169.6	200.7	196.3	0.841
Mayıs	206,1	71,67	19.56	192.6	180.4	208.0	203.5	0.815
Haziran	234,8	61,74	25.88	209.4	196.9	220.0	215.3	0.793
Temmuz	239,5	58,89	30.39	218.1	205.6	224.2	219.4	0.776
Ağustos	215,7	56,60	29.68	219.0	207.4	226.1	221.4	0.780
Eylül	175,5	43,86	23.97	210.5	200.8	221.0	216.3	0.793
Ekim	128,0	43,24	18.12	179.7	171.4	199.3	195.1	0.838
Kasım	84,2	30,55	9.79	136.2	129.4	153.2	149.9	0.849
Aralık	66,63	30,37	4.90	113.8	106.4	131.3	128.5	0.871
YIL	1807,6	579,64	16.22	2058.7	1946.5	2242.2	2193.9	0.822

Yıl boyunca kayıp diyagramı incelendiğinde yatay düzleme gelen ışınım miktarından şebekeye verilen net enerji miktarı arasındaki tüm kayıp değerler optimize edilmiştir. Örneğin yatay düzleme 1808 kWh/m² ışınım düşerken %3,3 oranında optik kayba uğramaktadır. Bu oranı daha %1,5 oranında kirlenme faktörü takip etmektedir. Bu oranlar hesaplandığında fotovoltaik panellere düşen ışınım miktarı 1947 kWh/m² olur. Toplam alan 982 m² olduğundan toplam yüzeye düşen ışınım miktarı: 1947 x 7809 = 15.204.123,00 kWh olur. Standart test koşullarında fotovoltaik hücre verimi %18,03 alındığında ışınım miktarı [15.204.123,00 x 16,60] / 100 = 2.523.884,418 kWh = 2.523,884 MWh enerji üretimi sağlanır. Bununla birlikte kayıp diyagramı detaylı incelendiğinde dizi ve evirici kayıplar hesaplandığında santralden şebekeye yıllık 2.193,90 MWh elektrik vereceği analiz edilmiştir. Paneller; 36°’lik açıyla yerleştirildiklerinden dolayı panel yüzeyine gelen ışıma miktarı %13,9 artmaktadır. Verimlilik standart test koşullarında (STK) % 16,61 olarak bulunmuştur.

Şekil 12. PVsyst'ten elde edilen şebeke bağlantılı çok kristal silisyum yapıda Pv sistem %0 (kayıpsız) kayıp akış şeması

Kirlilik kaynaklı kayıp faktörü değişimine göre sırasıyla Şekil 13'te evirici çıkış gücü, Şekil 14'te ise ışınıma bağlı PV kayıp faktörü değişimi verilmiş, ayrıca eğri uydurma ile grafiklerin eşitlik katsayıları bulunmuştur.



Şekil 13. Kirlilik kaynaklı kayıp faktörüne göre evirici çıkış gücü değişimi

Şekil 14. Kirlilik kaynaklı kayıp faktörüne göre ışınım seviyesi nedeniyle panel kaybının değişimi

Eviricideki kirliğe bağlı kayıp oranı arttıkça, üretim gücü düşmektedir kirlilik oranı 0 iken üretimde kayıp olmamakla birlikte, %5 kirlenme

düzeyinde elde edilen üretim kaybı 91 KWh düşerek 2103 çıkış gücüne sahip olmaktadır. %10 kirlilik oranında ise kirlilik payına sahip olmayan panele göre 186 KWh'lık üretim kaybı yaşanmaktadır. %15 oranında bir kirlilik oluşması ise kaybında, temiz panele göre 285 KWh'lık düşüş gerçekleşmektedir. %20 kirlenme payına sahip olan santralde ise bu kayıp, temiz panele göre 387 KWh'tır. %25 oranında kirlilik değerinde ise, temiz panele nazaran 491 KWh'lık kayıp oluşmaktadır.%30 oranında kirlilik değerine sahip olduğunda 597 KWh'lık kayıp oluşmaktadır. %35 kirlenme payına sahip olan santralde ise bu kayıp, temiz panele göre 705 KWh'tır. %40 kirlenme payına sahip olan santralde ise bu kayıp, temiz panele göre 814 KWh'tır. %45 kirlenme payına sahip olan santralde ise bu kayıp, temiz panele göre 925 KWh'tır.

3.2. Maliyet Analizi

Pvsyst yazılımında finansman analizleri yapılırken aşağıdaki kabuller kullanılmıştır;

- Türkiye'de devlet 0.133 $/kWh'ten enerji alım garantisi vermektedir.
- 01.01.2020 tarihinde 1 dolar 5,95 TL'dir.
- Sistem tasarımı yapılırken kümülatif enflasyon oranı %20 alınmıştır.
- Elektrik ihracat eskalasyon oranı %2,
- İskonto ve yeniden yatırım oranları %9,
- Sera gazı azaltma kredi oranı 15 $/t$CO_2$,
- Temiz Enerji (TE) kredi oranı 0,007$/kWh,
- TE Üretim Kredi Eskalasyon Oranı % 2 'dir.

Çalışma kapsamında şebeke bağlantılı sistem için farklı tozlanma analizleri PV modül üzerinde denenerek birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bölgenin coğrafik yapısı, arazi alanı, elektrik enerjisi talebi ve verimlilik yüzdesi esas alınarak sistem tasarımı için en uygun modül tipi seçilmiştir. Şebeke bağlantılı çok kristal silisyumlu PV panel tozlanma oranı % 0 ile % 50 için analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler yapılırken güney cepheli arazi alanı (≈7809 m^2) dikkate alınmış ve tasarım yapılacak panel alanı kısıtlı olduğundan genel olarak 1050 kW elektrik üretiminin uygun olacağı görülmüştür. Çoklu kristal silisyum PV sistem tasarımı için sistemin maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik bulguları Çizelge 4'te verilmiştir:

Çizelge 4. Kirlilik kaynaklı kayıp faktörü değişimine göre maliyet, yıllık ciro ve finansal sürdürülebilirlik

Parametreler	%0 Kirlilik oranı	%15 Kirlilik oranı	% 30 Kirlilik oranı	% 45 Kirlilik oranı
Toplam ilk maliyet ($)	1.218.000,00	1.218.000,00	1.218.00,00	1.218.000,00
Yıllık ciro				
Elektrik ihraç geliri ($)	291.957,00	254.003,00	212.515,00	168.809,00
Yıllık sera gazı azaltımı (tCO_2)	1.035	900,5	753,4	598,5
Net sera gazı azaltımı – 20 yıllık	20.700	18.010	15.068	11.970
Sera gazı azaltım gerliri ($)	15.215,00	13.237,00	11.075,00	8.797,00
TE üretimi (MWh)	2194	1909	1597	1269
TE üretim geliri ($)	15.671,43	13.635,71	11.407,14	9.064,28
Toplam yıllık tasarruf ve gelir ($)	322.843,43	280.875,71	234.997,14	186.670,28
Finansal sürdürülebilirlik				
Vergi öncesi İGO varlıklar (%)	20,9	17,4	13,5	9,0
Basit geri ödeme (yıl)	4,0	4,6	5,5	6,9
Öz sermaye geri ödeme (yıl)	1,6	2	2,6	3,9

Enflasyon-eskalasyon oranları, kredi faizi ve ekipman maliyetleri sistem ömrü ve geri ödeme süresi parametreleri dikkate alınarak yapılan analizler en verimli sonuçları vermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla gerçekleşen emisyon azalımı çevreye büyük katkı sağlamaktadır. Çünkü fosil yakıt kullanımı ile çalışan enerji santralleri çevreye NO_X, SO_2, CO_2 gibi sera gazlarının yayılmasına neden olur [24].

Çizelge 5. Kirlilik kaynaklı kayıp faktörü değişimine göre üretilen enerji, net para, karbon salınımı ve çevresel karşılığı

Parametreler	%0 Kirlilik oranı	%15 Kirlilik oranı	% 30 Kirlilik oranı	% 45 Kirlilik oranı
Üretilen Enerji (MWh)	2194	1909	1597	1269
20 yılın sonunda eldeki net para ($)	6.456.868,60	5.617.514,20	4.699.942,80	3.733.405,60
Karbon Salınımı(tCO_2)	1.035	900,5	753,40	598,5
Çevre Açısından Karbon Salınımın Karşılığı	356,04 ton geri kazanılan atık, 444.725,0 tüketilmeyen benzin litresi	309,77 ton geri kazanılan atık, 386.910,8 tüketilmeyen benzin litresi	259.17 ton geri kazanılan atık, 323.715,3 tüketilmeyen benzin litresi	205,88 ton geri kazanılan atık, 257.140,0 tüketilmeyen benzin litresi

Kilowatt başına yıllık elektrik üretimi değerleri 1693-1473-1232-979 kWh/kWp/yıl olarak hesaplanmıştır ve bu değerler literatürdeki değerlerle uyumludur. Tozlanma nedeni ile performans değerleri tozlanma yüzdeli-

ği ile paralellik göstererek azalmıştır. Performans oranı değerlerinin %80 üzerinde olması istenir ve yapılan çalışmada bu oranlar %47,58 ile %82,23 arasında çıkmıştır, bu değer Yalçın'ın yaptığı çalışmadaki [25] %83-89, Haydaroğlu ve Gümüş'ün yaptığı çalışmadaki [23] %83 değerleri ile paralellik göstermiştir [26,27].

4. SONUÇ

Bu çalışmada; Şanlıurfa ili Karaköprü semti Bölücek Mahallesi'nde araziye uygulama yapılan Google Earth'den coğrafi bilgileri girilerek uydu görüntüsü alınan fotovoltaik sistemin PVSyst programı yardımıyla bölgenin meteorolojik değerleri göz önünde bulundurularak teorik üretim miktarı hesaplamaları yapıldı. Sistem devreye alındıktan sonra elektrik üretimi ve satışı gerçekleşmiştir.

KAYNAKLAR

[1]Özbek, M. (2000). *Dünden bugüne insan*. İmge Kitabevi Yayınları.

[2]Graf, R. F. (1999). Modern dictionary of electronics. Elsevier.

[3]A.Ü. Gama MYO. Elektrik ve Enerji Bölümü Erişim 17.03.2020.https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/61963/mod_resource/content/0/2.HAFTA.pdf

[4]Sayyah, A., Horenstein, M. N., & Mazumder, M. K. (2014). Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels. *Solar Energy*, *107*, 576-604.

[5]Aly, S. P., Gandhidasan, P., Barth, N., & Ahzi, S. (2015, December). Novel dry cleaning machine for photovoltaic and solar panels. In *2015 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)* (pp. 1-6). IEEE.

[6]Maghami, M. R., Hizam, H., Gomes, C., Radzi, M. A., Rezadad, M. I., & Hajighorbani, S. (2016). Power loss due to soiling on solar panel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *59*, 1307-1316.

[7]Al Shehri, A., Parrott, B., Carrasco, P., Al Saiari, H., & Taie, I. (2016). Impact of dust deposition and brush-based dry cleaning on glass transmittance for PV modules applications. *Solar Energy*, *135*, 317-324.

[8]Kawamoto, H., & Shibata, T. (2015). Electrostatic cleaning system for removal of sand from solar panels. *Journal of Electrostatics*, *73*, 65-70.

[9]Kawamoto, H., & Guo, B. (2018). Improvement of an electrostatic cleaning system for removal of dust from solar panels. *Journal of Electrostatics*, *91*, 28-33.

[10]Grunow, P., Preiss, A., Koch, S., & Krauter, S. (2009). Yield and spectral effects of a-Si modules. In *Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference* (pp. 2846-2829).

[11] Lalwani, M., Kothari, D. P., & Singh, M. (2010). Investigation of solar photovoltaic simulation softwares. *International journal of applied engineering research*, *1*(3), 585-601.

[12]Erol, A. Y. A. Z., & Hocaoğlu, F. O. Afyonkarahisar Bölgesinde Tesis Edilen Gerçek Bir Güneş Enerjisi Sisteminde Gölge Analizi Yapılması. *Şırnak Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *1*(1), 41-57.

[13]Bayrakçı, H. C., & GEZER, T. Bir Güneş Enerjisi Santralinin Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği. *Teknik Bilimler Dergisi*, *9*(2), 46-54.

[14]Pakma, N. (2016). *Batman'da 1 MW'lık fotovoltaik enerji sisteminin tasarlanması* (Master's thesis, Batman Üniversitesi).

[15]Akdağ, O., & Yeroğlu, C. Malatya Yöresi İçin Örnek Bir Güneş Santrali Modelinin Benzetimi Ve Şebekeye Etkilerinin İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, *7*(3), 552-560.

[16]Aksangör, N. N., Martin, K., & Boran, K. PVsyst Simülasyon Aracı Kullanarak Ankara'da Fotovoltaik Güneş Sistemlerin Performans Analizi. *SETSCI Conference Proceedings*, 4(1):217-220, 2019

[17]Keskin, A., Martin, K., & Boran, K. Niğde İli Güneş Enerji Santrali Modellemesi ve Performans Parametreleri Değerlendirmesi. *SETSCI Conference Proceedings*, 4(1):213-216, 2019

[18]Güven, Ö. G. A. F. (2016). Afyon Oruçoğlu Termal Otelinin Enerji İhtiyacini Karşilayacak Güneş Enerji Sisteminin Tasarlanmasi, Optimizasyonu ve Maliyet Analizi. *Sirene Belek Hotel, Antalya, Turkey*, *14*(16), 1.

[19]Güven, A. F. (2016). Bahçelievler Belediye Başkanlık Binasının Enerji İhtiyacının Güneş ve Rüzgâr Sistemi ile Karşılanması, Optimizasyonu ve Maliyet Analizi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *2*(1), 24-36.

[20]Eremkere, M., & Aktaş, T. Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Üzüm Suyu İşleme Tesis Çatısına Uygulanabilecek Fotovoltaik Tasarımların Teknik, Ekonomik ve Çevresel Açılardan Analizi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, *7*(1), 275-294.

[21]Behçet, R., Hakan, O. R. A. L., & Hasan, G. Ü. L. (2013). Adıyaman ilinin güneş enerjisi potansiyeli ve kullanımı. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, *3*(2), 52-67.

[22]Girgin, M. H. (2011). Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralinin fizibilitesi, Karaman bölgesinde 5 mw'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi (Doctoral dissertation, Enerji Enstitüsü).

[23]Haydaroğlu, C., Gümüş, B., (2016). Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin Pvsyst İle Simülasyonu Ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, *7*(3), 491-500.

[24]Anonim, PVsyst. http://www.pvsyst.com/en/ Erişim Tarihi: 25.12.2018.

[25]Yalçın, L. Y., & Öztürk, R. T. D. (2010). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nin güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve güneş enerjisinden yararlanabilme olanakları (*Doctoral dissertation, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı*).

[26] ÇAĞLAR, A. (2018). Farklı Derece-Gün Bölgelerindeki Şehirler İçin Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *22*(2), 849-854.

[27] Altan, A. D. (2017). *Çiğ süt üretim işletmesinde enerji yönetim sistemi altyapısının oluşturulması* (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).

Bölüm 6

AFRODİSİAS VE HİERAPOLİS ANTİK KETLERİ DOĞALTAŞLARININ KAYATOMİK ÖZELLİKLERİ VE ÇEVRE JEOLOJİSİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRMASI

Ramazan HACIMUSTAFAOĞLU[1]

Fuzuli YAĞMURLU[2]

Hakan ELÇİ[3]

1 Ramazan Hacımustafaoğlu, Dr, DEÜ Torbalı Meslek Yüksekokulu, Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Bölümü

2 Fuzuli Yağmurlu, Prof.Dr. SDÜ Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

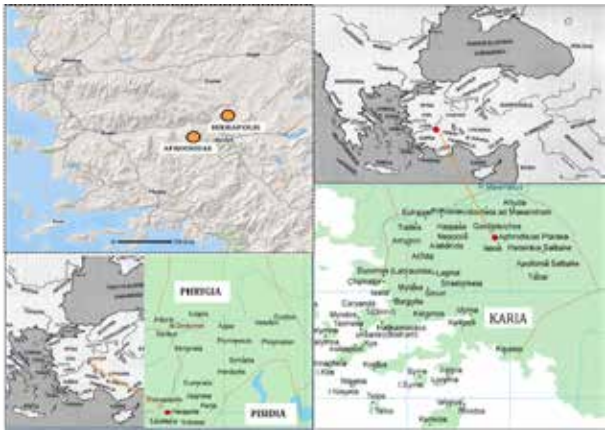
3 Hakan Elçi, Doç. Dr, DEÜ Torbalı Meslek Yüksekokulu, Geoteknik Bölümü

1. Giriş

Çeşitli renk ve niteliklerdeki doğaltaşların, yaygın olarak kullanıldığı Afrodisias ve Hierapolis antik kentleri Anadolu coğrafyasında yer alan önemli ve dünyaca bilinen örneklerden ikisidir. Günümüze kadar ulaşmış olan bu antik kentlerin temel ortak özelliği, doğaltaşların ana yapı malzemesi olarak kullanılmış olmasıdır. Kullanılan farklı doğaltaş türleri, arkeoloji disiplini yönünden kentin tarihini sosyolojik yapısını anlamada önemli veriler sağlar. Diğer taraftan, kent-çevre jeolojisi ilişkisi, mermer üretimi yapılan formasyonlar, üretim teknikleri ve değişik kullanım alanları ile jeoloji perspektifinden günümüze ışık tutacak nitelikte katkılar sağlar. Afrodisias antik kenti; Aydın ili Karacasu ilçesi, Hierapolis antik kenti; Denizli ili Pamukkale ilçesisinde yer alır. Bu önemli antik kentlerden biri olan Afrodisias, Tanrıça Afrodit'e adanmış birçok eski çağ kentinin ortak adıdır. Afrodisias (ya da Afrodisyas) adlı kentlerin en ünlüsü, Anadolu'nun Güneybatısında, eski Karia bölgesi kenti, Karia bölgesine sınır olan Laodikeia ve Tripolis kentlerine yakınlığı ile Hierapolis bir Frigya kentidir (Şekil 1).

Antik kentler içerisinde önemli yeri olan Afrodisias, Hierapolis antik kentlerinde kullanılan doğaltaşların köken ve türleri bakımından sınıflandırılması, doğaltaş türlerinin, gerek çevre jeoloji açısından, gerekse karakteristik özellikleri bakımından birbirleri ile karşılaştırılması, köken, cins, tür, petrografik ve kimyasal analiz sonuçları itibari ile benzer veya aynı mermer türlerinin kullanılıp kullanılmadığı önemlidir. Çalışmada, doğaltaşların kimyasal analizleri için ICP-MS yönteminin yanında yeni bir yöntem olarak p-XRF (handheld portatif XRF/X-Ray Fluorescence Analyzers) kullanılmıştır. Elde edilen veriler ile kullanılabilir bir yöntem olduğu gösterilmiştir. Yüzde ve ppm olarak elementel değerler sağlayan bu yöntem, kısa zamanlı ve ekonomiktir. Bu yöntemle yerinde, yapılar ve sanatsal yapıtlar üzerinde ölçüm yapmak, mümkündür. Diğer taraftan daha pratik ve yapılara zarar vermekten uzak bir yöntemdir. Doğaltaşlar için, önerilen farklı iki sınıflandırma yapılmıştır. Bu kapsamda doğaltaşların kökeni, cinsi ve türü olmak üzere üç özellik belirlenmiştir. Her iki antik kentte kullanılan doğal taşlar, öncelikle bu özelliklere göre sınıflandırılmış ve tablolar oluşturulmuştur. Bu sınıflandırma yönteminin önerilmesinin nedeni, özellikle antik kentlerde kullanılan doğaltaşların, kaynak antik ocaklarının ve bu ocakların yer aldığı formasyonların saptanmasında, farklı mermer lokasyonları ve mermer cinsi şeklinde değerlendirmelerin yanılgı payını azaltmaktır. Örneğin, aynı mermer ocağı içerisinde farklı seleksiyonda mermer türleri üretimi olması mümkündür. Bu farklılıklar, renk değişkenliğinde olabildiği gibi, kristal boyutlarında da olabilir. Bu durumda, antik kentlerde kullanılmış doğaltaşların kaynak ocak araştırmalarında, aynı mermer ocağının farklı seleksiyonları, değişik lokasyonlardan kaynaklı olarak değerlendirmek mümkün olabilmektedir.

İkincisi, doğaltaşları belirlemede önemli parametrelerden bir tanesi kristal boyutlarıdır. Antik kentlerde kullanılan doğaltaşların kristal boyutlarını sınıflandırmak için bazı referans kristalin mermer örnekleri seçilmiştir. Bilgisayarlı görüntü analiz yöntemi ile polarizan mikroskop kullanılarak mermerlerin tane boyutları ölçülmüş ve elde edilen veriler işlenerek, kristal boyutu, 100-250 µm arası ince, 250-1000 µm orta ve 1000 µm'den büyük olmak üzere, tane boyut skalası önerilmiştir (Hacımustafaoğlu (2017, 2019). Daha sonra aynı yöntem antik kentlerde kullanılan doğaltaş türleri için uygulanmıştır. Referans kristalin mermerler kullanılarak oluşturulan tane boyut skalasına göre, kristal boyut sınıfları belirlenmiş ve buna göre de sınıflandırma yapılmıştır. Afrodisias antik kentinde, şehrin ana yapılarında ve sanatsal eserlerinde kullanılan doğaltaşlar, metamorfik kökenli farklı renk ve yapıda, genellikle beyaz-beyazımsı gri, ince-orta tane boyutuna sahip, kristalin mermer cinsi doğaltaşlardır. Hierapolis antik kentinde kullanılan doğal taşlar yaygın olarak, metamorfik kökenli beyaz renkli, orta tane boyutuna sahip kristalin mermer ile, sedimenter kökenli çok ince taneli mikrokristalin kalsit ve fosil tanelerden oluşan değişik renkte kireçtaşı ile farklı renk ve desenlerde traverten türlerinden oluşmaktadır. Breşik çakıltaşı ve kalkerli kumtaşı özelliğinde olan doğaltaş türleri daha az oranda antik kente kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 1: Antik kentler lokasyon haritası. (www.arkeololojidunyası.com)

2. Yöntemler

2.1. Arazi Çalışmaları

Saha çalışmalarında, Afrodisias ve Hierapolis antik kentlerinden sistematik olarak toplanan farklı özellikteki doğaltaş türleri numuneleri çalışmasının temel materyalleridir. Antik kentlerden örnek numune seçimlerir renk, yapı, doku değişkenlikleri dikkate alınarak farklı cins ve türdeki doğaltaşlardan on adetten az olmamak üzere örnekleme yapılmıştır.

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.2.1. Mineralojik Analizler

Afrodisias ve Hierapolis antik kentlerinde kullanılan doğaltaşların detay mineralojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, alınan farklı doğaltaş numunelerinden içerdikleri ilksel tabakalanma ve foliasyon düzlemlerine dik, paralel ve verev yönlerde üçer adet ince kesit yaptırılmıştır. Olympus-Bx41TF polorizan mikroskop kullanılarak örneklerin detaylı petrografik analizleri yapılmıştır. TS EN 12407 doğaltaşlar deney metotları petrografik inceleme standardına uygun olarak yapılan çalışmada, doğaltaşların dokusal özellikleri ve mineral bileşimleri belirlenmiştir. Ayrıca kristal topluluğu şekli, boyut dağılımı ve tane sınır geometrisi sınıflandırması için Passchier ve Trouw, 1996'dan yararlanılmıştır. Dokusal ve bileşimsel sınıflandırmalarda Dunham (1962), Folk (1962), Flügel (2004)' ten yararlanılmıştır.

2.2.2. Tane Boyut Analizi

Mikroskoba entegre digital fotoğraf makinesi ile ince kesitler fotoğraflanmıştır. Bu fotoğraflar tane boyut ölçümleri için TCA-300 mikroskop kamera entegreli software view 7 programına aktarılarak bilgisayarlı görüntü analiz yöntemi kullanılmıştır. Mermer örneklerinden ortalama 500 tane boyut ölçümü yapılmıştır. Tanelerin her iki yönde boyutları ölçülmüş olup, ortalama değerler kullanılmıştır. Her bir antik kente kullanılan doğaltaş türleri için sınıflandırma yapılmıştır. Referans mermer tane boyutları ile oluşturulan tane boyut skalası kullanılarak kristal boyut sınıfları belirlenmiştir.

2.3. Kimyasal Analizler

2.3.1. Temel Oksitler ve Eser Elementler

Antik kentlerden elde edilen örnek numunelerin çeşitlilikleri dikkate alınarak, her bir farklı örnek üzerinde İndüktif Eşlemeli Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry), kimyasal analiz yöntemi kullanılarak, oksit ve eser element bileşimleri belirlenmiştir. Analizler için örnekler, öncelikle 25-50 gr ağırlığında olacak şekilde 50 µm boyutunda hazırlanmıştır. Bu işlem Dokuz Eylül Üniversitesi laboratuvarda yapılmıştır. Hazırlanan numunelerin kimyasal analizleri Kanada Acme laboratuvarında yaptırılmıştır.

2.3.2. Elementel Analiz

Elementel analizler için, olympus marka, delta portatif x-ray fluorescence cihazı (P-XRF) kullanılmıştır. Elementel analiz çalışmasında, tüm örnekler için ayrı olmak üzere ortalama on beş p-xrf ölçümü yapılmış-

tır. Her bir element için ölçülen değerlerin ortalaması değerlendirilmiştir. Daha sonra antik kentlerlerde kullanılan doğaltaş türlerinin P-xrf sonuçları ile ICP-MS değerleri karşılaştırılmıştır.

2.4. Jeolojik Haritalar

Afrodisias, Hierapolis ve Sagalasos antik kentleri ve yakın çevresinin jeolojik yapı özelliklerinin belirlenmesinde, önceki yıllarda MTA tarafından hazırlanan 1/500 000, 1/ 100 000 ve 1/ 25 000 ölçekli jeoloji haritaları temel alınmıştır.

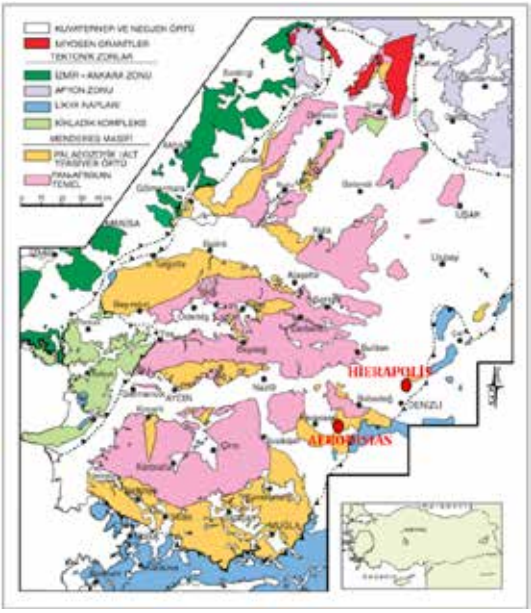
3. Araştırma Bulguları

3.1. Afrodisias

3.1.1. Genel Jeoloji

Aydın ili sınırları içerisinde bulunan Afrodisias antik kenti, tümüyle Menderes Metamorfik Masifi içinde yer almaktadır. Menderes Masifi kuzeyden İzmir Ankara ofiyolit zonu, güneyden ise Likya napları ile sınırlanan ve daha çok metamorfik kaya topluluklarından oluşan kristalin bir masiftir (Şekil 2). Önceki araştırıcılar (Dora ve diğ., 1992), Menderes Masifinin ana çizgilerde çekirdek ve kılıf olmak üzere iki farklı bölümden oluştuğunu belirtirler. Masifin çekirdek bölgesinde egemen olarak gnays, gözlü gnays, granitik gnays, disten şist ve sillimanit şist gibi yüksek dereceli metamorfik kayalar yer alır. Büyük bölümü ile kuvars şist, klorit şist, muskovit şist, sleyt, fillit ve mermer gibi düşük dereceli metamorfik kayalar masifin dış kısmında yer alır. Afrodisias, Muğla, Denizli ve Selçuk yöresinde günümüzde halen işletilen kristalin mermerlerin büyük bir bölümü, Menderes metamorfik istifinin en üst bölümünde yer alan kaya birimlerini oluşturur. Ege Bölgesinin büyük bölümünü kapsayan Menderes Masifi içinde KB, KD ve Doğu-Batı yönünde gelişmiş birçok graben yer alır. D-B gidişli genç grabenler günümüzde halen aktif olan genç faylarla sınırlanmış olup Kuvaterner yaşlı kalın bir alüvyon örtü ile doldurulmuştur. Bunlardan Büyük Menderes Grabeni ve bu grabeni sınırlayan aktif faylar Afrodisias antik kentinin 20 km kuzeyinden geçer. Menderes masifi içinde ve genelinde Batı Anadolu'da yer alan KB ve KD gidişli çöküntü alanları daha çok Neojen yaşlı karasal tortullar ile doldurulmuştur. KB ve KD gidişli Neojen havzalarını dolduran karasal tortul istif alttan üste doğru egemen olarak fluviyal ve gölsel tortullar ile bunlara eşlik eden volkanitlerden oluşur. Afrodisias antik kenti ana çizgilerde Menderes Masifi içinde gelişmiş olan KB-gidişli Karacasu Neojen havzası içinde yer alır. KB- gidişli büyüme fayları ile sınırlandırılmış olan Karacasu Neojen havzası, alttan üste doğru kaba kırıntılı fluviyal ve bunun üzerine gelen gölsel tortullardan oluşur. Çalışmanın konusunu oluşturan Afrodisias an-

tik kenti tümüyle KB-uzanımlı Karacasu havzasını dolduran Kuvaterner yaşlı alüvyonlar üzerinde bulunmaktadır.



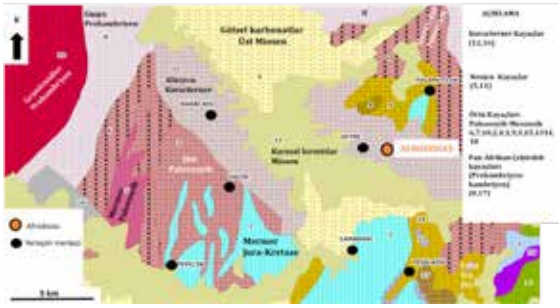
Şekil 2: Menderes Masifinin bölgesel jeolojik yapı içindeki genelleştirilmiş jeolojik haritası (Candan ve diğ. 2011), Afrodisias ve Hierapolis antik kentlerinin yeri.

Daha önce bir çok araştırıcı tarafından çalışılmış olan Menderes Masifinin jeolojik ve stratigrafik özelliklerine ilişkin özet bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

Dora vd. (1992), araştırıcılar makalelerinde Menderes Masifi ile ilgili şu bilgileri aktarmıştır. Menderes Masifi'nin temelini gözlü gnays, granitik gnays, bantlı gnays ve migmatitten yapılı gnays birimi oluşturur. Gnays birimini uyumlu olarak metavolkanitler (dar anlamda leptitler) üstler. Son yıllarda gnays birimi ile metavolkanit birimi arasında yeralan, 5-300 m kalınlığında bir "mavi gözlü gnays" düzeyi bulunmuştur (Kun ve diğ,, 1988). Bu düzey içinde bol miktarda, gnayslaşamamış leptit kalıntılarının gözlenmesi, bunların ilkel kayaçlarının leptitler gibi volkanik kökenli olduğunu göstermektedir (Kun ve Candan 1987). Gri açık pembe renkli olan metavolkanitler, kötü yapraklanmış, boynuztaşı benzeri kayalardan yapılıdır ve kısmen porfirik doku sunarlar. Bu nedenle kayaların ilksel volkanik karakterleri hala tanınabilmektedir. Andezitten riyolite kadar değişen bir kimyasal bileşim sunarlar. Metavolkanit birimini, uyumlu bir dokanak ile şistler üstler. Bu şistlerin tabanında daha çok disten-staurolit-granat şistler, egemenken, tavanında granat-mika şistler bollaşır. Şistler içinde sürekli metakuvarsit, kuvars şist ve kuvars-muskovit şist arakatmanlarına rastlanır. Disten-staurolit-granat şistlerde iri granat por-

firoblastları kapsayan, koyu renkli amfibolit mercekleri yaygındır. Buna karşın tavan şistlerinde fillit ve kalkşist düzeyleri artar. Menderes Masifînin şistlerini uyumlu bir dokanakla, platform tipi karbonatlı seriden türemiş, kalkşist ve mermerler örter. (Kun ve Candan 1987). Tabanda şistler ile ardalanmalı olan ve iyi katmanlanma sunan mermerler, tavanda som, kaba taneli ve katmansız bir görünüm kazanırlar. Beyaz, som mermerlerin alt düzeyleri dolomitiktir; üst düzeylerinde zımpara cevherli kuşak yer alır. Mermer ve rekristalize kireçtaşlarının Üst Triyas-Üst Kretase yaşlı oldukları bildirilmektedir (Dün; 1975; Çağlayan ve diğ., 1980). Zımpara düzeyli mermerleri uyumlu olarak Menderes Masifi istifinin en üst birimini oluşturan Paleosen yaşlı, plaketli kırmızı mermerler üstler, Menderes Masifi'nin metamorfik kaya istifi postmetamorfik granodiyoritiktonalitik plütonlar ve bunların volkanik türevleriyle, daha genç gabroik plütonlar ve bunların volkanitleri tarafından katedilmektedir. Menderes Masifi çekirdek-örtü birimleri arasındaki dokanak ilişkileri uzun yıllardan beri tartışılmaktadır. Schuiling (1962), Graciansky (1965), Akdeniz ve Konak (1979), Bozkurt ve diğ. (1993, 1995), Hetzel ve Reischmann (1996) bu birimler arasında uyumsuzluklar olabileceğini savunmuşlardır. Buna karşın Wippern (1964) ve Akartuna (1965), Masifi oluşturan birimler arasında herhangi bir uyumsuzluk olmadığını, çekirdek ve örtü birimlerinin farklı metamorfizmaya uğradıkları halde aynı seriye ait olduklarını ifade etmişlerdir. Bazı yerlerde görülen uyumsuzlukları ise Başarır (1976), Masif'in orta kesiminin dom şeklinde yükselmesiyle şistlerin uç kısımlarında oluşan bükülmelere ve yeşil şistlerin altına gelen almandin-amfibolit fasiyesindeki kayaların yer yer ergiyerek migmatitleşmesi sonucu değişmesine bağlamaktadır. Konak (1985)'a göre çekirdeği oluşturan ve Çine Grubu olarak adlandırılan kayalar ile Kavaklıdere Grubu adı verilen örtü birimleri arasında taban çakıltaşı ile tanımlanan bir uyumsuzluk bulunmaktadır. Dora, (2011), araştırmacı Menderes Masifindeki jeolojik araştırmalar sürecini inceleyen çalışmasında, şu tespitleri yapmıştır. Menderes Masifinin Pan-Afrikan temeli, paragnays ve onu üzerleyen şist birimlerinden yapılı monoton metakırıntılı serisi ve bunları kesen metagabro ve farklı türde gnays ve metagranitlerden yapılıdır. Temeli, kuvarsit ve metaçakıltaşlarıyla başlayan Erken Paleozoyik metakırıntılı serisi uyumsuz olarak örter. Şistlerle devam eden Paleozoyik istif, siyah renkli, Permo-Karbonifer yaşlı Göktepe mermerleriyle sonlanır. Gerek Pan-Afrikan temele, gerekse Paleozoyik seriye Alpin metamorfizmayla ortognaysa dönüşmüş, Erken Triyas yaşlı lökokratik granitoyidler sokulmuştur. Masif'in Mesozoyik istifi olasılı Geç Triyas yaşlı metaçakıltaşları kapsayan metakumtaşı birimiyle başlayıp, Jura-Kretase yaşlı dolomitik ve masif mermerlerle devam eder. Alt düzeylerinde zımpara mercekleri, üst düzeylerinde ise rudist fosilleri kapsayan platform tipi masif mermerleri geç Kampaniyen-geç Maastrihtiyen yaşlı kırmızı renkli, plaketli pelajik mermerler uyumlu olarak üzerler. İstifin en üst birimini de, plaketli mermerleri uyumlu olarak üstleyen Orta

Paleosen yaşlı filiş türü olistostromal kayalar oluşturur. 1/500.000 ölçekli jeoloji haritasında Afrodisias antik kenti yakın çevre jeolojisi (Şekil 3).

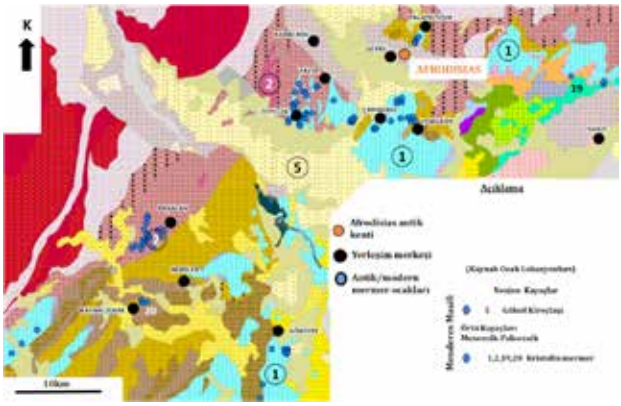


Şekil 3: Afrodisias antik kenti ve çevresinin 1/500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası üzerindeki konumu (MTA,2019)

3.1.2. Afrodisias Çevresinde Bulunan Mermer Ocakları

Afrodisias antik kentinde kullanılan mermer/doğaltaşlar baskın olarak metamorfik kökenlidir. Bu mermerler, İnce-orta tane boyutuna sahip, genellikle beyaz, beyaz-gri, beyaz-grimsi siyah ve grimsi-siyah renk değişkenliklerine sahiptir. Temel olarak kalsit mineralinin oluşturduğu bu tip mermerler ortalama %90-100 arasında kalsiyum karbonat bileşimine sahiptir. Antik kentin çevresinde 1-2 km ve kuş uçuşu 50-70 km arasında değişen uzaklıklarda çok sayıda antik ve modern mermer ocakları mevcuttur. Bu mermer ocakları Menderes Masifi'nin çekirdek ve örtü serisi içerisinde yer alan Permo-Karbonifer ve Trias-Jura-Kretase yaşlı kristalin mermer litolojisi içerisinde bulunmaktadır. Afrodisias antik kenti mermer/doğaltaşlarının ana kaynağını oluşturan mermer ocağı havuzu içinde, kentin 1-2 km Kuzey-Doğusunda Palamutçuk tepe civarında, Jura-Kretase yaşlı kristalin mermer litolojisidir. Genellikle beyaz ve beyaz-grimsi beyaz renkli çok sayıda antik kent ocakların yeraldığı bu alan, en önemli mermer blok üretim lokasyondur. Diğer taraftan, Vakif beldesi kuzeyinde ve antik kentin doğusunda yer alan orta Jura-Kretase yaşlı kristalin mermerler içinde doğaltaş üretimi yapılan antik ocaklar mevcuttur. Afrodisias antik kentinin Güney ve Güney Batısında, yaklaşık 10-15 km mesafede bulunan, Yazır, Tepecik, Çamarası ve Yeşilköy civarında yoğunlaşmış, Jura-Kretase yaşlı kristalin mermerler içerisinde yeralan çok sayıda antik mermer ocağı, blok tedarik etmek için uygun lokasyonlardır. Antik dönemde karbonat kaya anlamıyla "mermer" olarak kullanılan ocakların tamamına yakını; Babadağ napına ait Jura-Kretase (Palamutçuk civarı) ve Paleosen mermerleri ile Göktepe napının (olası Liyas ve Santoniyen-Kampaniyen yaşlı) mermerleri (Çamarası-Yeşilköy/Göktepe civarı ve Karıncalıdağı napının Geç Paleozoyik yaşlı mermerleri (Yazır-Tepecik civarı) içinde gözlenir (Çakmakoğlu, 2017). Antik kent Güney batısında, Başalan civarı Paleozoik şistlerde mercek-

ler şeklinde olan, paleozoik yaşlı kristalin mermerler içerisinde bulunan antik ve modern ocaklar ile Kavaklıdere çevresinde Permo-Karbonifer yaşlı kristalin mermer cinsi antik/modern ocaklar, Afrodisias antik kenti mermer/doğaltaş kaynak havuzu içerisinde yeralır. Çalışma kapsamında, antik kentlerde kullanılan kristalin mermerlerin tane boyutlarını belirlemek için, referans kristalin mermerler içerisinde Muğla-Aydın civarı mermerleride incelenmiştir. Afrodisias antik kentinde kullanılan mermer/doğaltaş türlerinin detaylı inceleme sonuçları değerlendirildiğinde, 'Şekil 8'de verilen haritada koordinatlı olarak işaretlenen antik/modern mermer ocak lokasyonları', Palamutçuk, Yazir, Çamarası, Yeşilköy civarında Jura- Kretase yaşlı, genellikle beyaz renkli, beyaz-grimsi-siyahımsı renkli kristalin mermerler blok üretim havuzu içerisinde yer almaktadır. Afrodisias antik kentinin yakınında bulunan zengin, kaliteli mermer ocakları, çevre jeoloji etkinliğini ve kent için genellikle otokton (yakın çevreden) bir doğaltaş kullanımının baskın olduğunu göstermektedir. Oysa Afrodisias antik kentinin çok uzağında olmayan ve faaliyet dönemleri çakışan, Hierapolis antik kentinde sanatsal veya yapı amaçlı kullanılan traverten, kireçtaşı türü doğaltaşlar Afrodisias'ta tercih edilmemiştir. Afrodisias antik kenti çevresinde bulanan mermer ocaklarına jeolojik harita üzerinden bakıldığında, kente yakın mesafede genellikle kristalin mermer ocaklarının mevcut olduğu görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4: Afrodisias antik kenti çevresinde bulunan antik/modern mermer ocaklarının 1/500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası üzerindeki lokasyonları (MTA,2019).

3.1.3. Afrodisias Kentinde Kullanılan Doğal Taşların Petrografik Özellikleri

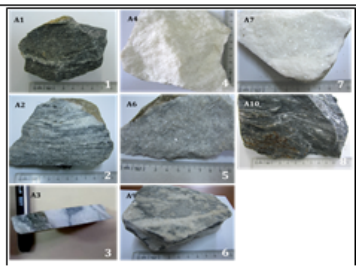
3.1.4. Litolojik Özellikler

Afrodisias antik kentinde kullanılan sekiz mermer/doğaltaş tipi belirlenerek, petrografik karakterleri bakımından ayrı ayrı incelemeleri yapılmıştır. Yedi farklı şekilde sınıflandırılmıştır (Tablo.1). Elde edilen verilere

göre, köken grup, doğaltaş cinsi kristal boyutu ve doğaltaş türü tanımlamaları ile sınıflandırma ölçeği yapılmıştır.

Tablo 1: Afrodisias antik kenti doğaltaş türleri.

	Doğaltaş Köken Grubu	Doğaltaş Cinsi	Kristal Boyut sınıfı	Doğaltaş Türü
1	Metamorfik	Mermer	İnce kristal	İnce kristalli siyah/ grimsi – siyah renkli, kalsit damarlı mermer türü
2	Metamorfik	Mermer	İnce kristal	İnce kristalli grimsi beyaz/renkli grimsi siyah damarlı şisti mermer türü
3	Metamorfik	Mermer	Orta kristal	Orta kristalli beyaz -grimsi siyah damarlı mermer türü
4-7	Metamorfik	Mermer	Orta kristal	Orta kristalli beyaz renkli mermer türü
5	Metamorfik	Mermer	Orta kristal	Orta kristalli grimsi beyaz mermer türü
6	Metamorfik	Mermer	Orta kristal	Orta kristalli beyaz renkli/grimsi-siyah desenli mermer türü
8	Metamorfik	Mermer	İnce kristal	İnce kristalli siyah renkli/kalsit damarlı mermer türü



3.1.5. Mikroskobik Özellikler

Afrodisias antik kentinde kullanılan doğaltaşların mikro petrografik özelliklerinin saptanmasında, kristal boyut dağılımı, tane sınır geometrisi, kristal şekli ve doku karakteri parametreleri kullanılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2: Afrodisias antik kenti kristalin mermerlerin minerolojik-petrografik özellikleri.

Mermer	Krital boyut dağılımı	Kristal sınır geometrisi	Kristal şekli	Doku tipi	Doku: Sıklıkla görülen özellikler
A1	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> özşekilsiz	HB	Monomineralik, polisentetik ikizlenme, kristallerde yönlenme, deformasyon ikizleri, 120° lik (triple points) açıdan yaygın sapma polikromatik, ince kristal
A2	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> özşekilsiz	HB	Polimineralik, şisti yapı, grimsi-siyah renkli bantlar, kalsitlerde polisentetik ikizlenme, kristallerde yönlenme, deformasyon ikizleri, 120° lik (triple points) açılar çok yaygın değil, %3 kuvars, %3 dolomit, polikromatik, ince kristal
A3	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> özşekilsiz	HB	Monomineralik, polisentetik ikizlenme, kalın lameller, deformasyon ikizleri, kristallerde yönlenme ve bozulma,120° lik (triple points) açı az, saçınmış az kuvars minerali, beyaz-grimsi damarlı, polikromatik, orta kristal

A4-A7	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> özşekilsiz	HB	Monomineralik, polisentetik ikizlenme, kalın lameller, deformasyon ikizleri, kristallerde yönlenme ve bozulma,120° lik (triple points) açı az, beyaz renkli monokromatik, orta kristal
A6	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> özşekilsiz	HB	Monomineralik, yaygın polisentetik ikizlenme, deformasyon ikizleri, kristallerde yönlenme,120° lik (triple points) açı az, saçınmış az kuvars minerali, monokromatik, orta kristal
A9	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> özşekilsiz	HB	Polimineralik, polisentetik ikizlenme, deformasyon ikizleri, kristallerde yönlenme,120° lik (triple points) açı az, %5 dolomit, polikromatik, orta kristal
A10	Seriate	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> özşekilsiz	HB	Polimineralik, polisentetik ikizlenme, kristallerde yönlenme, bozulma, deformasyon ikizleri, kristal sınırları yaygın eğrisel, 120° lik (triple points) açılar çok az, %15 dolomit, saçınmış belirgin kuvars minerali,, polikromatik siyah/beyaz renkli deforme kalsit damarları, ince kristal

3.1.6. Afrodisias Mermerleri Kristal Boyutları

Afrodisias antik kentinde kullanılan doğaltaşların, bilgisayarlı görüntü analiz yöntemi kullanılarak ortalama ve maksimum tane boyutları belirlenmiştir. Ölçümler sonucunda Afrodisias antik kentinde kullanılan doğaltaşların ortalama tane boyutları, 213 µm ile 575 µm arasında, maksimum kristal boyutları ise 536 µm ile 1116 µm aralığında olduğu saptanmıştır (Tablo 3).Tane boyutları grafik karşılaştırmasında A4 ve A7 türü doğaltaşların ortalama ve maksimum kristal boyutları bakımından çok yakın değerler gösterdiği ve petrografik özellikleri doğrular nitelikte aynı mermer türü olduğu belirlenmiştir (Şekil 5). Afrodisias kristalin mermerlerinin ölçülen ortalama kristal boyutları değerlendirilerek kristal boyut sınıfları belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 3: Afrodisias kristalin mermerlerin ortalama ve maksimum kristal boyutları.

Afrodisias kristalin mermerleri	Kristal boyut ölçüleri (µm)	
	Ortalama Tane Boyutu (OTB)	Maksimum Tane boyutu (MTB)
A2	213,705	536.27
A1	225,512	567,52
A10	230,48	521,18
A6	318,31	616,89
A9	352,37	786,37
A3	382.42	1075,19
A7	462,55	1099,8
A4	575,38	1116,37

Şekil 5: Afrodisias kristalin mermerlerin Ortalama tane boyutu (OTB) ve maksimum tane boyutu (MTB) karşılaştırma grafiği. A: Afrodisias kristalin mermer türleri.

Tablo 4: Afrodisias kristalin mermer türleri ve kristal boyut sınıfları.

Afrodisias mermer tipleri	OTB	Kristal Boyut sınıfı	Afrodisias Mermer Türleri
A2	213.705	İnce kristal	İnce kristalli Grimsi beyaz renkli/ grim. siyah damarlı şisti mermer türü
A1	225,512	İnce kristal	İnce kristalli Siyah/grimsi –siyah renkli, kalsit damarlı mermer türü
A10	230,48	İnce kristal	İnce kristalli siyah renkli/kalsit damarlı mermer türü
A6	318,31	Orta kristal	Orta kristalli grimsi beyaz mermer türü
A9	352,37	Orta kristal	Orta kristalli beyaz renkli/ grimsi-siyah desenli mermer türü
A3	382,42	Orta kristal	Orta kristalli beyaz renkli-grimsi siyah damarlı mermer türü
A7- A4	462,55-575,38	Orta kristal	Orta kristalli beyaz renkli mermer türü

3.1.7. Afrodisias Kentinde Kullanılan Dağal Taşların Kimyasal Özellikleri

3.1.8. İndüktif Eşlemeli Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS)

Afrodisias antik kentinde kullanılan doğaltaş örnekleri farklı türleri üzerinde ICP-MS yöntemi ile farklı sayılarda yapılan kimyasal analizler sonucunda, elde edilen % temel oksit ve iz elemet (ppm) sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: Afrodisias doğaltaş türlerinin majör oksit kimyasal bileşimleri.

ICP/%	A1	A2	A3	A4	A6	A7	A9	A1O	DL
Numune/ sayısı	N10or	N11$_{or}$	N10or	N10or	N10or	N10or	N12$_{or}$	N13$_{or}$	
SiO_2	1.03	2.81	1.34	0.03	1.31	0.04	0.32	1.87	0.01
Al_2O_3	0.51	0.65	0.58	0.01	0.72	0.01	0.09	0.73	0.01
Fe_2O_3	0.24	0.36	0.62	0.04	0.34	0.04	0.13	1.52	0.04
MgO	0.54	2.53	0.8	0.3	0.75	0.34	2.34	6.89	0.01
CaO	54.46	50.73	53.84	56.74	53.71	56.61	52.86	44.75	0.01
Na_2O	0.02	0.06	0.05	0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.01
K_2O	0.09	0.12	0.09	0.01	0.18	0.01	0.01	0.09	0.01
TiO_2	0.03	0.03	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01	0.06	0.01
P_2O_5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01
MnO	0.01	0.01	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01
Cr_2O_3	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.068	0.002	0.002	0.002
LOI	43.0	42.5	42.5	42.9	42.9	42.8	44.1	43.7	-5.1
SUM	99.97	99.93	99.99	99.97	99.97	99.95	99.95	99.84	0.01
ICP/ppm	A1	A2	A3	A4	A6	A7	A9	A10	DL
Ba	9	11	<5	<5	10	<5	5	25	5
Ni	<20	<20	33	<20	<20	<20	<20	<20	20
Sr	124	1088	138	148	191	130	263	1184	2
Zr	6	<5	11	<5	7	<5	<5	13	5
Y	<3	<3	4	<3	3<	<3	<3	7	3
Nb	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	6	5
Sc	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1<	1
LOI	43.0	42.5	42.5	42.9	42.9	42.8	44.1	43.7	-5.1
SUM	99.97	99.93	99.99	99.97	99.97	99.95	99.95	99.84	0.01

Bu veriler değerlendirildiğinde, Afrodisias doğaltaşlarında CaO %44.75 ile 56.74 arasında değere sahiptir. Petrografik incelemelerde de tespit edilen ve baskın mineral olarak kalsit kristalinden oluşan bu doğaltaşların, kimyasal analizlerinde de CaO içeriği belirleyicidir.

3.1.9. Afrodisias Portatif X-Ray Fluorescence (P-XRF)

Afrodisias doğaltaş türlerinin % ve ppm elementel analiz sonuçları (Tablo 6)'te verilmiştir. Afrodisias antik kenti kristalin mermerlerinin Ca, Mg, Sr, Fe ve Si elementel içerikleri ICP-MS ve P-XRF karşılaştırması ile birbirine uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 6. Afrodisias doğaltaş türlerinin p-xrf elementel bileşimleri.

Afrodisias kristalin mermer türleri	%					ppm			
	Ca	Fe	Si	Al	Mg	Sr	Zr	Y	Nb
	Ölçüm sayısı								
	15 (A1)	17 (A2)	14 (A3)	15 (A4)	16 (A6)	14 (A7)	13 (A9)	14 (A10)	
	Ortalama								
A1	43,6125	0,2117	0,6808	0,4059	0,3	120,75	11	8	0
A2	41,96	0,1849	2,46	0,3786	1,47	1117,5	22,75	0	0
A3	43,08	0,6204	0,4197	0,3837	0,45	139	17	12	0

A4	44,59	0,0136	0,1341	0	0,189	134,6	0	0	0
A6	40,57	0,34	0,83	0,47	0,398	174,1	11,6	7	15
A7	43,56	0,2	0,2	0	0,2	127,25	0	0	0
A9	39,43	0,082	0,151	0,1	1,48	290	0	0	0
A10	32,5	1,072	0,89	0,9	4,25	1190	12	0	0

3.2. Hierapolis

3.2.1. Genel jeoloji

Hierapolis antik kentini içinde bulunduran çalışma alanı, Büyük Menderes Grabeninin kuzey kenarında içerisinde yer alır. Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz Grabenleri, Ege Bölgesinin büyük bölümünü kapsayan Menderes Metamorfik Masifi içinde gelişmiş en önemli çöküntü alanlarıdır. Başlıca doğu-batı yönünde uzanım gösteren bu çöküntü alanları, her iki yanı faylarla sınırlanmış simetrik grabenleri oluşturur. Şaroğlu (1987), Şengör (1987), ile Sözbilir ve diğ. (2001), doğu-batı uzanımlı Ege graben sistemlerinin, Geç Miyosen döneminden buyana Batı Anadolu'yu etkileyen Kuzey-Güney yönlü çekme kuvvetlerinin etkisi altında geliştiğini belirtirler. Barka ve diğ. (1995), Ege Bölgesinin kuzey-güney yönünde yılda 3cm'ye ulaşan bir hızla genişlediğini belirtirler. Batı Anadolu'da kuzey-güney doğrultusunda meydana gelen bu hızlı genişleme, Ege Grabenlerini sınırlayan Doğu-Batı uzanımlı normal fayların aktif olmasını sağlayan en önemli nedenlerin başında gelir. Büyük Menderes Grabeni, doğu-batı yönünde 180 km uzunluğa ve 10-20 km arasında değişen genişliğe sahip, Batı Anadolu'nun en önemli çöküntü alanlarından biridir. Büyük Menderes Grabenini, kuzeyden ve güneyden sınırlayan normal faylar, bazı alanlarda kuzey-güney uzanımlı doğrultu atımlı faylarla kesilmiştir. Grabeni sınırlayan D-B uzanımlı normal faylar, çoğu yerde birbirine koşut gelişmiş basamaklı yapı özelliği gösteren aktif fay sistemlerinden yapılıdır. Sözbilir ve diğ. (2001), grabeni sınırlayan fayların Geç Miyosenden bu yana aktif olduğunu belirtir. Büyük Menderes Grabeninin doğu bölümünü oluşturan Denizli ovası Neojen yaşlı karasal tortulların yanı sıra, Kuvaterner yaşlı traverten oluşukları ve alüvyonlar tarafından doldurulan bir çöküntü ovasıdır. Beyaz renkli travertenleri ile ünlü Pamukkale ve Hierapolis antik kentleri bölgede KB-GD yönünde uzanım gösteren Denizli grabeninin kuzey kenarında yer alır. Pamukkale ve Hierapolis antik kentlerinin yakın çevresinde yer alan güncel travertenleri ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı kırıntılı tortulları kesen, KB-GD uzanımlı faylara bağlı olarak, bazı kesimlerde topografyada yanal olarak izlenebilen eşikler gelişmiştir. Bu faylara bağlı gelişen eşiklerin varlığı, Büyük Menderes grabenini kuzeyden sınırlayan fayların diri ve aktif olduğunu göstermesi bakımından önemlidir. Diğer taraftan, güncel traverten, alüvyonal yelpaze ve birikinti koni oluşuklarının grabenin kuzey kenarında daha yaygın olması ve bunun yanısıra deprem episantr merkezlerinin daha çok grabenin

kuzey kenarı boyunca dizilmiş olması, Büyük Menderes grabenini kuzeyden sınırlayan fayların, güneyde bulunan faylara göre daha aktif olduğunu gösterir. Hierapolis antik kentinin bulunduğu alan, tümüyle Büyük Menderes grabeninin kuzeyinde bulunan Neojen yaşlı karasal birimler ile bunları üstleyen traverten, alüvyonal yelpaze ve akarsu tortulları üzerinde yer almaktadır. Bölgede geniş yayılım gösteren Neojen yaşlı karasal tortullar, alttan üste doğru fluviyal ve gölsel tortullardan yapılıdır. Neojen karasal istifinin en altında bulunan fluviyal tortullar egemen olarak yersel çapraz katmanlı çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşlarından yapılıdır. Neojen istifinin üst bölümünde yer alan gölsel tortullar büyük bölümü ile kalkerli çamurtaşı, kiltaşı, marn, killi kireçtaşı ile bunlara eşlik eden traverten ve gözenekli kireçtaşlarından yapılıdır (Şekil 6).

Şekil 6. Hierapolis antik kenti ve yakın çevresinin 1/500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası üzerindeki konumu (MTA,2019).

3.2.2. Hierapolis Çevresinde Bulunan Mermer Ocakları

Hierapolis antik kentinde kullanılan mermer/doğaltaşlar metamorfik ve sedimenter kökenlidir. Metamorfik kökenli olan doğaltaş tipleri kristalin mermer cinsidir. Bu mermerler, orta tane boyutuna sahip, genellikle beyaz, beyaz-gri, grimsi renk değişkenliklerine sahiptir. Temel olarak kalsit mineralinin oluşturduğu bu tip mermerler ortalama %98-100 arasında kalsiyum karbonat bileşimine sahiptir. Sedimenter kökenli olan doğaltaş tipleri ise traverten, kireçtaşı, breşik çakıltaşı ve kumtaşı cinsidir. Traverten cinsi mermerler çok ince kristal boyutuna sahip olup, renkleri beyaz, sarımsı beyaz, beyazımsı-krem (bej), beyazımsı-açık kırmızı, sarı-sarımsı bej, kahverengi renk aralığında değişmektedir. Mikrokristalin kalsit bileşime sahip, çok ince kristalli olan kireçtaşı cinsi mermerler ise, beyazımsı açık krem (light bej-açık bej) ve sarımsı renklidir. Breşik konglomeratik çakıltaşı ve kumtaşı cinsi mermerler ise kırmızımsı-beyaz ve sarımsı-beyaz damarlı renklidir. Antik kentin çevresinde çok sayıda antik ve modern mermer ocakları mevcuttur. Bu mermer ocakları, Pamukkale, Karahayit, Kocabaş, Kaklık ve Denizli güneyinde yoğunlaşmıştır. Mermer ocak lokasyonlarının bir kısmı, Menderes Masifi'nin çekirdek ve örtü serisi içerisinde yer alan Paleozoik (Permo-Karbonifer) ve Mezozoik (Trias-Jura-Kretase) yaşlı kristalin mermer litolojisi içerisinde bulunmak-

tadır. Mermer ocaklarının diğer bir bölümü ise Neojen (Üst Miosen) yaşlı gölsel kireçtaşları ve Kuvarterner yaşlı traverten litolojisinde yeralır. Bu litolojiler içerisinde koordinatlı olarak yerleştirilen antik/modern mermer ocakları kentin mermer/doğaltaş kaynak havuzunu oluşturur (Şekil 7).

Şekil 7: Hierapolis antik kenti çevresindeki antik/modern mermer ocaklarının 1/ 500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası üzerindeki konumu(MTA).

3.2.3. Hierapolis Kentinde Kullanılan Doğal taşların Petrografik Özellikleri

3.2.4. Litolojik Özellikler

Hierapolis antik kenti doğaltaş/mermer tipleri (Şekil 8) ile köken ve cinslerine göre sınıflandırma tablosu (Tablo 7).

Şekil 8. Hierapolis antik kenti doğaltaş tipleri.

Tablo 7: Hierapolis antik kenti doğaltaşları köken ve cins sınıflandırması.

	Tip No	Doğaltaş Köken Grubu	Doğaltaş Cinsi
A	**1**	Metamorfik	Kristalin mermer
	2	Metamorfik	Kristalin mermer
	3	Metamorfik	Kristalin mermer
	4	Metamorfik	Kristalin mermer
	5	Metamorfik	Kristalin mermer
	6	Metamorfik	Kristalin mermer
	7	Metamorfik	Kristalin mermer
	8	Metamorfik	Kristalin mermer

B	**9**	Sedimenter	Traverten
	10	Sedimenter	Traverten
	11	Sedimenter	Traverten
	12	Sedimenter	Traverten
	13	Sedimenter	Traverten
	14	Sedimenter	Traverten
	15	Sedimenter	Traverten
	16	Sedimenter	Traverten
	17	Sedimenter	Traverten
	18	Sedimenter	Traverten
	19	Sedimenter	Traverten
	20	Sedimenter	Traverten
	21	Sedimenter	Kireçtaşı
	22	Sedimenter	Kireçtaşı
	23	Sedimenter	Kireçtaşı
	24	Sedimenter	Kireçtaşı
	25	Sedimenter	Breşik Kireçtaşı
	26	Sedimenter	Kalkerli Kumtaşı

3.2.5. Mikroskobik Özellikler

Hierapolis antik kenti doğaltaş/mermer tiplerinin detay petrografik karakterleri (Tablo 8) ile kristal boyut sınıfları (Tablo 9) ve kristalin mermer türleri kristal boyut karşılaştırma grafiği (Şekil 9).

Tablo 8: Hierapolis antik kenti kristalin mermerlerin minerolojik-petrografik özellikleri.

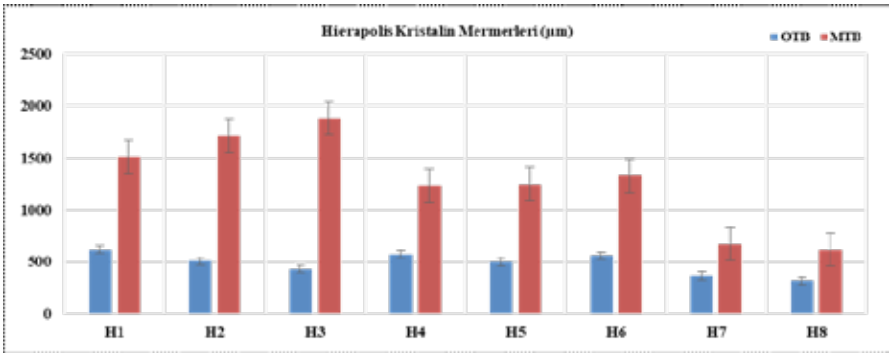
Doğaltaş Tipleri	Krital boyut dağılımı	Kristal sınır geometrisi	Kristal şekli	Doku tipi	Doku: sıklıkla görülen özellikler
H1	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> Özşekilsiz	HB	Monomineralik, kalsitlerde polisentetik ikizlenme, kristallerde deformasyon ikizleri ve ayrışma, yönlenme, basınç çözünmesi, 120° lik (triple points) açılar çok yaygın değil, monokromatik, orta kristal
H2	Farklı tane boyut dağılımı	Poligonal-Eğrisel sınır	Özşekilli> Yarı özşekilli	HB	Monomineralik, polisentetik ikizlenme, deformasyon ikizleri, ikizlenmeler boyunca bozulma, basınç çöünmesi, 120° lik (triple points) açıdan yaygın, monokromatik, orta kristal
H3	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> Özşekilsiz	HB	Monomineralik,polisentetik ikizlenme, tek yönlü ikiz düzlemleri daha yaygın, kristallerde deformasyon ikizleri, ikiz düzlemleri boyunca bozulma, tane sınırlarında basınç çözünmesi, 120° lik (triple points) açılar çok az, monokromatik,orta kristal

H4	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> Özşekilli	HB	Monomineralik, polisentetik ikizlenme, tek yönlü ikiz düzlemleri daha yaygın, kristallerde deformasyon ikizleri, ikiz düzlemleri boyunca bozulmalar yaygın, tane sınırlarında basınç çözünmesi, 120° lik (triple points) açılar çok az, monokromatik, orta kristal
H5	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır -poligonal	Özşekilli> Yarı özşekilli	HB	Monomineralik, polisentetik ikizlenme, çift yönlü ikizlenme daha yaygın, deformasyon ikizleri, ikizler boyunca bozulma, basınç çözünmesi, 120° lik (triple points) açı belirgin, monokromatik, orta kristal
H6	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> Özşekilli	HB	Monomineralik, polisentetik ikizlenme, kalın lameller, tek yönlü ikizler yaygın, deformasyon ikizleri, kristallerde kısmı yönlenme ve bozulma, basınç çüzünmesi,120° lik (triple points) açı az, monokromatik, orta kristal
H7	Farklı tane boyut dağılımı	Poligonal-Eğrisel sınır	Özşekilli> Yarı özşekilli	HB	Polimineralik, polisentetik ikizlenme, deformasyon ikizleri, ikiz düzlemleri boyunca ve kalsit kristallerinde bozulmalar, dolomitik zonlar, 120° lik (triple points) açı belirgin, beyaz renkli –gri damarlı, polikromatik, orta kristal
H8	Farklı tane boyut dağılımı	Eğrisel sınır	Yarı özşekilli> Özşekilsiz	HB	Polimineralik, polisentetik ikizlenme, deformasyon ikizleri, ikiz düzlemleri boyunca kalsit kristallerinde bozulmalar, yönlenme. Kuvars, amfiol, feldspat, 120° lik (triple points) açı çok az, gri renkli,monokromatik, orta kristal

Tablo 9: Hierapolis doğaltaş/mermer türleri kristal boyut sınıfları.

Hierapolis Doğaltaş Tipleri	OTB (µm)	Kristal Boyut sınıfı
H1	619,143	orta kristal
H2	505,415	orta kristal
H3	432,704	orta kristal
H4	574,663	orta kristal
H5	501,051	orta kristal
H6	561,692	orta kristal
H7	366,148	orta kristal
H8	319,10	Orta kristal
H9	<100	Çok ince kristal
H10	<100	Çok ince kristal
H11	<100	Çok ince kristal
H12	<100	Çok ince kristal
H13	<100	Çok ince kristal
H14	<100	Çok ince kristal
H15	<100	Çok ince kristal
H16	<100	Çok ince kristal

H17	<100	Çok ince kristal
H18	<100	Çok ince kristal
H19	<100	Çok ince kristal
H20	<100	Çok ince kristal
H21	<100	Çok ince kristal
H22	<100	Çok ince kristal
H23	<100	Çok ince kristal
H24	<100	Çok ince kristal
H25		değişken
H26	<100	Çok ince kristal



Şekil 9: Hierapolis kristalin mermerlerin (OTB) ve (MTB) tane boyutu karşılaştırma grafiği.

3.2.6. Hierapolis Kentinde Kullanılan Dağal Taşların Kimyasal Özellikleri

3.2.7. İndüktif Eşlemeli Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS)

Hierapolis antik kentinde kullanılan doğaltaş örnekleri farklı türleri üzerinde ICP-MS yöntemi ile farklı sayılarda yapılan kimyasal analizler sonucunda, elde edilen % temel oksit ve iz elemet (ppm) sonuçları Tablo. 10' da verilmiştir.

Tablo 10: Hierapolis kristalin mermer, kireçtaşı, traverten, kumtaşı cinsi doğaltaşların kimyasal bileşimleri.

%	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	Cr_2O_3
DL	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H1	0,04	0,01	0,04	0,83	56,21	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H2	0,03	0,01	0,04	0,91	55,76	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H3	0,17	0,01	0,04	0,8	55,89	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H4	0,18	0,01	0,05	0,4	56,30	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,015
H5	0,03	0,01	0,04	0,63	56,18	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,023
H6	0,1	0,01	0,04	0,6	56,29	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,029
H7	0,12	0,01	0,14	1,01	54,70	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H8	1,31	0,72	0,34	0,75	53,71	0,02	0,18	0,03	0,01	0,01	0,002
H9	0,15	0,01	0,34	0,18	55,45	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H10	0,27	0,05	0,13	0,32	55,53	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H11	0,11	0,01	0,04	0,33	55,84	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002

H12	1,13	0,22	0,42	0,31	54,40	0,02	0,04	0,02	0,01	0,01	0,002
H13	0,09	0,01	0,11	0,27	55,64	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H14	0,1	0,01	0,04	0,35	55,67	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H15	0,34	0,03	0,32	0,46	54,95	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,002
H16	0,54	0,01	1,56	0,15	55,48	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,002
H17	5,41	0,69	1,33	0,11	52,40	0,01	0,03	0,10	0,01	0,09	0,018
H18	1,53	0,01	0,12	0,24	56,16	0,01	0,01	0,09	0,01	0,01	0,003
H19	1,11	0,01	0,07	0,2	56,12	0,01	0,01	0,08	0,01	0,01	0,002
H20	1,1	0,01	0,12	0,1	56,03	0,01	0,01	0,08	0,01	0,02	0,002
H21	0,7	0,14	0,06	0,39	55,36	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,002
H22	0,21	0,02	0,04	0,36	55,65	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
H23	24,14	3,35	2,52	1,98	30,49	0,01	0,22	0,6	0,07	0,1	0,12
H24	1,46	0,11	0,10	0,16	56,55	0,01	0,01	0,09	0,01	0,01	0,002
H25	1,54	0,66	3,64	0,14	53,57	0,01	0,06	0,11	0,13	0,13	0,002
H26	2,04	0,86	1,06	2,99	52,43	0,01	0,01	0,10	0,01	0,01	0,002
ppm	Ba	Ni	Sr	Zr	Y	Nb	Sc	LOI	SUM		
DL	5	20	2	5	3	5	1	-5.1	0.01		
H1	5	20	127	5	3	5	1	42.9	99.99		
H2	5	20	193	5	3	5	1	43.2	99.99		
H3	5	33	169	5	3	5	1	43.1	99.97		
H4	5	20	138	5	3	5	1	43.0	99.99		
H5	5	22	247	5	3	5	1	43.1	99.96		
H6	5	20	126	5	3	5	1	42.9	99.96		
H7	19	20	172	5	8	5	1	43.9	99.97		
H8	10	20	191	7	4	5	1	42,9	99,97		
H9	5	20	271	5	3	5	1	43.8	99.96		
H10	6	20	837	5	3	5	1	43.8	100		
H11	10	20	816	5	3	5	1	43.6	99.96		
H12	15	20	788	8	3	5	1	43.3	99.95		
H13	7	20	519	5	3	5	1	43.8	99.96		
H14	5	20	857	5	3	5	1	43.7	100		
H15	13	20	783	5	3	5	1	43.7	100		
H16	207	20	374	5	3	5	1	42.1	100		
H17	5	20	428	9	6	5	1	39.8	100		
H18	5	20	635	6	3	6	1	41.8	99.98		
H19	5	20	1038	8	3	6	1	42.3	99.93		
H20	5	20	542	7	5	7	1	42.5	99.97		
H21	8	20	137	8	3	5	1	43.3	100		
H22	17	20	929	10	3	5	1	43.6	99.95		
H23	5	78	703	12	9	5	1	36.4	100		
H24	5	20	361	7	3	5	1	41.4	99.91		
H25	5	20	192	5	3	6	1	42.0	99.98		
H26	5	20	149	8	3	8	1	40.6	99.96		

Bu veriler değerlendirildiğinde, Hierapolis kristalin mermerlerinde CaO %53.71 ile 56.30 arasında değere sahiptir. Petrografik incelemelerde kalsit ($CaCO_3$) kristallerinden oluşan mermerlerin monomineralik özellikte olduğu kimyasal analiz sonuçlarıda doğrulamaktadır. Stronsiyum (Sr) en belirgin iz element olarak gözlenmektedir. Hierapolis kireçtaşı cinsi doğaltaşlarda CaO %55,36 ile 55,65 arasında değere sahiptir. Traverten

türü doğaltaşlarda ise CaO %54.4 ile 55.67 arasında olup, kireçtaşı ve traverten cinsi doğaltaşlarda en belirgin iz element Stronsiyum (Sr) dur.

3.2.8. Hierapolis P-xrf Elementel Kimyasal Analiz Sonuçları

P-XRF (Portatif x-ray fluorescence) kullanılarak Hierapolis Antik kentinde kullanılan doğaltaş türlerinin elementel kimyasal analiz ölçümleri yapılarak elde edilen veriler değerlendirilmiştir. ICP analiz değerleri ile P-XRF verileri karşılaştırılmıştır. Hierapolis antik kenti örneklerinin P-XRF analiz sonuçları Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11: Hierapolis antik kenti örnekleri p-xrf analiz sonuçları

Doğaltaş tipleri	Ca	Fe	Si	Mg	Al	Mn	Sr	Zr	Zn	Y	Nb
H1	42,06	0,1058	0,02226	0,58	-	0,0068	129,05	0	9	5	-
H2	41,17	0,0452	0,02261	0,6	-	-	192	8,5	9	-	-
H3	43	0,0217	0,0856	0,45	-	-	161	0	0	-	-
H4	42,15	0,058	0,08456	0,23	-	-	122	0	0	-	-
H5	43,43	0,0226	0,02205	0,52	-	-	241,26	0	0	-	-
H6	42,06	0,0149	0,05681	0,48	-	-	117,14	0	0	-	-
H7	40,57	0,1095	0,06066	0,71	-	0,0096	174,3	7,3	9,3	7,4	13,5
H8	40,57	0,3	0,83	0,41	0,31	0,0084	174,1	7,8	11	4,2	11
H9	41,98	0,5326	0,07991	0,12	-	-	273,14	12	-	-	-
H10	43,26	0,1236	0,13545	0,17	-	-	760,33	20	-	-	-
H11	43,3	0,1391	0,05704	0,18	-	-	723,37	15	-	-	-
H12	43,29	0,3758	0,5853	1,2	-	-	775,75	25	-	-	-
H13	41,67	0,059	0,04775	0,81	-	-	427,66	18	-	-	-
H14	44,27	0,0306	0,06054	0,21	-	-	665	15	-	-	
H15	41,54	0,3188	0,19209	0,32	-	-	840,375	18,5	-	-	-
H16	41,79	1,215	0,2819	0,3	-	0,0326	358,57	7,5	9	4,5	10,5
H17	37,45	0,08933	0,422	0	0,35	0,0866	418	18	14,5	9,3	8
H18	42,28	0,0944	0,776	0,16	-	0,0105	630	12,7	11,5	4	11
H19	40,83	0,0591	0,442	0	-	0,01448	1028	18,8	11		11
H20	42,2	0,0801	0,557	0	-	0,0258	549	12,4	15	5	11
H21	44,38	0,0675	0,3701	0,26	-	-	132,1	11	-	7	-
H22	43,39	0,0138	0,1262	0,19	-	-	866,42	21,5	-	-	-
H23	24,66	1,864	11,9	1,23	1,62	0,0507	708	178	27	18	-
H24	44	0,093	0,718	0	0,23	0,00687	368	14	10,7	4	-
H25	39,72	2,1966	0,753	0	0,37	0,20151	194	8		5,5	10,2
H26	38,19	0,7148	1,025	1,806	0,35	0,0138	151	8,1	16,2	4,9	10

3.2.9. Hierapolis Antik Kenti doğal Taşlarının Sınıflandırılması

Hierapolis antik kentinde kullanılan doğal taşlar; Makro, mikro petrografik ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi sonucunda elde edilen verilere göre, köken grup, doğaltaş cinsi kristal boyutu ve doğaltaş türü tanımlamaları ile sınıflandırma ölçeği yapılmıştır (Tablo. 12).

Tablo 12: Hierapolis kristalin mermerleri, kireçtaşı, traverten, breşik kireçtaşı ve kumtaşı cinsi doğaltaşların sınıflandırması

Hierapolis Doğaltaş Tipleri	Doğaltaş Köken Grubu	Doğaltaş Cinsi	Kristal Boyut sınıfı	Hierapolis Doğaltaş Türü
H1	Metamorfik	Mermer	orta kristal	Beyaz renkli orta kristalli mermer türü
H2	Metamorfik	Mermer	orta kristal	Beyaz renkli orta kristalli mermer türü
H3	Metamorfik	Mermer	orta kristal	Beyaz renkli orta kristalli mermer türü
H4	Metamorfik	Mermer	orta kristal	Beyaz renkli orta kristalli mermer türü
H5	Metamorfik	Mermer	orta kristal	Beyaz renkli orta kristalli mermer türü
H6	Metamorfik	Mermer	orta kristal	Beyaz renkli orta kristalli mermer türü
H7	Metamorfik	Mermer	orta kristal	Beyaz –gri damarlı orta kristalli mermer türü
H8	Metamorfik	Mermer	orta kristal	Gri renkli orta kristalli mermer türü
H9	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Sarımsı beyaz Pelloidal/vaketaşı- istftaşı traverten türü
H10	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Beyazımsı krem Pelloidal/vaketaşı traverten türü
H11	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	BeyazAlgal Pelloidal/vakeı-istiftaşı traverten
H12	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	beyazımsı-açık kırmızı rekli Algal pelloidal/vaketaşı tarverten türü
H13	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	beyazımsı-krem renkli Algal-pelloidal-vaketaşı traverten türü
H14	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Beyazımsı-krem renkli Algal pelloidal-vaketaşı traverten türü
H15	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Kahverengi renkli Onkoidal-pelloidal vaketaşı-istiftaşı traverten türü
H16	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Sarı renkliAlgal pelloidal istiftaşı traverten türü
H17	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Sarımsı-bej renkli Onkoidal istiftaşı-tanetaşı traverten türü
H18	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Beyazımsı-bej renkli Algal istiftaşı traverten türü
H19	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Beyazımsı bej- kırmızımsı kahve renkli/ Algal istiftaşı traverten türü
H20	Sedimenter	Traverten	Çok ince kristal	Bej (krem-midium bej) renkli Algal istiftaşı traverten türü
H21	Sedimenter	Kireçtaşı	Çok ince kristal	Açık bej renkli Algal Pelloidal istiftaşı kireçtaşı türü
H22	Sedimenter	Kireçtaşı	Çok ince kristal	Beyazımsı-açık (bej) /(light bej)/ Algal Pelloidal tanetaşı kireçtaşı türü
H23	Sedimenter	Kireçtaşı	Çok ince kristal	Sarımsı renkli Onko-pelloidal istiftaşı kireçtaşı türü
H24	Sedimenter	Kireçtaşı	Çok ince kristal	Açık bej renkli Algal Pelloidal-istiftaşı kireçtaşı türü
H25	Sedimenter	Breşik Kireçtaşı	Değişken tane boyutu	Karışık (mix) kırmızımsı- beyaz renkli/ Karbonat bileşimli breşik kireçtaşı (konglomeratik) türü
H26	Sedimenter	Kalkerli kumtaşı	Çok ince kristal	Sarımsı renkli karbonat çimentolu kuvarsca zengin kumtaşı türü

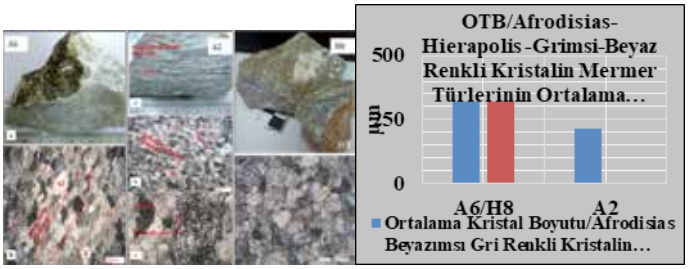
4. Afrodisisas ve Hierapolis Karşılaştırması

Afrodisias ve Hierapolis antik kentleri doğaltaş kullanım karakterleri bakımından karşılaştırıldığında, Afrodisias antik kentinde, monotip köken olarak tanımlayabileceğimiz metamorfik kökene sahip kristalin mermer türlerinin kullanımı hakimdir. Hierapolis antik kentinde doğaltaş/mermer kullanımı politip köken olup, metamorfik kökenli kristalin mermer cinsleri ve sedimenter kökenli traverten, kireçtaşı, breşik kireçtaşı ve kumtaşı cinsi doğaltaşlardır. Metamorfik köken kristalin mermer cinsi doğaltaşlar, iki antik kentte yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Afrodisias antik kentinde kullanılan beyaz ve farklı renklerdeki kristalin mermerler ince – orta kristal boyutlu, Hierapolis antik kentinde beyaz ve beyaz-grimsi renkli orta kristal boyutludur (Tablo 13). Afrodisias antik kentinde yaygın olarak kullanılan orta kristalli beyaz kristalin mermer (A4/Afrodisias tip-4/7) ile makro özellikleri, ortalama tane boyutu, CaO, MgO, Sr değerleri yakın özelliktedir. Hierapolis beyaz orta kristalin mermerler ile Afrodisias orta kristalin mermeri farklı olarak tespit edilmiştir.

Tablo 13: Afrodisias ve Hierapolis antik kentleri doğaltaş/mermer temel karakterleri karşılaştırma tablosu.

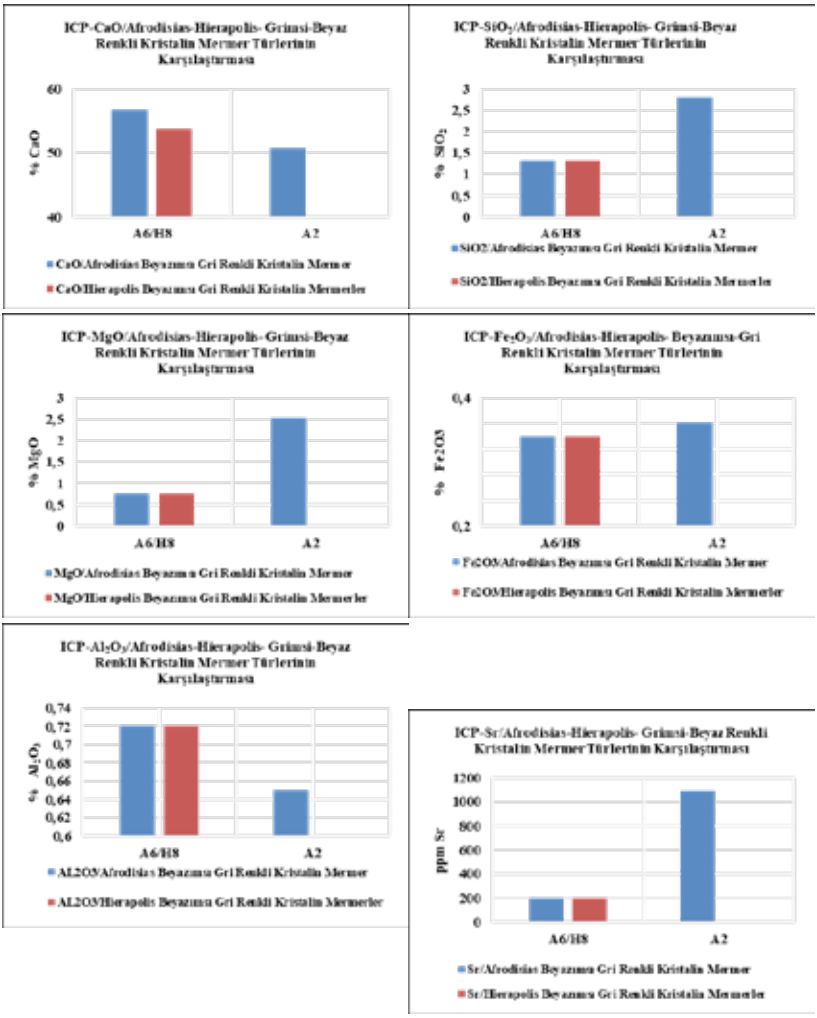
Antik kentler	Doğaltaş/mermer Köken grubu			Köken tip		Doğaltaş/Mermer Cinsleri	Kristal Boyutu
	Metamorfik	Sedimenter	Magmatik	Monotip köken	Politip köken		
Afrodisias	Metamorfik			Monotip köken		*Kristalin mermer cinsi	Kristalin mermer cinsleri : **İnce-orta kristal** boyutu
Hierapolis	Metamorfik-	Sedimenter		Politip köken		*Kristalin mermer cinsi- *Traverten cinsi *Kireçtaşı cinsi *Breşik kireçtaşı cinsi *Kumtaşı cinsi doğaltaşlar/ mermerler	Kristalin mermer cinsleri : **orta kristal** boyutu Traverten, kireçtaşı doğaltaş cinsleri: Çok ince kristalli

Afrodisias (A6-A2/Afrodisias tip 5 ve tip 2) ve Hierapolis (H8/Hierapolis tip 8) antik kentlerinde kullanılan grimsi beyaz ve grimsi siyah bantlı (şisti) kristalin mermerler karşılaştırılmıştır (Şekil 10). Buna göre, Afrodisias tip 2 diğer iki örnekten farklıdır. Afrodisias tip 5 ile Hierapolis tip 8 kristalin mermerlerinin ise ortak kullanım türler olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 10: Afrodisias (A6-A2/tip 5) ve Hierapolis (H8/tip 8) grimsi beyaz renkli kristalin mermerlerin karşılaştırma örnekleri

Afrodisias ve Hierapolis antik kentleri kristalin mermer türleri ICP kimyasal temel bileşenler karşılaştırma grafikleri (Şekil 11).



Şekil 11: Afrodisias, Hierapolis beyazımsı-gri renkli kristalin mermerlerin ICP karşılaştırma grafikleri.

5. Sonuçlar

Çalışma kapsamında, Afrodisias ve Hierapolis antik kentlerinde yaygın olarak kullanılan doğaltaş (lar)/mermer(ler); Makro, mikro-petrografik, kimyasal, litolojik veya kayatomik özellikleri, metodolojik olarak incelenmiş, aşağıdaki tartışma konuları ve sonuçlar belirlenmiştir. Afrodisias antik kentinde kullanılan kristalin mermer türleri, antik kentin yakın çevresinde bulunan mermer ocak havuzundan sağlanmıştır. Bu ocakların lokasyonları, koordinatlı olarak işaretlendiği ocak yerleri haritasında gösterilmiştir. Özellikle Palamutçuk civarında bulunan ve kent ocakları olarak bilinen, beyaz renkli orta kristal boyutuna sahip kristalin mermer türü antik ocak doğaltaşları, Afrodisias antik kentinde genellikle heykel, lahitler, tiyatro, kilise ve sütunları, Tetrapylon gibi ana yapılarda yaygın olarak kullanılmıştır. Yazir, Çamarası, Yeşilköy, gibi lokasyonlarda bulunan orta kristalli beyaz, ince kristal boyutuna sahip grimsi beyaz, grimsi beyaz şistozite yapılı, siyah ve grimsi siyah renkli kristalin mermer türü, doğaltaş antik ocakları antik kentte kullanılan diğer türleri oluşturmuştur. Antik kentin çevre jeolojisi içerisinde yer alan, çoğunlukla Jura-Kretase yaşlı olan, kristalin mermer formasyonları, zengin rezerv ve kaliteli olması ile Afrodisias antik kenti için önemli ve yeterli bir mermer kaynağı oluşturmuştur. Afrodisias antik kentinde yaygın olarak kullanılan doğaltaşlar 7 tür olarak belirlenmiştir. Bu doğaltaşların tamamı kristalin mermerlerdir. Tek köken gruba ait (metamorfik). tek cins (kristalin mermer cinsi), fakat iki farklı kristal boyutuna sahiptir. İnce ve orta kristallidir. Afrodisias antik kenti kristalin mermerinde, ince kristalli türlerin kristal boyutları 213-230 mikron, orta kristalli türlerin ise 318-575 mikron arasında, ortalama kristal boyutuna sahip oldukları belirlenmiştir. Afrodisias antik kentinde kullanılan doğaltaşlar çevre jeolojisinin etkisinde ve baskın otokton (Yakın çevre jeolojisi içerisinde bulunan formasyon ve mermer ocak kaynaklarının kullanılması) kullanımlıdır. Hierapolis antik kentinde kullanılan traverten cinsi mermerler, antik kent yakın çevresinde Karahayit, Pamukkale, Kocabaş lokasyonlarında, kuvarterner (traverten) yaşlı jeolojik formasyon içerisinde bulunan çok sayıda antik mermer ocaklarından, kireçtaşı cinsi mermerler ise Kaklık kuzeyinde yer alan Üst Miyosen yaşlı gölsel karbonatlar içerisindeki mermer ocaklarından sağlanmıştır. Bu ocakların koordinatlı yerleri antik kent çevre jeolojisi ocak lokasyon haritasında gösterilmiştir. Traverten jeolojik formasyonunun kent yerleşim alanına çok yakın olması, antik kentin nekropol, anıt mezarlar, tiyatro gibi yapılarında özellikle traverten cinsi ve türleri yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Hierapoliste kullanılan H1-H7 beyaz renkli orta kristal boyutuna sahip kristalin mermerler ise, antik kentin kuzey-batısında çok yakın mesafede bulunan, Üst Paleozoik yaşlı kristalin mermer litolojisi içerindeki mermer ocaklarından sağlanmıştır. H8 ise (orta kristal-grimsi beyaz renkli kristalin mermer türü) Afrodisias tip 5 (A6) orta kristal-grimsi beyaz

renkli tür ile kayatomik (Makro-mikro ve kimyasal) özellikleri açısından aynı karakterlidir. Hierapolis antik kenti; Kristalin mermer, traverten, kireçtaşı, breşik kireçtaşı, karbonat çimentolu kumtaşı türü doğaltaşlar yaygın olması nedeniyle, baskın olarak otokton taş kullanım rejimine sahiptir. Kentin çevre jeolojisi ve bu jeoloji içerisinde bulunan çok sayıdaki antik ve modern ocaklar bu anlamda uyumluluk göstermektedir. Hierapolis antik kentinde kullanılan doğaltaşlar 26 tür olarak belirlenmiştir. Bu mermer türleri, metamorfik köken olarak 8 tür, sedimenter köken olarak 17 tür olarak belirlenmiştir. Detay olarak bu mermer türlerinin 8 tanesi metamorfik köken ve mermer cinsi, 11 tanesi sedimenter köken ve traverten cinsi, 4 tanesi sedimenter köken ve kireçtaşı cinsi, 1 tanesi sedimenter köken ve breşik kireçtaşı cinsi, 1 tanesi de sedimenter köken kalkerli kumtaşı cinsi şeklinde belirlenmiştir. Hierapolis antik kentinde kullanılan beyaz, grimsi-beyaz renkli kristalin mermer türlerinin tamamı orta kristal boyutuna sahip olarak belirlenmiştir. Kristalin mermer türlerinin, kristal boyutları ortalama kristal boyutu olarak (OTB) 319- 619 mikron arasında saptanmıştır. Hierapolis antik kentinde kullanılan doğaltaşlar Afrodisias antik kentinde olduğu gibi çevre jeolojisinin etkisinde ve baskın otokton (Yakın çevre jeolojisi içerisinde bulunan formasyon ve mermer ocak kaynaklarının kullanılması) kullanımlıdır. Afrodisias, Hierapolis antik kentleri bulundukları yerleşme alanlarında depremler nedeni ile zaman zaman yıkımlarla karşı karşıya kalmışlardır. Jeotektonik açıdan, Afrodisias antik kentinin 10 km kuzeyinden geçen ve Hierapolis antik kentinin ise hemen güneyini kat eden, Büyük Menderes grabeni ve bu grabeni sınırlayan aktif faylar bu yıkımların nedenidir. Günümüzde yakın tarihlerde Menderes havzasında, Pamukkale, Honaz ve Serinhisar hattında çok sayıda depremler meydana gelmiştir. Çalışmada, doğaltaşların kimyasal analizleri için ICP-MS yönteminin yanında yeni bir yöntem olarak kapsamlı şekilde p-XRF (handheld portatif XRF/X-Ray Fluorescence Analyzers) kullanılmıştır. Bu yöntemle elde edilen kimyasal analiz sonuçları ICP-MS sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler ile kullanılabilir bir yöntem olduğu gösterilmiştir. Yüzde ve ppm olarak elementel değerler sağlayan bu yöntem, kısa zamanlı ve ekonomiktir. Özellikle antik kentlerde kullanılan doğaltaşlardan örnek numune almak bir problemdir. Bu yöntemle yerinde, yapılar ve sanatsal yapıtlar üzerinde ölçüm yapmak, mümkündür. Diğer taraftan daha pratik ve yapılara zarar vermekten uzak bir yöntemdir. Afrodisias ve Hierapolis antik kentlerinde ortak olarak kullanılan sadece bir kristalin mermer türü saptanmıştır. A6/H8 Beyazımsı-gri renkli kristalin mermer türüdür.

KAYNAKLAR

Antik Bölgeler Arkeoloji Dünyası, http://www.arkeololojidunyası.com/image/haritalar/karia.gif.

Barka, A.A., Reilinger, R., Şaroğlu, F. and Şengör, A.M.C. 1995. The Isparta Angle: Its importance in the Neotectonics of the Eastern Mediterranean Region. IESCA Procedings, 13-18.

Candan, O., 2011. Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan Temelinin Stratigrafisi ve Gondvana'nın Geç Neoproterozoyik/Kambriyen Evrimi İle İlişkisi, MTA Dergisi, 142, 25-68.

Çakmakoğlu, A., 2017. Afrodisias Çevresinin (Karıncalıdağ - Babadağ ve Tavas arası) Jeolojisi ve Antik Mermer Ocaklarının Tektono-Stratigrafik Yeri. IV.Uluslararası Taş Kongresi, 20-25 Mart, İzmir, 400-418.

Dora, O.Ö., Kun, N., Candan, O., 1992. Menderes Masifi'nin Metamorfik Tarihçesi ve Jeoteknik Konumu, Türkiye jeoloji Bülteni, 35, 1-4.

Dora, O.Ö., 2011. Menderes Masifindeki Jeolojik Araştırmaların Tarihsel Gelişimi, MTA Dergisi, 142,1-23.

Dunham, R. J., 1962, Classification of carbonate rock according to depositional texture. In: Classification of carbonate Rocks. (Ed. W. G. Ham). Mem. Amer. Assoc. Petr. Geol., 1, 108-121.

Flügel, E., 2004, Microfacies of Carbonate Rocks Analysis, İnterpretation and Application, 281p, Berlin, Heidelberg.

Folk, R. L., 1962, Spectral subdivision of limestone types. In: Classification of carbonate Rocks (Ed. W. E. Ham). Mem. Amer. Assoc. Petr. Geol., 1, 62-64.

Hacımustafaoğlu, R.,Yağmurlu F., (2017). Petrographic Properties of Crystalline Marbles of Afrodisias Ancient City, Classification of Crystal Sizes and Comparison of Grain Size of Reference Crystal Marble Samples. IV. Uluslararası Taş Kongresi, İzmir, 142-144.

Hacımustafaoğlu, R., (2019). Afrodisias, Hierapolis ve Sagalasos Antik Kentlerinde Kullanılan Doğal Taşların Kökeni ve Bunların Petro-Kimyasal ve Fiziko-Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Batı Anadolu, S.D.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.

Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), 2019. Yer Bilimleri Harita Görüntüleyicisi ve Çizim Editörü. Erişim Tarihi: 21.03.2018. http://www.yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx.

Passchier, C. W and Trouw, R.A., 1996, Microtectonics, Springer-Verlag, Berlin 1996.

Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. 1987. Geological evolotion and basin models during neotectonic episode in the Eastern Anatolia. Bull. Min. Res. Ezp., 107,74-94.

Şengör, A.M.C. 1987. Cross faults and differential stretching of hanging walls in region of low-angle normal faulting: examples from western Turkey, in:- Coward M.P., Dewey J.F. and Hancock P.L. eds. Continental extentional tectonics, Geological society special Publication, 28, 575-589 p.

TS EN 12407/Ocak, 2002. Doğal Taşlar Deney Metodları Petrografik İnceleme.

Bölüm 7

HARMONİ ARAMA ALGORİTMASI İÇİN EN UYGUN PARAMETRE SEÇİMİ

Mehmet BEŞKİRLİ[1]

1 Dr. Öğr. Üyesi, Şırnak Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, mehmetbes@sirnak.edu.tr

1. Giriş

Optimizasyon, var olan imkanları kullanarak mümkün olan en iyi sonucu bulma işlemi olarak tanımlanmaktadır (Beskirli, Ozdemir ve Temutas, 2020; Beskirli, Temutas ve Ozdemir, 2020). Optimizasyon hemen hemen her alanda kullanılan bir kavramdır. Bu sayede kazancı maksimum ve maliyeti minimum yapmayı amaçlar. Optimizasyon için çok farklı yöntemler bulunmaktadır. Ancak bu yöntemler belirli bir probleme her uygulandığında aynı sonuç elde ediliyorsa, buna deterministik yöntemler denilmektedir. Bu yöntem en iyi tek bir sonucu elde etmek için kullanılır. Ancak bu yöntem her zaman çözüm elde edemeyebilir veya çok maliyetli olabilir. Bunun için bu yöntem yerine deterministik olmayan yöntemler kullanılır. Deterministik olmayan yöntemler ise problemler için her zaman aynı sonucu veremeyebilirler. Yani, en iyi yakın veya kabul edilebilir bir sonucu kısa sürede verebilecek bir yöntemdir. Bu yönteme metasezgisel yöntemler denilmektedir. Metasezgisel yöntemler, en iyi çözümü garanti etmezler ancak olasılıkların çok fazla olduğu durumlarda daha az deneme ile kabul edilebilir en iyi çözümü bulmaktadır. Metasezgisel yöntemler için pek çok optimizasyon algoritması bulunmaktadır.

Bilime geçmişten günümüze ilham veren canlılar, yeni gelişmelerin ortaya çıkmasında büyük rol oynamaktadır (Beskirli ve Koc, 2015). Bilim adamları, doğadaki canlıların hareketlerinden esinlenen birçok algoritma geliştirdiler. Bu tür algoritmalara metasezgisel yöntemler de denir (Beşkirli, Koç, Haklı, ve Kodaz, 2018; Yang, 2010a). Sezgisel yöntemler doğadan ilham alan altı temelden oluşur. Bunlar: Biyoloji temelli, fizik temelli, sürü temelli, sosyal temelli, müzik temelli ve kimya temelli algoritmadır (Akyol ve Alataş, 2012). Genetik algoritma (GA) (Golberg, 1989), diferansiyel evrim (DE) algoritması (Storn ve Price, 1997), çoklu-evren optimizasyonu (MVO) (Mirjalili, Mirjalili, ve Hatamlou, 2016), harmoni arama (HS) (Geem, Kim, ve Loganathan, 2001) ve yapay alg algoritması (AAA) (Uymaz, 2015) biyolojik tabanlı algoritmalardır; yerçekimsel arama algoritması (GSA) (Rashedi, Nezamabadi-Pour, ve Saryazdi, 2009), su dalgası optimizasyonu (WWO) (Zheng, 2015) ve benzetimli tavlama (SA) (Kirkpatrick, Gelatt, ve Vecchi, 1983) fizik tabanlı algoritmalardır; parçaçık sürü optimizasyonu (PSO) (Kennedy ve Eberhart, 1995), karınca kolonisi algoritması (ACO) (Dorigo, Birattari, ve Stutzle, 2006), salp sürüsü algoritması (SSA) (Mirjalili ve ark., 2017), çekirge optimizasyon algoritması (GOA) (Saremi, Mirjalili, ve Lewis, 2017) ve yarasa algoritması (BA) (Yang, 2010b) sürü tabanlı algoritmalardır; tabu arama algoritması (TS) (Glover ve Laguna, 1997) sosyal tabanlı algoritmalardandır; harmoni arama algoritması (Yang, 2009) müzik tabanlı algoritmalardandır; yapay kimyasal reaksiyon algoritmaları (Alatas, 2011) are kimya tabanlı algoritma; ağaç tohum algoritması (TSA) (Kiran, 2015)

ise popülasyon tabanlı algoritmalardandır. Bu yöntemlere ek olarak, 2001 yılında Geem ve arkadaşları tarafından müzik tabanlı bir algoritma olarak önerilen harmoni arama (HS) algoritması, sürekli optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılmıştır.

Bu çalışmada harmoni arama algoritmasının parametreleri üzerinde ayarlamalar yapılmıştır. Daha sonra benchmark optimizasyon problemleri üzerinde parametre performansları test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tablolar halinde verilerek parametre optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın takip eden bölümlerinde, 2. bölümde, harmoni arama (HS) algoritması açıklamıştır. 3. bölümde deneysel çalışmalar verilmiştir. 4. bölümde ise sonuç verilmiştir.

2. Harmoni arama algoritması

Bir orkestradaki müzisyenlerin çaldıkları notalar ile armonik açıdan en iyi modelin elde edilmesi prensibine dayanan harmoni arama algoritması Greem ve ark. tarafından 2001 yılında geliştirilmiştir (Geem ve ark., 2001). HS algoritması beş adımdan oluşmaktadır (Lee ve Geem, 2004; Mahdavi, Fesanghary, Damangir, ve computation, 2007).

2.1.Parametrelerin belirlenmesi

Amaç fonksiyonu Denklem 1'deki gösterilmiştir.

$$minimum\{f(x)\}, x_i \in X_i, i = 1,2, \dots, N \tag{1}$$

Denklemde f(x) minimize edilecek amaç fonksiyonunu, x_i karar değişkeninin kümesi, N karar değişkenlerinin sayısı ve X_i her karar değişkeni için olası değer aralığıdır. HS algoritmasına ait parametre değişkenleri ise harmoni bellek büyüklüğü (HMS), harmoni belleği dikkate alma oranı (HMCR) ve ton ayarlama oranı (PAR) dır.

2.2. Harmoni belleğinin oluşturulması

Tanımlanan çözüm uzayı içerisinde tamamı rassal olarak üretilmiş karar değişkenleri ile harmoni belleği doldurularak Denklem 2'deki amaç fonksiyonları değerleri elde edilir ve harmoni matrisi (HM) oluşturulur.

$$HM = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \cdots & x_{N-1}^1 & x_N^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \cdots & x_{N-1}^2 & x_N^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \cdots & x_{N-1}^{HMS-1} & x_N^{HMS-1} \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \cdots & x_{N-1}^{HMS} & x_N^{HMS} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} f(x^1) \\ f(x^2) \\ \vdots \\ f(x^{HMS-1}) \\ f(x^{HMS}) \end{bmatrix} \tag{2}$$

2.3 Yeni harmoni oluşturulması

Yeni bir harmoni vektör, $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_N)$, üç kurala dayanarak oluşturulur: (1) bellek değerlendirmesi, (2) ton ayarı ve (3) rastgele seçim. Bu şekilde yeni bir harmoni oluşturulur.

Bellek değerlendirmesinde, yeni vektör için ilk karar değişkeni (x'_1) 'in değeri, belirtilen HM aralığı $(x'^1_1 - x'^{HMS}_1)$'deki değerlerden herhangi biri arasından seçilir. Diğer karar değişkenleri $(x'_2, x'_3, \dots, x'_N)$'ün değerleri aynı şekilde seçilir. 0 ile 1 arasında değişen HMCR, HM'de saklanan geçmiş değerlerden bir değer seçme oranıdır. $(1 - HMCR)$ ise olası değerler aralığından bir değeri rastgele seçme oranıdır. Denklem 3'te bellek değerlendirmesi verilmiştir.

$$x'_i \leftarrow \begin{cases} x'_i \in \{x^1_i, x^2_i, \dots, x^{HMS}_i\} & HMCR\ olasılıkla \\ x'_i \in X_i & (1 - HMCR)\ olasılıkla \end{cases} \quad (3)$$

Bellek dikkate alınarak elde edilen her bileşen, adım adım ayarlanıp ayarlanmayacağını belirlemek için ton ayar oranı (PAR) parametresi kullanılır ve bu işlem Denklem 4'te gösterilmiştir.

$$ton\ ayar\ kararı\ için\ x'_i \leftarrow \begin{cases} Yes & PAR\ olasılıkla \\ No & (1 - PAR)\ olasılıkla \end{cases} \quad (4)$$

Hiçbir şey yapmama durumunda (1-PAR) değeri kullanılır. Eğer ton ayar kararı için x'_i durumu EVET ise x'_i Denklem 5'teki gibi değiştirilir.

$$x'_i \leftarrow x'_i \mp rand(0,1) * bw \quad (5)$$

Denklemde bw rassal seçilmiş bant genişliğini, Rand(0,1) ise 0 ile 1 arasında üretilmiş rassal sayıyı göstermektedir.

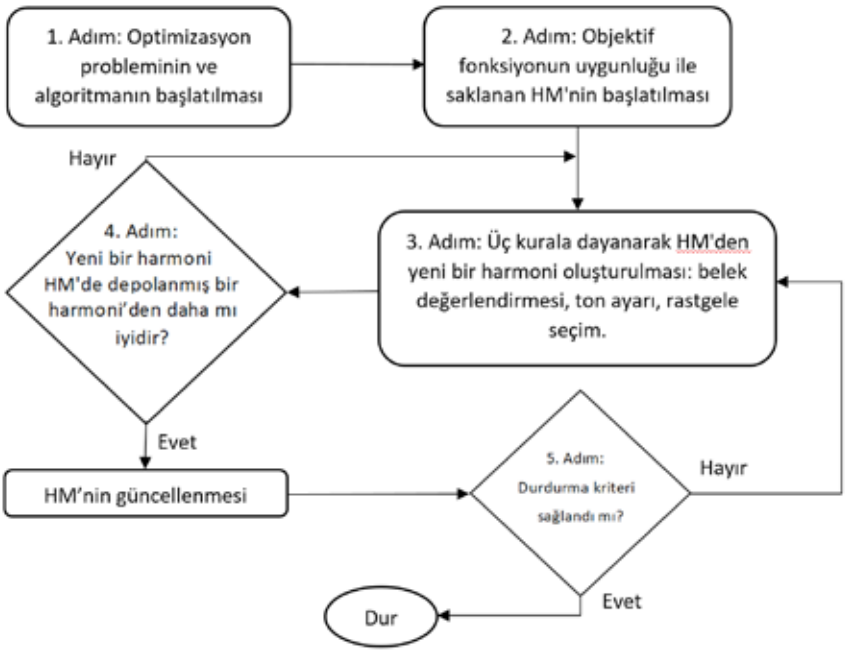
2.4. Harmoni belleğinin güncellenmesi

Amaç fonksiyonlarının değerleri bakımından yeni oluşturulan harmoni $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_N)$ ile bellekteki en kötü harmoni arasında karşılaştırma yapılır. Yeni oluşturulan harmoni vektörünün en kötü harmoniden daha iyi sonuç elde etmesi durumunda, en kötü harmoni vektörü bellekten çıkarılır ve yeni harmoni vektörü atanır.

2.5. Durdurma koşulunun sağlanması

Bu adımda verilen durdurma koşulunun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Koşulun sağlanmaması durumunda yeniden üretim, yeni harmoni oluşturulması, HMCR, PAR ve harmoni belleğinin güncellenmesi adımları tekrar edilir. Durma koşulu sağlandığında en iyi sonuç alınarak arama sonlandırılır.

Harmoni arama algoritmasının akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Harmoni arama algoritması akış şeması (Aghaie, Nazari, Zolfaghari, Minuchehr, ve Shirani, 2013)

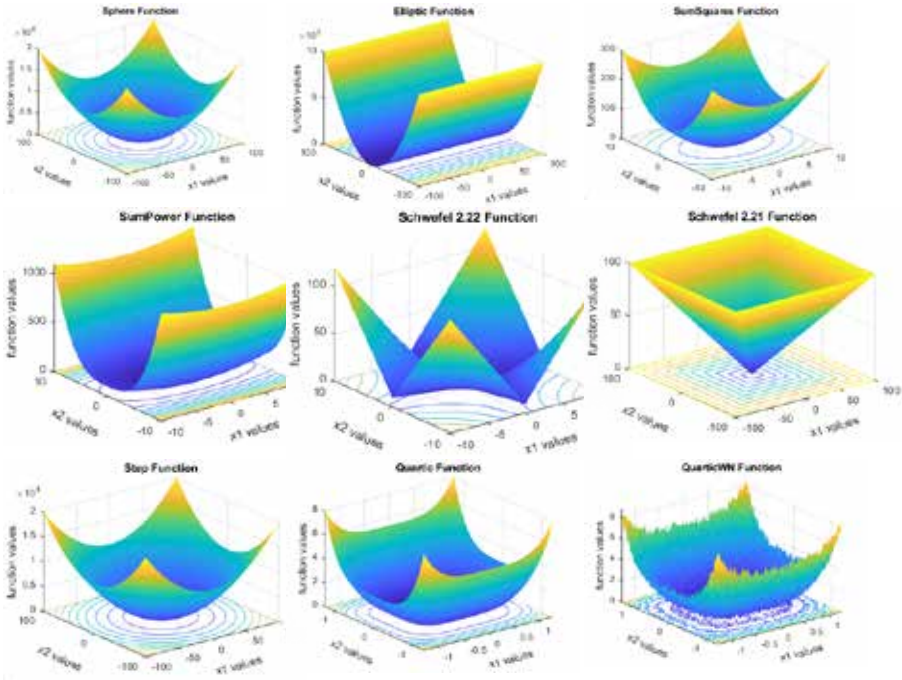
3. Deneysel çalışmalar

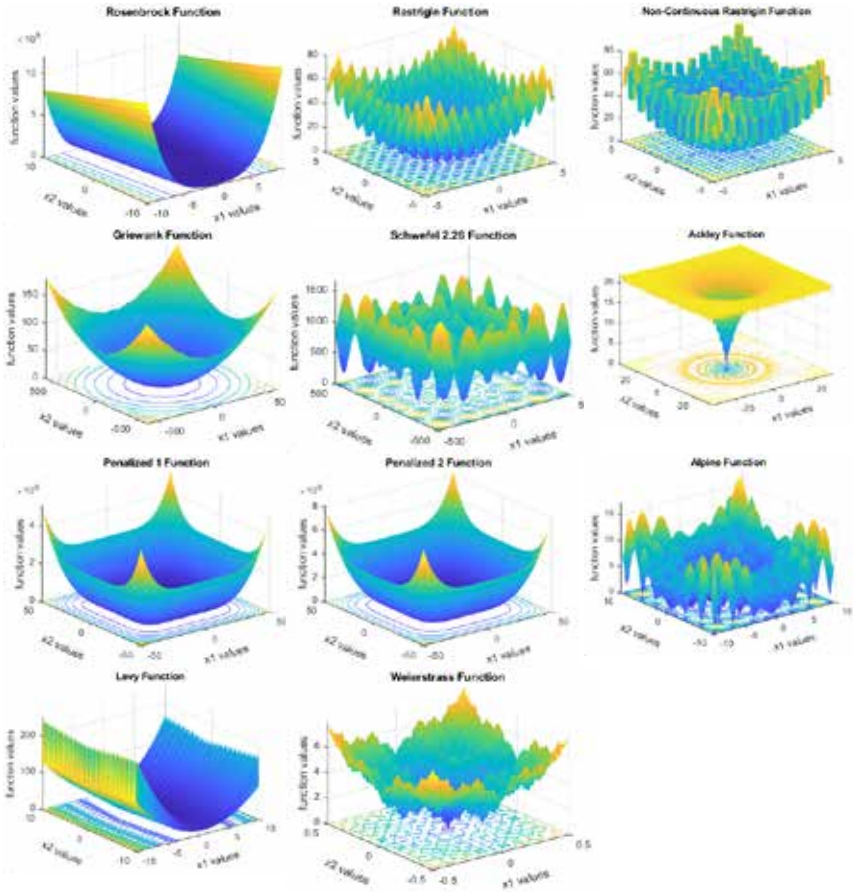
HS parametreleri üzerinde yapılan değişikliklerin benchmark test fonksiyonları üzerine etkisi bu bölümde gösterilmiştir. Benchmark test fonksiyonları Tablo 1'de verilmiştir. Benchmark test fonksiyonlarının yerel ve global grafikleri Şekil 1'de verilmiştir. Yapılan parametre optimizasyon sonucunda elde edilen çözüm değerleri her fonksiyon ve parametre değerleri için Tablo 2-4'te verilmiştir.

Tablo 1. Benchmark fonksyonları

Fn.	İsim	Arama uzayı	Fonksiyon
F1	Sphere	$[-100, 100]^D$	$f_1(x) = \sum_{i=1}^{N} x_i^2$
F2	Elliptic	$[-100, 100]^D$	$f_2(x) = \sum_{i=1}^{n} \left(10^6\right)^{(i-1)/(n-1)} x_i^2$
F3	SumSquares	$[-10, 10]^D$	$f_3(x) = \sum_{i=1}^{n} i x_i^2$
F4	SumPower	$[-10, 10]^D$	$f_4(x) = \sum_{i=1}^{n} \lvert x_i \rvert^{(i+1)}$
F5	Schwefel2.22	$[-10, 10]^D$	$f_5(x) = \sum_{i=1}^{n} \lvert x_i \rvert + \prod_{i=1}^{n} \lvert x_i \rvert$
F6	Schwefel2.21	$[-100, 100]^D$	$f_6(x) = max_i\{\lvert x_i \rvert, 1 \le i \le n\}$
F7	Step	$[-100, 100]^D$	$f_7(x) = \sum_{i=1}^{n} (\lfloor x_i + 0.5 \rfloor)^2$
F8	Quartic	$[-1.28, 1.28]^D$	$f_8(x) = \sum_{i=1}^{n} i x_i^4$
F9	QuarticWN	$[-1.28, 1.28]^D$	$f_9(x) = \sum_{i=1}^{n} i x_i^4 + random[0, 1)$

F10	Rosenbrock	$[-10,10]^D$	$f_{10}(x) = \sum_{i=1}^{N-1} [100\,(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2]$
F11	Rastrigin	$[-5.12,5.12]^D$	$f_{11}(x) = \sum_{i=1}^{N} x_i^2 - 10\ cos(2\pi x_i) + 10$
F12	Non-Continuous Rastrigin	$[-5.12,5.12]^D$	$f_{12}(x) = \sum_{i=1}^{n}[y_i^2 - 10cos(2\pi y_i) + 10]\quad y_i = \begin{cases} x_i, & \lvert x_i\rvert < \frac{1}{2} \\ \frac{round(2x_i)}{2}, & \lvert x_i\rvert \geq \frac{1}{2} \end{cases}$
F13	Griewank	$[-600,600]^D$	$f_{13}(x) = \sum_{i=1}^{N} \frac{x_i^2}{4000} - \prod_{i=1}^{N} \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1$
F14	Schwefel2.26	$[-500,500]^D$	$f_{14}(x) = 418.98 * n - \sum_{i=1}^{n} x_i\, sin(\sqrt{\lvert x_i\rvert})$
F15	Ackley	$[-32,32]^D$	$f_{15}(x) = 20 + e \pm 20 \exp\left(-0.2\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i^2}\right) - \exp(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\cos(2\pi x_i))$
F16	Penalized 1	$[-50,50]^D$	$f_{16}(x) = \frac{\pi}{n}\{10sin^2(\pi y_1) + \sum_{i=1}^{n-1}(y_i - 1)^2[1 + 10sin^2(\pi y_{i+1})] + (y_n - 1)^2\} + \sum_{i=1}^{n} u(x_i,10,100,4)$ $y_i = 1 + \frac{1}{4}(x_i + 1)\ u_{x_i,a,k,m} = \begin{cases} k(x_i - a)^m & x_i > a \\ 0 & -a \leq x_i \leq a \\ k(x_i - a)^m & x_i < a \end{cases}$
F17	Penalized 2	$[-50,50]^D$	$f_{17}(x) = \frac{1}{10}\{sin^2(\pi x_1) + \sum_{i=1}^{n-1}(x_i - 1)^2[1 + sin^2(3\pi x_{i+1})] + (x_n - 1)^2[1 + sin^2(2\pi x_{i+1})]\} + \sum_{i=1}^{n} u(x_i,5,100,4)$
F18	Alpine	$[-10,10]^D$	$f_{18}(x) = \sum_{i=1}^{n} \lvert x_i sin(x_i) + 0.1x_i\rvert$
F19	Levy	$[-10,10]^D$	$f_{19}(x) = \sum_{i=1}^{n-1}(x_i - 1)^2[1 + sin^2(3\pi x_{i+1})] + sin^2(3\pi x_1) + \lvert x_n - 1\rvert[1 + sin^2(3\pi x_n)]$
F20	Weierstrass	$[-0.5,0.5]^D$	$f_{20}(x) = \sum_{i=1}^{D}\left(\sum_{k=0}^{K_{max}}\left[a^k cos\left(2\pi b^k(x_i + 0.5)\right)\right]\right) - D\sum_{k=0}^{k_{max}}\left[a^k cos\left(2\pi b^k 0.5\right)\right]\ a = 0.5, b = 3, k_{max} = 20$





Şekil 2. Benchmark fonksiyonlarının grafikleri

Tablo 2'ye bakıldığında HMCR değeri 0.1 iken PAR değeri 0.1, 0.5 ve 0.9 olarak alınmıştır. Popülasyon olarak 20 ve 50 değerleri alınmıştır. Bu değerler ile elde edilen sonuca göre popülasyon değeri 20 iken PAR değeri 0.9 olduğu durumda HS algoritması daha iyi bir sonuç elde etmiştir. Ancak popülasyon değeri 50 olduğu duruda ise HS algoritması 0.1, 0.5 ve 0.9 PAR değerlerinde kararlı bir sonuç elde edilememiştir.

Tablo 2. HMCR=0.1 değeri için fonksiyonların analiz sonuçları

	PAR	0.1	0.5	0.9	0.1	0.5	0.9
	POP	20	20	20	50	50	50
F1	En iyi	8.56E+03	8.00E+03	**6.79E+03**	6.20E+04	**6.19E+04**	6.33E+04
	Ort.	1.18E+04	1.20E+04	1.24E+04	7.17E+04	6.97E+04	7.04E+04
	Std.	1.57E+03	1.79E+03	1.68E+03	3.64E+03	3.81E+03	3.46E+03
F2	En iyi	**1.80E+07**	2.45E+07	2.26E+07	6.85E+08	**6.39E+08**	6.58E+08
	Ort.	4.53E+07	4.79E+07	4.69E+07	9.25E+08	9.25E+08	9.56E+08

	Std.	1.21E+07	1.21E+07	1.02E+07	1.32E+08	1.42E+08	1.47E+08
F3	En iyi	7.78E+02	7.11E+02	**6.36E+02**	1.38E+04	1.39E+04	**1.34E+04**
	Ort.	1.02E+03	1.04E+03	9.99E+02	1.56E+04	1.55E+04	1.55E+04
	Std.	1.19E+02	1.25E+03	1.62E+02	7.62E+02	8.74E+02	9.02E+02
F4	En iyi	5.44E+06	2.39E+06	**3.21E+04**	8.31E+25	1.85E+26	**1.45E+26**
	Ort.	2.50E+07	4.16E+07	2.44E+07	3.81E+28	4.47E+28	4.40E+28
	Std.	1.66E+07	3.80E+07	2.61E+07	5.44E+28	7.47E+28	7.70E+28
F5	En iyi	2.62E+01	3.25E+01	**2.49E+01**	2.45E+02	**1.94E+02**	3.32E+02
	Ort.	3.82E+01	3.86E+01	3.74E+01	8.34E+05	3.73E+07	4.22E+08
	Std.	3.10E+00	3.01E+00	3.86E+00	1.60E+06	7.40E+07	6.25E+08
F6	En iyi	4.33E+01	4.21E+01	**4.05E+01**	**6.80E+01**	6.84E+01	7.19E+01
	Ort.	4.80E+01	4.74E+01	4.81E+01	7.43E+01	7.42E+01	7.48E+01
	Std.	2.15E+00	2.59E+00	3.24E+00	2.25E+00	1.93E+00	1.57E+00
F7	En iyi	9.30E+03	9.02E+03	**8.42E+03**	**5.82E+04**	6.40E+04	6.32E+04
	Ort.	1.23E+04	1.20E+04	1.23E+04	7.03E+04	7.04E+04	7.08E+04
	Std.	1.28E+03	1.52E+03	1.65E+03	4.06E+03	3.35E+03	3.60E+03
F8	En iyi	1.66E+00	2.00E+00	**1.29E+00**	1.07E+02	9.86E+01	**9.32E+01**
	Ort.	4.14E+00	4.13E+00	3.99E+00	1.33E+02	1.35E+02	1.36E+02
	Std.	1.20E+00	8.65E-01	1.23E+00	1.17E+01	1.69E+01	1.50E+01
F9	En iyi	2.75E+00	**2.18E+00**	2.76E+00	1.08E+02	9.77E+01	**1.05E+02**
	Ort.	4.69E+00	4.47E+00	4.51E+00	1.36E+02	1.36E+02	1.35E+02
	Std.	9.28E-01	1.11E+00	8.28E-01	1.17E+01	1.47E+01	1.12E+01
F10	En iyi	6.73E+04	6.97E+04	**5.72E+04**	1.58E+06	**1.40E+06**	1.85E+06
	Ort.	1.63E+05	1.71E+05	1.66E+05	2.32E+06	2.28E+06	2.33E+06
	Std.	3.95E+04	3.88E+04	4.40E+04	2.27E+05	2.81E+05	2.38E+05
F11	En iyi	1.29E+02	**1.20E+02**	1.35E+02	**5.28E+02**	5.33E+02	5.45E+02
	Ort.	1.51E+02	1.51E+02	1.48E+02	5.68E+02	5.69E+02	5.73E+02
	Std.	9.74E+00	8.89E+00	8.36E+00	1.55E+01	1.47E+01	1.23E+01
F12	En iyi	9.75E+01	9.67E+01	**9.26E+01**	**4.22E+02**	4.69E+02	4.48E+02
	Ort.	1.15E+02	1.14E+02	1.16E+02	5.03E+02	5.06E+02	5.03E+02
	Std.	7.11E+00	8.85E+00	9.61E+00	2.51E+01	1.59E+01	2.26E+01
F13	En iyi	**7.15E+01**	8.18E+01	8.57E+01	5.48E+02	**5.10E+02**	5.60E+02
	Ort.	1.10E+02	1.11E+02	1.17E+02	6.30E+02	6.29E+02	6.41E+02
	Std.	1.59E+01	1.33E+01	1.24E+01	3.81E+01	4.00E+01	3.31E+01
F14	En iyi	**3.25E+03**	3.28E+03	3.51E+03	1.34E+04	1.32E+04	**1.30E+04**
	Ort.	3.88E+03	3.90E+03	3.93E+03	1.40E+04	1.39E+04	1.40E+04
	Std.	1.95E+02	2.18E+02	1.85E+02	2.75E+02	2.82E+02	3.46E+02
F15	En iyi	1.66E+01	**1.61E+01**	1.66E+01	1.97E+01	1.97E+01	**1.96E+01**
	Ort.	1.75E+01	1.75E+01	1.76E+01	1.98E+01	1.99E+01	1.99E+01
	Std.	3.46E-01	5.84E-01	4.45E-01	9.98E-02	8.79E-02	1.14E-01
F16	En iyi	2.94E+06	**2.14E+06**	2.83E+06	2.22E+08	2.44E+08	**1.83E+08**
	Ort.	8.74E+06	8.52E+06	1.00E+07	3.18E+08	3.24E+08	3.22E+08
	Std.	3.55E+06	3.16E+06	4.01E+06	4.70E+07	4.43E+07	4.82E+07
F17	En iyi	2.03E+07	1.71E+07	**1.24E+07**	5.22E+08	5.57E+08	**5.07E+08**
	Ort.	4.07E+07	4.34E+07	3.60E+07	7.40E+08	7.40E+08	7.48E+08
	Std.	9.86E+06	1.12E+07	1.17E+07	8.75E+07	9.25E+07	9.97E+07
F18	En iyi	1.40E+01	**1.25E+01**	1.36E+01	6.84E+01	6.77E+01	**6.42E+01**

	Ort.	1.65E+01	1.67E+01	1.67E+01	7.40E+01	7.45E+01	7.29E+01
	Std.	1.27E+00	1.53E+00	1.16E+00	2.86E+00	2.79E+00	3.54E+00
F19	En iyi	9.17E+01	1.34E+02	**1.09E+02**	8.75E+02	9.17E+02	**8.42E+02**
	Ort.	1.66E+02	1.72E+02	1.60E+02	9.97E+02	1.01E+03	9.95E+02
	Std.	2.07E+01	1.87E+01	2.16E+01	5.82E+01	5.71E+01	4.92E+01
F20	En iyi	1.97E+01	1.82E+01	**1.78E+01**	6.69E+01	**6.42E+01**	6.59E+01
	Ort.	2.13E+01	2.09E+01	2.11E+01	6.98E+01	7.02E+01	7.04E+01
	Std.	6.57E-01	1.05E+00	1.12E+00	1.51E+00	1.98E+00	1.65E+00

Tablo 3'e bakıldığında HMCR değeri 0.5 iken PAR değeri 0.1, 0.5 ve 0.9 olarak alınmıştır. Popülasyon olarak 20 ve 50 değerleri alınmıştır. Bu değerler ile elde edilen sonuca göre popülasyon değeri 20 ve 50 iken bütün PAR değerinde herhangi bir kararlılık görülmemiştir.

Tablo 3. HMCR=0.5 değeri için fonksiyonların analiz sonuçları

	PAR	0.1	0.5	0.9	0.1	0.5	0.9
	POP	20	20	20	50	50	50
F1	En iyi	**1.11E+03**	1.43E+03	1.31E+03	**2.69E+04**	3.20E+04	2.97E+04
	Ort.	2.04E+03	2.11E+03	2.08E+03	3.52E+04	3.62E+04	3.65E+04
	Std.	2.68E+03	3.82E+02	3.37E+02	2.97E+03	2.12E+03	2.79E+03
F2	En iyi	**4.52E+05**	7.93E+05	1.13E+06	**8.89E+07**	1.11E+08	9.02E+07
	Ort.	7.58E+05	1.09E+06	1.63E+06	1.30E+08	1.40E+08	1.40E+08
	Std.	1.53E+05	2.12E+05	2.89E+05	1.80E+07	1.56E+07	2.05E+07
F3	En iyi	**6.95E+01**	8.73E+01	1.07E+02	5.90E+03	**5.68E+03**	6.59E+03
	Ort.	1.47E+02	1.57E+02	1.55E+02	7.27E+03	7.61E+03	7.47E+03
	Std.	3.64E+01	3.03E+01	2.54E+01	6.80E+02	6.24E+02	3.36E+02
F4	En iyi	3.61E+02	**3.35E+01**	7.18E+01	3.06E+20	1.29E+20	**4.78E+19**
	Ort.	1.76E+03	1.90E+03	1.73E+03	1.27E+22	1.02E+22	2.51E+22
	Std.	8.40E+02	1.14E+03	1.19E+03	1.32E+22	1.24E+22	4.79E+22
F5	En iyi	7.36E+00	**6.32E+00**	6.80E+00	8.18E+01	7.82E+01	**6.82E+01**
	Ort.	1.03E+01	1.02E+01	1.10E+01	8.86E+01	8.88E+01	8.78E+01
	Std.	1.29E+00	1.58E+00	1.44E+00	3.50E+00	3.60E+00	5.40E+00
F6	En iyi	2.48E+01	**2.34E+01**	2.45E+01	**5.95E+01**	5.91E+01	6.08E+01
	Ort.	2.79E+01	2.76E+01	2.83E+01	6.32E+01	6.35E+01	6.37E+01
	Std.	1.59E+00	1.46E+00	1.82E+00	1.68E+00	1.67E+00	1.45E+00
F7	En iyi	1.42E+03	1.59E+03	**1.28E+03**	2.93E+04	**2.73E+04**	2.79E+04
	Ort.	2.15E+03	2.20E+03	2.01E+03	3.55E+04	3.58E+04	3.62E+04
	Std.	3.44E+02	3.20E+02	3.78E+02	2.64E+03	3.32E+03	2.81E+03
F8	En iyi	1.02E-01	7.67E-02	**7.54E-02**	3.44E+01	3.55E+01	**2.96E+01**
	Ort.	2.32E-01	2.01E-01	2.19E-01	4.64E+01	4.33E+01	4.55E+01
	Std.	7.09E-02	6.20E-02	5.92E-02	5.75E+00	4.31E+00	5.76E+00
F9	En iyi	2.36E-01	2.22E-01	**1.93E-01**	3.13E+01	**2.94E+01**	3.88E+01
	Ort.	4.49E-01	4.31E-01	4.64E-01	4.64E+01	4.36E+01	4.59E+01
	Std.	9.90E-02	1.14E-01	9.75E-02	6.09E+00	7.09E+00	5.97E+00
F10	En iyi	**3.39E+03**	3.46E+03	3.82E+03	**5.90E+05**	6.25E+05	6.45E+05
	Ort.	9.53E+03	8.64E+03	9.56E+03	8.67E+05	8.25E+05	8.57E+05
	Std.	2.19E+03	2.53E+03	2.28E+03	1.00E+05	9.20E+04	9.83E+04
F11	En iyi	**2.99E+01**	4.12E+01	4.09E+01	**3.11E+02**	3.22E+02	3.46E+02
	Ort.	4.24E+01	5.19E+01	5.62E+01	3.58E+02	3.68E+02	3.75E+02
	Std.	5.51E+00	5.15E+00	5.69E+00	1.64E+01	1.64E+01	1.31E+01
F12	En iyi	**2.02E+01**	2.58E+01	2.53E+01	2.16E+02	2.60E+02	**2.48E+02**
	Ort.	2.95E+01	3.38E+01	3.52E+01	2.93E+02	2.99E+02	3.12E+02
	Std.	4.21E+00	4.06E+00	4.36E+00	1.89E+01	1.97E+01	2.08E+01
F13	En iyi	1.51E+01	1.49E+01	**1.39E+01**	2.76E+02	2.44E+02	**2.36E+02**

	Ort.	2.00E+01	2.04E+01	1.94E+01	3.27E+02	3.15E+02	3.24E+02
	Std.	3.31E+00	2.93E+00	3.20E+00	2.03E+01	2.91E+01	3.08E+01
F14	En iyi	**5.61E+02**	6.28E+02	6.51E+02	8.12E+03	8.27E+03	**7.08E+03**
	Ort.	8.72E+02	9.44E+02	9.68E+02	8.67E+03	8.79E+03	8.75E+03
	Std.	1.61E+02	1.20E+02	1.49E+02	3.07E+02	3.12E+02	4.95E+02
F15	En iyi	9.61E+00	9.92E+00	**8.93E+00**	1.73E+01	**1.70E+01**	1.77E+01
	Ort.	1.10E+01	1.14E+01	1.14E+01	1.80E+01	1.80E+01	1.82E+01
	Std.	6.36E-01	5.47E-01	8.60E-01	2.33E-01	3.00E-01	2.39E-01
F16	En iyi	5.75E+02	9.92E+01	**5.22E+01**	5.28E+07	**4.41E+07**	5.20E+07
	Ort.	1.67E+04	1.18E+04	1.21E+04	8.03E+07	8.06E+07	7.90E+07
	Std.	1.70E+04	1.02E+04	1.52E+04	1.65E+07	1.63E+07	1.34E+07
F17	En iyi	**8.28E+04**	1.61E+05	8.85E+04	1.62E+08	**1.35E+08**	1.60E+08
	Ort.	5.82E+05	6.58E+05	6.09E+05	2.21E+08	2.17E+08	2.07E+08
	Std.	3.11E+05	3.42E+05	2.75E+05	3.19E+07	3.76E+07	3.46E+07
F18	En iyi	**2.62E+00**	2.87E+00	3.09E+00	**3.98E+01**	4.10E+01	3.99E+01
	Ort.	4.33E+00	4.57E+00	5.08E+00	4.50E+01	4.55E+01	4.62E+01
	Std.	6.13E-01	6.48E-01	8.02E-01	2.26E+00	1.58E+00	2.40E+00
F19	En iyi	2.06E+01	2.04E+01	**1.51E+01**	**4.25E+02**	4.45E+02	4.50E+02
	Ort.	2.76E+01	2.89E+01	2.86E+01	5.06E+02	5.21E+02	5.24E+02
	Std.	3.49E+00	4.80E+00	4.46E+00	3.78E+01	3.65E+01	3.46E+01
F20	En iyi	**5.61E+00**	7.24E+00	6.12E+00	4.30E+01	4.33E+01	**4.25E+01**
	Ort.	7.10E+00	7.97E+00	8.28E+00	4.79E+01	4.88E+01	4.87E+01
	Std.	7.32E-01	4.87E-01	8.17E-01	1.63E+00	1.77E+00	1.84E+00

Tablo 4'ye bakıldığında HMCR değeri 0.9 iken PAR değeri 0.1, 0.5 ve 0.9 olarak alınmıştır. Popülasyon olarak 20 ve 50 değerleri alınmıştır. Bu değerler ile elde edilen sonuca göre popülasyon değeri 20 iken PAR değeri 0.1 olduğu durumda HS algoritması daha iyi bir sonuç elde etmiştir. Ayrıca popülasyon değeri 50 olduğu duruda ise HS algoritması 0.1 PAR değerlerinde daha iyi bir sonuç elde etmiştir. HMCR 0.9 ve PAR 0.1 olduğu durumda, problemin popülasyon sayısı 20 ve 50 olduğu durumda HS algoritması daha kararlı bir sonuç elde ettiği söylenebilir.

Tablo 4. HMCR=0.9 değeri için fonksiyonların analiz sonuçları

	PAR	0.1	0.5	0.9	0.1	0.5	0.9
	POP	20	20	20	50	50	50
F1	En iyi	**1.60E-04**	1.40E+00	2.80E+00	**7.58E+00**	3.83E+01	7.90E+01
	Ort.	3.27E-04	1.96E+00	6.77E+00	9.55E+00	5.27E+01	9.72E+01
	Std.	1.36E-04	3.10E-01	1.14E+00	9.37E-01	5.12E+00	8.01E+00
F2	En iyi	**7.01E-01**	1.50E+03	5.16E+04	**1.59E+04**	5.11E+05	1.58E+06
	Ort.	5.69E+00	3.50E+03	8.75E+04	2.38E+04	6.37E+05	1.95E+06
	Std.	4.62E+00	1.02E+03	1.42E+04	3.67E+03	7.76E+04	1.88E+05
F3	En iyi	**1.08E-05**	1.09E-01	4.96E-01	**1.50E+00**	8.76E+00	1.70E+01
	Ort.	3.47E-05	1.65E-01	6.48E-01	2.22E+00	1.19E+01	2.22E+01
	Std.	1.43E-05	3.14E-02	7.81E-02	2.74E-01	1.24E+00	2.38E+00
F4	En iyi	**3.20E-12**	1.28E-09	1.34E-06	**6.45E-07**	7.30E-05	2.57E-04
	Ort.	3.68E-09	2.11E-08	5.31E-06	1.54E-05	4.12E-04	2.14E-03
	Std.	5.37E-09	2.94E-08	2.06E-06	2.32E-05	2.86E-04	1.23E-03
F5	En iyi	**3.50E-03**	2.25E-01	7.76E-01	**8.71E-01**	3.13E+00	4.55E+00
	Ort.	5.60E-03	3.77E-01	9.34E-01	1.03E+00	3.68E+00	5.12E+00
	Std.	1.13E-03	4.25E-02	6.63E-02	9.88E-02	1.78E-01	2.52E-01
F6	En iyi	**3.46E-02**	6.53E-01	8.51E-01	**6.22E+00**	6.38E+00	6.83E+00
	Ort.	5.05E-02	7.68E-01	1.16E+00	7.56E+00	8.06E+00	8.86E+00
	Std.	9.02E-03	4.88E-02	1.00E-01	7.05E-01	6.64E-01	7.61E-01
F7	En iyi	**0.00E+00**	0.00E+00	4.00E+00	**5.00E+00**	4.30E+01	7.50E+01

	Ort.	0.00E+00	7.00E-01	7.17E+00	8.80E+00	5.39E+01	9.81E+01
	Std.	0.00E+00	5.86E-01	1.16E+00	1.74E+00	4.56E+00	8.19E+00
F8	En iyi	6.47E-04	**5.92E-08**	1.09E-06	**8.27E-06**	9.25E-05	3.07E-04
	Ort.	2.71E-03	1.63E-07	1.61E-06	1.78E-05	1.65E-04	4.73E-04
	Std.	1.11E-03	4.66E-08	3.21E-07	5.61E-06	3.55E-05	8.96E-05
F9	En iyi	1.18E-01	9.07E-04	**5.87E-04**	4.59E-02	4.65E-02	**4.19E-02**
	Ort.	3.22E+01	1.76E-03	1.77E-03	7.56E-02	6.52E-02	6.07E-02
	Std.	3.28E+01	5.11E-04	6.86E-04	1.54E-02	1.02E-02	1.03E-02
F10	En iyi	**1.18E-01**	1.17E+01	2.32E+01	**1.25E+02**	2.01E+02	2.79E+02
	Ort.	3.22E+01	4.60E+01	6.82E+01	2.28E+02	3.31E+02	3.83E+02
	Std.	3.28E+01	3.09E+01	2.84E+01	5.52E+01	6.09E+01	7.09E+01
F11	En iyi	**7.94E-05**	6.88E-01	2.84E+00	**8.59E+00**	2.78E+01	4.59E+01
	Ort.	1.82E-04	1.43E+00	5.27E+00	1.31E+01	3.76E+01	5.77E+01
	Std.	7.52E-05	5.81E-01	1.38E+00	2.59E+00	3.99E+00	3.66E+00
F12	En iyi	**3.59E-05**	7.17E-01	4.85E+00	**9.91E+00**	3.11E+01	3.96E+01
	Ort.	1.75E-04	1.80E+00	6.79E+00	1.24E+01	3.37E+01	4.22E+01
	Std.	6.70E-05	6.74E-01	8.16E-01	1.65E+00	1.27E+00	1.20E+00
F13	En iyi	**6.24E-04**	8.13E-01	1.03E+00	**1.07E+00**	1.35E+00	1.49E+00
	Ort.	1.31E-02	9.19E-01	1.06E+00	1.09E+00	1.46E+00	1.85E+00
	Std.	1.15E-02	4.91E-02	9.22E-03	1.11E-02	5.18E-02	9.77E-02
F14	En iyi	**7.52E-04**	3.52E+00	1.53E+01	**1.55E+01**	1.17E+02	2.00E+02
	Ort.	1.36E-03	6.20E+00	2.22E+01	2.31E+01	1.50E+02	2.80E+02
	Std.	4.50E-04	9.19E-01	2.90E+00	3.81E+00	1.47E+01	2.87E+01
F15	En iyi	**2.84E-03**	4.17E-01	1.37E+00	**7.35E-01**	2.58E+00	3.25E+00
	Ort.	5.21E-03	7.03E-01	1.76E+00	1.08E+00	2.78E+00	3.39E+00
	Std.	1.13E-03	1.06E-01	1.46E-01	1.91E-01	9.35E-02	8.29E-02
F16	En iyi	**3.18E-07**	4.43E-03	1.76E-02	**2.17E-02**	1.42E-01	3.27E-01
	Ort.	3.42E-06	6.31E-03	3.19E-02	9.47E-02	2.78E-01	4.50E-01
	Std.	4.49E-06	1.02E-03	6.32E-03	9.12E-02	9.08E-02	7.94E-02
F17	En iyi	**7.05E-06**	5.57E-02	1.73E-01	**4.35E-01**	2.21E+00	3.78E+00
	Ort.	3.86E-05	7.72E-02	2.83E-01	6.75E-01	2.64E+00	4.72E+00
	Std.	3.89E-05	1.23E-02	4.39E-02	1.18E-01	2.45E-01	4.67E-01
F18	En iyi	**2.07E-04**	1.81E-02	3.43E-02	**9.76E-02**	3.39E-01	6.65E-01
	Ort.	4.40E-04	2.39E-02	5.61E-02	2.17E-01	5.44E-01	8.53E-01
	Std.	2.18E-04	3.08E-03	8.87E-03	7.47E-02	1.55E-01	1.01E-01
F19	En iyi	**1.03E-05**	1.92E-02	9.79E-02	**1.03E-01**	7.13E-01	1.63E+00
	Ort.	2.01E-04	2.70E-02	1.39E-01	1.92E-01	9.63E-01	1.93E+00
	Std.	1.68E-04	4.09E-03	2.01E-02	6.01E-02	1.05E-01	1.13E-01
F20	En iyi	**7.10E-02**	9.87E-01	1.91E+00	**2.51E+00**	6.92E+00	8.50E+00
	Ort.	9.05E-02	1.11E+00	2.32E+00	2.78E+00	7.62E+00	9.72E+00
	Std.	1.18E-02	6.71E-02	1.24E-01	1.72E-01	3.04E-01	3.32E-01

5.Sonuç

Bu çalışmada HS algoritması üzerinde bir parametre optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. HS algoritmasında HMCR ve PAR olmak üzere iki parametre üzerinde optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. HMCR ve PAR parametrelerinin her ikisi içinde sırasıyla 0.1, 0.5 ve 0.9 değerleri alınmıştır. Problem boyutu ise 20 ve 50 olarak belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak HS algoritması 20 farklı benchmark fonksiyonuna uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında HMCR değeri 0.9 olduğunda ve PAR değeri 0.1 olduğu durumlarda HS algoritması daha kararlı bir sonuç elde ederek daha iyi bir sonuç elde etmiştir. Bu parametre değerlerinde HS daha iyi bir performans sergilediği görülmüştür.

KAYNAKÇA

Aghaie, M., Nazari, T., Zolfaghari, A., Minuchehr, A., ve Shirani, A. (2013). Investigation of PWR core optimization using harmony search algorithms. *Annals of Nuclear Energy, 57*, 1-15. doi:10.1016/j.anucene.2013.01.046

Akyol, S., ve Alataş, B. (2012). Güncel Sürü Zekası Optamizasyon Algoritmaları. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 1*(1).

Alatas, B. (2011). ACROA: artificial chemical reaction optimization algorithm for global optimization. *Expert Systems with Applications, 38*(10), 13170-13180.

Beşkirli, A., Ozdemir, D. ve Temurtas, H. (2020). A comparison of modified tree–seed algorithm for high-dimensional numerical functions. *Neural Computing and Applications, 32, 6877-6911.*

Beşkirli, M., Temurtas, H., ve Ozdemir, D. (2020). Determination with Linear Form of Turkey's Energy Demand Forecasting by the Tree Seed Algorithm and the Modified Tree Seed Algorithm. *Advances in Electrical and Computer Engineering, 20(2), 27-34.*

Beşkirli, M., ve Koc, I. (2015, 8-10 Dec. 2015). *A Comparative Study of Improved Bat Algorithm and Bat Algorithm on Numerical Benchmarks.* Paper presented at the 2015 4th International Conference on Advanced Computer Science Applications and Technologies (ACSAT).

Beşkirli, M., Koç, İ., Haklı, H., ve Kodaz, H. (2018). A new optimization algorithm for solving wind turbine placement problem: Binary artificial algae algorithm. *Renewable Energy, 121*, 301-308.

Dorigo, M., Birattari, M., ve Stutzle, T. (2006). Ant colony optimization. *IEEE Computational Intelligence Magazine, 1*(4), 28-39. doi:10.1109/MCI.2006.329691

Geem, Z. W., Kim, J. H., ve Loganathan, G. V. (2001). A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *simulation, 76*(2), 60-68.

Glover, F., ve Laguna, M. (1997). Tabu search, 1997. *Cited on, 83*.

Golberg, D. E. (1989). Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. *Addion wesley, 1989*, 102.

Kennedy, J., ve Eberhart, R. (1995, Nov/Dec 1995). *Particle swarm optimization.* Paper presented at the Neural Networks, 1995. Proceedings., IEEE International Conference on.

Kiran, M. S. (2015). TSA: Tree-seed algorithm for continuous optimization. *Expert Systems with Applications, 42*(19), 6686-6698.

Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., ve Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *science, 220*(4598), 671-680.

Lee, K. S., ve Geem, Z. W. (2004). A new structural optimization method based on the harmony search algorithm. *Computers ve Structures, 82*(9-10), 781-798. doi:10.1016/j.compstruc.2004.01.002

Mahdavi, M., Fesanghary, M., Damangir, E. J. A. m., ve computation. (2007). An improved harmony search algorithm for solving optimization problems. *188*(2), 1567-1579.

Mirjalili, S., Gandomi, A. H., Mirjalili, S. Z., Saremi, S., Faris, H., ve Mirjalili, S. M. (2017). Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems. *Advances in Engineering Software, 114*, 163-191.

Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., ve Hatamlou, A. (2016). Multi-verse optimizer: a nature-inspired algorithm for global optimization. *Neural Computing and Applications, 27*(2), 495-513.

Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H., ve Saryazdi, S. (2009). GSA: a gravitational search algorithm. *Information Sciences, 179*(13), 2232-2248.

Saremi, S., Mirjalili, S., ve Lewis, A. (2017). Grasshopper Optimisation Algorithm: Theory and application. *Advances in Engineering Software, 105*, 30-47.

Storn, R., ve Price, K. (1997). Differential evolution–a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of global optimization, 11*(4), 341-359.

Uymaz, S. A. (2015). *Yeni Bir Biyolojik İlhamlı Metasezgisel Optimizasyon Metodu: Yapay Alg Algoritması/A Novel Bio-Inspired Metaheuristic Optimization Method: Artificial Algae Algorithm.* (Ph.D), Selçuk University,

Yang, X.-S. (2009). Harmony search as a metaheuristic algorithm. In *Music-inspired harmony search algorithm* (pp. 1-14): Springer.

Yang, X.-S. (2010a). *Nature-inspired metaheuristic algorithms*: Luniver press.

Yang, X.-S. (2010b). A new metaheuristic bat-inspired algorithm. In *Nature inspired cooperative strategies for optimization (NICSO 2010)* (pp. 65-74): Springer.

Zheng, Y.-J. (2015). Water wave optimization: a new nature-inspired metaheuristic. *Computers ve Operations Research, 55*, 1-11.

Bölüm 8

KOLOSTRUM: FARMAKOLOJİK, NUTRASÖTİKAL VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ [1]

Merve KARLIDAĞ [2]
Binnur KAPTAN [3*]

1 Bu makale Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Merve Karlıdağ'ın aynı başlıklı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir

2 Gıda Mühendisi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, mervekarlidag@hotmail.com

3 Dr. Öğr. Üyesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, bkaptan@nku.edu.tr

* Sorumlu yazar: bkaptan@nku.edu.tr

1. Giriş

Yenidoğan memelilerin ilk gıdası olan kolostrum, gebeliğin sonlarında maternal meme bezinin ürettiği ve doğumdan sonra 72 saat boyunca salgılanan süttür. Erken süt olarak da bilinen ve doğanın bir armağanı olan kolostrumun temel biyolojik işlevi, yaşamın en savunmasız evresindeki yenidoğanın patojenlere karşı bağışıklık kazanmasını sağlamak, büyüme ve gelişimini desteklemektir (Tripathi ve Vashishtha, 2006). Bileşimi ve fizikokimyasal özellikleri oldukça dinamik ve değişken olan kolostrumda yüksek miktarda protein, immünoglobulinler, mineraller, vitaminler, antimikrobiyal peptitler (laktoperoksidaz, laktoferrin ve lizozim) ve büyüme faktörleri içermesi nedeniyle laktasyon sütünden ayrılmaktadır (Silva vd., 2019). Kolostrumun önemli bileşenleri bağışıklık faktörleri ve büyüme faktörleri olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Kolostrum özellikle immünoglobulinler ve laktoferrin, büyüme ve antimikrobiyal faktörler bakımından zengindir. Kolostrumda bulunan immünoglobulinler, bakteriyel ve viral antijenlerle şelatlı bir kompleks oluşturarak antimikrobiyal aktiviteyi başlatır. İnsan kolostrumundan 100 kat ile 1000 kat daha güçlü olan sığır kolostrumu bileşenleri, pasif bağışıklıklarını oluşturmak için yeterli anne kolostrumuna sahip olmayan, yenidoğan bebekler için güvenilir bir tercih durumundadır (Buttar vd., 2017).

Fonksiyonel gıdalar ve nutrasötiklerin geliştirilmesi üzerine yapılan araştırmalarda sığır kolostrumunun yetişkin nüfusa sağlık yararları sağlama yeteneğine odaklanılmıştır. Yenidoğan beslenmesindeki rolünün yanı sıra araştırmacılar kolostrumun, alzheimer ve diğer nörodejeneratif hastalıklar (Lemieszewska vd., 2018), mikrobiyal enfeksiyon ve diyare (Civra vd., 2019), otoimmün hastalıklar (Hung vd., 2018) ve gastrointestinal bozukluklar (Filipescu vd., 2018) gibi hastalık koşullarına karşı etkili bir nutrasötik olabileceğini göstermektedir. Sığır kolostrumu preparatları güvenli, etkili, doğal ve kolay biyoyararlanımlı, hem yenidoğanlar hem de yetişkinler için hastalık önleme ve tedavi seçeneği sunabilir ve yenilikçi fonksiyonel gıdaların ve nutrasötiklerin formülasyonunda doğal bir bileşen olarak kullanılma potansiyeli yüksektir (Rathe vd., 2014). Kolostrum biyoaktif bileşenlerinin yakın gelecekte ilaçların tamamen yerini alıp almayacağı belirsizdir ancak "gıda ilaçları" veya nutrasötiklerin artan takdiri, sentetik farmakolojik ilaçların yerine ikame bir rol oynamaktan ziyade tamamlayıcı bir rol oynamaktadır.

2. Kolostrumun Bileşimi

Kolostrum bileşimi ve kalitesi; laktasyon sayısı (Romero vd., 2013), mastitis (Maunsell vd., 1998), mevsim (Ruiz vd., 2015), beslenme durumu ve cins (Zarcula vd., 2010) gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Türlere göre bileşenleri Tablo 1'de verilen kolostrum, doğal kaynaklı antikorların (immünoglobulinler), antimikrobiyal proteinlerin (lizozim, laktoferrin

ve laktoperoksidaz) ve kabul görmüş birçok fonksiyonu bulunan büyüme faktörleri gibi biyoaktif bileşenlerin zengin bir kaynağıdır ve miktarı buzağılamadan sonraki ilk salgılarda en yüksektir daha sonra zamanla hızla azalır (Park, 2009).

Tablo 1: *Türlere Göre Kolostrum ve Süt Bileşenleri*

Tür	Kolostrum (g/100 g)				Süt (g/100 g)				
	Kuru Madde	Protein	Yağ	Laktoz	Kuru Madde	Protein	Yağ	Laktoz	Yazar
İnek	27.64	14.92	6.70	2.49	11.91	3.31	4.09	3.94	Pecka-Kiełb vd., 2016
Keçi	21.32	10.24	7.73	1.93	12.24	3.35	3.67	4.23	Mayer ve Fiechter, 2012
Koyun	24.58	12.44	8.21	3.23	15.35	5.66	3.51	5.45	Kowalewska-Łuczak vd., 2017
Deve	12.88	4.95	3.10	4.40	11.08	2.4	3.2	4.60	Omer ve Eltinay, 2008

2.1. Kolostrumun Büyüme Faktörleri

Büyüme faktörleri, hücre sağ kalımı, çoğalması, göçü ve farklılaşması dâhil morfogenetik davranışları modüle etme kabiliyetine sahip olan ve hücre davranışını yönlendirerek, doku onarımı ve yenilenmesine öncülük eden önemli terapötik proteinlerdir (Mitchell vd., 2016). Epidermal, insülin benzeri, dönüştürücü, fibroblast ve trombosit kaynaklı büyüme faktörü sığır kolostrumu ve sütünde bulunan ana büyüme faktörleridir (Tablo 2). Büyüme faktörlerinin kolostrumdaki konsantrasyonları, doğumdan sonraki ilk saatlerde en yüksek seviyelerdedir ve laktasyon süte geçişte önemli ölçüde azalır (Pouliot ve Gauthier, 2006). Süt ve kolostrumda bulunan büyüme faktörlerinden elde edilen ekstraktlar, yaraların iyileştirilmesinde ve iltihaplı bağırsak rahatsızlıklarının tedavisinde iyileştirici preparatlar olarak kullanılmıştır (da Silva vd., 2015).

Tablo 2: *Bazı Büyüme Faktörlerinin Sığır Kolostrumu ve Sütündeki Konsantrasyonları (Pouliot ve Gauthier, 2006)*

Büyüme Faktörü	Kolostrum (ng/ml)	Süt (ng/ml)
Epidermal Büyüme Faktörü	4-325	1-150
İnsülin Benzeri Büyüme Faktörü-I	100-2000	5-100
İnsülin Benzeri Büyüme Faktörü-II	150-600	5-100
Dönüştürücü Büyüme Faktörü-β1	10-50	<5
Dönüştürücü Büyüme Faktörü-β2	150-1150	10-70

2. 2. Kolostrumun İmmün Faktörleri

İmmün bileşenler; bakteri, virüs, protozoa, mantar, ve diğer hastalıklara sebep olan mikroorganizmaların etkilerini azaltarak hastalıklardan koruma görevinde bulunarak, vücuda yardımcı maddelerdir. Yenidoğan için tam bir diyet sağlayan kolostrum, hem edinilmiş hem de doğal bağışıklık sistemlerine katkıda bulunan immün bileşenleri yüksek konsantrasyonlarda içermektedir (Stelwagen vd., 2009).

2. 3. İmmünoglobulinler

Anneden yavrulara pasif bağışıklık aktarması durumunda ortaya çıkan immünolojik bağın merkezinde yer alan ve özel reseptörler yardımıyla meme sekresyonlarına taşınan immünoglobulinlerin, kolostrumdaki konsantrasyonu laktasyon süte göre çok daha yüksektir. IgG ruminant sütte bulunan temel immünoglobulin sınıfıdır, IgA ise insan sütündeki ana immünoglobulindir (Hurley ve Theil, 2011). Kolostrum immünoglobulinleri güçlü bir immünmodülatördür ve enfeksiyonlara karşı güçlü bir bağışıklık tepkisini teşvik ederek hem mukozal hem de sistemik seviyelerde bağışıklık tepkisini etkilemekte, bağırsak mikrobiyota çeşitliliğini ve stabilitesini arttırmaktadır (Wong vd., 2014).

2. 4. Prolince Zengin Polipeptitler

Düşük molekül ağırlıklı prolince zengin polipeptitler ilk olarak 1974'te IgG saflaştırılması sırasında koyun kolostrumundan izole edilmiştir (Janusz vd., 1974). Daha sonra sığır kolostrumundan izole edilip kolostrinin adı verilerek 14 kDa civarında bir moleküler kütleye sahip olduğu gösterilmiştir (Sokołowska vd., 2008). Prolince zengin polipeptitler (PRP) aktif T hücrelerine dönüşümünü teşvik eder. PRP, yüzey belirteçlerini ve hücrelerin fonksiyonlarını değiştirerek immünoregülatörler olarak işlev görür. Prolince zengin polipeptitler öğrenme, hafıza ve bilişsel işleyişi etkilemektedir ve alzheimer hastalığının gelişmesini önleyebilen umut verici ve toksik olmayan doğal bir preparattır. PRP ayrıca sitokin indüksiyonunda düzenleyici aktivite göstermekte ve reaktif oksijen türleri ve nitrik asidin aşırı üretimini inhibe etmektedir (Janusz ve Zablocka, 2010).

2. 5. Laktoferrin

İlk olarak Sørensen ve Sørensen (1940) tarafından sığır sütünden izole edilen laktoferrin, kolostrum çok işlevli demir bağlayıcı bir glikoproteindir. Laktoferrin konsantrasyonu türler arasında farklılık göstermekle beraber laktasyon sütüne göre kolostrumda yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır (Hiss vd., 2008). Antiviral (Berlutti vd., 2011), antimikrobiyal (Embleton vd., 2013), antifungal, antiparaziter (Leboffe vd., 2009), immünmodülatör (Siqueiros-Cendón vd., 2014) ve antikanser (Tsuda vd., 2010) gibi çeşitli fizyolojik fonksiyonları bulunan laktoferrinin; kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve obezite gibi metabolik bozuklukların tedavisindeki rolü de tanımlanmıştır (Mayeur vd., 2016).

2. 6. Sitokinler

İmmün sistemin fonksiyonlarını düzenleyen sitokinler, immün sistemin spesifik hücreleri tarafından salgılanan ve hücresel iletişim için gerekli olan peptit veya glikoprotein yapısında maddelerdir (Garofalo, 2010). Yüksek sitokin konsantrasyonları içeren sığır kolostrumu ve kolostral sitokinler

yenidoğanlarda bağışıklık sisteminin olgunlaşmasının teşvikinde önemli bir etkendir. Yenidoğanın gelişim ve immünolojik fonksiyonlarını etkileyen çok sayıda sitokinin (IL-1β, IL-6, TNF-α, INF-γ ve IL-1ra) sığır kolostrumundaki konsantrasyonunun, olgun sütteki konsantrasyonundan yüksek olduğu bildirilmiştir (Hagiwara vd., 2000). Sığır kolostrumu kaynaklı pro-inflamatuar sitokinler yenidoğan buzağılarda, periferik kan mononükleer hücrelerde mitojenik cevabı düzenlemektedir (Yamanaka vd., 2003).

2. 7. Lizozim

Lizozim, hemen hemen tüm canlı organizmaların ve virüslerin hücrelerinden, sekresyonlarından ve dokularından saflaştırılmış hidrolitik bir enzim olup sütte doğal olarak bulunan antimikrobiyal bir bileşiktir. Gözyaşı, tükürük, anne sütü ve mukus gibi bir takım sekresyonlardada bol miktarda bulunan lizozim, doğal bağışıklık sisteminin bir parçasıdır (Benkerroum, 2008). Enfeksiyöz ajanların parçalanmasına neden olan lizozim, gram negatif ve gram pozitif bakteriler üzerinde antimikrobiyal etkiye sahiptir (Cooper vd., 2013).

2. 8. Laktoperoksidaz

Süt ve kolostrumda var olan en belirgin enzimlerden biri olan laktoperoksidaz tükürük gözyaşı gibi bazı insan salgılarında da bulunmakta ve çeşitli mikroorganizmalar üzerinde bakterisidal ve bakteriyostatik aktivite göstermektedir (Kussendrager ve van Hooijdonk, 2000). Laktoperoksidaz, tiyosiyanat anyonu (SCN^-) ve hidrojen peroksitten oluşan, başta hipotiyosiyanat (OSCN) olmak üzere kısa ömürlü oksidasyon ürünleri, özellikle bakteri, virüs, mantarlar, protozoa ve küfler dâhil olmak üzere çok çeşitli mikroorganizmaların büyümesini inhibe eden veya öldüren antimikrobiyal bir sistemi katalize eder (Seifu vd., 2005). Gastrointestinal şartlarda oldukça stabil olan laktoperoksidaz, oksidatif stresin neden olduğu gastrointestinal iltihaplanmaları önler (Matsushita vd., 2008).

2. 9. α-Laktalbumin

Meme bezlerinde laktozun biyosentezini teşvik eden α-laktalbumin, peynir altı suyu proteinlerinin %20'sini oluşturan küçük, asidik, Ca^{2+} bağlayıcı bir proteindir (Permyakov ve Berliner, 2000). α-Laktalbumin yenidoğanlar için çok yüksek bir besin değerine ve önemli fizyolojik fonksiyonlara sahiptir ve α-laktalbuminden türetilen peptitler, antimikrobiyal, antiviral, immün modüle edici ve antihipertansif etkiler dâhil olmak üzere (Ma vd., 2016), enteropatojenik *E. coli*, *Salmonella typhimurium* ve *Shigella flexneri*'ni inhibe ederek enfeksiyonu önlemektedir (Brück vd., 2006).

2. 10. β-Laktoglobulin

162 aminoasit içeren β-laktoglobulin, rumunant türlerde ana peynir altı suyu proteinidir ve lipokalin protein ailesine aittir (Kontopidis vd.,

2004). β-Laktoglobulin biyolojik olarak aktif peptidlerin önemli bir kaynağıdır ve bu peptitler enzimatik hidroliz ile β-laktoglobulinden salınarak antihipertansif, antioksidan ve antimikrobiyal aktivitelerin yanı sıra immün modüle edici, opioid benzeri özellikler ve hipokolesterolemik etkiler dâhil olmak üzere insan sağlığı üzerinde önemli işlevler gösterebilmektedir (Hernández-Ledesma vd., 2008). β-Laktoglobulin peptitleri, anjiyotensin I'in anjiyotensin II'ye dönüşümünü bloke eden, anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) inhibitörleri olarak da bilinen antihipertansif peptitlerdir (Pihlanto-Leppälä vd., 2000). β-Laktoglobulinden türetilen ACE inhibe edici aktiviteye sahip bir peptid olan β-laktorfinin (f102-105), hipertansif sıçanlarda mezenterik arter halkalarında bozulmuş vasküler fonksiyonu iyileştirdiği bildirilmiştir (Sipola vd., 2002).

2. 11. Lökositler

Lökositler, birçok hayvan türünde kolostrumun fizyolojik bir bileşeni olarak tanımlanmıştır. İncelenen türlerin her birinde, lökosit alt popülasyonlarının bileşiminde küçük farklılıklar gösteren miktarda meydana geldiği gösterilmiştir. Kolostral lökositlerin immünolojik fonksiyonlarını kaybetmeden belirli doku ve organlarda birikmekte ve bağışıklık sistemi üzerinde düzenleyici etki göstermektedir (Demattio ve Wehrend, 2020). Kolostrum lökositleri uygun koşullar altında interferon üretebildiklerinden, yenidoğanlar üzerinde viral enfeksiyonlara karşı koruma sağlama potansiyeline sahiptir (Riedel-Caspari vd., 1991).

2. 12. Glikomakropeptit

Glikomakropeptit (GMP), peynir yapımında kimozinin etkisiyle peyniraltı suyuna salınan kappa-kazeinin C-terminal kısmıdır (f106–169), amino asit grubu, glikomakropeptidi nutrasötik özelliklere sahip bir bileşen haline getirmektedir (Sharma vd., 2013). Glikomakropeptidin bağışıklık sistemini modüle etme, bakteriyel-viral yapışma ve büyümeyi önleme, bifidobakterilerin büyümesini destekleme, mide salgılarını baskılama, kolera ve *E. coli* enterotoksinlerini nötralize etme gibi birçok biyolojik aktivitesi bulunmaktadır (Morrin vd., 2019). Hayvan modeli çalışmasında glikomakropeptidin, peyniraltı suyu izolatı ile birleştirildiğinde yağ birikimi üzerinde önemli bir etki gösterdiği, bifidobakterilerin büyümesini teşvik ederek bağırsak mikroflorasının modülasyonunda etkili bir role sahip olduğu gösterilmiştir (Royle vd., 2008).

2. 13. Kazein

Kazeinler αs_1-, αs_2-, β- ve κ formları dâhil olmak üzere sütün asitle tepkimesinden sonra çökelmeyen, toplam protein içeriğinin %80'ini oluşturan baskın fosfoproteinlerdir (Ginger ve Grigor, 1999). Kazein kaynaklı biyoaktif peptitlerin, antimikrobiyal (Hayes vd., 2006), immünmodülatör (Migliore-Samour vd., 1989) ve antioksidan (Laparra vd., 2008) özellikler de dâhil

olmak üzere multifonksiyonel özelliklere sahip oldukları bildirilmiştir. Glikanların kazeinin anti-rotavirüs aktivitesinden sorumlu olduğu ve κ-kazeinin, glikan kalıntıları yoluyla viral partiküllere doğrudan bağlanarak insan rotavirüs enfeksiyonunu inhibe ettiği bildirilmiştir (Inagaki vd., 2014).

3. Kolostrumun Terapötik Uygulamaları

3.1. Gastrointestinal Hastalıklar

Kolostrum konak savunması, bağışıklık tepkisinin düzenlenmesi, bağırsak mikrobiyotasının dengelenmesi, çeşitli dokuların büyümesi ve onarımı gibi spesifik fonksiyonlar için gerekli zengin bir besin kaynağıdır ve biyolojik olarak aktif moleküller içermektedir (Korhonen, 2013). Sinerjistik olarak hareket eden kolostrum bileşenleri, çeşitli gastrointestinal hastalıkların patojenetik fazlarına müdahale ederek klinik semptomların iyileşmesine katkıda bulunabilmektedir (Playford vd., 2000). Sığır kolostrum tozu ve süt preparatlarının indometasinle indüklenen gastrointestinal hasar üzerindeki etkisinin araştırıldığı deneysel modelde, kolostrum preparatının gastrik ve intestinal lezyonların ciddiyetini doza bağlı bir şekilde azalttığı, plasebo olarak kullanılan süt çözeltisinin gastrointestinal hasarın onarımında etkili olmadığı bildirilmiştir (Playford vd., 1999). Doku onarım ve büyüme faktörlerinin zengin kaynağı olan kolostrum, gastrointestinal sistemdeki büyüme ve onarım süreçlerini uyarmakta, ince bağırsak mukozasının mekanik bariyerini koruyarak steroid olmayan antiinflamatuar ilaçların yan etkileri ile ilişkili olan gastrointestinal yaralanmaların önlenmesinde yararlı etkiler göstermektedir (Yamamoto vd., 2013).

3. 2. Otoimmün Hastalıklar

Otoimmün hastalıklara kendi dokusuna yanlışlıkla saldıran ve yok eden konakçı bağışıklık sistemi neden olduğu düşünülmektedir ve düşük bağışıklık fonksiyonu, bozulmuş mukozal bariyer bütünlüğü ve bağırsak bakteri dengesi romotoit artrit ve diğer otoimmün hastalıkların etiyolojisinde kritik faktörlerdir. Kolostrum, bağışıklık yanıtını düzenleyebilen bağışıklık faktörleri, hasarlı hücreleri onarmaya yardımcı olan büyüme faktörleri ve iltihabı giderici antiinflamatuar maddeleri içerir ve kolostrum takviyelerinin romatoid artrit gibi otoimmün hastalıkların tedavisinde önemli bir rol oynayabileceği bildirilmiştir (Godhia ve Patel, 2013). Deneysel artrit modelinde, artritin erken evresinde hiperimmün sığır kolostrumu kullanımının inflamasyon belirteçleri ve artrit semptomları üzerinde modüle edici bir etki yaratarak romotoit artrit semptomlarını hafifletme potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir (Hung vd., 2018).

3. 3. Kardiyovasküler Hastalıklar

Sığır kolostrumunun trigliserit, kan şekeri, toplam kolesterol ve keton seviyelerini düşürdüğü bildirilmiştir (Kim vd., 2009). Sığır kolostrumu

izoproterenol kaynaklı miyokard enfarktüsüne (kalp krizi) karşı sıçanlar üzerinde belirgin kardiyoprotektif etkiler gösterdiği bildirilmiştir (Kaur vd., 2014). Sağlıklı ve yüksek riskli kardiyovasküler hastalarda influenza ataklarının önlenmesine karşı kolostrum takviyesinin etkisinin değerlendirildiği klinik çalışmada aşılamanın kontrendike olduğu durumlarda, kolostrum kullanımının etkili ve pratik çözüm olduğu bildirilmiştir (Cesarone vd., 2007).

3. 4. Metabolik Hastalıklar

IGF-I, normal doku büyümesi ve rejenerasyonu üzerinde önemli etkileri olan çok potansiyelli bir büyüme faktörüdür. Ek olarak, IGF-I'in kan şekerini düşürücü ve insülin duyarlılığını arttıran etkileri nedeniyle glikoz homeostazı üzerinde faydalı etkileri bulunmaktadır (Frystyk, 2004). Ultrafiltrasyon yöntemiyle doğumdan sonraki 24 saat içinde inek kolostrumundan elde edilen IGF-I'in diyabetik fareler üzerinde oral uygulaması kan şekeri seviyelerini önemli ölçüde düşürmüştür (Hwang vd., 2012) Sığır kolostrum takviyesinin tip 2 diyabetli 16 hasta üzerinde obezite ve stres ile yükselebilen kolesterol, trigliserit ve keton düzeylerinin yanı sıra kan şekeri üzerine etkisi değerlendirilmiştir. 4 hafta boyunca günde iki defa 5 g sığır kolostrumu tozu almak üzere randomize edilen hastalarda toplam kolesterol, trigliserit ve tokluk şekeri seviyelerinin önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir (Kim vd., 2009). Hayvan modelinde standardize edilmiş sığır kolostrumu türevlerinin, bağışıklık hücrelerine etki ederek insülin hormonu üreten pankreatik beta hücrelerine karşı saldırıyı durdurduğu ve beta hücrelerinin çoğalmasını indükleyerek tip 1 diyabet gelişimini önlediği bildirilmiştir (Nikolic vd., 2017).

3. 5. Nörodejeneratif Hastalıklar

Prolince zengin polipeptitler immünoregülatör özelliklerinin yanı sıra öğrenme, hafıza ve bilişsel işleyişi etkilemektedir. PRP, alzheimer ve diğer benzer nörodejeneratif hastalıkların tedavisi için umut verici, toksik olmayan, doğal bir preparattır ve ilaç geliştirme çalışmalarında güvenli bir alternatiftir. Deneysel ve klinik veriler, PRP'nin alzheimer hastalığı üzerinde olumlu etkilerini göstermektedir. PRP tedavisi gören alzheimer hastalarının %40'ında bilişsel gerilemede tam bir durma ve bilişsel performans üzerinde artış gösterdiği klinik çalışmada bildirilmiş olup, PRP'nin alzheimer ve diğer yaşa bağlı merkezi sinir sistemi hastalıklarının önlenmesi ve tedavisinde klinik kullanım için umut verici bir potansiyele sahip olduğunu bildirmiştir (Szaniszlo vd., 2009). PRP'den izole edilen NP-POL nonapeptidin, deneysel Parkinson modelinde 6-hidroksidopamin ile indüklenen oksidatif hasara karşı nöron hücrelerini koruduğu, parkinson hastalığı gibi nörodejeneratif hastalıkların tedavisinde muhtemel umut verici bir ajan olduğu bildirilmiştir (Lemieszewska vd., 2018).

3. 6. İmmün Yetmezlikle İlişkili Diyare ve Enfeksiyöz Diyare

HIV, insan bağışıklık sistemindeki yardımcı T hücreleri (özellikle $CD4^{+}$), gibi insan bağışıklık sistemindeki hayati hücreleri baskılar, birçok dendritik hücre ve makrofajların vücuttaki seviyelerini azaltır. Sığır kolostrumu takviyeleri, HIV ile enfekte hastalarda bağışıklık sistemini onarmak, T yardımcı hücrelerinin kaybını azaltmak ve gastrointestinal sistemin mukozal bütünlüğünü düzenlemek için umut vericidir (Elfstrand ve Floren, 2010). Çalışmalar, sığır kolostrumunda bulunan biyolojik olarak aktif birkaç molekülün sinerjik etkisi sayesinde HIV ile ilişkili diyarenin klinik koşullarını (karın ağrısı, diyare skoru, halsizlik gibi) iyileştirebileceğini göstermektedir (Greenberg ve Cello, 1996). Sığır kolostrumunun akut rotavirüs diyaresi olan çocuklarda, diyare insidansı ve süresinin azalmasında ve rotavirüsün dışkıdan atılım süresini hızlandırmada etkili olduğu (Civra vd., 2019), çift kör randomize kontrollü çalışmada, hem viral (Rotavirüs) hem de bakteriyel (*E. coli*) diyare tedavisinde etkili olduğu, oosist yükündeki azalma, dışkı hacminde ve sıklığında iyileşme sağladığı için adjuvan tedavi olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (Barakat vd., 2020).

3. 7. Kanser

Laktoferrin ve biyoaktif peptitleri başlangıç, gelişme ve ilerleme de dâhil olmak üzere karsinogenezin farklı aşamalarını önlemek için önemli bir potansiyel gösteren, üzerinde en çok çalışılan nutrasötik proteinlerden biridir. Laktoferrinin kimyasal olarak indüklenen karsinojenez, tümör büyümesi ve tümör metastazına karşı koruyucu etkisi, artan sayıda hayvan modeli çalışmasında kanıtlanmış, dolayısıyla laktoferrin kanser hastalığından korunulması veya tedavisinde önemli potansiyel terapötik fayda göstermektedir (de Mejia ve Dia, 2010). Laktoferrinin hücre büyümesini inhibe edici ve kemopreventif aktiviteleri, dil (Tanaka vd., 2000), mide (Xu vd., 2010), meme (Duarte vd., 2011), mesane (Masuda vd., 2000), kolon (Tsuda vd., 1998), akciğer (Li vd., 2011) ve özofagus (Farziyan vd., 2016) kanserlerinde in vitro ve in vivo olarak gösterilmiştir.

3. 8. Vücut Kompozisyonu ve Spor Performansı

Kolostrum takviyeleri, yüksek yoğunluklu eğitimden sonra egzersiz performansını sürdürmenin yanı sıra, tekrarlanan egzersizden sonra iyileşmeyi ve verimliliği arttırmaktadır (Shing vd., 2006). Sığır kolostrum desteğinin dolaşım ve tükürükteki antikor seviyelerini yükselttiğini, ve yorucu egzersiz sonrası nötrofil fonksiyonunun iyileşmesini hızlandırdığı bildirilmiştir (Davison ve Diment, 2010). Dayanıklılık antrenmanları sırasında yaşlı erişkinler üzerinde 8 haftalık 60g/gün sığır kolostrum takviyesinin, kolostrum kullanan katılımcıların, peynir altı suyu proteini kullananlara göre bacak basıncını daha fazla artırdığı ve peynir altı

suyu proteinine göre kemik rezorpsiyonunda daha fazla azalma gösterdiği bildirilmiştir (Duff vd., 2014). Sığır kolostrum takviyesinin sağlıklı genç erkeklerde antremanlı ve antremansız uzuvların kompozisyonu üzerine etkisinin incelendiği çalışmada peynir altı suyu proteini ile karşılaştırıldığında 60 g/gün kolostrum ile takviye edilmiş genç katılımcıların antremanlı üst kolundaki kemik kesit alanında daha büyük bir artışa doğru bir eğilim gösterdiği bildirilmiştir (Brinkworth vd., 2004).

4. Kolostrumun Fonsiyonel Özellikleri

4. 1. Kolostrumun Gıda Takviyesi Olarak Kullanımı

Kolostrum, çeşitli nutrasötik endüstriler tarafından kapsül, tablet ve toz forma ticari olarak işlenmektedir. Sığır kolostrumundan elde edilen gıda bileşenleri, Avustralya, Yeni Zelanda, ABD ve Çin'de endüstriyel olarak üretilmekte, IgG içerikleri standardize edildikten sonra sağlık iyileştirici gıda takviyesi olarak pazarlanmaktadır (Cao, Wang ve Zheng, 2007). Düşük sıcaklıkta uzun süre pastörizasyon (63 °C, 30 dk), kolostrum biyoaktif proteinlerini koruyan optimal bir işleme tekniğidir (Chatterton vd., 2020). Sprey kurutma ve dondurarak kurutma, sıvı sığır kolostrumunun toz haline dehidrasyonu için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir (Borad ve Singh, 2018). Üreticiler, gastrointestinal/solunum yolu rahatsızlıklarının, viral ve bakteriyel enfeksiyonların tedavi edilmesi ve doku onarımının teşvik edilmesi gibi sağlığa yararı dikkat çekmektedirler (Manikant ve Sudhir, 2014).

4. 2. Kolostrumun Süt ve Süt Ürünleri Üretiminde Kullanımı

Son yıllarda, araştırmacılar insan tüketimi için sığır kolostrumu içeren süt ürünleri üretmeyi amaçlamışlardır. İnek ve manda kolostrumu içeren stirred yoğurt ürününün fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve duyusal özellikleri incelendiği çalışmada, kolostrum oranının artmasıyla pıhtılaşma süresinde, protein içeriğinde, viskozite, su tutma kapasitesi ve antioksidan aktivitede artış olduğu, kolostrum takviyeli yoğurdun daha fazla talep ve tüketici çekiciliği kazanabilecek bir ürün geliştirme potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir (Saleh vd., 2019). Farklı oranlarda kolostrum ve süt içeren fermente kolostrum ürününün duyusal kalitesinin araştırıldığı çalışmada, duyusal niteliklere ilişkin puanların, süt oranı arttıkça azalama eğilimi gösterdiği, sadece kolostrumla hazırlanan fermente ürünün, tüm duyusal özellikler için en yüksek ortalama puanları aldığı bildirilmiştir (Nazir vd., 2018). Starter kültürler kullanılarak sığır kolostrumunun iki aşamalı biyotransformasyonu ile elde edilen tribiyotik (pre, pro ve postbiyotik) fonksiyonel ürünün radikal süpürücü ve ACE-inhibitör aktiviteler gösterdiği bildirilerek, kolostrum bazlı nutrasötik formülasyonlarının geliştirilmesi için yeni bir bakış açısı sunulmuştur (Cotârlet vd., 2020). Farklı oranlarda eklenen, %30 IgG içerikli kolostrum tozu ile geliştirilen

dondurmanın özellikleri üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, kolostrum katkısının, görünür viskoziteyi arttırdığı, erimeyi azalttığı ve lezzet üzerinde etkisinin kontrolden farklı olmadığı bildirilmiştir (Mouton ve Aryana, 2015).

4. 3. Kolostrumun Bebek Formüllerinde Kullanımı

Saf insülin benzeri büyüme faktörü veya sığır kolostrumu içeren formül sütünün yaşamın ilk dört ayında bebek sinomolgus makaklarında büyüme ve vücut kompozisyonu üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada, sığır kolostrum takviyesi alan bebek makaklarda, diğer tüm grupların bebeklerinden daha yüksek ortalama kemik mineral yoğunluğu gösterdiği bildirilmiştir (Tay vd., 2018). Kolostral antikorları içeren bebek formülünün bebeklerde ve çocuklarda diyare önlemedeki etkinliğinin araştırıldığı çalışmada, bebeklerde diyare görülme oranının, kontrol formülü alan bebeklerden daha düşük olduğu, takviye edilmiş formül alan bebeklerde diyare ataklarının daha kısa olduğu bildirilmiştir (Tawfeek vd., 2003).

4. 4. Kolostrumdan Üretilen Geleneksel Gıdalar

Khees, Hindistan'da kolostrumun jelleşme özelliği kullanılarak hazırlanan geleneksel bir tatlıdır. Hindistan'ın farklı bölgelerinde kharwas, posu veya ginnu olarak da bilinmektedir. Khees hazırlamak için ilk dördüncü sağım kolostrum kullanılmaktadır. Arzu edilen lezzeti vermek için genellikle kolostruma şeker eklenmekte, aroma verici maddeler olarak safran veya kakule kullanılarak karışım kaynar su banyosunda tutulmaktadır. Yaklaşık 15 dakikada oluşan jelasyonla kesilebilen khees elde edilmektedir (Poonia ve Dabur, 2012). Ülkemizin çeşitli yörelerinde avuz veya ağız bulama olarak da isimlendirilen ağuz, buzağılayan ineklerden sağılarak süzülen kolostruma tuz ilave edilerek pişirilmesi sonrası üzerine şeker dökülerek kahvaltılık olarak tüketilen, pelte kıvamında bir gıdadır (Lee, 2020).

4. 5. Kolostrum İçin Gelecek Öngörüleri

Kolostrumun çok çeşitli hastalıkları hafiflettiği ve gelecekte umut verici bir nutrasötik olabileceği bildirilmiştir. Kolostrum takviyelerinin birincil avantajı, ihmal edilebilir yan etkilere sahip olmaları ve iyi tolere edilmeleridir. Sütün aksine, sığır kolostrumu daha az miktarda laktoza sahiptir olması, laktoz intolerans hastaları için uygun olabilir (Bagwe vd., 2015). Sinerjistik olarak hareket eden kolostrum bileşenleri, çeşitli hastalıkların belirli patojenetik fazlarına müdahale edebilir, böylece klinik semptomların iyileşmesine katkıda bulunabilir. Kolostrum insan ve hayvan hastalıklarını tedavi etmek için kullanılan çeşitli ilaçların yan etkilerini azaltarak koruyucu bir etkiye sahip olabilir. Kolostrum güvenlidir ve yüksek doz seviyelerinde bile kontrendikasyonları bildirilmemiştir. Bu nedenle yakın gelecekte, kolostrum sentetik farmasötik ilaçlara, insan ve

hayvanların çeşitli hastalıklarının önlenmesinde ve tedavisinde tamamlayıcı bir rol oynayabileceği ve gelişmekte olan ülkelerde nüfusun sağlığını iyileştirebileceği öngörülmektedir (Menchetti vd., 2016).

5. Sonuç

Fonksiyonel gıdalar ve nutrasötiklerin geliştirilmesi üzerine yapılan araştırmalarda kolostrumun yetişkin nüfusa sağlık yararları sağlama yeteneğine odaklanılmıştır. Araştırmacılar, yenidoğan beslenmesindeki rolünün yanı sıra, kolostrumun alzheimer hastalığı, mikrobiyal enfeksiyon, diyare ve gastrointestinal bozukluklar gibi yetişkin hastalık koşullarına karşı etkili bir ajan olabileceğini göstermiştir. Sığır kolostrumu preparatları güvenli, etkili, doğal ve kolay biyoyararlanımlı, hem yenidoğanlar hem de yetişkinler için hastalık önleme ve tedavi seçeneği sunabilir ve yenilikçi fonksiyonel gıdaların ve nutrasötiklerin formülasyonunda doğal bir bileşen olarak kullanılma potansiyeli yüksektir. Sığır kolostrum ürünleri yabancı piyasada endüstriyel olarak üretilmekte ve IgG içerikleri standardize edildikten sonra toz, kapsül, tablet ve likit gibi çeşitli formlarda gıda takviyesi olarak pazarlanmaktadır.

Üreticiler kolostrum bazlı ürünlerin çeşitli hastalıklardan korunma ve/veya önlenmesinde, bağışıklık ve gastrointestinal sistemin iyileştirilmesi gibi çeşitli sağlık yararlarına dikkat çekmektedir. Kolostrum ve kolostrum bazlı ürünler gibi yenilikçi fonksiyonel gıdalara özel bir önem vererek, bu ürünlerin popülaritesini arttırmak için işletme, akademik ve mevzuat otoritelerinden büyük bir girdi gerekmektedir. Kolostrum çok sayıda önemli besin bileşenine sahip olduğundan, terapötik rollerini genişletmek için kolostrum ürünleri ile iyi tasarlanmış, çift kör, plasebo kontrollü çalışmaların yapılması gerekmektedir. Kolostrumun besinsel bileşimi onu modern zamanlar için eski bir gıda ve nutrasötik olarak kanıtlamaktadır. Gelecekte kolostrum fonksiyonel gıda pazarında önemli bir rol oynayabilir ve insanlarda birçok sağlık yararını ve uygun maliyetli tedavileri ortaya çıkarabilecek bir hazine gibi görünmektedir.

KAYNAKLAR

Bagwe, S., Tharappel, L. J., Kaur, G. and Buttar, H. S. (2015). Bovine colostrum: An emerging nutraceutical. *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, 12(3), 175-185.

Barakat, S. H., Meheissen, M. A., Omar, O. M. and Elbana, D. A. (2020). Bovine colostrum in the treatment of acute diarrhea in children: A double-blinded randomized controlled trial. *Journal of Tropical Pediatrics, 66*(1), 46-55.

Benkerroum, N. (2008). Antimicrobial activity of lysozyme with special relevance to milk. *African Journal of Biotechnology, 7*(25), 4856-4867.

Berlutti, F., Pantanella, F., Natalizi, T., Frioni, A., Paesano, R., Polimeni, A. and Valenti, P. (2011). Antiviral properties of lactoferrin-a natural immunity molecule. *Molecules, 16*(8), 6992-7018.

Borad, S. G. and Singh, A. K. (2018). Colostrum immunoglobulins: Processing, preservation and application aspects. *International Dairy Journal, 85,* 201-210.

Brinkworth, G. D., Buckley, J. D., Slavotinek, J. P. and Kurmis, A. P. (2004). Effect of bovine colostrum supplementation on the composition of resistance trained and untrained limbs in healthy young men. *European Journal of Applied Physiology, 91*(1), 53-60.

Brück, W. M., Kelleher, S. L., Gibson, G. R., Graverholt, G. and Lonnerdal, B. L. (2006). The effects of alpha-lactalbumin and glycomacropeptide on the association of CaCo-2 cells by enteropathogenic *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* and *Shigella flexneri*. *Fems Microbiology Letters*, *259*(1), 158-162.

Buttar, H. S., Bagwe, S. M., Bhullar, S. K. & Kaur, G. (2017). Health benefits of bovine colostrum in children and adults. In R. R. Watson, R. J. Collier & V. R. Preedy (Eds.), *Dairy in human health and disease across the lifespan* (pp. 3-20). Oxford, UK: Academic Press.

Cao, J., Wang, X. and Zheng, H. (2007). Comparative studies on thermoresistance of protein G-binding region and antigen determinant region of immunoglobulin G in acidic colostral whey. *Food and Agricultural Immunology, 18*(1), 17-30.

Cesarone, M. R., Belcaro, G., Di Renzo, A., Dugall, M., Cacchio, M., Ruffini, I., Pellegrini, L., Del Boccio, G., Fano, F., Ledda, A., Bottari, A., Ricci, A., Stuard, S. and Vinciguerra, G. (2007). Prevention of influenza episodes with colostrum compared with vaccination in healthy and high-risk cardiovascular subjects: The epidemiologic study in San Valentino. *Clinical and Applied Thrombosis/Hemostasis, 13*(2), 130-136.

Chatterton, D. E. W., Aagaard, S., Nguyen, D. N., De Gobba, C., Lametsch, R. and Sangild, P. T. (2020). Bioactive proteins in bovine colostrum and effects of heating, drying and irradiation. *Food & Function, 11*(3), 2309-2327.

Civra, A., Altomare, A., Francese, R., Donalisio, M., Aldini, G. and Lembo, D. (2019). Colostrum from cows immunized with a veterinary vaccine against bovine rotavirus displays enhanced in vitro anti-human rotavirus activity. *Journal of Dairy Science, 102*(6), 4857-4869.

Cooper, C. A., Klobas, L. C. G., Maga, E. A. and Murray, J. D. (2013). Consuming transgenic goats' milk containing the antimicrobial protein lysozyme helps resolve diarrhea in young pigs. *PloS One, 8*(3), e58409.

Cotârleţ, M., Vasile, A. M., Gaspar-Pintiliescu, A., Oancea, A. and Bahrim, G. (2020). Tribiotication strategy for the functionalization of bovine colostrum through the biochemical activities of artisanal and selected starter cultures. *CyTA: Journal of Food, 18*(1), 274-280.

da Silva, F. L., Pinto, M. D. S., de Carvalho, A. F. and Perrone, Í. T. (2015). Transforming growth factor beta (TGF-β) in milk: A review. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, 70*(4), 226-238.

Davison, G. and Diment, B. C. (2010). Bovine colostrum supplementation attenuates the decrease of salivary lysozyme and enhances the recovery of neutrophil function after prolonged exercise. *British Journal of Nutrition*, *103*(10), 1425-1432.

de Mejia, E. G. and Dia, V. P. (2010). The role of nutraceutical proteins and peptides in apoptosis, angiogenesis, and metastasis of cancer cells. *Cancer and Metastasis Reviews*, *29*(3), 511-528.

Demattio, L. and Wehrend, A. (2020). Occurrence and importance of colostral leukocytes. *Tierarztliche Praxis. Ausgabe G, Grosstiere Nutztiere*, *48*(1), 35-44.

Duarte, D. C., Nicolau, A., Teixeira, J. A. and Rodrigues, L. R. (2011). The effect of bovine milk lactoferrin on human breast cancer cell lines. *Journal of Dairy Science*, *94*(1), 66-76.

Duff, W. R., Chilibeck, P. D., Rooke, J. J., Kaviani, M., Krentz, J. R. and Haines, D. M. (2014). The effect of bovine colostrum supplementation in older adults during resistance training. *International Journal Of Sport Nutrition And Exercise Metabolism, 24*(3), 276-285.

Elfstrand, L. and Florén, C. H. (2010). Management of chronic diarrhea in HIV-infected patients: Current treatment options, challenges and future directions. *HIV/AIDS-Research and Palliative Care, 2*, 219-224.

Embleton, N. D., Berrington, J. E., McGuire, W., Stewart, C. J. and Cummings, S. P. (2013). Lactoferrin: Antimicrobial activity and therapeutic potential. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine, 18*(3), 143-149.

Farziyan, M. A., Moradian, F. and Rafiei, A. R. (2016). Anticancer effect of bovine lactoferrin on human esophagus cancer cell line. *Research in Molecular Medicine, 4*(1), 18-23.

Filipescu, I. E., Leonardi, L., Menchetti, L., Guelfi, G., Traina, G., Casagrande-Proietti, P., Piro, F., Quattrone, A., Barbato, O. and Brecchia, G. (2018).

Preventive effects of bovine colostrum supplementation in TNBS-induced colitis in mice. *PloS One, 13*(8), e0202929.

Frystyk, J. (2004). Free insulin-like growth factors–measurements and relationships to growth hormone secretion and glucose homeostasis. *Growth Hormone & IGF Research, 14*(5), 337-375.

Garofalo, R. (2010). Cytokines in human milk. *The Journal of Pediatrics*, *156*(2), S36-S40.

Ginger, M. R. and Grigor, M. R. (1999). Comparative aspects of milk caseins. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, *124*(2), 133-145.

Godhia, M. L. and Patel, N. (2013). Colostrum–its composition, benefits as a nutraceutical: A review. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, *1*(1), 37-47.

Greenberg, P. D. and Cello, J. P. (1996). Treatment of severe diarrhea caused by *Cryptosporidium parvum* with oral bovine immunoglobulin concentrate in patients with AIDS. *Journal of Acquired Immune Deficiency Syndromes, 13(*4), 348-354.

Hagiwara, K., Kataoka, S., Yamanaka, H., Kirisawa, R. and Iwai, H. (2000). Detection of cytokines in bovine colostrum. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, *76*(3-4), 183-190.

Hayes, M., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., Hill, C. and Stanton, C. (2006). Casein-derived antimicrobial peptides generated by *Lactobacillus acidophilus* DPC6026. *Applied and environmental microbiology, 72*(3), 2260-2264.

Hernández-Ledesma, B., Recio, I. and Amigo, L. (2008). β-lactoglobulin as source of bioactive peptides. *Amino Acids*, *35*(2), 257-265.

Hiss, S., Meyer, T. and Sauerwein, H. (2008). Lactoferrin concentrations in goat milk throughout lactation. *Small Ruminant Research*, *80*(1-3), 87-90.

Hung, L. H., Wu, C. H., Lin, B. F. and Hwang, L. S. (2018). Hyperimmune colostrum alleviates rheumatoid arthritis in a collagen-induced arthritis murine model. *Journal of Dairy Science*, *101*(5), 3778-3787.

Hurley, W. L. and Theil, P. K. (2011). Perspectives on immunoglobulins in colostrum and milk. *Nutrients, 3*(4), 442-474.

Hwang, K. A., Hwang, Y. J., Ha, W., Choo, Y. K. and Ko, K. (2012). Oral administration of insulin-like growth factor-I from colostral whey reduces blood glucose in streptozotocin-induced diabetic mice. *British Journal of Nutrition, 108*(1), 39-45.

Inagaki, M., Muranishi, H., Yamada, K., Kakehi, K., Uchida, K., Suzuki, T., Yabe, T., Nakagomi, T., Nakagomi, O. and Kanamaru, Y. (2014). Bovine κ-casein inhibits human rotavirus (HRV) infection via direct binding of glycans to HRV. *Journal of Dairy Science*, *97*(5), 2653-2661.

Janusz, M. and Zablocka, A. (2010). Colostral proline-rich polypeptides-immunoregulatory properties and prospects of therapeutic use in alzheimer's disease. *Current Alzheimer Research*, *7*(4), 323-333.

Janusz, M., Lisowski, J. and Franěk, F. (1974). Isolation and characterization of a proline-rich polypeptide from ovine colostrum. *FEBS Letters*, *49*(2), 276-279.

Kaur, G., Somaiya, R., Wasim, M. and Buttar, H. S. (2014). Cardioprotective effects of bovine colostrum against isoproterenol-induced myocardial infarction in rats. *Journal of Pharmacology and Toxicology, 9*(1), 37-45.

Kim, J. H., Jung, W. S., Choi, N. J., Kim, D. O., Shin, D. H. and Kim, Y. J. (2009). Health-promoting effects of bovine colostrum in type 2 diabetic patients can reduce blood glucose, cholesterol, triglyceride and ketones. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, *20*(4), 298-303.

Kontopidis, G., Holt, C. and Sawyer, L. (2004). Invited review: β-lactoglobulin: Binding properties, structure, and function. *Journal of Dairy Science*, *87*(4), 785-796.

Korhonen, H. J. (2013). Production and properties of health-promoting proteins and peptides from bovine colostrum and milk. *Cellular and Molecular Biology, 59*(1), 12-24.

Kowalewska-Łuczak, I., Czerniawska-Piątkowska, E. and Pecka-Kiełb, E. (2017). Investigation on relationships of the FABP3 and SLC27A3 genes with milk production traits in sheep. *Journal of Elementology, 22*(4), 1485-1493.

Kussendrager, K. D. and van Hooijdonk, A. C. M. (2000). Lactoperoxidase: Physico-chemical properties, occurrence, mechanism of action and applications. *British Journal of Nutrition*, *84*(S1), 19-25.

Laparra, J. M., Alegría, A., Barberá, R. and Farré, R. (2008). Antioxidant effect of casein phosphopeptides compared with fruit beverages supplemented with skimmed milk against H_2O_2-induced oxidative stress in Caco-2 cells. *Food Research International*, *41*(7), 773-779.

Leboffe, L., Giansanti, F. and Antonini, G. (2009). Antifungal and antiparasitic activities of lactoferrin. *Anti-Infective Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry-Anti-Infective Agents)*, *8*(2), 114-127.

Lee, N. (2020, 3 Mayıs). Traditional Turkish food: aguz: made from cows colostrum [Blog post]. Erişim adresi: https://turkishtravelblog.com/aguz-cows-colostrum-beypazari/.

Lemieszewska, M., Polanowski, A., Wilusz, T., Sokołowska, A., Zambrowicz, A., Mikołajewicz, K., Macała, J., Rymaszewska, J. and Zabłocka, A. (2018). Isolation and characterization of NP-POL nonapeptide for possible therapeutic use in parkinson's disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2018*, 3760124.

Li, D., Sakashita, S., Morishita, Y., Kano, J., Shiba, A., Sato, T. and Noguchi, M. (2011). Binding of lactoferrin to IGBP1 triggers apoptosis in a lung adenocarcinoma cell line. *Anticancer Research*, *31*(2), 529-534.

Ma, J., Li, Q., Li, Y., Wen, X., Li, Z., Zhang, Z., Zhang, J., Yu, Z. and Li, N. (2016). Expression of recombinant human α-lactalbumin in milk of transgenic cloned pigs is sufficient to enhance intestinal growth and weight gain of suckling piglets. *Gene*, *584*(1), 7-16.

Manikant, K. and Sudhir, U. (2014). Bovine colostrum: Neonate to nutraceuticals. *Research Journal of Animal Husbandry and Dairy Science*, *5*(1), 23-29.

Masuda, C., Wanibuchi, H., Sekine, K., Yano, Y., Otani, S., Kishimoto, T., Tsuda, H. and Fukushima, S. (2000). Chemopreventive effects of bovine lactoferrin on N-butyl-N-(4-hydroxybutyl) nitrosamine-induced rat bladder carcinogenesis. *Japanese Journal of Cancer Research*, *91*(6), 582-588.

Matsushita, A., Son, D. O., Satsu, H., Takano, Y., Kawakami, H., Totsuka, M. and Shimizu, M. (2008). Inhibitory effect of lactoperoxidase on the secretion of proinflammatory cytokine interleukin-8 in human intestinal epithelial Caco-2 cells. *International Dairy Journal*, *18*(9), 932-938.

Maunsell, F. P., Morin, D. E., Constable, P. D., Hurley, W. L., McCoy, G. C., Kakoma, I. and Isaacson, R. E. (1998). Effects of mastitis on the volume and composition of colostrum produced by Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, *81*(5), 1291-1299.

Mayer, H. K. and Fiechter, G. (2012). Physicochemical characteristics of goat's milk in Austria–seasonal variations and differences between six breeds. *Dairy Science & Technology, 92*(2), 167-177.

Mayeur, S., Spahis, S., Pouliot, Y. and Levy, E. (2016). Lactoferrin, a pleiotropic protein in health and disease. *Antioxidants & Redox Signaling*, *24*(14), 813-836.

Menchetti, L., Traina, G., Tomasello, G., Casagrande-Proietti, P., Leonardi, L., Barbato, O. and Brecchia, G. (2016). Potential benefits of colostrum in gastrointestinal diseases. *Frontiers in Bioscience, 8*, 331-351.

Migliore-Samour, D., Floc'h, F. and Jollès, P. (1989). Biologically active casein peptides implicated in immunomodulation. *The Journal of Dairy Research*, *56*(3), 357-362.

Mitchell, A. C., Briquez, P. S., Hubbell, J. A. and Cochran, J. R. (2016). Engineering growth factors for regenerative medicine applications. *Acta Biomaterialia*, *30*, 1-12.

Morrin, S. T., Lane, J. A., Marotta, M., Bode, L., Carrington, S. D., Irwin, J. A. ve Hickey, R. M. (2019). Bovine colostrum-driven modulation of intestinal epithelial cells for increased commensal colonisation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *103*(6), 2745-2758.

Mouton, E. and Aryana, K. J. (2015). Influence of colostrum on the characteristics of ice cream. *Food and Nutrition Sciences, 6*(5), 480-484.

Nazir, T., Pal, M. A. and Manzoor, A. (2018). Effect of admixing varying levels of whole milk to the colostrum on the sensory quality of fermented colostrum product. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, 7*(4), 156-161.

Nikolic, I., Stojanovic, I., Vujicic, M., Fagone, P., Mangano, K., Stosic-Grujicic, S., Nicoletti, F. and Saksida, T. (2017). Standardized bovine colostrum derivative impedes development of type 1 diabetes in rodents. *Immunobiology, 222*(2), 272-279.

Omer, R. H. and Eltinay, A. M. (2008). Chemical composition of camel's colostrum and milk in United Arab Emirates. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences, 16*(1), 127-134.

Park, Y. W. (Ed.). (2009). *Bioactive components in milk and dairy products.* Ames, IA: John Wiley & Sons.

Pecka-Kiełb, E., Vasil, M., Zachwieja, A., Zawadzki, W., Elečko, J., Zigo, F., Illek, J. and Farkašová, Z. (2016). An effect of mammary gland infection caused by *Streptococcus uberis* on composition and physicochemical changes of cows' milk. *Polish Journal of Veterinary Sciences, 19*(1), 49-55.

Permyakov, E. A. and Berliner, L. J. (2000). α-lactalbumin: Structure and function. *FEBS Letters*, *473*(3), 269-274.

Pihlanto-Leppälä, A., Koskinen, P., Piilola, K., Tupasela, T. and Korhonen, H. (2000). Angiotensin I-converting enzyme inhibitory properties of whey protein digests: Concentration and characterization of active peptides. *Journal of Dairy Research*, *67*(1), 53-64.

Playford, R. J., Floyd, D. N., Macdonald, C. E., Calnan, D. P., Adenekan, R. O., Johnson, W., Goodlad, R. A. and Marchbank, T. (1999). Bovine colostrum is a health food supplement which prevents NSAID induced gut damage. *Gut*, *44*(5), 653-658.

Playford, R. J., Macdonald, C. E. and Johnson, W. S. (2000). Colostrum and milk-derived peptide growth factors for the treatment of gastrointestinal disorders. *The American Journal of Clinical Nutrition, 72*(1), 5-14.

Poonia, A. and Dabur, R. S. (2012). Physico-chemical and sensory properties of khees obtained from buffalo and cow colostrum. *Asian Journal of Dairying & Foods Research, 31*(4), 256-258.

Pouliot, Y. and Gauthier, S. F. (2006). Milk growth factors as health products: Some technological aspects. *International Dairy Journal*, *16*(11), 1415-1420.

Rathe, M., Müller, K., Sangild, P. T. and Husby, S. (2014). Clinical applications of bovine colostrum therapy: A systematic review. *Nutrition Reviews*, *72*(4), 237-254.

Riedel-Caspari, G., Schmidt, F. W. and Marquardt, J. (1991). The influence of colostral leukocytes on the immune system of the neonatal calf. IV. effects on bactericidity, complement and interferon; synopsis. *DTW. Deutsche Tierarztliche Wochenschrift*, *98*(10), 395-398.

Romero, T., Beltrán, M. C., Rodríguez, M., De Olives, A. M. and Molina, M. P. (2013). Goat colostrum quality: Litter size and lactation number effects. *Journal of Dairy Science*, *96*(12), 7526-7531.

Royle, P. J., McIntosh, G. H. and Clifton, P. M. (2008). Whey protein isolate and glycomacropeptide decrease weight gain and alter body composition in male Wistar rats. *British Journal of Nutrition*, *100*(1), 88-93.

Ruiz, P., Seseña, S., Rieiro, I. and Palop, M. L. (2015). Effect of postpartum time and season on the physicochemical characteristics of Murciano-Granadina goat colostrum. *International Journal of Dairy Technology*, *68*(1), 88-96.

Saleh, A., Hassabo, M. A., Hassabo, R. and Ewis, A. (2019). Manufacturıng functıonal stırred yoghurt supported by colostrum. *Journal of Productivity and Development, 24*(4), 945-963.

Seifu, E., Buys, E. M. and Donkin, E. F. (2005). Significance of the lactoperoxidase system in the dairy industry and its potential applications: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *16*(4), 137-154.

Sharma, R., Rajput, Y. S. and Mann, B. (2013). Chemical and functional properties of glycomacropeptide (GMP) and its role in the detection of cheese whey adulteration in milk: A review. *Dairy Science & Technology*, *93*(1), 21-43.

Shing, C. M., Jenkins, D. G., Stevenson, L. and Coombes, J. S. (2006). The influence of bovine colostrum supplementation on exercise performance in highly trained cyclists. *British Journal of Sports Medicine*, *40*(9), 797-801.

Silva, E. G. D. S. O., Rangel, A. H. D. N., Mürmam, L., Bezerra, M. F. and Oliveira, J. P. F. D. (2019). Bovine colostrum: Benefits of its use in human food. *Food Science and Technology*, *39*(2), 355-362.

Sipola, M., Finckenberg, P., Vapaatalo, H., Pihlanto-Leppälä, A., Korhonen, H., Korpela, R. and Nurminen, M. L. (2002). α-lactorphin and β-lactorphin improve arterial function in spontaneously hypertensive rats. *Life Sciences*, *71*(11), 1245-1253.

Siqueiros-Cendón, T., Arévalo-Gallegos, S., Iglesias-Figueroa, B. F., García-Montoya, I. A., Salazar-Martínez, J. and Rascón-Cruz, Q. (2014). Immunomodulatory effects of lactoferrin. *Acta Pharmacologica Sinica*, *35*(5), 557-566.

Sokołowska, A., Bednarz, R., Pacewicz, M., Georgiades, J. A., Wilusz, T. and Polanowski, A. (2008). Colostrum from different mammalian species-A rich source of colostrinin. *International Dairy Journal*, *18*(2), 204-209.

Sørensen, M. and Sørensen, S. P. L. (1940). The proteins in whey. *Compte rendu des Travaux du Laboratoire de Carlsberg, Série Chimique, 23*(7), 55-99.

Stelwagen, K., Carpenter, E., Haigh, B., Hodgkinson, A. and Wheeler, T. T. (2009). Immune components of bovine colostrum and milk. *Journal of Animal Science*, *87*(1), 3-9.

Szaniszlo, P., German, P., Hajas, G., Saenz, D. N., Kruzel, M. and Boldogh, I. (2009). New insights into clinical trial for colostrinin™ in Alzheimer's disease. *The Journal of Nutrition, Health and Aging*, *13*(3), 235-241.

Tanaka, T., Kawabata, K., Kohno, H., Honjo, S., Murakami, M., Ota, T. and Tsuda, H. (2000). Chemopreventive effect of bovine lactoferrin on 4-nitroquinoline 1-oxide-induced tongue carcinogenesis in male F344 rats. *Japanese Journal of Cancer Research*, *91*(1), 25-33.

Tawfeek, H. I., Najim, N. H. and Al-Mashikhi, S. (2003). Efficacy of an infant formula containing anti-*Escherichia coli* colostral antibodies from hyperimmunized cows in preventing diarrhea in infants and children: A field trial. *International Journal of Infectious Diseases, 7*(2), 120-128.

Tay, N., Tan, Y. C., Chng, K., Libedinsky, C., Gluckman, P. and Buschdorf, J. P. (2018). Effect of human milk formula with bovine colostrum supplementation on bone mineral density in infant cynomolgus macaques. *Journal of Developmental Origins of Health And Disease*, *9*(2), 172-181.

Tripathi, V. and Vashishtha, B. (2006). Bioactive compounds of colostrum and its application. *Food Reviews International, 22*(3), 225-244.

Tsuda, H., Kozu, T., Iinuma, G., Ohashi, Y., Saito, Y., Saito, D., Akasu, T., Alexander, D. B., Futakuchi, M., Fukamachi, K., Xu, J., Kakizoe, T. and Iigo, M. (2010). Cancer prevention by bovine lactoferrin: From animal studies to human trial. *Biometals*, *23*(3), 399-409.

Tsuda, H., Sekine, K., Nakamura, J., Ushida, Y., Kuhara, T., Takasuka, N., Kim, D. J., Asamoto, M., Baba-Toriyama, H., Moore, M. A., Nishino, H. and Kakizoe, T. (1998). Inhibition of azoxymethane initiated colon tumor and aberrant crypt foci development by bovine lactoferrin administration in F344 rats. *Advances in Experimental Medicine and Biology, 443,* 273-284.

Wong, E. B., Mallet, J. F., Duarte, J., Matar, C. and Ritz, B. W. (2014). Bovine colostrum enhances natural killer cell activity and immune response in a mouse model of influenza infection and mediates intestinal immunity through toll-like receptors 2 and 4. *Nutrition Research*, *34*(4), 318-325.

Xu, X. X., Jiang, H. R., Li, H. B., Zhang, T. N., Zhou, Q. and Liu, N. (2010). Apoptosis of stomach cancer cell SGC-7901 and regulation of Akt signaling way induced by bovine lactoferrin. *Journal of Dairy Science*, *93*(6), 2344-2350.

Yamamoto, M., Muranishi, H., Inagaki, M., Uchida, K., Yamashita, K., Saito, S., Yabe, T. and Kanamaru, Y. (2013). Skimmed, sterilized, and concentrated

bovine late colostrum promotes both prevention and recovery from intestinal tissue damage in mice. *Journal of Dairy Science*, *96*(3), 1347-1355.

Yamanaka, H., Hagiwara, K., Kirisawa, R. and Iwai, H. (2003). Proinflammatory cytokines in bovine colostrum potentiate the mitogenic response of peripheral blood mononuclear cells from newborn calves through IL-2 and CD25 expression. *Microbiology and Immunology*, *47*(6), 461-468.

Zarcula, S., Cernescu, H., Mircu, C., Tulcan, C., Morvay, A., Baul, S. and Popovici, D. (2010). Influence of breed, parity and food intake on chemical composition of first colostrum in cow. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, *43*(1), 154-157.

Bölüm 9

DENİZ LOJİSTİĞİ KAPSAMINDA ARAŞTIRMA KONULARI VE ÖNERİLER

Elifcan GÖÇMEN[1]

1 Dr. Öğr. Üyesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Munzur Üniversitesi, Tunceli, TÜRKİYE

1. Giriş

Lojistik, hammaddenin, envanterin, mamulün veya bilginin başlangıç noktasından, nihai tüketiciye varıncaya kadar en uygun şekilde taşınması için planlama, uygulama ve kontrol etme sürecidir (Akarcay, 2011). Deniz lojistiği ise, genellikle küresel ölçekte malların taşınmasında birincil araç olarak kabul edilmekte ve bu nedenden dolayı son zamanlarda akademisyenlerin ve uygulamacıların dikkatini çekmektedir. Bununla birlikte, deniz lojistiği kavramı ve küresel tedarik zincirindeki kapsamı, rolü ve tanımı henüz tam olarak yerleşememiştir (Song ve Lee, 2009). Deniz lojistiğini tanımlamak için ilk girişim, Panayides (2006) tarafından yapılmıştır. Deniz lojistiğini tam olarak kavranabilmesi için, deniz taşımacılığı ve lojistik-tedarik zinciri kavramlarının başlangıç olarak değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Deniz taşımacılığı, malların veya yolcuların limanlar arası deniz yoluyla taşınmasıyla ilgilidir. Coğrafi sınırlar göz önüne alındığında, dünya ticaretinde ulaştırma faaliyetlerinde en çok deniz yolu taşımacılığının kullanıldığı görülmektedir. Ülkelerin dış ticaretlerinin ve ekonomilerinin gelişmesinde lojistik sektöründe yaşanan ilerlemelerin payı oldukça büyüktür. Denizyolu taşımacılığı en güvenli ve düşük maliyetli taşımacılık yöntemi olması yanı sıra büyük miktarda ürünün konteynerlanabilmesi, sınır aşımı olmaması gibi nedenlerden dolayı da tercih edilmektedir. Bu bağlamda, Panayides (2006) deniz lojistiği ve deniz taşımacılığı kavramlarının iç içe geçmesini tartışmıştır. Bu iki kavram da, genel olarak konteynırlama ile yapılan taşıma modları ile lojistik kavramlarının uygulanmasını ve başarılmasını talep eden nihai kullanıcıların fiziksel entegrasyonu ile ilişkilidir (Song ve Panayides, 2015). Deniz lojistiği hakkındaki ilk tanımlar, Panayides (2006) tarafından yapılmış ve deniz lojistiğini, genel lojistik ve tedarik zinciri yönetiminin ilkelerini uygulayan bir kavram olarak tanımlamışlar ve limanları içerdiğini de belirtmişlerdir. Gudehus ve Kotzab (2012) tanımına göre ise, fiziksel deniz taşımacılığı akışlarını, bilgi akışlarının yönetimini, deniz tedarik zincirindeki üreticiden son tüketiciye kadarki aktörlerin yönetimini kapsamaktadır. Üstelik, performans geliştirmeyi (etkinlik arttırma ve maliyet azaltma), kalite arttırmayı (hizmet güvenilirliği), işlem ve süreçlerin spektrumunu geliştirmeyi ve çevresel performansı geliştirmeyi amaçlamalıdır. Nam ve Song (2011), deniz lojistiğinin deniz taşımacılığı (taşımacılık, limanlar), geleneksel lojistik fonksiyonları (depolama, dağıtım merkezi hizmetleri) ve bütünleşik lojistik faaliyetleri (katma değerli hizmetler, etiketleme, montaj, onarım) ile ilgili olduğunu öne sürmüşlerdir.

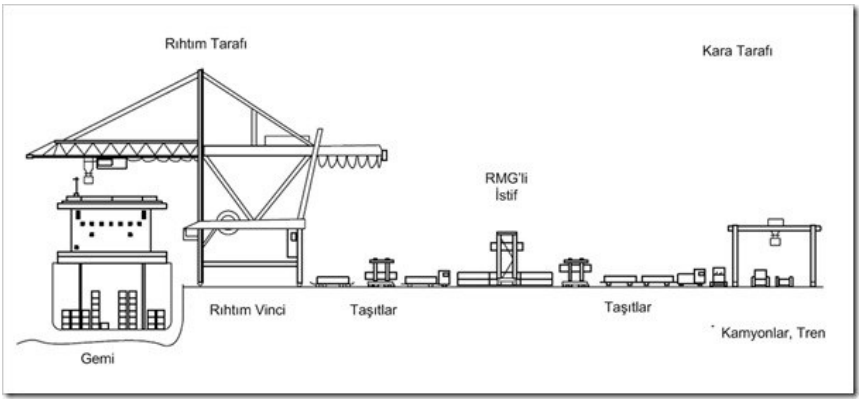
Deniz lojistiği, deniz taşımacılığından geliştirilen bir kavram iken, deniz taşımacılığındaki üç anahtar oyuncu deniz lojistiği sistemini oluşturmaktadır: nakliye, liman/terminal işletme ve taşıma yönlendirme. Tablo 1' de deniz lojistiğinin ana ve yardımcı lojistik fonksiyonları gösterilmektedir.

Tablo 1. Deniz Lojistiği Ana Fonksiyonu ve Yardımcı Faaliyetleri (Song ve Lee, 2009)

	Nakliye	Liman/Terminal yönetimi	Taşıma yönlendirme
Ana Fonksiyon	Kargoları limanlar arası taşımak	Nakliye kabul; kargoları yükleme/ boşaltma,	Gemileri ayırma
Yardımcı Lojistik Faaliyetler	Deniz ticaretiyle ilgili dokümantasyon	Depolama; dağıtım merkezi önerme; test etme; montaj; onarma; iç bağlantı	Stok yönetimi; paketleme; depolama

Nakliye sisteminin ana fonksiyonu, nakliyecilerden aldığı malları bir limandan diğerine taşımaktır.

Liman/terminal yönetiminin ana fonksiyonu, kargoları gemiye yükleme, gemiden boşaltma, kargoların son kullanıcıya dağıtılmaya hazır olması için iç taşımacılık ile hazırlıklar yapmaktır. Şekil 1'de limana yanaşan gemi üzerindeki vinç gemiye yükleme/boşaltma operasyonları gerçekleştirmekte, kara tarafında da yükleme/boşaltma işlemleri gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1. Gemi Yükleme ve Boşaltma Süreci Görseli (Vis ve Coster, 2003)

2. Araştırma konuları

Deniz lojistiği problemleri, geleneksel bir şekilde planlama ufkuna göre stratejik, taktiksel ve operasyonel problemler olmak üzere sınıflandırılabilir (Christiansen vd., 2007).

2.1. Deniz lojistiğinde stratejik planlama

Stratejik kararlar, uzun dönemli kararlardır ve denizcilik alanındaki temel stratejik kararlar, filo büyüklüğü ve karma problemler, ulaşım ve hizmet ağı tasarımı, deniz tedarik zinciri ve lojistiği tasarımı ve gemi tasarımı gibi konuları içerir.

2.1.1. Gemi tasarımı

Gemi tasarımı, yük elleçleme aletleri, mekanik ve elektrik sistemler, yapısal konular gibi geniş bir konu çeşitliliğini kapsamaktadır. Bu konular, geminin ticari varlığında doğrudan etkili olsa da, önemli olan iki konu, gemi boyutu ve hızıdır. Optimal gemi boyutu, yük başına gemi operatörünün maliyetini, belirlenen kargo ile minimize etmelidir. Önceki çalışmalarda gemi tasarımı alanında yapılan çalışmalar ve kullandıkları teknikler Tablo 2' de görülmektedir.

Tablo 2. Gemi Tasarımı Alanında Yapılan Çalışmalar ve Kullandıkları Teknikler

Çalışma	Problem	Kullanılan Yaklaşım
Jansson ve Shneerson,1982	Gemi boyutuna karar verme	Matematiksel model
Garrod ve Miklius, 1985	Gemi boyutuna karar verme	Matematiksel model
Jansson ve Shneerson, 1985	Gemi boyutu ve stok arasındaki ilişkiyi gösterme	Matematiksel model
Pope ve Talley, 1988	Gemi boyutu ve stok arasındaki ilişkiyi gösterme	Matematiksel model
Cullinane ve Khanna, 1999	Ölçek ekonomisinin sağlanması için gemi boyutuna karar verme	Matematiksel model

Gemi tasarımı alanında yapılan çalışmalara öneriler Tablo 3' de görülmektedir.

Tablo 3. Gemi Tasarımı Alanında Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi Ve Öneriler

Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi	
Mevcut	Öneri
Gemi boyutuna karar verirken çekme ve elleçleme kapasitesi gibi teknik özelliklerin modele dahil edilmesi	Gemi boyutu belirlenirken servis sıklıkları ve limanlardan alınan taleplerin de sisteme dahil edilmesi modeli gerçekçi kılar.
Matematiksel model (Denizde ve karadaki toplam maliyetleri minimize etmeye yönelik)	Daha kompleks sistemler için farklı yöntemler (meta sezgiseller)

2.1.2. Filo büyüklüğü ve karma

Stratejik kararlardan biri de, optimal filo tasarımıdır ve gemi tipleri, boyutları ve her boyut için gemi sayıları ile ilgilidir. Bu problemlerin amacı, gemilerin sabit maliyetlerini ve değişken işletme maliyetlerini minimize etmektir. Önceki çalışmalarda filo büyüklüğü ve karma alanında yapılan çalışmalar ve kullandıkları teknikler Tablo 4' de görülmektedir.

Tablo 4. Filo Büyüklüğü Ve Karma Alanında Yapılan Çalışmalar Ve Kullandıkları Teknikler

Çalışma	Problem	Kullanılan Yaklaşım
Dantzig ve Fulkerson, 1954	Denizcilikte sıvı yakıt tankerleri için filo ve gemi sayısı bulma	Ulaştırma modeli
Bellmore, 1968	Yük aktarma problemi	Matematiksel model
Xinlian vd., 2000	Gemilerin ekleneceği filoya, gemi kiralamalarına ve flo ayrılmalarına karar veren filo planlama	Doğrusal ve dinamik programlama kombinasyonu
Sambracos vd., 2004	Homojen filo büyüklüğüne karar verme	Meta sezgisel yöntem
Koç vd., 2015	Heterojen filo ve zaman pencereli araç rotalama	Karma tam sayılı programlama

Filo büyüklüğü ve karma alanında yapılan çalışmalara öneriler Tablo 5' de görülmektedir.

Tablo 5. Filo Büyüklüğü Ve Karma Alanında Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi Ve Öneriler

Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi	
Mevcut	Öneri
Çalışmalarda, genellikle taşımacılığın statik olduğu ve volatiliteden etkilenmediği varsayılmaktadır.	Filonun değişen koşullara göre adaptasyonun sağlanması
Genellikle filo büyüklüğünü ayarlamak için yeni sistemlerin kurulması	Heterojen araçlara sahip filo büyüklüklerinin ayarlanması
Genellikle, tek periyotlu ve değişimlerin göz ardı edildiği sınırlı planlama ufuklu problemler	Farklı simülasyon veya sezgisellerle çok periyotlu sistemlerin incelenmesi

2.2. Deniz lojistiğinde taktiksel planlama

2.2.1. Konteyner istifleme planlama

Konteyner istifleme alanı, sıralar, sütunlar ve katlar olarak organize edilmiş bloklara ayrılmıştır. İstifleme konumunu atamak ve konteynerleri istiflemek için politikalar, gerekli depolama ve teslim etme operasyonlarını olabildiği kadar hızlı yapmayı kolaylaştırmak ve bloktaki konteynerlerin karıştırılmasını engellemek amacıyla oluşturulmuştur. Özel konular, ithalat ve ihracat konteynerleri için atanmış depolama alanlarının ayrılmasını ve istiflenmiş konteynerler için sıralama operasyonlarını planlamayı içerir. Önceki çalışmalarda konteyner istifleme planlama alanında yapılan çalışmalar ve kullandıkları teknikler Tablo 6' da görülmektedir.

Tablo 6. Konteyner İstifleme Planlama Alanında Yapılan Çalışmalar Ve Kullandıkları Teknikler

Çalışma	Problem	Kullanılan Yaklaşım
Avriel vd., 1998	Konteyner depolama planlama problemi için konteyner değişim işlemlerinin sayısını minimize etme	İkili doğrusal program, Geliştirilen sezgisel
Roach, 1999	Gemi boşaltma işlemi bitene kadar her konteyner için istifleme problemi	Tabu araştırması
Wilson ve Roach, 2000	Konteyner değişimlerini minimize eden depolama planı kararı	Dal-sınır algoritması, tabu araması
Kang ve Kim, 2002	İki aşamalı konteyner depolama planı oluşturma	Sezgisel, Ağaç Arama Yaklaşımı
Carlo vd., 2014	Rıhtım depolama operasyonları için sınıflandırma	Rıhtım depolama operasyonları için sınıflandırma şeması
Monaco vd., 2014	Rıhtım ve ulaşım operasyonlarıyla ilgili maliyetleri minimize edecek gemi istifleme planlama problemi	0-1 tamsayılı program, İki aşamalı sezgisel algoritma
Ding ve Chou, 2015	Konteyner gemisinin istifleme planlama problemi. Her liman için istif planları oluşturulmuştur.	Asılı sezgisel prosedürü algoritması

Konteyner istifleme planlama alanında yapılan çalışmalara öneriler Tablo 7' de görülmektedir.

Tablo 7. Konteyner İstifleme Planlama Alanında Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi Ve Öneriler

Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi	
Mevcut	Öneri
Konteyner depolama probleminin sadece depolama tabanlı çözümü	Problemin vinç çizelgeleme veya diğer liman içi problemlerle entegre çözümü
Tek boyutlu konteyner depolama alanları	Üç boyutlu konteyner depolama alanları optimizasyonu
	Teknolojik depolama çözümlerinin etkileri simülasyon yaklaşımıyla irdelenebilir.

2.2.2. Tek ürün için stok rotalama

Tek ürün için stok-rotalama problemi tek bir ürün için gemi rotalama problemiyle birlikte periyotlar boyunca her bir limanda ne kadar ürün sto-

ku tutulacağının da bir arada düşünüldüğü problemdir. Bu problem, konteynırların gemilerle dağıtılması ve limanlarda stok seviyelerinin belirlenen sınırlarda tutulmasını ifade etmektedir (Göçmen ve Yılmaz, 2018).

Önceki çalışmalarda tek ürün için stok rotalama alanında yapılan çalışmalar ve kullandıkları teknikler Tablo 8' de görülmektedir.

Tablo 8. Tek Ürün İçin Stok Rotalama Alanında Yapılan Çalışmalar Ve Kullandıkları Teknikler

Çalışma	Problem	Kullanılan Yaklaşım
Christiansen ve Nygreen, 1998	Limanlar arasında tek bir ürünün bir filo gemi tarafından taşındığı stok yönetimi ve rotalama kararlarını içeren bir stok rotalama problemi	Karma tamsayılı doğrusal programlama, Dantzig-Wolf ile dal-sınır içeren yaklaşım
Christiansen, 1999	Stok yönetim problemi ve rotalama problemini içeren gemi planlama problemi	Dal-sınır algoritması
Christiansen ve Fagerholt, 2009	Tek ürünün taşındığı ve limanlara bırakıldığı bir stok rotalama problemi	Geliştirilen matematiksel model
Song ve Furman, 2013	Stok rotalama problemi	Optimizasyon temelli komşuluk araması
Jiang ve Grossmann, 2015	Sürekli zaman ve kesikli zamana dayalı tek ürün için stok rotalama problemi	Karma tamsayılı doğrusal programlama modelleri

Tek ürün için stok rotalama alanında yapılan çalışmalara öneriler Tablo 9' da görülmektedir.

Tablo 9. Tek Ürün İçin Stok Rotalama Alanında Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi Ve Öneriler

Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi	
Mevcut	Öneri
Zaman pencereli rotalama kararları	Çok periyotlu, zaman pencereli, kapasite kısıtlı araç rotalama kararları
Matematiksel ve sezgisel yaklaşımlar	Araçlar ya da gemiler bazında farklı kapasite miktarlarına ait olması durumunda oluşacak minimum maliyetli planlama
	Farklı sezgisel metotlarla daha kararlı ve hızlı sonuçlar
	Talep ve gelişlerin stokastik olması durumunda uygulanabilecek bir metot önerilebilir.

2.3. Operasyonel planlama

2.3.1. Rıhtım çizelgeleme

Rıhtım çizelgeleme, gemilerin yanaşma maliyetini minimize etmek için yanaşma pozisyonlarının ve sürelerinin belirlenmesidir. Problemde, genellikle gemilerin tahmini gelişleri ve operasyon zamanları bilinmektedir. Önceki çalışmalarda rıhtım çizelgeleme alanında yapılan çalışmalar ve kullandıkları teknikler Tablo 10' da görülmektedir.

Tablo 10. Rıhtım Çizelgeleme Alanında Yapılan Çalışmalar Ve Kullandıkları Teknikler

Çalışma	Problem	Kullanılan Yaklaşım
Kim ve Moon, 2003	Konteynerların pozisyonlarına ve rıhtımlama sürelerine karar verme	Karma tam sayılı model, Tavlama benzetimi algoritması
Guan ve Cheung, 2004	Rıhtım atama, gemilerin bekleme, işlem zamanlarını minimize etme planı	Ağaç arama yaklaşımı, Geliştirilen iki model
Moorthy ve Teo, 2006	Gemilerin rıhtım yanaşma pozisyonlarındaki gecikmeyi minimize etme	Hibrit yaklaşım
Cordeau vd., 2007	Rıhtım yönetiminde oluşan hizmet atama problemi	Memetik sezgisel(GA-TS)
Huang vd., 2007	Gemi ve rıhtımların boyut ve uzunluklarına göre sınıflandırılması	Simülasyon
Lee ve Chen, 2009	Rıhtım çizelgeleme	Komşuluk arama tabanlı sezgisel, Aç gözlü yaklaşım
Zhen vd., 2011	Rıhtım planlama. Operasyon maliyetlerini minimize etme	Karma tam sayılı model, Geliştirilen sezgisel
Zhen ve Chang, 2012	Rıhtım çizelgeleme	Geliştirilen sezgisel
Robenek vd., 2014	Gemilerin limanlara rıhtımlanması	Geliştirilen algoritma, Komşuluğa dayalı sezgisel
Frojan vd., 2015	Çok rıhtımlı bir konteyner terminalinde sürekli rıhtım atama problemi	Tamsayılı programlama ve genetik algoritma

Rıhtım çizelgeleme alanında yapılan çalışmalar ve kullandıkları teknikler Tablo 11' de görülmektedir.

Tablo 11. Rıhtım Çizelgeleme Alanında Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi Ve Öneriler

Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi	
Mevcut	Öneri
Çalışmalarda, sürekli veya kesikli rıhtım düzenleri varsayılması	Her iki rıhtım düzenine uygun çözüm verebilecek jenerik bir model önerilebilir.
Gemi bekleme zamanları deterministik alınmaktadır.	Rıhtımlama pozisyonlarına ve gemi büyüklüklerine göre belirsiz zamanlar oluşabilmektedir.
Statik planlama dönemi	Dinamik planlama dönemi

2.3.2. Gemi yükleme

Gemiler, yüke zarar vermemek veya kayıpları önlemek için güvenli bir düzende yüklenmelidir. En karmaşık gemi yükleme problemleri, konteyner gemileri yüklemektir. Gemilerin stabilliğini sağlamanın yanında, yük elleçleme operasyonlarının etkinliğini de göz önünde bulundurmalıdır.

Önceki çalışmalarda gemi yükleme alanında yapılan çalışmalar ve kullandıkları teknikler Tablo 12' de görülmektedir.

Tablo 12. Gemi Yükleme Alanında Yapılan Çalışmalar Ve Kullandıkları Teknikler

Çalışma	Problem	Kullanılan Yaklaşım
Martin vd., 1988	Konteyner gemileri yükleme	Geliştirilen sezgisel
Avriel vd., 1998	Konteyner değişim operasyonları sayısını minimize eden konteyner depolama planlama problemi	İkili doğrusal programlama, Askılı sezgisel
Wilson ve Roach, 2000	Konteyner değişimlerini minimize eden, gemilerin durağan olmadığı iki aşamalı bir depolama planı oluşturmak	Dal-sınır algoritması, Tabu arama
Kang ve Kim, 2002	İki aşamalı konteyner depolama planı oluşturma	Sezgisel, Ağaç arama algoritması

Gemi yükleme alanında yapılan çalışmalara öneriler Tablo 13' de görülmektedir.

Tablo 13. Gemi Yükleme Alanında Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi Ve Öneriler

Önceki Çalışmaların Değerlendirilmesi	
Mevcut	Öneri
Geminin stabil olduğu varsayılmaktadır.	Geminin dengeli yüklenme veya sıvı yük yüklendiğinde tanka dökülmesinin engellenmesi formüle edilebilir.
Konteyner değişimini minimize eden konteyner gemisi yüklemeye odaklıdır.	Etkili vinç veya taşıyıcı operatörlerin kullanımı ile bütünleşik problem

3. Deniz lojistiği problemleri çözüm yöntemleri

3.1. Matematiksel model

Bu bölümde deniz lojistiğinin problem formülasyonlarında çözüm yaklaşımlarına göre oluşturulan matematiksel modelleme, meta-sezgisel yaklaşım ve simülasyon yaklaşımıyla yapılmış üç farklı çalışma örnek olarak sunulmuştur. Bu bölümde, deniz lojistiğinde yer alan örnek bir matematiksel model formülasyonu sunulmuştur. Bu amaçla örnek olarak konteyner istifleme problemi seçilmiş ve Avriel ve arkadaşları tarafından 1998 yılında yapılan çalışmada yer alan matematiksel model incelenmiştir. Her bir yatay satırlar r=1,...,R ile ifade edilsin ve her bir dikey sütunlar c=1,...,C ile ifade edilsin. Burada r=1 ve c=1 değerleri sırasıyla yer seviyesini ve en soldaki rafı ifade etmektedir. İki boyutlu olarak ele alınan problemde saklanabilecek maksimum konteyner sayısı X=CxR formülüyle hesaplanabilir. Buna göre sistemde X veya daha az sayıda konteyner istiflenebilir.

Her bir geminin N portu ziyaret ettiği ve her bir portta depolama alanındaki konteyner sayısının bir arttığı bilinmektedir. Buna göre Tij i. Noktadan j. Noktaya taşıma uzaklıklarını ifade eder.

Problemin karar değişkenleri aşağıda özetlenmiştir:

$$x_{ijv}(r,c) = \begin{cases} 1, \text{eğer } (r,c) \text{slotunda yer alan bir konteynır } i \text{ portunda yüklenip} \\ j \text{ final destinasyonunda } v \text{ portunda boşaltılıyorsa} \\ 0, \text{aksi halde} \end{cases} \quad (1)$$

Burada r, c konteynerın istif yerini işaret etmektedir.

$$y_i(r,c) = \begin{cases} 1, \text{eğer } i \text{ portunda seyahat ederken } (r,c) \text{slotunda bir konteynır varsa} \\ 0, \text{aksi halde} \end{cases} \quad (2)$$

Problemin amacı (3) minimum maliyetle konteyner istiflemelerinin sağlanmasıdır. Varsayımsal olarak tüm portlarda konteynerların tüm yer-

leşimlerinin aynı maliyet değerine sahip olduğu varsayılmıştır. Buna göre amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi oluşmuştur:

$$Minimize \sum_{i=1}^{\square-1} \sum_{j=i+1}^{N} \sum_{v=i+1}^{j-1} \sum_{r=1}^{R} \sum_{c=1}^{C} x_{ijv}(r,c) \tag{3}$$

Problemin kısıtları aşağıdaki gibidir:

- İki port arasındaki konteyner sayılarının dengelenmesi gereklidir.

$$\sum_{v=i+1}^{j} \sum_{r=1}^{R} \sum_{c=1}^{C} x_{ijv}(r,c) - \sum_{k=1}^{i-1} \sum_{r=1}^{R} \sum_{c=1}^{C} x_{kji}(r,c) = T_{ij} \qquad i = 1, \dots, N-1, j = i+1, \dots, N \tag{4}$$

Bu kısıt i portundan j portuna taşınan konteyner sayısının taşıma planında yer alan ve taşınması gereken konteyner sayısına eşit olmasını sağlamaktadır.

- Her bir portta bir konteyner taşınması durumunda yer işgal etme zorunludur.

$$\sum_{k=1}^{i} \sum_{j=i+1}^{N} \sum_{v=i+1}^{j} x_{ijv}(r,c) \leq y_i(r,c) \qquad i = 1, \dots, N-1, c = 1, \dots, C, r = 1, \dots, R \tag{5}$$

Bu kısıt i portundayken tüm konteyner alanları (slotlar) için doluluk kontrolü yaparak eğer konteyner yerleştirildiyse x ve y değişkenlerini 1 değerine, eğer konteyner yerleştirilmediyse 0 değerine zorunlu kılmaktadır.

- Aşağıdan yukarıya doğru istifleme yapılmalıdır.

$$y_i(r,c) - y_i(r+1,c) \geq 0 \qquad i = 1, \dots, N-1, c = 1, \dots, C, r = 1, \dots, R-1 \tag{6}$$

Bu kısıt her bir konteynerın öncelikle aşağıya yerleştirilmesi eğer aşağısı doluysa yukarıya istiflenmesini sağlamaktadır.

- Bir j portunda boşaltılacak (r,c) lokasyonunda konteyner mevcutsa, bu konteyner üzerinde ya konteyner olmamalı ya da j portundan önce boşaltılacak konteyner yer almalıdır.

$$\sum_{i=1}^{j-1} \sum_{p=1}^{N} x_{ipj}(r,c) - \sum_{i=1}^{j-1} \sum_{p=j+1}^{N} \sum_{v=j+1}^{p} x_{ipv}(r+1,c) \leq 1 \tag{7}$$

$$j = 2, \dots, N, c = 1, \dots, C, r = 1, \dots, R-1$$

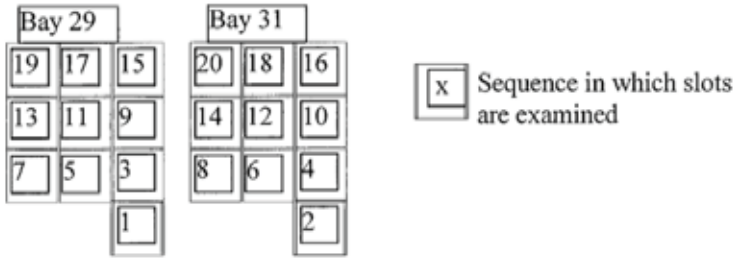
Bu kısıt ile j portunda boşaltılacak (r,c) alanında yer alan bir konteyner olduğunda j'den önce yüklemesi yapılacak ve j den sonra boşaltılması yapılacak konteynerın (r,c) alanının üzerine yani (r+1, c) alanına konumlandırılmaması sağlanır.

- Son olarak x ve y değişkenlerinin (0,1) olarak tanımlanması gereklidir.

$$x_{ijv}(r,c) \in (0,1) \qquad (8)$$
$$y_i(r,c) \in (0,1)$$

3.2. Sezgisel yaklaşım

Önceki çalışmalarda deniz lojistiğiyle ilgili bir çok matematiksel model önerilmiştir. Bu modellerin bazıları çözüm karmaşıklığı yüzünden Np-hard olarak adlandırılan, polinomal zaman diliminde çözülemeyen problemler kategorisinde yer almıştır. Bu nedenle önceki çalışmalarda sıklıkla, sezgisel ve meta-sezgisel yaklaşımlarla optimale yakın sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Bir önceki bölümde ele alınan konteyner istifleme problemini ele alalım. Konteyner sayısı arttıkça modelin çözümü zorlaşmaktadır. Bu nedenle, Wilson ve Roach tarafından 1999 yılında yapılan çalışmada Tabu arama sezgiseliyle konteyner istifleme problemi ele alınmıştır. Bu problem önceki bölümden farklı olarak, değişik uzunluklarda konteynerları ve birden fazla sayıda iskeleyi içermektedir. Bu durum problemi daha da karmaşık hale getirmiştir. Wilson ve Roach (1999) çalışmalarında iki aşamalı bir problemi ele almış ve ilk aşama optimal olarak çözülürken ikinci aşamada tabu arama sezgiselini kullanmışlardır. İlk aşama gemi üzerinde ne kadarlık bir alan kullanılacağına ve minimum istif büyüklüğüne karar verilmiştir. Sonrasında elde edilen verilerle oluşan konteyner istifleme probleminin çözümü için tabu arama yaklaşımı kullanmışlardır. Her bir çözüm bir sıra şeklinde tanımlanmış ve tabu arama sezgiseli uyarlanmıştır. Çözüm gösterimi Şekil 2'de görülmektedir.

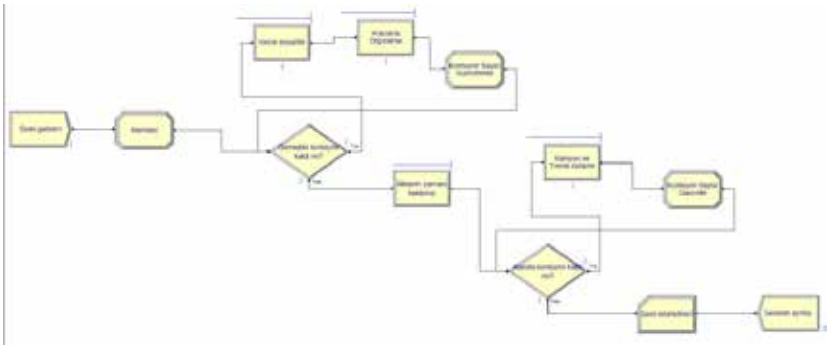


Şekil 2. Çözüm Gösterimi (Wilson ve Roach, 1999)

3.3. Simülasyon yaklaşımı

Deniz lojistiğinde özellikle liman yönetimi konularında simülasyon tabanlı çalışmalar yaygın olarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyon yaklaşımıyla limanda yer alan kaynak miktarlarının farklı değerleri için limanın doluluğu, gemilerin gecikme oranı, sistemde yer alan gemi sayısı gibi performans değişkenleri incelenerek alternatifler değerlendirilmiştir.

Tahar ve Hussain tarafından 2000 yılında yapılan çalışmada liman yönteminde rıhtım, vinç ve taşıma araçlarının farklı koşullar altında ideal sayılarının belirlenmesi için simülasyon çalışması gerçekleştirmiştir. ARENA simülasyon yazılımı kullanılarak modellenen sistem Şekil 3' de görülmektedir. Buna göre sistemde varlıklar (entity) gemilerdir. Gelişler gemilerin rıhtıma yanaşmasıyla gerçekleşir. Daha sonra vinçler (Crane) yardımıyla aktarımla yapılır. Konteynerlar istifleme araçlarıyla (straddle carrier) depolama alanına (yard) aktarılır ve kamyon ve trenlerle liman dışına aktarılır.



Şekil 3. ARENA Simülasyon Yazılımı Kullanılarak Modellenen Sistemin Akışı

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında deniz lojistiği için çalışma alanları incelenmiş ve önceki çalışmalar derlenmiştir. Önceki çalışmaların ayrıntılı bir derlemesi gerçekleştirilmiş ve bu alanda yapılan çalışmalar stratejik-taktiksel-operasyonel olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmada Christiansen vd., 2012 yılında yapılan çalışmadaki yaklaşım temel alınmış ve literatür taranmıştır. Üçüncü bölümde konuyla ilgili önceki çalışmalarda yer alan problemler ve bu problemlerde kullanılan tekniklerden söz edilmiş ve gelecek çalışmalarda problemlere nasıl yaklaşılabileceği belirlenmeye çalışılmıştır. Literatürde yapılan sınıflandırmada sonucunda stratejik planlama probleminde en önemli konunun filo büyüklüğü problemi olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, bu konunun bazı belirsizliklerden etkilendiği gözlemlenmiştir. Bu belirsizlikleri önlemek için de, literatürde genellikle

simülasyon, farklı senaryolarla yeniden optimizasyon, parametrelere aylak değişken ekleme, cezaları dikkate alan deterministik modeller, stokastik optimizasyon modelleri yaklaşımları kullanılmaktadır. Simülasyonu, stokastik durumlar ve belirsizlik için kullanan, stratejik planlama amaçları için belirleyen çalışmalar mevcuttur. Yine, stratejik kararlardan olan liman yönetimi konusunda da, liman operasyonlarının iç içe geçmesinden dolayı analitik yöntemler liman optimizasyonunda çok sık kullanılmamaktadır. Bu yüzden, simülasyon limanların analizinde, tasarımında güçlü bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Deniz lojistiği literatüründe yapılan diğer çalışmalarda da kesin çözümlerin yeterli geldiği yerlerde dal ve sınır, dal ve kesme, kesme düzlemi, sütun yaratma, dinamik programlama, tam sayılı programlama gibi yöntemler kullanılırken, problemin boyutu arttıkça asılı sezgisel gibi klasik sezgiseller kullanılmıştır. Deniz lojistiği problemlerinin doğası gereği de, çalışmaların büyük bir bölümü, çözüme ulaşmak için tabu arama, genetik algoritma gibi ileri sezgiselleri kullanmışlardır. Deniz lojistiği literatüründe genellikle gemi rotalama, çizelgeleme gibi konulara ilgi duyulurken, 2006 yılından günümüze doğru küresel ölçekteki sürdürülebilirlik kavramının ön plana alınmasıyla bu alanda da çalışmalar hız kazanmıştır. Sürdürülebilirlik kavramı, bu sektörde birbiriyle çakışabilecek çeşitli amaçları içermektedir. Deniz lojistiğinde, çevresel etkileri değerlendirmek amaçlı çalışmalarda genellikle gaz emisyonlarını azaltma stratejileri, rıhtım atama stratejileri, yakıt tüketimi optimizasyonu, düşük karbon taşımacılığı ve enerji etkin gemi tasarımı üzerine odaklanılmaktadır. Örneğin, çalışmalarda çevresel sürdürülebilirlik göstergesi yakıt emisyonlarını minimize edilirken, aynı zamanda ekonomik gösterge hizmet seviyesinin maksimize edilmek istendiği durumlar mevcuttur. Bu gibi durumlarda da, çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı sergilenmiştir. Deniz lojistiği ilgili birçok çalışma yapılmış ve bu alanda çalışmaların devam ettiği görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

Akarçay, B. (2011). Denizcilik işletmelerinde lojistik yönetimi ve Türkiye uygulaması. Beykent Üniversitesi SBE, Yüksek Lisans Tezi.

Avriel, M., Penn, M., Shipier, N., ve Witteboon, S. (1998). Stowage planning for container ships to reduce the number of shifts. *Annals of Operations Research*, 76, 55–71.

Bellmore, M. (1968). A maximum utility solution to a vehicle constrained tanker scheduling problem. *Naval Research Logistics Quarterly* 15, 403–411.

Carlo, Hector J., Iris F.A., ve Vis, K.J.R. (2014). Storage yard operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions. *European Journal of Operational Research,* 235(2), 412 – 430.

Christiansen, M. ve Nygreen, B. (1998). A method for solving ship routing problems with inventory constraints. *Annals of Operations Research,* 81, 357-378.

Christiansen, M. (1999). Decomposition of a combined inventory and time constrained ship routing problem. *Transportation Science*, 33(1), 3-16.

Christiansen, M, Fagerholt, K, Nygreen, B, ve Ronen, D. (2007). Maritime Transportation, *Handbook in OR&MS,* 14, 189-284.

Christiansen, M., ve Fagerholt, K. (2009). Maritime inventory routing problems. In C. A. Floudas & P. M. Pardalos (Eds.), Encyclopedia of optimization (2nd edn.). 1947–1955. Berlin: Springer.

Christiansen, M., Fagerholt, K., Flatberg, T., Haugen, Q., Kloster, O. ve Lund, E.H. (2011). Maritime inventory routing with multiple products: A case study from the cement industry. *European Journal of Operational Research*, 208, 86-94.

Cordeau, J., Gaudioso, M., Laporte, G. ve Moccia, L. (2007). The service allocation problem at the gioia tauro maritime terminal, *European Journal of Operational Research* 176, 1167–1184.

Cullinane, K. ve Khanna, M. (1999). Economies of scale in large container ships. *Journal of Transport Economics and Policy* 33 (2), 185–208.

Dantzig, G.B. ve Fulkerson, D.R. (1954). Minimizing the number of tankers to meet a fixed schedule. *Naval Research Logistics Quarterly* 1, 217–222.

Ding, D. ve Chou, M.C. (2015). Stowage planning for container ships: A heuristic algorithm to reduce the number of shifts. *European Journal of Operational Research*, 246(1), 242-249.

Frojan, P., Correcher, J.F., Valdes, R.A., Koulouris, G. ve Tamarit, J.M. (2015). The continuous Berth Allocation Problem in a container terminal with multiple quays. *Expert Systems with Applications* 42, 7356-7366.

Garrod, P. ve Miklius, M. (1985). The optimal ship size: A comment. *Journal of Transport Economics and Policy* 19 (1), 83–91.

Gocmen, E., & Yilmaz, E. (2018). Future research and suggestions based on maritime inventory routing problem. In *Industrial Engineering in the Industry 4.0 Era* (pp. 91-96). Springer, Cham.

Guan, Y. ve Cheung, RK. (2004). The berth allocation problem: models and solution methods, *OR Spectrum*, 26, 75–92.

Gudehus, T. ve Kotzab, H. (2012): Comprehensive Logistics, 2.edition, Springer, Berlin.

Jansson, J.O. ve Shneerson, D. (1982). The optimal ship size. *Journal of Transport Economics and Policy* 16(3), 217–238.

Jansson, J.O. ve Shneerson, D. (1985). A model of scheduled liner freight services: Balancing inventory cost against shipowners' costs. *The Logistics and Transportation Review* 21 (3), pp 195–215.

Jiang, Y., ve Grossmann, I.E. (2015). Alternative mixed-integer linear programming models of a maritime inventory routing problem. *Computers & Chemical Engineering*, 77, 147-161.

Kang, J.G. Ve Kim, Y.D. (2002). Stowage planning in maritime container transportation. *Journal of the Operational Research Society* 53, 415–426.

Kim, K.H., ve Moon, K.C. (2003). Berth scheduling by simulated annealing. T*rans Res Part B* 37, 541–560.

Lee, Y ve Chen, C.Y. (2009). An optimization heuristic for the berth scheduling problem, *European Journal of Operation Research*, 196, 500-508.

Martin, G.L., Randhawa, S.U., ve McDowell, E.D. (1988). Computerized container-ship loading: A methodology and evaluation. *Computers & Industrial Engineering* 14 (4), 429-440.

Monaco, M. F., Sammarra, M. ve Sorrentino, G., 2014. The Terminal Oriented Ship Stowage Planning Problem. *European Journal of Operational Research* 239, 256-265.

Moorthy, R. ve Teo, C.P., 2006. Berth management in container terminal: the template design problem, *OR Spectrum*, 28 (4), 495–518.

Panayides, P. (2006). Maritime logistics and global supply chains: Towards a research agenda, *Maritime Economics and Logistics*, 8(1), 3–18.

Pope, J.A. ve Talley, W.K. (1988). Inventory costs and optimal ship size. *Logistics and Transportation Review* 24 (2), 107–120.

Sambracos, E., Paravantis, J.A., Tarantilis, C.D., ve Kiranoudis, C.T. (2004). Dispatching of small containers via coastal freight liners: The case of the Aegean sea. *European Journal of Operational Research* 152, 365–381.

Song, D.W., ve Lee, P. (2009). Editorial: Maritime logistics in the global supply chain, *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 12(2), pp 83–84.

Song, J. ve Furman, K. C. (2013). A maritime inventory routing problem: Practical approach. *Computers & Operations Research* 40(3) pp 657–665.

Song, D.W. ve Panayides, P. (2015). Introduction to Maritime Logistics, in Song, D-W. and Panayides, P. (eds.), Maritime Logistics: A Guide to Contemporary Shipping and Port Management (2nd ed.), Kogan Page, London, pp. 3-10

Tahar, R. M. ve Hussain, K. (2000). Simulation and Analysis for the Kelang Container Terminal Operations. *Logistic Information Management*, 13(1) : 14-20.

Vis, I. F.A. ve Koster, R.D. (2003). Invited review transshipment of containers at a container terminal: an overview. *European Journal of Operational Research* 147, 1–16.

Wilson I. D., Roach P.A. (1999). Principles of Combinatorial Optimization Applied to Container Ship Stowage Planning. *Journal of Heuristics* 5 (4), 403-418.

Wilson, I.D., Roach, P.A. (2000). Container stowage planning: a methodology for generating computerized solutions. *Journal of the Operational Research Society* 51 (11), 1248-1255.

Xinlian, X., Tangfei, W., Daisong, C. (2000). A dynamic model and algorithm for fleet planning. *Maritime Policy & Management* 27 (1), 53–63.

Zhen, L., ve Chang, D.F. (2012). A bi-objective model for robust berth allocation scheduling. *Computers & Industrial Engineering*, 63(1), 262–273.

Zhen, L., Chew, E.P., ve Lee, L.H. (2011). An integrated model for berth template and yard template planning in transshipment hubs. *Transportation Science*, 45, 483–504.

Bölüm 10

SHRİNK FİLM MALZEMELERİ VE SERAMİK ENDÜSTRİSİNDE KULLANIMI

Gökhan AÇIKBAŞ[1]
Nurcan ÇALIŞ AÇIKBAŞ[2]

1 Doç. Dr., Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Merkez, Bilecik, samgokhanacikbas@gmail.com
2 Prof.Dr., Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Merkez, Bilecik, ncalis@gmail.com

1. Giriş

Shrink film malzemeleri, genellikle polietilen hammaddeden elde edilen ve kullanım alanına göre değişik kalınlık ve boyutlarda üretilen endüstriyel ürünlerdir. Bu malzemeler, endüstrinin birçok alanında oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle seramik, metal, mobilya, inşaat, gıda, elektronik, beyaz eşya vb. birçok endüstriyel sektörde ambalajlama amacıyla kullanılmaktadırlar. Shrink malzemesinin ambalajlama yeteneği önemlidir. Bu nedenle ambalajlanacak malzemelerinin boyutuna ve ağırlığına göre belirlenmiş uygun shrink filmin kalınlık ve boyutunun seçilmesi maliyetlerinin azaltılması, atık oluşumunun azaltılması, çevrenin korunması vb. amaçlar nedeniyle önemlidir.

Endüstriyel tesislerde shrinkleme amacıyla kullanılan sistemler genellikle ambalajlanacak malzemeye shrink malzemesinin termal işleme tabi tutulması, streç film şeklinde sarılması ya da gerdirilip serbest bırakılması şeklinde olup Şekil 1'de bu yöntemler sırasıyla gösterilmiştir. Shrinkleme yöntemlerinde özellikle termal yöntem uygulaması ile sıcaklık uygulanan shrink film, boyuna ve enine küçülerek ürünü sarar ve ambalajlanacak malzemeyi tam olarak kavrar. Bu uygulamadan sonra ortam şartlarına soğuyan shrink film, donarak ambalajlanacak malzemenin üzerinde onu tamamen sıkıca sarmış bir şekilde kalır. Shrinkleme işlemi, ambalajlanacak olan malzemenin sallanmasını ve devrilmesini engellenmiş olmakla birlikte, dış etkenlerden koruma ve taşıma kolaylığı gibi avantajlar da sağlar. Bunun yanında termal sistemler dışında yukarıda da bahsedildiği gibi mekanik olarak gerilen shrinkin malzemeye gerdirilip serbest bırakılması ile sarılması esasına dayan yada daha basit streç malzeme ile ürünlerin sarılmasına ait teknolojiler de kullanılmaktadır. Bu çalışmada endüstriyel üretim sistemlerinde kullanılan shrink malzemeleri, üretimi ve özellikleri ile seramik sektöründe kullanılacak shrink naylonu için teknik şartnamede olması gereken bazı özellikler, termal işlem uygulanarak yapılan shrinkleme işleminde yaşanan bazı sorunlara dair önemli noktalar aktarılmıştır.

Şekil 1. *Shrink Malzemesi Uygulama Yöntemleri, sırasıyla termal, streç sarma, gerdirme (Powder Bulk Solids, 2015)*

2. Shrink Naylonu Yapımında Kullanılan Malzemeler

Shrink malzemeleri, malzeme sınıfları içinde polimer malzemeler sınıfında yer almaktadır. Shrink malzemeleri farklı endüstri kollarında benzer amaçlar için kullanılan malzemeler olup kullanıldığı alana göre farklı malzemeler, farklı boyut ve kalınlıklarda kullanılmaktadır. Shrink naylonu üretiminde kullanılan en temel plastik malzeme termoplastik malzeme sınıfında olan polietilendir.

2.1. Termoplastikler

Polimer malzemeler, termoplastikler, termosetler ve elastomerler olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. Termoplastik malzemeler adından da geldiği üzere ısı ile şekillendirilen, duruma göre tekrar tekrar ısıl işlemler ile şekillendirilip kullanılabilen malzemelerdir. Shrink naylonu üretiminde en çok kullanılan polimer türü polietilenlerdir (Saçak, 2005; Savaççı ve ark., 2002).

2.2. Polietilen

Polietilen, etilen gazının polimerizasyonu ile sentezlenen bir polimer olup dünya genelinde yıllık 90 milyon ton üzerinde bir üretimi bulunan ve en yaygın kullanılan plastik malzemelerden biridir. Termoplastik malzemelerin yaklaşık olarak üçte biri polietilendir. Polietilen 1933 yılında kazara keşfedilmiş olan ve 1939 yıllında ise endüstriyel boyutta üretimi yapılan bir malzemedir. 2019 yılında dünya genelinde en yüksek polietilen tüketimi hacmine sahip ülkeler, küresel tüketimin toplam % 24'lük payı ile ABD (4,9 milyon ton), Çin (3,2 milyon ton) ve Hindistan (2,6 milyon ton) dır. Polietilen, dallanmış zincir yapısına sahip olup düşük yoğunluk olup günümüz endüstrisinde üretilen ya da kullanılan bu malzemeye sırasıyla Türkçe ve İngilizce sözcüklerinin baş harflerinden oluşan AYPE (alçak yoğunluklu polietilen), ya da LDPE (low density polyethylene) denilmektedir. Çizelge 1'de genel maksatlı ve teşhir amaçlı ambalaj için tübüler film imalatında kullanılan tipik bir polietilen malzemesine ait özellikler görülmektedir. Üretilecek ürünün özelliklerine göre Çizelge 1'de verilen özelliklerde değişmektedir. Bu nedenle birçok endüstrinin ihtiyacına uygun farklı özelliklerde polietilen malzemesi geliştirilmektedir (Pagev, 2018; Saçak, 2005; IndexBox, 2020; Petkim A.Ş., 2004).

AYPE çok yüksek basınçlarda üretilmekte olup bu polimer yüksek basınç polietileni olarak da adlandırılmaktadır. AYPE'de ana zincirdeki dallanmalarda yan dalların boyları daha kısa olup genelde bu yan dallar etil, bütil, propil vb. alkil gruplarından oluşmakta olup mol kütlesi 5000 ile 40000 arasında değişmektedir. AYPE geliştirilmesinden kısa bir süre sonra kromlu katalizör ve Ziegler Natta katalizörünü temel alan koordinasyon polimerizasyonu üzerinden çok daha düşük basınçlarda elde edilen düşük basınç polietileni olarak adlandırılan yüksek yoğunluklu polietietilen olan YYPE ya da günümüzde

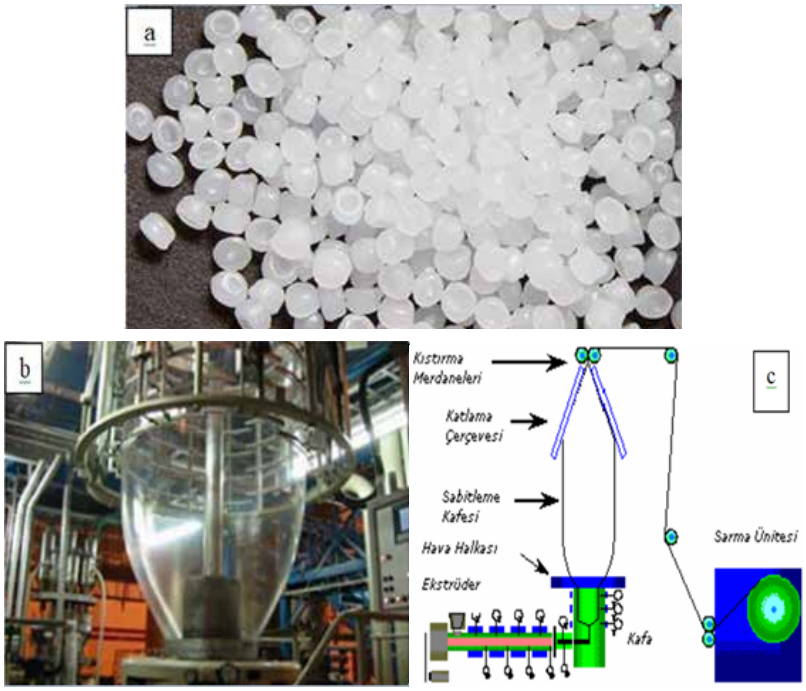
ingilizce karşılığın kısaltması olarak yoğun bir şekilde kullanılan HDPE (high density polyethylene) geliştirilmiştir. Polietilen türlerinden geliştirilen bir diğer önemli polimer türü doğrusal düşük yoğunluklu polietilen olan ve düşük basınçta sentezlenen DAYPE yada günümüzde ingilizce karşılığın kısaltması olarak yoğun bir şekilde kullanılan LLDPE (linear low density polyethylene) dir. Bu üç farklı polietilen türü ile değişik özelliklerde polietilenler üretilmekte ve kullanılmaktadır. Özellikle shrink naylonu üretiminde AYPE kullanılsa da AYPE'nin shrink özelliklerini geliştirmek için DAYPE karışıma eklenmektedir ki özellikle shrink naylonun sürtünme özelliklerini iyileştirerek shrink naylonunun ürüne daha rahat giydirilmesi sağlanmaktadır. Shrink naylonu üretiminde shrink naylonunun üretim maliyetleri düşürmek ya da özelliklerini (mekanik, optik, termal, vb.) iyileştirmek için organik ya da inorganik bileşenler katılmaktadır. Bu katkılar UV katkıları, yağlayıcılar, plastikleştiriciler, renklendiriciler, darbe dayanımı arttırıcı katkılardır (Pagev, 2018; Saçak, 2005; Savaççı ve ark., 2002).

Çizelge 1. *Tübüler film imalatında kullanılan tipik bir AYPE malzemesine ait özellikler, (Petkim A.Ş., 2004)*

GARANTİ DEĞERLER	BİRİM	DEĞER	TEST METODU
Erime Akış Hızı (2160g,190°C)	g/10dk	2.0-3.5	ASTM D-1238
Yoğunluk,23°C	g/cm^3	0.918-0.922	ASTM D-1505
Film Kalitesi	-	A	ALKT-36
TİPİK DEĞERLER			
Pusluluk	%	6.7	ASTM D-1003
Parlaklık	-	70	ASTM D-2457
Kül Oranı	%wt	0.16	ALKT-509
Erime Noktası (DSC)	°C	110	ASTM E-794
Vicat Yumuşama Noktası	°C	92*	ASTM D-1525
Akmada Gerilme Dayanımı	kg/cm^2	85	ASTM D-638
Kopmada Gerilme Dayanımı	kg/cm^2	140	ASTM D-638
Kopmada Uzama	%	600	ASTM D-638
Sertlik (Shore D)	-	44	ASTM D-1706
Parlama Sıcaklığı	°C	340*	ASTM E-136
Termal Genleşme Katsayısı	K^{-1}	10×10^{-5}**	ASTM D-696
Kırılganlık Sıcaklığı	°C	<-118**	ASTM D-746
Molekül Ağırlığı Dağılımı	-	Orta	Lisansör
Bozunma Sıcaklığı	°C	> 350	Lisansör
Isı İletkenliği	$Wm^{-1}K^{-1}$	0.34	Lisansör
Eriyik Yoğunluğu	g/cm^3	0.7636	Zoller, Paul, J.Apll.Pol.Sci. Vol.23, p.1051(1979)
Kristallik Oranı	%	50 / 53**	B.Wunderlich, M.Dole, J.Polymer Sci.24, 201 (1957)
Camsı Geçiş Sıcaklığı	°C	-80 / -90**	R.F.Boyer, Rubber Chem.Tech. 36, 5 (1963)

Not: Tipik değerler, Petkim Laboratuvarında yapılan analizlerin ortalama değerleridir.
* : Lisansör Firmanın verdiği değerdir.
** : Handbook değeridir (AYPE-Genel).

AYPE'nin türüne bağlı olarak geniş ekstruzyon koşulları aralığında, çok yüksek kalitede film üretimi yapılabilir, ancak dengeli film özelliklerine sahip üretim, eriyik sıcaklığı aralığının, şişirme oranlarının ve yüksek verimde çalışıldığında ekstruder vidasının sıkıştırma oranının iyi ayarlanması gerekmektedir. Şekil 2'de film ekstruzyonunda kullanılan AYPE malzemesi ve film ekstrüzyon sistemine ait görüntüler verilmiştir (Petkim A.Ş., 2004; Eymen Petrokimya, 2020).



Şekil 2. *a)AYPE granülleri, b, c) Film ekstrüzyon sistemi (Eymen Petrokimya, 2020; Petkim A.Ş., 2004)*

3. Shrink Uygulama Yöntemleri

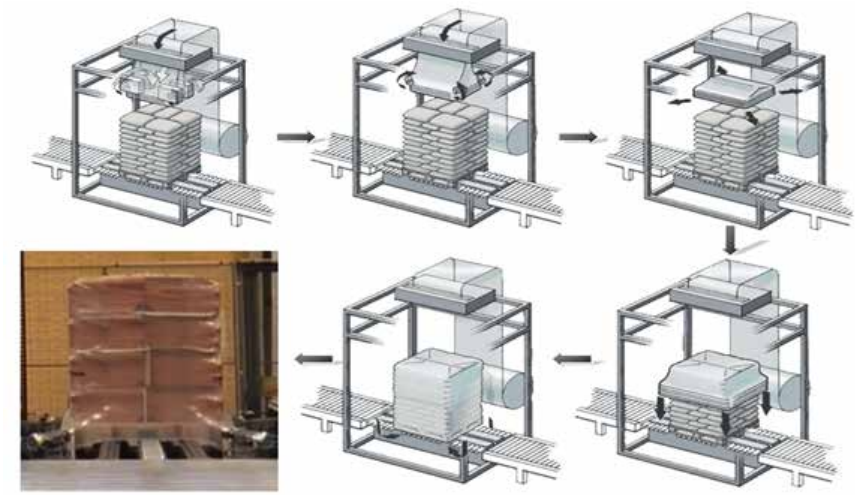
Endüstriyel anlamda shrink uygulama yöntemleri denildiğinde termal sürecin, mekanik gerdirmenin uygulandığı yöntemler akla gelir. Termal süreç ile shrinklemenin ya da mekanik gerdirme yöntemlerinin shrinklenecek ürün yada shrinkleme kalitesi gibi yönlerden farklı avantaj yada dezavantajlı olan yönleri bulunmaktadır. Bu yöntemlere ilerleyen bölümlerde değinilecektir. Daha önceki kısımlarda Şekil 1'de termal yöntemle shrinkleme, strenç sarma yöntemi ve mekanik gerdirme yöntemlerine ait görseller verilmiştir. Seramik endüstrisinde özellikle ürün ağırlığı, görsellik ve kalite standardizasyonu için termal ve mekanik süreçler tercih edilmektedir.

3.1. Mekanik Gerdirme Esasına Dayanan Yöntem

Bu yöntemin termal yöntemden en önemli farkı, shrink naylonundaki ürünü sarması sonrası ısıl işlem olmayışıdır. Bunun dışında bu işlem ile aşağıda belirtildiği gibi faydalarda sağlanmaktadır. Bu yöntemde otomatik sistemlerde, palet boyuna ve yüke göre uygun kalınlıktaki shrink naylon ebatları seçilmesini sağlayan mekanizasyon sayesinde shrinkleme süreci hızlandırılabilmektedir (Naksan Plastik A.Ş., 2004; Lachenmeier ApS, 2020).

- Daha az enerji kullanımı
- Paketleme işleminde paketleme materyalinin kullanımının azaltılması
- Dikey ve yatay yönlerde daha iyi esneme kabiliyeti
- Delinme dayanımının artması
- Toza neme ve yağmura karşı ürünlerin korunması
- Yüksek yük dengesi
- UV koruma
- Esnek baskı uygulanmasına imkân vermesi

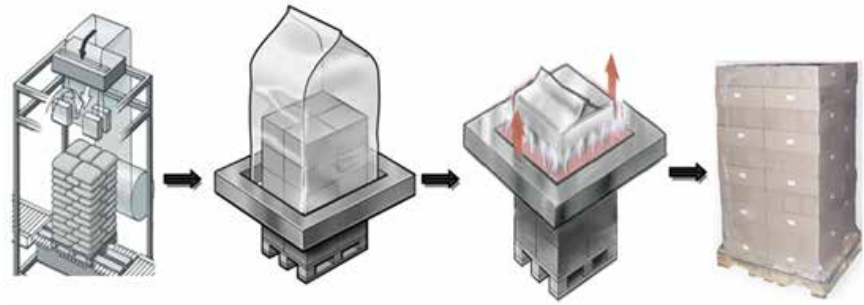
Mekanik gerdirme tekniği uygulamasına yönelik işlem basamakları Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3'de belirtildiği üzere ilk olarak gerdirme makinesi üzerine gelen paletli malzemeler hizalanır ve hizalanan ürünlü palet üzerine robotik kollar yardımıyla shrink naylonu dört köşeden tutularak palet üzerinde hizalanır. Hizalanmış naylon xy yönlerinde gerdirilerek açılır. Paletli ürün boyuna göre naylon kat kat gramafon kağıdı gibi istiflenerek uygun boyutta yapıştırılarak en üst noktadan kesilir. Kesilen shrink naylonu ürün üzerine –z yönünde giydirilir ve palet altına kadar gerdirilen shrink serbest bırakılarak ürünü sarması sağlanır (Naksan Plastik A.Ş., 2004; Lachenmeier ApS, 2020).



Şekil 3. *Mekanik gerdirme ile shrinkleme işlem basamakları (Naksan Plastik A.Ş., 2004; Lachenmeier ApS, 2020).*

3.2. Termal Yöntem ile Shrinkleme

Termal yöntem ile shrinklemede, gerdirilmeden shrinklenecek ürüne göre daha büyük ebattaki shrink naylonu geçirilen paletli ürün termal yöntem kullanılarak (ürünün sıcak hava ya da direkt alevle teması sağlanarak) shrink naylonun küçülerek ürünü sarması sağlanır. Bu yöntemde otomatik sistemlerde palet boyuna ve yüke göre uygun kalınlıktaki shrink naylon ebatları seçilerek süreç hızlandırılabilmektedir. Şekil 4'de termal shrikleme sürecine ait görsel verilmiştir. Şekil 4'den de görüldüğü üzere palet ebatlarına uygun shrink ebatı otomatik ya da manuel sistemde seçilir. Palet yüksekliğini sistem ölçerek ürünün üzerine shrink naylonu giydirilir. Daha sonra üst kısımdan otomatik olarak shrink kesilip yapıştırılır. Sonrasında termal süreç uygulanarak shrink naylonun küçülmesi sağlanarak ürünü paletle birlikte sarması sağlanır (Lachenmeier ApS, 2020; BigShrink, 2020).



Şekil 4. *Termal yöntem ile shrinkleme işlem basamakları (Lachenmeier ApS, 2020; BigShrink, 2020)*

Üretimin çeşitliliğine üretim adetlerine ve firmanın olanaklarına bağlı olarak otomatik sistemle termal uygulama adımları dışında manuel yollarla shrinkleme işlemide yapılmaktadır. Şekil 5' de çalışanlar tarafından standart ebatlarda temin edilmiş shrink naylonları kullanılarak yine çalışanlar tarafından manuel olarak yapılan shrinkleme süreci gösterilmiştir. Bu süreçte her ürün boyutuna uygun shrink naylonu kullanılamayacağı için gereksiz tüketimler her endüstride olduğu gibi seramik endüstrisinde görülmektedir.

Şekil 5. *Manuel termal yöntem ile shrinkleme işlem basamakları (BigShrink, 2020)*

4.Seramik Ürünlerin Shriklenme Sürecinin Değerlendirilmesi

4.1. Shrink Malzemesi için Teknik Şartname Prosedürünün Hazırlanması

Firmalar shrink naylonu temininde genellikle aldıkları shrink ürünü ağırlık, ebat (genişlik) ve kalınlık açısından değerlendirmeye yönelik şartnameler oluşturmaktadır. Aslında shrink malzemesinin en önemli özelliği olan küçülme faktörü göz ardı edilmektedir. Bunun dışında shrink naylonunda optik özellikler ikinci sırada gelmektedir. Optik özellikleri en çok etkileyen shrink naylonu üretim maliyetlerini düşürmek ve bir nebzede mekanik özellikleri arttırmak için kullanılan inert ya da reaktif dolgu malzemeleridir. Bunun dışında şartname shrink naylonun UV ve sürtünme (giydirme vb.) aşamalarında oluşan davranışı belirlemek için yapılan testler önem arz etmektedir. Bu kısımda özellikle seramik ürünlerin shrinklenmesinde termal yönteme uygun sistemler için kullanılan shrink ürünlerde küçülme testlerine ve elde edilen sonuçlara değinilecek, bazı önemli test prosedürleri hakkında bilgi verilecek olup, seramik ürünlerin shrinklenmesi aşamasında yaşanan bazı durumlar irdelenecektir.

Bir seramik üreticisi firma için shrink malzemesinden beklenecek özellikler maddeler halinde aşağıdaki sıralanabilir:

- İstenilen Boyutta
- İstenilen Kalınlıkta
- İstenilen Küçülme Oranında
- İstenilen Şeffaflıkta
- Kül Tayini
- İstenilen İklim Koşullarına Uygun
- İstenilen Kalite
- Makul Fiyat ve Zamanında Teslim Edilen Ürün

Yukarda bahsedildiği gibi firmalar bu ürünlerin temininde genelde boyutlar ve toleransları ile gelen mamulün ağırlığına bakmakta, çoğu zaman kalınlık unsurunu dahi göz ardı etmektedir. Özellikle, kalınlık bu tür ürünlerin kontrolünde en önemli unsur olup shrink tüketiminde önemli bir paya sahiptir. Shrink naylon kalınlığındaki artış paleti transfer ya da taşıma halinde oluşacak sallantı halinde paletteki ağır seramik ürünü tutmada daha iyi bir mekanik dayanım sergilese de o yüke göre belirlenmiş kalınlık toleransı dışına çıkıldığında maliyetlerde hızlıca artmaktadır. Örneğin aşağıdaki Çizelge 2'de shrink naylonu tüketiminde, kalınlığın limitlerinin dışına çıkılması halinde meydana gelen artış miktarı ve kaybettirdiği bedel gösterilmiştir. Shrink naylonu için genellikle işletmeler alınan shrink naylonu ağırlığı üzerinden bedel ödendiği için kalınlık artışı nedeniyle daha az paketleme yapacağı için bu maliyet de katlanmaktadır. Bunun kontrolü ancak daha iyi hazırlanmış şartnameler ile sağlanabilir.

Çizelge 2. *Shrink naylonu kalınlığındaki değişimin maliyete etkisi*

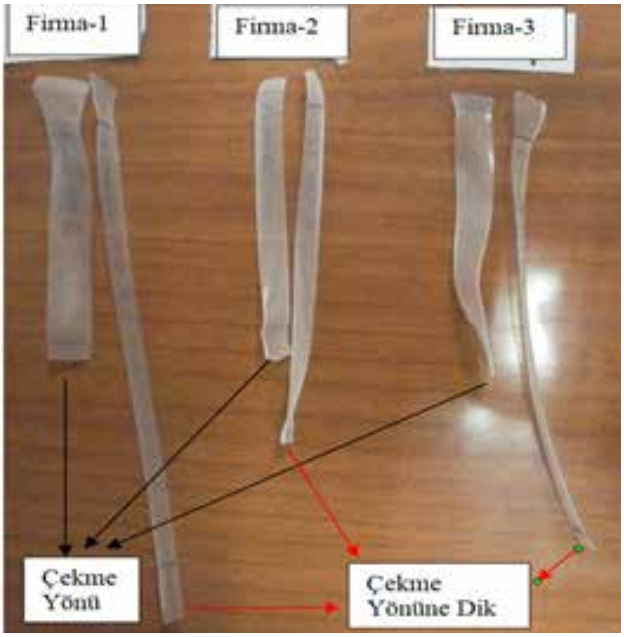
Shrink Naylonu Kalınlığı, µm	% Değişim (Kalınlık)	1.000.000 TL yıllık ürün kullanan bir firmada kaybedilen tutar, TL
Standart Kalınlık, 120 ± %3	-	-
1.Temin Edilen Üründeki Kalınlık, 130 ± %3	~8,3	~83.000
2.Temin Edilen Üründeki Kalınlık, 140 ± %3	~16.5	~165.000

4.2. Shrink Naylonu Küçülme Oranın Belirlenmesi ve Önemi

Yukarıdaki örnekte olduğu gibi shrinkleme kalitesi ve dolaylı olarak maliyetleri arttıran bir diğer durumda shrink naylonun küçülme değerinin şartnamelerde olmamasıdır. Küçülme davranışı shrink naylonun isminde olduğu gibi malzemenin en önemli özelliği olup paletli ürünün en iyi şekilde sarılmasında birinci derece sorumlu özelliktir. Shrinklenmiş ürü-

nün sarılma kalitesinde shrinkleme sistemine ait sistemin özelliklerinin de önemi olduğu unutulmamalıdır.

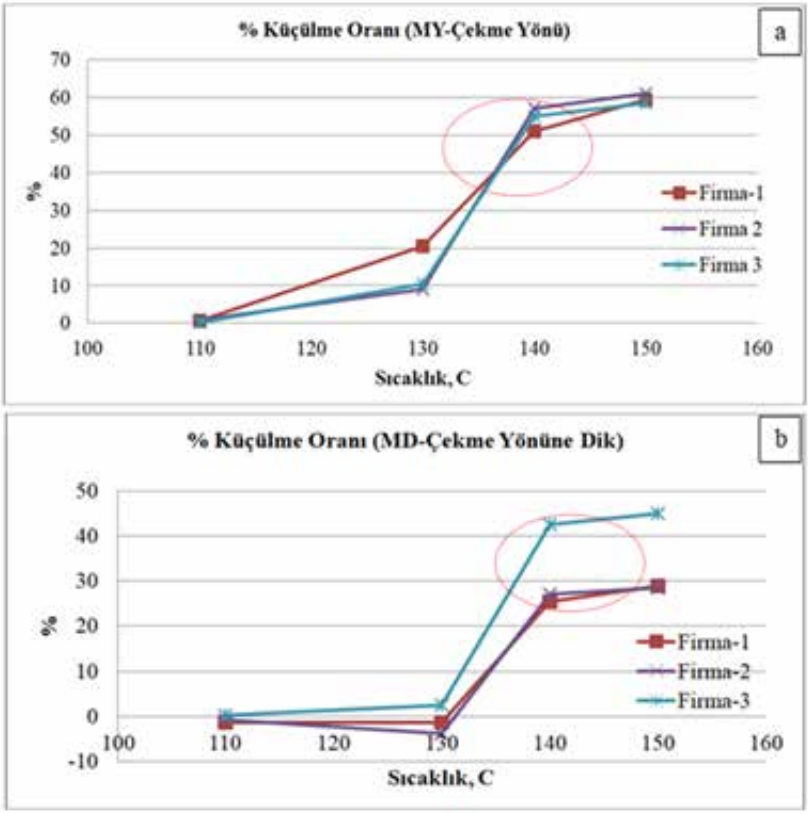
Shrink naylonu küçülme oranının belirlenmesinde shrink naylonunun farklı noktalarından belirli boyutlarda temin edilmiş shrink naylonun film ektrüzyon makinesindeki çekme yönüne paralel (MY) ve çekme yönüne dik (MD) yöndeki bölgelerden 10 mm eninde 100 mm boyunda 5'er adet örnekler alınarak standarda göre set edilmiş sıcaklıklarda bir dakika tutularak 100 mm'lik boyutta meydana gelen değişimin ölçülmesi ile tespit edilmektedir. Şekil 6' da, test metoduna uygun olarak hazırlanmış ve testten çıkmış shrink ürünlere ait görseller verilmektedir.



Şekil 6. *Küçülme oranın testine tabi tutulmuş farklı firmalara ait shrink örnekleri*

Şekil 7a,b'de 3 farklı firmaya ait shrink naylonundan alınmış örneklerin farklı sıcaklıklardaki küçülme oranlarına ait değerler gösterilmiştir. Film ekstrüzyon makinesinde shrinkin çekim yönü MY ile shrinkin çekim yönüne dik yönde MD ile gösterilmiştir. Shrink naylonundan beklenen her iki yönde de MY ve MD benzer değerler olması bu değerlerinde belirlenmiş bir set/referans değerden çok yüksek olmaması gerekmektedir. Özellikle MD değerinin shrinkin ürünü daha iyi sarması açısından daha yüksek olması istenirken, MY değerinin çok daha yüksek değerlerde elde edildiği görülmektedir. MY değeri paletteki boyuna değer olup çok çekmesi ya da çekmedeki farklı değerler nedeniyle shrinkin paletli ürüne tutunmasını olumsuz etkilerken aynı zamanda çok küçülmeden dolayı daha uzun naylon kullanımını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle ideal olarak her

iki değerinde % 35-50 küçülme değerlerinde olması daha ideal görünürken bu değer sınırının aşıldığı görülmektedir. Özellikle shrink naylonunda otomasyona yönelik sistemlerde palete uygun shrink ebatları kullanıldığında % küçülme oranı değerlerindeki değişim oranının daha stabil tutularak shrinkin ürünü sarma kalitesinin arttırılması sağlanabilecektir. Ancak sistemsel hatalar ve naylon değiştirmede yaşanan sıkıntılar ya da shrinkleme sistemi kaynaklı sorunlar nedeniyle daha büyük boyutlu shrink naylonu kullanımını gerektirmektedir. Bu durum üretimde shrink naylonu kullanımında ürün/palet başına tüketimi ve de maliyetleri arttırmaktadır. Shrink üretiminde özellikle MY çekme değerinin yüksek olması özellikle shrink üretici firmanın üretim prosesindeki maliyetlerin düşürülmesinde önemli bir yere sahip olup firmanın üretim hızını arttırmak amacıyla MY yönünde daha hızlı sarma yapmasına neden olmaktadır. Bu durum kullanıcı firmada shrinkleme esnasında MY yönünde daha fazla çekmeye neden olmaktadır. Sarılan film soğuduktan sonra shrinkleme sisteminde ısıl işleme tabi tutulduğunda şekil hafızalı bu film eski boyutuna uygun sıcaklıkta geri gelmektedir. Asıl ürünün sarması için bizden istenen çekme değeri daha çok MD yönünde yani shrink filmin şişirilmesi ile elde edilmektedir ki üretim prosesinin hızı açısından üretici firmalar için bu durum olumsuz bir etkiye sahiptir. Bu nedenle MD yönünde genişletilen film soğuduktan sonra kullanıcı firma tarafından shrinkleme işlemi ile termal işleme maruz kaldığında şişirme ile meydana gelen genişleme daha az olduğu için küçülmelerde daha az olmaktadır. Bu nedenle meydana gelen küçülme oranı Şekil 7b' deki sonuçlardan da (MD) görüldüğü gibi 7a'daki sonuçlara (MY) göre ~ %50 daha düşüktür.



Şekil 7. *Küçülme oranları, a) MY, b) MD*

4.3. Shrink Naylonu Özellikleri için Diğer Testler ve Önemi

Shrink Naylonu için şartname hazırlamada kullanılacak diğer önemli testlerden biri şeffaflık ve bir diğeri de kül tayinidir. Daha öncede belirtildiği gibi kül tayini testi ile firmaların shrink maliyetini düşürmek için polietilen malzeme ile inorganik malzemelerin (kalsit, talk, kuvars vb.) hangi oranda karıştırıldığı belirlenir. Özellikle çıkan kül miktarının shrink naylonun şeffaflığını etkilediğini söylemekte fayda bulunmaktadır. Şeffaflık özellikle shrinklenmiş ürünlerde ürünün üzerindeki kod vb. bilgilerin rahat okunmasında, müşteriye sunulan ürünün daha iyi görünmesinde önemli bir kalite unsuru olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir diğer önemli katkı ise shrink ürünlerindeki UV katkısıdır ki bu özellikle dışarıda depolanan ürünlerde önem arz etmektedir. UV katkısı türü ve miktarı ürünün kullanılacağı coğrafi bölgenin iklim şartları ve firmanın bu ürünü bu koşullarda ne şekilde ve ne kadar süre tutacağına göre belirlenmektedir. Aksi takdirde uygun UV katkısı olmaması sonucu esnek shrink filmin sarardığı ve cips gibi kırıldığı, kendisinden istenilen performansı göstermediği görülmüştür.

4.4. Shrinkleme Sürecinde Yaşanan Sorunlar

Özellikle yarı otomasyona sahip sistemlerde ürünlerin shrinkleme sistemine taşınması esnasındaki uygun olmayan yerleştirme ve hizalanması kaynaklı sorunlar nedeniyle zaman, malzeme ve işçilik kayıpları oluşmaktadır. Şekil 8'de shrink taşıma sistemine paletli ürünün yerleştirilmesi ve hizalamasının iyi yapılması sonucu shrinkleme sisteminde oluşan soruna ait görsele yer verilmiştir. Resimden de görüldüğü gibi süreçte shrink naylonu giydirilmesi aşamasında takılmalara neden olmaktadır.

Şekil 8. *Shrinkleme cihazında yerleştirme ve hizalama kaynaklı sorun*

Şekil 9'da uygun olmayan ebatta shrink naylonu kullanımı görülmektedir. Bu durum hem malzeme kaybına hem de küçülme oranını arttırmak için sıcaklığın üst sınır değerlerine yaklaşması neden olup shrinkte delinme, dalgalı yüzey vb. başka hatalara yol açmakta ya da tam tersi shrinkin ürünü iyi sarmaması gibi hatalara yol açmaktadır ki özellikle seramik ürünlerin forklift ile taşınması esnasında bu durum olumsuzluklar yaratabilmektedir.

Şekil 9. *Uygun olmayan ebatta shrink naylonu kullanımı*

Şekil 10'da uygun olmayan istifleme yapılmış seramik ürünlerin shrinklenmiş fotoğrafları görülmektedir. Uygun olmayan istifleme soldaki resimde görüldüğü gibi forklift ile taşıma esnasında iş kazalarına, iş kayıplarına neden olabildiği gibi sağ taraftaki resimde görüldüğü gibi sistemin uygun ebatlama yapmasını engelleyerek shrink giydiren kollarda takılmalara yol açmakta zaman, iş gücü ve malzeme kayıplarına neden olmaktadır.

Şekil 10. *Uygun olmayan istifleme ve shrinklemede yaşanan sorun*

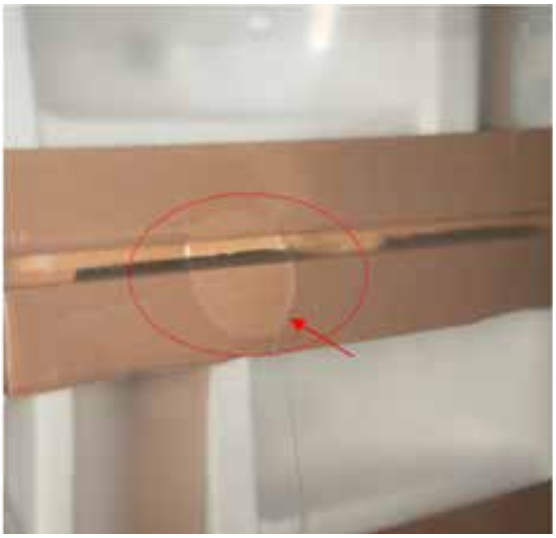
Şekil 11'de shrinkleme sürecinde uygun olmayan ahşap separatör kullanımının neden olduğu problem verilmiştir. Yukarıda şekil 10'da görüldüğü gibi bu durum istifleme ve taşıma esnasında sorunlara neden olabilmektedir.

Şekil 11. *Uygun olmayan separatör kullanımı*

Çizelge 3'de shrinkleme yapılacak paletlerin dört yüzeyinin ısıtıcı sistemlere olan mesafesi verilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi palet ebadı nedeniyle, palettin hizalanması kaynaklı, istifleme hataları vb. nedenlerden dolayı Şekil 12'de görülen delinme ya da dalgalı yüzey benzeri sorunlar oluşabilmektedir. Bu duruma yukarıdaki nedenlerin yanında uygun olmayan naylon kalınlığı ya da termal süreçte yaşanan sıkıntılarda eklenebilir. Çizelge 3'de verilen değerlerden de görüldüğü gibi aşırı ısı ya da sıcak yüzeye ürün mesafesinin yakın olması nedeniyle delinme ya da dalgalı küçülme gibi problemler görülebilmektedir. Bu durum özellikle shrinklenmiş ürünün dış alanda depolanmasında sorunlara yol açmakta ya da görsel açıdan shrink altında yazan önemli bilgilerin görülmesini engelleye bilmektedir.

Çizelge3. *Shrinkeleme Cihazı Isıtıcı Sistemlerinin Palet Ebatlarına Göre Mesafeleri*

Shrinkleme Cihazları/ Palet Boylarına Göre Isıtıcı Mesafeleri	**Sol Yan**	**Sağ Yan**	**Ön**	**Arka**
Shrinkleme Cihazı-A 1200*1000 Paletin Isıtıcılara Mesafesi, cm	25	22	29	22
Shrinkleme Cihazı-A 1200*800 Paletin Isıtıcılara Mesafesi, cm	36	34	27	24
Shrinkleme Cihazı-A 1200*980 Paletin Isıtıcılara Mesafesi, cm	28	24	29	24
Shrinkleme Cihazı-B 1200*800 Paletin Isıtıcılara Mesafesi, cm	25	29	20	19



Şekil 12. *Uygun olmayan shrinkleme süreci kaynaklı delinme hatası*

KAYNAKLAR

BigShrink. (2020). Pallet Shrink Bag on a Skid with Heat Applied, https://www.bigshrink.com/Individual-Shrink-Wrap-Pallet-Bag-4-or-5-Mil-Thick-Bags_p_2142.html (Erişim Tarihi: 19.08.2020)

Eymen Petrokimya. (2020). Polietilen. https://www.eymenpetrokimya.com.tr/urunler/pe-polietilen/ (Erişim Tarihi: 21.08.2020)

IndexBox Inc. (2020). https://www.indexbox.io/store/world-polyethylene-market-report-analysis-and-forecast-to-2025/ (Erişim Tarihi: 20.08.2020)

Lachenmeier ApS., (2020). Stretch hood technology and Shrink wrap technology https://lachenmeier.com/wrapping-machines (Erişim Tarihi: 19.08.2020)

Naksan Plastik A.Ş. (2020). Ürünler ve Stretch hood nedir? Stretch hood avantajları, http://www.naksanplastik.com/?page_id=451, (Erişim Tarihi: 21.08.2020)

Pagev. (2018). Polietilen, https://www.pagev.org/polietilen (Erişim Tarihi: 19.08.2020)

Powder Bulk Solids (2015). Which packaging technology is best for you, https://www.powderbulksolids.com/packaging-bagging/which-packaging-technology-best-you (Erişim Tarihi: 20.08.2020)

Saçak, M. (2005). *Polimer Teknolojisi*, Ankara: Gazi Kitapevi.

Savaşçı, Ö. T., Uyanık, N., & Akovalı, G. (2002). *Ana hatlarıyla plastikler ve plastik teknolojisi*. İstanbul: Pagyay Yayıncılık.

PETKİM A.Ş. (2004). Polietilen, Alçak Yoğunluk Polietilen, Ürün Özellikleri ve İşleme Koşulları, Aype Film Ekstruzyonunda Karşılaşılan Sorunlar, Nedenleri ve Önlemler, https://www.petkim.com.tr/Userfiles/File/uretim/kalitekontrol-teknikservis/aype.pdf (Erişim Tarihi: 11.08.2020)

Bölüm 11

SİSMOLOJİ BİLİMİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Mehveş Feyza AKKOYUNLU[1]

1 Dr. Mehveş Feyza Akkoyunlu Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi

E-posta: feyza.ocal@boun.edu.tr

GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar depremlerin verdiği zararlardan dolayı depremler bilim adamlarının ilgilendiği konular içinde yer almıştır. Depremlerin anlaşılması için yürütülen çalışmalar bilim tarihinin başlangıcına dayanırken modern sismolojinin yaklaşık 100 yıllık bir geçmişi vardır. Depremlere neden olan jeolojik olayların fizik kurallarına dayanarak matematiksel yöntemlerle araştırılması, mekanik ve elektronik yöntemlerle üretilen sismolojik cihazlarla kayıt alınması sismolojinin temel özellikleridir.

Modern sismoloji, 19. yüzyılın sonlarında sismik kayıt cihazlarının gelişmesiyle ortaya çıkmış ve hızla gelişerek yer içi araştırmalarında önemli bir konuma gelmiştir. Sismolojik çalışmalar günümüz sismologları tarafından, depremlerde açığa çıkan sismik dalgalardan yararlanılarak yerin üç boyutlu görüntüsünü tomografi tekniği ile görüntüleyebilecek konumdadır. Depremler ile ilgili yürütülen çalışmalar günümüze kadar astronotlar, fizikçiler ve jeologların da uluslararası işbirliği sonucunda gelişmiştir. Bu çalışmanın amacı sismoloji bilim tarihine farklı açılardan bakarak geçmişten günümüze gelişmeleri aktarmaktır.

JEOFİZİK TANIMI

Jeofizik, fizik kurallarının yer içi, okyanusal alanlar, atmosfer ve iyonosfer gibi alanlarda yürütülen araştırmalarda uygulanmasıdır. Sismoloji, jeofizik biliminin bir parçasıdır. Jeofizik yöntemler arasında yeterli sayıda deprem verisi olması halinde ve doğru analiz edildiği sürece en güvenilir yöntem sismolojidir. Farklı yöntemlerin bir arada kullanılması elde edilen sonuçların güvenilirliğini artıracaktır. Jeofizik biliminin araştırma konularını şu alt başlıklarda sınıflandırabiliriz [4]

Sismoloji : Deprem bilimi

Volkanoloji: Volkanlar, jeotermal alanlar

Tektonofizik: Jeolojik özelliklere uygulanan fizik

Jeomanyetizma/Paleomanyetizma: Günümüz/Geçmiş dönem manyetik alan değişimleri

Jeoelektrik: Yerin elektriksel özellikleri

Gravimetre: Yerçekimi ölçümü ve yorumu

Jeotermi: Yer içerisindeki ısı koşullarının ölçümü

Jeokozmoloji: Yerin kökeni ve oluşumu

Jeokronoloji: Jeolojik olay ve oluşumların tarihlendirilmesi

Sismik Arama: Ekonomik değeri olan yeraltı kaynakların aranması

Sismolojik çalışmalar teorik araştırmalar, gözlemsel veriler ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere üç ana grupta yürütülmektedir. Yer içinde yürütülen çalışmalarda yerin doğrudan araştırma yapmaya uygun olmaması hata oranını artırabilmektedir. Sismoloji uygulamalı bir bilim dalıdır ve jeoloji, istatistik gibi konular da bu bilim dalı için önemli rol oynar. Sismolojik çalışmaların ilerlemesinde deprem kayıt cihazlarından elde edilen verilerin analiz edilmesi ve bu analiz sonuçlarının doğru yorumlanması gerekmektedir [4].

SİSMOLOJİ BİLİMİ

Sismoloji terimi Yunan kökenli olup seismos: sarsıntı ve logos: bilim veya bilimsel çalışma anlamındadır. Yunan dilinde depremlere yer sarsıntısı anlamına gelen *seismos tes ges* adı verilmiştir. Batı'da seismologie, sismologia olarak geçen sismoloji terimi 19. yüzyılın ortalarında kullanılmaya başlanmıştır [7].

Deprem sonrası açığa çıkan elastik dalgalar yer içinde çok büyük kayıplara uğramadan uzun mesafeler boyunca seyahat edebilir. Deprem dalgaları birkaç dakikada tüm dünyayı seyahat edebilecek özelliktedir. Bu nedenle uluslararası sınır tanımazlar. Deprem dalgalarının bu özelliği, yeraltında inilemeyen derinliklerden farklı yöntemlerle bilgi elde edilmesini sağlar.

Sismoloji, depreme dayanıklı binaların imarından binlerce kilometre derinliğe kadar bilgi sağlayan bir bilim dalıdır [1]. Sismoloji son yüz yıldır üzerinde çalışılan diğer bilimlere göre daha gençtir. Yer içinde sismik dalga yayılımı, depremlere neden olan kaynakların belirlenmesi ve yeryüzünde meydana gelen etkileri inceler [3].

19. yüzyılın ortalarından itibaren depremler daha sistematik yöntemlerle araştırılmıştır. Bu nedenle sismoloji kendine ait yöntemleri, çalışma alanları, aletsel kayıt cihazları ve veri analiz teknikleri olan bir bilim dalı olarak kabul edilir.

Sismoloji, deprem kaynaklı sismik olaylar sonucunda açığa çıkan dalgalar ve bu dalgaların seyahat ettiği ortamların özelliklerini de inceler. Tarihte meydana gelen yıkıcı depremler geçmişten günümüze sismolojiye olan ilgiyi artırmıştır [5].

Bilgisayar ve teknolojinin gelişmesiyle teorik sismolojik çalışmalar, sismik kayıt cihazları ve veri analizi teknikleri son yıllarda büyük bir hızla gelişmiştir. Depremler, yerin iç yapısının belirlenmesinde önem taşır. Son yıllarda sismoloji alanında yürütülen önemli çalışmaları üç ana başlıkta özetleyebiliriz:

1- Sayısal sismik cihazların gelişmesi ve buna bağlı olarak geniş kapsamlı küresel ve lokal ölçekte deprem kataloglarının oluşturulması

2- Veri analizi yöntemlerinin bilgisayar teknolojisi ile birlikte geliştirilmesi

3- Sismik dalga yayılım özelliklerinin daha yüksek kalitede hesaplanabilmesi (ters çözüm ve düz çözüm tekniklerinin iyileştirilmesi) [1]

SİSMOLOJİ BİLİMİ ALT BAŞLIKLARI

Depremlerin neden olduğu sarsıntılar ve elde edilen diğer verilerle hem depremlerin doğası hem de yerin iç yapısı ve dinamik özellikleri ile ilgili bilgi elde edilir. Sismik hareketin ölçülmesi amacıyla farklı türde cihazların ya da sismometrelerin fiziksel teorisi üzerinde yapılan çalışmalar da sismolojinin bir parçasıdır [7].

Genel Çalışmalar

- Sismik gözlemler- sismik ağlar veri tabanları
- Depremler ve deprem dalgaları özellikleri
- Deprem tehlikeleri ve sismik risk
- Deprem tahmini

Teorik

- Sismolojik olayların fiziği
- Sismik dalga ve kaynak teorisi
- Sayısal yöntemler

Sismometre

- Aletsel sismoloji ve kayıt yöntemleri
- Sismik cihazlar

Yapısal (Jeodinamik)

- Yer içinin oluşumu ve özellikleri
- Derin sismik yöntemler

Uygulamalı Sismoloji

- Sismik Arama
- Sismoakustik Yöntemler

Modelleme

- Sismik Kaynak ve Dalga Modelleme

Deneysel sismoloji

Yapay kontrollü kaynaklar

Sismojeoloji

Paleosismoloji

Sismotektonik

Mühendislik ve Hidrojeolojik Uygulamalar

Uzayda Yürütülen sismolojik çalışmalar

Ay, Mars ve Venüs'te yürütülen çalışmalar

DEPREMLERLE İLGİLİ İLK FİKİRLER

Depremlerle ilgili ilk çalışmalar M.Ö. 3000-2000'li yıllarda Çin'de başlamıştır ve M.Ö. 2000'li yıllardan itibaren büyük depremlerin tarihleri kayıt altına alınmıştır. Milet hikâyelerinde (M.Ö. 700-600) yerin suda yüzdüğüne ve yüksek denizlerin depremlere neden olduğuna inanılmıştır. Heraklit (M.Ö. 600-500) her şeyin altında ateşin olduğunu ve volkanların depremlere neden olduğunu ileri sürerken Aristo (M.Ö. 400) depremlerin yerin içinde "yoğun hava ve buhar" kaynaklı meydana geldiğini öne sürmüştür. İlk sismoskop cihazı, Çinli matematikçi Chan Hen tarafından M.S. 132'de yapılmıştır [4].

Depremlerle ilgili ilk rasyonel açıklamalar Yunanlı filozoflar tarafından ortaya atılmıştır. M.Ö. 4. yüzyılda Aristo, meteorlar üzerine yazdığı kitapta depremlerin doğası ve kaynağı ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Bu kaynak *Meteorologicorum Libri IV* olarak geçer.

1678'de A. Kircher depremlerin ve volkanların yer içinde meydana gelen ateş kanallarıyla ilgili olduğu tezini savunmuştur. 18. yüzyılda M. Lister ve N. Lesmery (Newton ve Buffon'un da kabul ettiği gibi) depremlerin yeraltında bazı bölgelerdeki yanıcı malzemelerin patlamasıyla meydana geldiğini ileri sürmüştür [7].

1 Kasım 1755'te meydana gelen büyük Lizbon depremi, büyük bir tsunamiye ve ağır hasara neden olmuştur ve modern sismolojinin başlangıcı olarak kabul edilebilir. 1758'de Joachim Moreira de Mendonça, depremlerin nedenini ilk küresel katalog olan "Historia Universal dos Teermotos" adlı eserinde yayımlamıştır. 1760'da John Michell depremlere bağlı sarsıntıların yer içinde yayılan elastik dalga yayılımıyla bağlantılı olduğunu iddia etmiştir. Bu fikir daha sonra Thomas Young, Robert Mallet ve John Milne tarafından geliştirilmiştir.

Depremlerin neden olduğu hasarların tanımı ve zaman bilgilerinin kayıt altına alınması daha eski yıllara uzanır. Hasar ve yıkım kayıtlarında

depremlerin yanı sıra seller, kıtlık, veba gibi diğer felaketler de yer almaktadır. Avrupa'da yayımlanan ilk deprem katalogları 17. yüzyılın sonlarında Marcello Bonito ve Joannes Zahn tarafından hazırlanmıştır [7].

1848'de Robert Mallet, depremlerle ilgili çalışmaların yeni bir bilim dalı olacağını öngörür. Mallet'in 1857 Napoli depremi üzerine yürüttüğü çalışması, modern sismolojinin ilk temel çalışması kabul edilebilir. Mallet, sismik odak teorisini geliştirmiştir. Buna göre; elastik dalgalar depremlerin oluşumu nedeniyle açığa çıkar ve tüm yönlere yayılarak yer değiştirme, çatlaklar ve kırıklara neden olur. Bu teori daha önce önerilen "patlama teorisini" ortadan kaldırmıştır.

Charles Lyell ve Eduard Suess depremleri volkanik ve tektonik hareketlerle ilişkilendirdiler. Ferdinand Montessus de Ballore ve August Sieberg depremlerin oluş nedenlerinin orojenik olaylarla bağlantılı olduğunu kabul ettiler [7].

Deprem anında yer hareketinin sismik cihazlarla kaydedilmesi daha önceden doğa bilimi olarak kabul edilen sismoloji biliminin ölçülebilir, gözlemsel verilere dayanan ve farklı fizik teorilerinin uygulandığı bir bilim dalı olmasının önünü açmıştır [7].

1800'LÜ YILLARDA YÜRÜTÜLEN SİSMOLOJİK GELİŞMELER

19. yüzyılda diğer alanlarda yürütülen bilimsel çalışmalar depremler üzerine yürütülen çalışmaları da etkilemiştir. İlk dönemde yapılan çalışmalar depremlerin sistematik olarak kataloglanmasıdır. Bu bilgiler deprem oluşumları ile astronomik döngüler ya da meteorolojik olaylarla da karşılaştırılmıştır [5].

Fransız astronom Alexis Perrey (1807-1882) astronomik olaylarla depremlerin oluşumu arasındaki ilişkileri incelemiştir. Bu kapsamda dünyanın farklı yerlerinde farklı meslek gruplarındaki bireylerden (bilim adamları, işsizler vb.) yaşadıkları bölgedeki deprem, gel-git dalgaları ve volkanik patlamalar gibi doğal olaylarla ilgili gözlemlerini rapor etmelerini istemiştir. Perrey katalogları günümüzde de sismik coğrafya ile ilgili önemli bir kaynaktır [6].

Avrupa'da meydana gelen pek çok depremle ilgili özel çalışmalar yürütülmüştür. Deprem sonrası kamu kurumları ve yerel bilimsel topluluklar tarafından komisyonlar kurulmuştur. 1783 Kalabriya depremi sonrasında da bir komisyon kuruldu. Yaklaşık yüz yıl sonra meydana gelen 25 Aralık 1884 Endülüs depremi sonrası İspanya, Fransa ve İtalya'dan üç komisyon bir araya geldi. Özel çalışma gruplarında deprem sonrası uygulanan yöntemler ve kullanılan terimler günümüzde de kullanılmaktadır. 1828'de

ilk defa P. Egen'in önerdiği şiddet ölçeği sonraki yıllarda M. De Rossi, F. Forel ve G. Mercalli tarafından da kullanılmıştır [5].

1829 -1831 yılları arasında S.D. Poisson tarafından yürütülen elastik malzeme davranışı ile ilgili çalışmalar deprem dalgalarının yer içinde yayılım özelliklerinin açıklanması açısından önem taşır [5].

G. Green (1838) ve G. G. Stokes'un (1850) dalga yayılımı üzerine yürüttükleri çalışmalar, W. Hopkins (1847) ve R. Mallet'in (1848) deprem çalışmalarında da uygulanmıştır. Hopkins, dalga varış zamanları ile deprem konumunu teorik olarak hesaplamıştır [5].

Mallet, sismoloji teriminin ortaya çıkmasına öncülük etmekle kalmayıp deprem biliminin gelişimine önemli katkılar sağlamıştır. Mallet bugüne kadarki en kapsamlı kataloglardan birini oluşturmuştur. Bu katalogdan elde edilen harita, 1858 yılında dünyanın sismik ve asismik bölgelerini göstermektedir. Mallet, deprem sonrası yer hareketinin yönü ve miktarı ile ilgili soruların yanıtını almak için çalışmıştır. 1862 yılında yürüttüğü 1857 Basilicata depremi ile ilgili çalışmasında farklı noktalarda kaydedilen deprem dalgalarının seyahat yönünü belirleyerek depremin konumu ve derinliğini hesaplamıştır.

1851'de patlatmalardan açığa çıkan sismik dalgaların hızlarını hesaplayarak elastik sabitler ile karşılaştırmış ve bu değerlerin beklenenden çok daha düşük olduğu sonucuna varmıştır. Mallet, bunun nedenini yer içerisinde homojen olmayan ortam olarak açıklasa da asıl neden hassas ölçüm yapamayan cihazlardır. Mallet gibi Michell de depremlerin sıcak suyun neden olduğu ani patlama sonucu oluştuğuna ve sadece sıkışma dalgalarının açığa çıktığını varsaymıştır. Mallet'in deprem hareketinin doğru kaydedilmesi ile ilgili bazı önerileri uygulanmamıştır [5].

L. Palmieri (1856) zaman ve yer sarsıntısının bazı özelliklerini kaydeden ilk otomatik sismoskobu İtalya ve Japonya'da kullanmıştır. İlk sismik tremör ağı İtalya'da 1873 yılında kurulmuştur. Bu cihazların amacı, hissedilemeyen ufak yer hareketlerini ölçmek ve genlik değişimlerinin hava olayları veye deprem kaynaklı olup olmadığı üzerinde çalışmalar yürütmekti [5].

İlk izosismik şiddet haritası ve şiddet ölçeği 1847 yılında J. Nöggerath tarafından hazırlanmıştır. Şiddet haritalarının oluşturulması depremlerin kaynağı ve oluşumu ile ilgili yeni soruları da beraberinde getirmiştir.

Depremlerle diğer jeolojik olaylar arasındaki ilişkiler de değerlendirilmeye başlandığı dönemde C. Lyell, 1819 Hindistan ve 1835 Şili ve 1855 Yeni Zellanda depremleri sonrasında yaptığı araştırmada depremlerin düşey harekete neden olabileceği fikrini öne sürmüştür. 1819 ve 1855 depremleri yüzey kırıklarına neden olmuştur. Buna rağmen fayların kırıl-

ma özellikleri 1888 yılına kadar tam olarak açıklanamamıştır. 1888'de A. McKay ve 1891'de B. Koto ise fay kırılma mekanizması üzerine çalışmalar başlattılar [5].

ULUSLARARASI İŞBİRLİĞİ

Sismolojik çalışmalar, dünyanın farklı yerlerinden araştırmacıların işbirliğini gerektirir. Sismoloji biliminin gelişmeye başladığı ilk yıllarda bireysel çalışmalar daha yoğundur. John Milne (1850-1913) uluslararası sismolojik çalışmalarda organize olma konusunda etkili olmuştur [4]. İlk ulusal birlik 1880 yılında İngiliz asıllı Milne tarafından kurulan Japon Sismoloji Topluluğudur. 1890'da Japonya'da Deprem Araştırma Komitesi kurulur. 1897-1923 yılları arasında Omori bu kurumun başkanlığını yürütür. 1895'te İtalya'da İtalyan Sismoloji Birliği kurulur. İlk üyeleri arasında Luigi Palmieri, Timoteo Bertelli ve Giuseppe Mercalli yer alır.

Sismoloji tarihinde önemli bir yeri olan Amerikan Sismoloji Topluluğu 1906'da kurulmuştur. İlk başkanı Charles Davidson'dur. İlk kez 1895'te Londra'da George Gerland tarafından 6. Uluslararası Coğrafya Konferansında Uluslararası Sismoloji Birliği'nin kurulması önerilmiştir. 1904'te Uluslararası Sismoloji Birliği kurulmuştur ancak bu kurum 1916'da kapatılmıştır. 1922'den itibaren sismoloji, 1911 yılında kurulan Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği (UJJB)'nin altında bir bölüm olarak kabul edilmiştir. 1930 yılında bu kurum yeniden düzenlenerek Uluslararası Sismoloji Birliğini içermiştir. Bu birlik, 1951 yılından günümüze kadar Uluslararası Sismoloji ve Yer İçi Fiziği kurumu (IASPEI) olarak çalışmalarına devam etmektedir. 1951 yılında Avrupa Sismoloji Komisyonu kurulmuştur. Jeofizik bilimsel toplulukları arasında Amerikan Jeofizik Birliği (AGU) ve Avrupa Yerbilimleri Birliği (EGU) yer alır [7].

Sismolojik veri paylaşımı sismolojik bülten yayınları ile yürütülmektedir. Bu bültenler aletsel dönemden itibaren meydana gelen deprem parametrelerinden oluşur. Depremlerin kaynak özelliklerinin belirlenmesi konusunda ilk yayınlardan 1899-1903 yılları arasında meydana gelen deprem konumlarını içeren İngiliz Sismoloji Birliği raporlarıdır [7].

1992 yılında bu yayınlar Uluslararası Sismoloji Özeti adını aldı ve ilk cilt 1918'de meydana gelen depremlere ayrıldı. 1963 yılında bu yayınlar Uluslararası Sismoloji Merkezi tarafından devam etti.

1906'de Strasbourg'da kurulan Uluslararası Sismoloji Merkezi 1904'ten 1975 yılına kadar meydana gelen depremlere ait bülten yayımlamıştır. 1976'da Avrupa Akdeniz Sismoloji Merkezi Avrupa Sismoloji Merkezi tarafından Akdeniz bölgesinde meydana gelen depremlerin konumlarının belirlendiği merkez kuruldu. Kuzey Amerika'da 1925-1960 yılları arasında o yıllarda aktif olan Cizvit Sismoloji Birliği ve Amerika

Kıyı ve Jeodezik Araştırmalar Kurumu deprem kataloğu bültenlerini yayımladı. Bu kurum daha sonra Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar Kurumuna bağlı Ulusal Deprem Bilgi Merkezi'ne taşındı.

1968'den itibaren ilksel deprem konumu kataloglarında büyük depremlere ait kaynak mekanizma bilgileri de verildi. Benzer bir çalışma Küresel Moment Tensor Projesi kapsamında Harvard Üniversitesi tarafından 1977'den itibaren yayımlanmaktadır. Bu proje 2006'dan itibaren sayısal geniş bant sismogram verilerini de içine alarak IRIS (ABD) ve GEOFON (Almanya) ve ORFEUS (Hollanda) kurumları tarafından Küresel Moment Tensör Projesi olarak yürütülmektedir [7].

1891 yılında meydana gelen Mino-Owari depreminin ardından 25 Haziran 1892 yılında Tokyo'da "Deprem Araştırma Komitesi" kurulmuştur. Bu komisyonun amacı depremlerin önceden tahmin edilmesi ve deprem zararlarının azaltılmasıdır. Bu komite farklı çalışmalardan oluşan bir program hazırlar [6].

- Her bir faza ait tarih ve zaman listesinin oluşturulması
- Depremlerin zaman ve konum dağılımı üzerinde çalışmalar yapmak
- Depremlerin mevsimlerle ilgili olup olmamasının araştırılması
- Ay'ın fazları (halleri) ve meteorolojik koşullar
- Denizde meydana gelen depremler ve tsunamiler üzerinde çalışmalar yürütmek
- Aletsel gözlemler yürütmek; sismometre ve sismografların iyileştirilmesi
- Yerkürede meydana gelen titreşimlerin genlik ve yönünün bulunması
- Sismik dalgaların yayılım hızlarının belirlenmesi
- Volkanlar üzerinde araştırmalar yürütmek
- Yerin yapısal jeoloji ve tektonik özelliklerinin belirlenmesi
- Deprem konumunun belirlenmesi
- Depremler ve manyetik alan, enlem farkları, gravite, yeraltı sıcaklık değişimleri üzerine çalışmalar
- Kayaçların elastik özellikleri ve depremlerle ilişkisi üzerine çalışmalar
- Farklı zemin koşulları, malzemeler ve yapılar üzerinde sarsıntı etkilerinin güvenli bina tasarımında etkisi

SİSMOMETRELER VE TARİHSEL GELİŞİM SÜRECİ

İlk mekanik sismometreler, 1880'li yıllarda geliştirilmiştir. Bu dönemin deprem kayıt cihazları mekanik sarkaçlardır ve yakın yer hareketleri kaydedilebilmektedir. Bu yıllarda depremlerin neden olduğu yer hareketi tespit edilirken deprem kayıtları kalıcı olarak kaydedilemiyordu. Mekanik sarkaçlardan elde edilen kayıtların düşük kalitesi depremde açığa çıkan farklı dalgaların ayırt edilmesini zorlaştırmıştır [1].

Yer hareketinin, oluş zamanının ve genliğinin sismik cihazlarla kaydedilebilmesi "modern sismoloji"nin doğuşu olarak kabul edilir.

19. yüzyılın ortalarında Johann Karl Friedrich Hengler (1806-1858), yatay sarkaç sistemini önerse de bu cihazı üretmeden sadece model olarak çizmiştir. Yaklaşık 40 yıl sonra astronom ve fizikçi Lorenz Zöllner (1806-1882) benzer sarkaç sistemini yeniden keşfederek 1869'da çalıştığı enstitünün zemin katına bu cihazı kurup sismometre olarak kullanmaya başlar. Benzer bir çalışma İtalyan araştırmacılar tarafından da yürütülür.

Günümüzde Padre Filippo Cecchi (1822-1887) ilk sismograf yapan kişi olarak kabul edilir. 1860'lı yılların sonlarına doğru Filipinler'de yer alan Cizvit Gözlemevinde deprem gözlemleri yapılır [8].

1868 Meiji restorasyonu sonrasında fizik ve mühendislik alanlarında iyi eğitim almış yabancı uzmanlar sismik aktivitenin oldukça yoğun olduğu Japonya'ya gitmiştir [5]. İngiliz araştırmacı John Milne (1850-1913) bunlardan birisidir. 1876'da 26 yaşında Tokyo'da mühendislik okuluna giden Milne, yatay ve düşey hareketleri kaydeden farklı sarkaçlar üretir. 11 Mart 1882'de lokal depremleri [8] düşük bir büyütme ile fotografik olarak kaydeder [2].

1886 yılında astronom Ernst Ludwig August von Rebeur-Paschwitz (1861-1895) Almanya'da Karlsruhe'de ilk yatay sarkacı yapmıştır [8]. Rebeur-Paschwitz astronomi gözlemevinde çalıştığı dönemde astronomik kütlelerin gel-git etkisine neden olduğu değişimleri kaydetmek amacıyla sarkaç yapmıştır. Sarkaç gel-git değişimlerinin yanı sıra yerin yatay hareketini de kaydedebilecek hassasiyettedir ve daha önce Zöllner ve Milne'nin ürettiği sarkaç modelinden farklıdır. Yer hareketinin genlik büyütmesi Milne'nin cihazından daha yüksektir.

Rebeur-Paschwitz'in ürettiği sarkaçlar ilk kez sürekli kayıt alarak yer hareketini fotografik kağıda kaydetmiştir [8]. Sismometrelerdeki kontrolsüz salınımlar sarkaçta kaydedilen farklı sismik dalgaların ayırt edilmesinde zorluklara neden olacağından sonraki yıllarda sönümlü sismometreler bu etkiyi gidermek amacıyla üretilmiştir. 1889'da yapılan deneylerde, Rebeur-Paschwitz daha kaliteli sismik kayıtlar elde etmiştir. Asıl amacı astronomi cisimlerinin etkisini kaydetmek olan Rebeur-Paschwitz birbi-

rinden 240 km uzaklıkta olan, iki farklı yere cihazları yerleştirir. Beklentisi iki gözlemevinde de astronomik etkilerin aynı olmasıdır. 1889'da Nature dergisinde 17 Nisan 1889'da Japonya Tokyo'da meydana gelen bir depremle ilgili rapor okur. Kurduğu cihazlarda geçmişe dönük kayıtları inceler ve deprem kaydını bulur. Elde ettiği gözlemleri "Nature" dergisine gönderir.

Bu veri ilk telesismik kayıt olmakla birlikte yerin iç yapısının sismolojik yöntemlerle araştırılmasına öncülük yapar. Elde edilen kaydın Tokyo depremine ait olup olmadığı bilinmese de uzak bir depreme ait olduğu kesindir ve bu nedenle uzak alanda kaydedilen ilk deprem kaydı olarak kabul edilir. Birinci Dünya Savaşı'na kadar sismograf ve kayıt sistemlerinin gelişimi devam etmiştir [8]. Bunlar şöyle özetlenebilir:

➢ Milne 1895 yılında İngiltere'ye döner. Japonya'da Milne'nin öğrencisi Fusakichi Omori (1868-1923) yatay sarkaç sistemine bağlı bir sismometre yapar. Bu cihaz Bosch-Omori sarkacı olarak bilinmektedir.

➢ İtalya'da Giuseppe Vicentini (1860-1944) düşey sarkaç sistemi ile çalışan bir sismometre üretir.

➢ 1898 yılında Almanya'da fizikçi ve jeofizikçi Emil Wiechert'in (1861-1928) yaptığı yatay ve düşey sarkaçlı yeni model cihazlar dünya genelinde kullanılmıştır.

➢ Rusya'da Prens Boris Borisovic Galitzin (Golicyn) (1862-1916) yatay ve düşey yer hareketlerini kaydeden ilk elektrodinamik sismometreleri kurmuştur. Bu sistem günümüzde geliştirilerek belirli frekans aralıklarının daha kaliteli kaydedilmesini sağlayan, gürültü seviyesi az ve düşük genlikli sinyal kaydeden sismometreler olarak kullanılmaktadır [2].

SİSMİK COĞRAFYA

Dünya genelinde meydana gelen depremler aletsel sismolojik gelişmeler sayesinde doğru konumlandırılmıştır. Bu çalışmalardan en önemlisi Japonya'da kurulan çok sayıda sismik istasyonlardan elde edilen sismik haritalarda sığ ve derin depremlerin varlığının gözlenmesidir.

1927'de K. Wadati elde edilen deprem derinlik ve konum bilgilerine dayanarak derin depremlerin sınırlı bir alanda ve belirli bölgelerde meydana geldiğini göstermiştir.

Güney Kaliforniya'da kurulan sismik istasyonlar çok sayıda depremin kaydedilmesini sağlamıştır. Bu kayıtlar depremlerin sınıflandırılabilmesi amacıyla deprem büyüklüğü kavramını beraberinde getirdi. Bu fikir Wadati'nin önerisi olmakla birlikte ilk olarak Gutenberg ve Richter tarafından G. Kaliforniya depremlerinin "büyüklük" değerleri hesaplandı.

Bu ölçek daha sonra tüm depremlere uygulandı ve hesaplama yöntemleri geliştirildi.

Konumları, büyüklük ve derinlikleri bilinen küresel ölçekte meydana gelen depremler Gutenberg ve Richter'in "Yer'in Sismisitesi" adlı çalışmasında 1941'de bir araya getirildi. Bu çalışma dünyada önemli deprem kuşaklarının ve deprem olmayan pasif alanların belirlenmesini sağlayarak tektonik çalışmalara önemli katkıda bulunmuştur. Büyüklük ölçeğinin oluşturulması depremlerle ilgili istatistiksel çalışmaların yürütülebilmesini sağlamıştır [5].

Fransız araştırmacı Count Ferdinand de Montessus de Ballore (1851-1923) ise yüz elli bin karttan oluşan deprem bilgisini toplayarak sismik coğrafya ve jeoloji için önem taşıyacak değerde bir çalışma yürütmüştür [6].

SİSMİK DALGALAR ÜZERİNDE YÜRÜTÜLEN ÇALIŞMALAR

Dünyanın farklı bölgelerinde sismik cihazlarda deprem kayıtları elde edilirken sismologların karşılaştığı en önemli sorun sismik dalgaların yayılım özelliklerinin tam olarak anlaşılamamasıdır. İlk deprem kayıtları, yer hareketlerinin fiziksel nedenleri, deprem kaynak bölgelerinin araştırılması ve yerin iç özelliklerinin daha detaylı anlaşılmasını sağlamıştır.

Başlangıçta deprem sonrası açığa çıkan farklı özellikteki dalga türleri tam olarak bilinmiyordu ve ayırt edilememekteydi. Yer içinin fiziksel özelliklerinin teorik olarak açıklanması 19. yüzyıla dayansa da deprem kayıtlarının yetersiz olması yer içinin tanımlanmasında yetersiz kalmıştır. Bu dönemde yer içinin sıcak ve yoğun tabakalardan meydana geldiği tespit edilse de yerin tabakalı yapısı detaylı olarak belirlenememiştir.

1885 yılında Rayleigh tarafından gözlenen yüzey dalgalarının seyahat özelliklerinin anlaşılması ile 1890'lı yıllarda yerin büyük bir kısmının katı olduğu sonucu elde edilmiştir [5].

1900 yılında R.D. Oldham 1897 Assam deprem kayıtlarından boyuna ve enine seyahat eden sismik dalgaları sınıflandırmıştır.

Wiechert ve öğrencileri 1900-1920 yılları arasında uzmanlık alanları olan optik ve elektrodinamik konularını Göttingen Üniversitesi'nde yerbilimlerine uyguladılar böylece sismolojinin öncüleri oldular.

G. Herglotz, deprem sonrası açığa çıkan sismik dalga seyahat zamanlarından dalga hızlarını tersçözüm yöntemiyle elde etmiştir. Aynı problemi düzçözüm tekniği ile H. Benndorf uygulamıştır. Wiechert'in öğrencisi K. Zöppritz (daha önce C.G. Knott tarafından çözülen) yeraltında farklı

tabakalara ait ara yüzeylerden geçen elastik dalga denklemlerini kurmuştur [5].

B. Gutenberg, Herglotz-Wiechert yöntemini hız profili belirlemek amacıyla kullanmıştır. O tarihte belirlenen yer içinin çekirdek yarıçapı günümüzde elde edilen değere oldukça yakındır. Oldham 1906'da yer çekirdeğinde dalga hızının düştüğü sonucuna varmıştır.

L. Geiger en küçük kareler yöntemi ile uzak mesafelerde gözlenen deprem kayıtlarından deprem konumlarını belirlemiştir. Bu araştırmacıların pek çoğu Wiechert'in öğrencileri olup sismolojinin temellerini kurmuşlardır [5].

A. Mohorovicic 1909'da Kosova'da meydana gelen depremden elde edilen kayıtlardan yaklaşık 50 km derinlikte gözlemlediği farklı sismik faz bilgilerine dayanarak bu derinlikte hız süreksizliğinin varlığını belirlemiştir. 1911'de matematikçi A. E. H. Love, dalga seyahat yönüne dik seyahat eden yüzey dalgalarının varlığını yerin tabakalı yapısından kaynaklandığı sonucuna varmıştır [5].

YERİN İÇ YAPISI İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Aletsel sismoloji döneminde karşılaşılan en büyük zorluk, sismik kayıtların değerlendirilerek yeraltının tabakalı yapısının belirlenmesi ve hız modellerinin elde edilmesiydi. 1940'lı yıllarda manto ve çekirdeğin sismik dalga verilerinden elde edilen hız yapısı büyük ölçüde tamamlanmıştır. Küresel ölçekte kaydedilen büyük depremlerden elde edilen verilerle sismik dalgaların seyahat zamanları hesaplanmıştır. H. Jeffreys ve K.E. Bullen farklı bir yaklaşımla 'Uluslararası Sismolojik Özet'ten elde edilen seyahat zamanı verileri ile deprem konumlarının daha doğru elde edilmesini sağladılar. Yürütülen çalışmalar sığ bölgelerde lokal süreksizlikler dışında yerkürenin küresel ve simetrik olduğunu göstermiştir.

19. yüzyılın sonlarında ve 20. yüzyılın başlarında Wiechert, Karl Zöppritz ve Richard D. Oldham, elastisite teorisine dayanan sismik dalga yayılımı ile ilgili ilk çalışmaları yürüttüler.

Sismolojik gözlemlere dayalı ilk yer modelleri Oldham, Beno Gutenberg, Harold Jeffreys, Keith Bullen ve James B. Macelwane tarafından 1900-1940 yılları arasında yürütülmüştür [7].

1926'da Jeffreys yer içindeki çekirdek-manto sınırını belirlemiştir. 1936'da Ingrid Lehmann, Yeni Zelanda depreminin Avrupa'da yer alan çok sayıda sismik istasyonda elde edilen kayıtlarından, yerin iç çekirdeğinin varlığını tespit etmiştir [5].

Lokal ölçekte depremler ve büyük patlatma verileri kullanılarak çok sayıda kabuk hız modelleri elde edilmiştir. Mohorovicic ve Conrad tarafından analiz edilen modellerde kabuk manto süreksizliği (Moho süreksizliği) ve Conrad süreksizliği belirlenmiştir. Büyük ölçekli sismik kırılma çalışmaları İkinci Dünya Savaşı'nın ardından kabuk yapısının belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. ABD'de M. Tuve ve H. Tatel, Sovyetler Birliği'nde V.A. Gamburtsev tarafından "derin sismik" çalışmalar yürütülmüştür. Büyük Britanya'da M. N. Hill ve ABD'de M. Ewing ve R.W. Raitt denizde sismik araştırma çalışmalarını yürütmüşlerdir. Bu çalışmalar 2. Dünya Savaşı öncesinde başlatılarak savaş sonrası büyük bir hızla genişletilmiştir [5].

DEPREM MEKANİZMASI ÜZERİNE YÜRÜTÜLEN ÇALIŞMALAR

1920 ve 1960 yılları arasında deprem dağılımı anlaşılmış olsa da deprem kaynağında neler olduğu tam olarak bilinmemekteydi. 1920'li yıllar deprem ve fay ilişkisinin anlaşılmaya çalışıldığı bir dönemdir. 1906 Kaliforniya depremi büyük yer hareketlerinin sadece fay üzerinde değil faydan belirli bir uzaklıkta da meydana gelebildiğini gösterdi. 1910'da H.F. Reid, depremlerin bir fay boyunca biriken gerilmenin açığa çıkması sonucunda oluştuğunu öne süren "elastik rebound teorisi"ni ortaya attı [5].

Sismologlar için sorun günümüzde olduğu gibi derin depremlerin kaynak alanlarının özellikleriydi. Galitzin'e göre P dalga hareketi odak noktası yönünde ya da odak dışına doğrudur. Sismologlar ilk gelen P dalgasının özelliklerini incelediler. Bu alanda yürütülen ilk çalışmalarda Japon araştırmacılar öncü oldular.

T. Shida 1917'de deprem kayıtlarının ilk hareket yönü ile ilgili çalışmalar yürütmüştür. Deprem kaynak alanı ile ilgili ilk teorik çalışma 1923'te Nakano tarafından yapıldı. Nakano'nun makalelerinin tüm kopyaları 1923 yılında meydana gelen Kanto depreminde çıkan yangında yandı ancak bu makalenin bir kopyası Kaliforniya'da P. Byerly'nin eline ulaştı. 1938'de Byerly ilk hareketleri küresel ölçekte daha uzak mesafeler için hesaplayan bir yöntem geliştirdi.

S. T. Nakamura ve S. I. Kunitomi'nin çalışmaları sismik dalgaların faylanma hareketi sonucunda açığa çıktığını göstermiştir. İkinci Dünya savaşı sonrası Japonya'da deprem odak mekanizması ile ilgili önemli çalışmalar yürütülmüştür.

1948'den itibaren bu konu ile ilgili benzer çalışmalar Sovyetler Birliğinde V.I. Keilis-Borok önderliğinde başlatılan bir programla araştırılmıştır. P ve S dalgalarının ilk hareket yönü ve genlikleri kullanılarak deprem kaynak mekanizması üzerinde çalışmalar yürütüldü. Sovyet ve Japon

bilim adamları lokal depremler üzerinde çalıştılar. Byerly ve Kanadalı J. Hodgson tarafından da deprem kaynak mekanizma çalışmaları sismoloji bilimine önemli katkılar sağlamıştır [5].

YÜZEY DALGALARI

1920-1960 arası dönem dalga seyahat zamanı sismolojisi açısından altın çağ olarak kabul edilmektedir Love ve Rayleigh dalga hızlarının ölçülebilmesi sığ yapıların belirlenmesini sağladı. Wiechert'in öğrencilerinden G.H. Angenheister, Rayleigh dalgasının hızının okyanus tabanlarında kıtalara göre daha hızlı olduğunu belirlemiştir. 1940'lı yıllarda yürütülen çalışmalarda okyanusal seyahat yollarının daha hızlı olmasının bu alanların daha ince olmasından kaynaklandığı sonucuna varıldı [5].

1950'li yıllarda M. Ewing ve F. Press tarafından yürütülen çalışmalar sonucunda yüzey dalgaları ile ilgili önemli sonuçlar elde edildi. Onlar ve çalışma arkadaşları farklı seyahat yolları için yüzey dalgaları üzerine farklı çalışmalar yürüttüler. Farklı periyotlu sismik dalgaların kaydedilmesi amacıyla yeni sismometreler dizayn edildi [5].

1960 SONRASI DÖNEMDE SİSMOLOJİK GELİŞMELER

1960'lı yıllar sismolojide önemli gelişmelerin ve değişimlerin yaşandığı bir dönemdir. Sismolojik çalışmalar, ulusal güvenlik kapsamında nükleer silahların tespiti amacıyla kullanılmaya başlandı. İlk nükleer deneme 1945'te sismik istasyonlar tarafından kaydedildi. ABD'de 1947'den itibaren sismolojik çalışmalar da diğer araştırma konularına dâhil edildi. Atmosferik denemelerin olduğu bir ortamda kullanılan infrases ve radyonüklit yöntemlerini sismolojik yöntemler izledi. İlerleyen yıllarda nükleer denemelerin yeraltında yapılmasıyla sismolojik izleme yöntemi daha fazla önem kazanmıştır [5].

1960'da ABD'de "Sismolojide Temel Araştırmalar" kapsamında yurt dışında da pek çok araştırmacıya katkı sağlayan VELA-UNIFORM programı devlet tarafından finanse edilmiştir. Nükleer denemelerin yeraltında yapılması zorunluluğu getiren ve 1963'te "Sınırlı Nükleer Test Yasaklama Antlaşması" olarak imzalanan antlaşma sonrasında bu projenin önemi de artmıştır.

Programa ayrılan maddi kaynakların büyük bir kısmı sismometreler için harcanarak dünya genelinde dağılım gösteren Geniş Küresel Standart Sismograf Ağı (WWSSN) kurulmuştur. Bu ağ sismologların ilk kez standart ve kaliteli sismik cihazlarla küresel ölçekte sismolojik verilerin elde edilmesi açısından önemlidir. Bu veriler daha kaliteli deprem konumları içermesi açısından önem taşır. Bu dönemde deprem konumlarını hızlı ve

doğru hesaplama yöntemleri de geliştirildi. Bilgisayar teknolojisine yapılan yatırımlar sismologların daha hızlı hesaplama yapmalarını ve modellemeyle sayısal sinyal işleme çalışmalarını yürütmelerini kolaylaştırdı. İstatistikçiler ve elektrik mühendisleri tarafından geliştirilen "sinyal işleme ve Fourier Analizi" çalışmaları sismolojide de kullanıldı [5].

1960'lı yıllarda yerin serbest titreşimlerinin kaydedilmesi ile sismolojide yeni bir dönem başlamış oldu. 1829 yılında S.D. Poisson elastik dalgalar üzerine çalışmadan önce elastik kürede meydana gelen salınımları araştırırken H. Lamb (1883) ve A.E.H. Love (1911) homojen yerküre için osilasyon periyotları üzerinde çalışmıştır.

1952'de meydana gelen büyük depremin ardından H. Benioff, 52 dakika süren en büyük deprem titreşimlerini kaydetmiştir. Karşılaştırma yapabilmek için gerçeğe yakın bir yer modeli 1959'da Z. Alterman, H. Jarosch ve C.L. Pekeris tarafından elektronik bir bilgisayar ile üretildi. 1960 Şili depremi kayıtlarına farklı çalışma grupları tarafından Fourier dönüşümü uygulanmıştır. Elde edilen sonuçların bilgisayarda hesaplanan salınım periyotları ile uyumlu olduğu görülmüştür ve yeni sismolojik gelişmelerde önemli bir tarih olarak kabul edilmiştir. Serbest-salınım ile ilgili araştırmalar o günden sonra hızla ilerleyerek yer modelleme çalışmalarına katkı sağlamıştır. Sayısal sismik veri kayıtlarının alınması ve jeofizik ters çözüm teorisinin jeofizikte kullanılması da bu dönemdedir [5].

1960'lı yıllarda sismolojik çalışmalarda gözlenen en önemli gelişme deniz tabanı açılma merkezlerinin belirlenmesi ve levha tektoniği kuramıdır. Levha tektoniği kuramına sismik olmayan ölçümler katkı sağlamış olsa da depremler iki açıdan önemli rol oynamıştır. İlki doğru konumlandırılmış ve düşük büyüklüklerde çok sayıda depremin okyanus ortası sırtlarda dar bir bant boyunca haritalanmasıdır. İkincisi ise odak mekanizması çalışmalarının ilerlemesi sonucu okyanus ortası sırtlarda meydana gelen depremlerin faylanma mekanizmalarının anlaşılmasıdır. Okyanus ortası sırtlarda transform fayların varlığı belirlenmiştir [5].

Levha tektoniği ile sismisite kavramı sadece tanımlanmakla kalmamış aynı zamanda teorik olarak da açıklanabilmiştir. Bu dönemde derin depremlerin fiziği tam olarak çözülemese de dalma-batma zonlarının levha hareketlerinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Deprem kaynak mekanizmasının daha iyi anlaşılması sismolojinin sismik tehlike çalışmalarında kullanılmasının önünü açmıştır.

Bir diğer sonuç ise pek çok lokal sismik ağların kurularak daha küçük depremlerin kaydedilebilmesidir. Sismik tehlike çalışmalarının önem kazanması ve depremselliğin daha iyi anlaşılması ile deprem tahmini yöntemleriyle ilgili çalışmalar başlatılmıştır [5].

SİSMOLOJİ ALANINDA BAZI KİTAP VE YAYINLAR

İlk Yayınlar

Mallet (1862), 1857 Büyük Napoli Depremi: Gözlemsel Sismoloji'nin İlk Prensipleri (İngilizce)

Rudolf Hoernes (1893), Sismoloji (Almanca)

Milne (1898), Sismoloji (İngilizce)

Sieberg (1904), Deprem El Kitabı (Almanca)

Hobbs(1907), Depremler, Sismik Jeolojiye Giriş (İngilizce)

Montessus de Ballore (1911), Modern Sismoloji (Fransızca)

Galitzin (1914), Sismometre Üzerine Notlar (Almanca)

1930 Sonrası Sismoloji Alanında Yayınlar

Macelwane J.B., Sohon S.J., ve Sohon F.W. (1932), Teorik Sismolojiye Giriş Bölüm II: Sismometri (İngilizce)

Macelwane J.B. ve Sohon F.W. (1936), Teorik Sismolojiye Giriş Bölüm I : Jeodinamik (İngilizce)

Byerly (1942), Sismoloji (İngilizce)

Ergin (1955), Sismoloji (Byerly, Sismoloji çeviri) (Türkçe)

Bullen (1947), Sismoloji Teorisine Giriş

Richter (1958), Elementer Sismoloji

1960 Sonrası Sismoloji Alanında Yayınlar

Sawarensky and Kimos (1960), Elementer Sismoloji ve Sismometre

Bath (1973), Sismolojiye Giriş (İngilizce)

Bolt (1978) Depremler (İngilizce)

1979 Sonrası Sismoloji Alanında Yayınlar

Pilant (1979), Yer İçinde Elastik Dalgalar (İngilizce)

Aki ve Richards (1980), Kantitatif Sismoloji Teori ve Yöntemler (İngilizce)

Ben Menahem ve Singh (1981), Sismik Dalgalar ve Kaynaklar (İngilizce)

Bullen ve Bolt (1985) Sismoloji Teorisine Giriş (İngilizce)

1990 Sonrası Sismoloji Alanında Yayınlar

Dahlen ve Tromp (1998), Teorik Küresel Sismoloji (İngilizce)

Diğer Sismoloji Kitapları

Gubbins (1990) Sismoloji ve Levha Tektoniği (İngilizce)

Madariaga ve Perrier (1991), Depremler (Fransızca)

Lay and Wallace (1995), Modern Küresel Sismoloji (İngilizce)

Doyle (1995), Sismoloji (İngilizce)

Gershanik (1995), Sismoloji (İtalyanca)

Udias ve Mezcua (1996) Sismolojinin Temelleri (İspanyolca)

Shearer (1999), Sismolojiye Giriş (İngilizce)

Udias (1999), Sismolojinin Prensipleri (İngilizce)

Pujol (2003), Sismolojide Elastik Dalga Oluşumu ve Yayınımı (İngilizce)

Stein and Wysession (2003), Sismolojiye Giriş, Depremler ve Yerin Yapısı (İngilizce)

Akkoyunlu (2013), Sismoloji (Türkçe çeviri)

Serkan Öztürk (2016) Sismolojiye Giriş, Depremler Ve Yerin Yapısı (Türkçe çeviri)

Bu kitaplar dışında sismolojinin alt başlıklarını kapsayan pek çok kitap vardır.

KAYNAKLAR

[1] Schubert, G. (2015). Treatise On Geophysics. Elsevier.

[2] Dziewonski, A. M., & Romanowicz, B. A. (2015). Deep Earth Seismology: An Introduction and Overview Treatise on Geophysics, 2, 1-28.

[3] Shearer, P. M. (2019). Introduction to seismology. Cambridge university press.

[4] Christoskov, L. Vol.II - Seismology And Volcanology. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)

[5] Agnew, D. C., Lee, W. H. K., Kanamori, H., Jennings, P. C., & Kisslinger, C. (2002). History of seismology. International handbook of earthquake and engineering seismology, 81(A), 3-11.

[6] Rothé, J. P. (1981). Fifty years of history of the International Association of Seismology (1901-1951). Bulletin of the Seismological Society of America, 71(3), 905-923.

[7] Udías, A., & Buforn, E. (2017). Principles of Seismology (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

[8] Schweitzer, J. (2007). The birth of modern seismology in the nineteenth and twentieth centuries. Earth Sciences History, 26(2), 263-280.

[9] Ben-Menahem, A. (1995). A concise history of mainstream seismology: Origins, legacy, and perspectives. Bulletin of the Seismological Society of America, 85(4), 1202-1225.

Bölüm 12

İNDÜKSİYON ISITMA SİSTEMLERİ VE UYGULAMA ALANLARININ İNCELENMESİ

Gençay Arda DUVARSEREN[1]
İlyas TÜRKMEN[2]

1 Metalurji ve Malzeme Mühendisi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, ardaduvarseren16@gmail.com
2 Arş. Gör. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, ilyas.turkmen@cbu.edu.tr

1. ELEKTROMANYETİK İNDÜKSİYON KAVRAMI

Tüm indüksiyon ile ısıtma sistemlerinin temeli olan elektromanyetik indüksiyon, Michael Faraday tarafından 1831'de keşfedilmiştir. İçerisinden akım geçen iletken, çevresinde bir manyetik alan oluşturmaktadır. İletken içerisinden alternatif akım geçirildiği durumda, iletken çevresinde değişken bir manyetik alan oluşmaktadır [1].

İndüksiyon bobini içerisinden geçen akım, metal parçayı indükleyerek ısı açığa çıkarmaktadır. Isının oluşması için iş parçası ile indüksiyon bobini arasında temasa gerek yoktur. İş parçası üzerindeki ısı yüzey bölgeleriyle sınırlıdır. Bunun nedeni, indüksiyon bobinindeki alternatif akımın çevresinde bir elektromanyetik alan oluşturmasıdır. İndüksiyon bobini bir iş parçasının yanına ya da çevresine yerleştirildiğinde, elektromanyetik alan bobin ve iş parçası arasında yoğunlaşır. İndüksiyon bobini ana trafo olarak işlev görürken, ısıtılacak olan iş parçası ikincil trafo olur. İndüksiyon bobinini çevreleyen elektromanyetik alan, iş parçasında eşit ve karşıt bir elektrik akımı indükler. İş parçası, indüklenen bu elektrik akımı sonucunda elektriksel direnç nedeniyle ısınır. İş parçasının ısınma hızı; indüklenen akımın frekansına, indüklenen akımın yoğunluğuna, malzemenin özgül ısısına, malzemenin manyetik geçirgenliğine ve malzemenin elektriksel direncine bağlıdır [2].

2. İNDÜKSİYON ISITMA SİSTEMLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

İndüksiyon ile ısıtmanın temeli 1831 yılında İngiliz fizikçi Michael Faraday tarafından atılmıştır. Faraday, laboratuvarında transformatörler üzerinde yaptığı çalışmalar sırasında, primer ve sekonder sargılar arasında hiçbir bağlantı olmamasına rağmen primer sargıda meydana gelen akım değişikliğinin sekonder sargıda bir gerilim indüklenmesi ortaya çıkardığı prensibini ortaya koymuştur [1].

Faraday gerçekleştirdiği deneylerin neticesinde indüklenen gerilimler sonucunda oluşan ve sonucunda ısınmaya neden olan akımların; akımın aksi istikametinde bir akı meydana getirdiğini gösteren ve bu akının frekans ile doğrudan bağıntılı olduğunu ortaya koyan Neuman ve Lenz kanunları ortaya çıkmıştır. Heaviside'ın "The Induction of Currents in Cores" isimli makalesi indüksiyon ısıtma sistemleri ile ilişkili ilk çalışmalardan biridir. Heaviside bu makalede bobin üzerinde oluşan elektromanyetik indüksiyon ile nüveye enerji aktarılması ilkesini ortaya koymuştur. Bu çalışmaların ardından indüksiyonla ısıtma sistemleri kuramsal olarak bilinmesine rağmen güç kaynaklarının yetersizliği nedeniyle, ısıtma sistemlerinin kullanıma geçişi oldukça güç olmuştur.

İndüksiyon ocakları konusundaki ilk patent Ferranti (1897) tarafından İngiltere'de alınmıştır. Patente konu olan ocakta metal, bobinin dış kısmına konularak ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple ocak, "nüveli" veya "halka" ocak adını almıştır. Ticari olarak gerçekleştirilen ilk uygulama, İsveç'te Kjellin tarafından kurulan (1900) 73 kW gücünde ve 80 kg kapasiteli çelik ergitme ocağıdır. Ardından Essen (1906, Almanya) Rochling Rodenhauser ocağını geliştirmiştir. Ocakta daha yüksek bir güç eldesi amaçlandığından 5 Hz'lik frekans ve 750 kW'lık bir güç ile kullanılmıştır.

İndüksiyon ocaklarının o zamanlardaki en büyük sorunu, güç kaynağı yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve bakımları zor olan güç kaynaklarına ihtiyaç duymalarıydı. Ancak 1900'lü yılların başında metalin karbon difüzyonunu engelleyerek cüruf örtüsü altında çalışan ilk Heroult tipi ocaklar indüksiyon ocaklarının tasarımını tamamen değiştirmiştir.

Dr. Northrup tarafından 1916 yılında yapılan çalışmalar neticesinde, endüstriyel kullanım amacıyla orta frekansta çalışan indüksiyon fırınları ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalar sayesinde indüksiyonla ısıtma sistemlerinde, yüksek frekans kullanımı konusunda umut verici gelişmeler yaşanmıştır. Ancak o yıllarda yüksek frekansla çalışan indüksiyon ısıtma sistemleri için kullanılan kondansatörler uygun ebatlarda değildir. Karşılaşılan bu sorun General Electric Company tarafından üretilen kâğıt kondansatörler neticesinde aşılmış ve şebeke frekansının üzerindeki frekanslarda çalışmak mümkün hale gelmiştir. İlk orta frekans ergitme ocağı, Electric Furnace Company (EFCO)'nin çalışmaları sonucunda 1927 yılında üretilmiştir. Üretiminin ardından endüstrideki orta frekanslı ergitme ocaklarının sayısında yüksek ivmeli bir artış gözlemlenmiştir. Yaygınlaşması ardından bu fırınlar özellikle paslanmaz çelik üretimi, alaşımlama ve metal işleme proseslerinde kullanılmıştır [3].

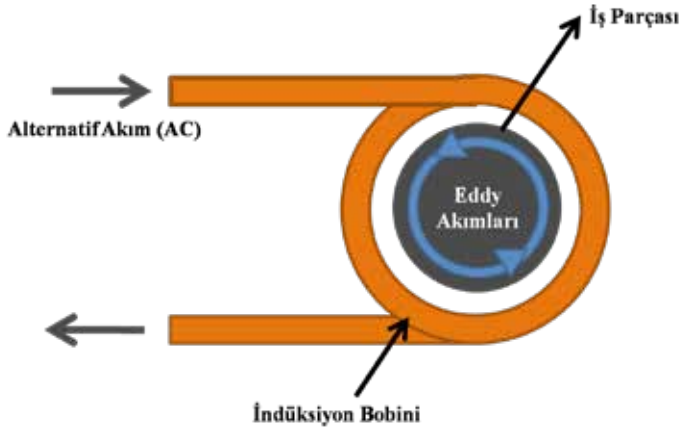
1966 yılından sonra yarı iletken devre elemanlarının üretimindeki ilerleme ile birlikte indüksiyon ısıtma sistemleri alanında yeni bir çağ başlamıştır. Yarı iletken devre elemanlarının kullanılmaya başlanması ile statik invertörler (inverterler) geliştirilmiştir. Bu invertörlerin geliştirilmesi sonucunda rezonans devreli invertörler ortaya çıkmıştır. Geliştirilen devre elemanlarının kullanıldığı devreler sayesinde sahip olunan güç ve frekans aralıkları, sürekli olarak artmıştır. Günümüzde MHz seviyelerindeki frekanslara ulaşmak mümkün hale gelmiştir. Rezonans invertörlerde değişik anahtarlama elamanları kullanımı ile proseslere uygun devreler meydana getirilebilmektedir. İzole kapılı bipolar transistörler (IGBT) ile 150 kHz'lere, GTO (Kapı Sönümlü Tristör) ile 50 kHz'lere ve MOSFET (Metal Oksit Yarıiletkenli Alan Etkili Transistör) ile GHz'lere varan frekanslar elde edilmiştir. Gelişen teknoloji sonucunda günümüzde invertörlerden 2 MW mertebelerinde çıkış gücü elde edilebilmek mümkündür.

Bunun yanında değişken frekanslı indüksiyon ocakları son zamanlarda kaydedilen en önemli gelişmelerden biri olmuştur. Yarıiletken teknolojisinin gelişmesi ile güç kaynaklarına ulaşmak kolaylaşmış ve bu ekonomik sorun ehemmiyetini kaybetmiştir. Bu gelişim günümüzde bu alanda yapılan çalışmaların oldukça yaygınlaşmasını sağlamıştır [4].

3. İNDÜKSİYONLA ISITMA SİSTEMLERİNDEKİ TEMEL BİLEŞENLER

Elektromanyetik indüksiyon ile ısıtma devresi, transformatörün yapısına temel olarak benzerlik göstermektedir. İndüksiyon bobini primer sargıya, ısıtılacak yük ise sekonder sargıya benzetilebilir. Bu durumda sekonder sargı uçları kısa devre edilmiş tek sarımlık bir halde eşdeğer devrede gösterilebilir [5].

İndüksiyon ile ısıtma sistemlerinin temel unsurları; güç kaynağı, güç dönüşüm elemanları ve indüksiyon (ısıtma) bobinidir (Şekil 1).



Şekil 1. *İndüksiyon Isıtma Bobini.*

3.1. Güç Kaynakları

İndüksiyon ısıtma sistemleri, farklı frekans aralıklarında farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Ergitme, şekil verme gibi uygulamalar düşük frekans aralıklarında gerçekleştirilirken; ısıl işlem ve yüzey işlem uygulamalarında orta ve yüksek frekanslı sistemler kullanılmaktadır [6].

İndüksiyon ısıtma sistemlerinde frekans parametresi kritik rol oynamaktadır. Yüksek frekans değeri, bir iş parçasının hızlı bir şekilde ısınmasını kolaylaştırmaktadır, ancak daha yüksek frekanslar elektromanyetik alanın nüfuziyetini (derinliğini) sınırlandırmaktadır [7].

İndüksiyon ısıtma sistemlerinde güç besleyicisi olarak kullanılan AC kaynak frekansları, Mhz'ler ile 50 Hz arasında değişmektedir. Seçilecek

olan frekans işlem verimini ve maliyetini etkilemektedir. Yüksek frekans değerlerinde kullanılan güç kaynaklarının maliyeti daha yüksektir [3]. Isıtılacak olan parçada istenilen dalma derinliği indüksiyonla ısıtma sistemlerinde frekansın seçilmesinde önemli rol oynamaktadır.

İndüksiyon ısıtma sistemlerinde kullanılan güç kaynakları dört grupta incelenebilir;

- Kaynak frekanslı sistemler (50/60 Hz)
- Motor alternatör sistemler (500 Hz – 10 kHz)
- Statik invertör sistemler (500 Hz – 50 kHz)
- Yüksek frekanslı sistemler (50 kHz – 10 MHz) [8].

3.1.1. Kaynak frekanslı sistemler

Kaynak frekanslı sistemlerin ana bileşenleri transformatör, bobin ve ısıtılan iş parçasıdır. Kaynak frekans olarak kullanılan şebeke gerilimi işletme ve ilk yatırım maliyetini düşürmektedir. Frekans dönüşümü olmaması bu sistem tipinin en büyük avantajıdır. Kaynak frekanslı sistemlerde güç kayıpları minimal düzeydedir. Karmaşık elektronik cihazlara ihtiyaç yoktur. Bakım maliyetleri oldukça azdır. Yayılan ısı kayıpları, istenmeyen yüksek frekans gerilimlerinin indüklenmeleri ve kaçak akı ısınmaları göz ardı edilebilecek kadar düşüktür. Temel ekipmanların yatırım maliyeti, orta ve yüksek frekanslı sistemlerden daha düşüktür [8].

Kaynak frekanslı sistemler 10 mm ile 100 mm arasında dalma derinliği değerlerine sahiptir. Dalma derinliğinin büyük olması sebebiyle, ergitme ocaklarında ve üniform sıcaklık dağılımı gerektiren yüksek hacimsel kapasiteye sahip dövme proseslerinde kullanılmaktadır. Isıtma süresi yüksek frekanslı sistemlere göre düşüktür [8].

3.1.2. Motor alternatör sistemleri

İndüksiyon ısıtma sistemlerinin seri üretime geçebilmeleri ve hızlı ısınma gereksinimi olan proseslerde kullanılabilmesi için, çalışma frekanslarının yükseltilmesi gerekmektedir. Bu nedenle asenkron motorlar ile sürülen, 500 Hz ile 10 kHz arası çıkış frekanslarına sahip alternatörler kullanılmaktadır. Tek motor alternatör grubu 500 kW civarındaki güçlere kadar kullanılmaktadır. Daha büyük güç değerlerinde birden çok motor alternatör grupları kullanılmaktadır. Kurulum maliyetleri fazladır. Hareketli parça sayısının fazla olması bakım ve onarım yoğunluğunu arttırmaktadır. Sabit frekanslı olmaları sebebiyle güç faktörü düzeltme işlemi, çalışma anındaki güç faktörünün takip edilerek kondansatörlerin devreden çıkarılıp devreye alınmaları ile sağlanmaktadır [8].

Demir esaslı metallerde, belirlenen çalışma frekans değerlerinde dalma derinliği 10 mm ile 1 mm arasında değişiklik göstermektedir. Genellikle 10 mm ile 1 mm arası dalma derinliğine ihtiyaç duyulan ısıl işlem proseslerinde ve orta büyüklükteki ergitme ocaklarında bu sistemler kullanılmaktadır. Bu uygulamaların yanısıra; küçük çaplı ergitme, plastik şekil verme, ısıtma ve kaynak gibi uygulamalarda da bu sistemlerin kullanımı mevcuttur. Statik invertörlerin gelişimine kadar motor alternatör grupları tek alternatif konumundayken, kaydedilen ilerlemeler ışığında günümüzde bu durum değişmiştir [8].

3.1.3. Statik invertör sistemleri

Statik invertör sistemlerde şebekeden alınan alternatif akım doğrultucu yardımıyla doğru akıma çevrilmektedir. Doğru akım ile beslenen konvertör vasıtasıyla istenilen genlikte doğru akım elde edilmektedir. İnvertör genliği ayarlanmış olan doğru akım ile beslenerek invertör çıkışından istenilen frekans ve genlikteki alternatif akım bobine iletilir. Statik invertör sistemlerinde frekans yük gereksinimine göre otomatik olarak ayarlanır ve sabit değildir. Bu nedenle devrede konrollü olarak açma-kapama işlemi yapan anahtarlama elemanlarına ihtiyaç vardır. Gelişen teknoloji ve beraberindeki malzeme çeşitliliği tristörlerin yanı sıra MOSFET, GTO, BJT (Bipolar Jonksiyon Transistör), IGBT (izole edilmiş kapılı, iki kutuplu transistör) gibi anahtarlama elamanlarının kullanımına olanak sağlamıştır.

Statik invertörlerin kullanılmaya başlanması altmışlı yıllarda yarı iletken teknolojisinin gelişimi ile olmuştur. Motor alternatör ve manyetik frekans çoğullayıcılarının yerine, son yıllarda daha ucuz ve daha yüksek verime sahip yarı iletken anahtarlama elemanları ile oluşturulan invertörler geçmiştir. Günümüzde tristörler kullanılarak oluşturulan invertörler ile MW'lar üretebilen güç kaynakları üretilebilir hale gelmiştir. Diğer tip güç kaynaklarına göre bakım ve onarım periyotlarının uzun olması, düşük ebatları, güç kontrolünün kolay olması, değişken yükler altında çalışma frekansı değişimi sayesinde kaynak-yük empedans uyumu koruyarak devamlı olarak maksimum güç iletme imkanı ve %90'nın üzerinde verime sahip olmaları statik invertörlerin tercih edilmelerine neden olmuştur [8].

Statik invertörlü sistemler gelişim süreçlerinin başında tristörlerin anahtarlama sürelerinin çok uzun olması sebebiyle elverişli bulunmamıştır [6]. Günümüzde kaynaklama, lehimleme gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır.

3.1.4. Yüksek frekanslı sistemler

Yüksek frekanslı sistemlerde, sistemin tasarımını etkileyen en önemli faktörlerden birisi de deri etkisidir (dalma derinliği). İletken içinden geçen

akımın frekansı arttıkça, iletkenin merkezinde daha çok manyetik alan ve merkezde daha yüksek direnç oluşmaktadır. Bunun sonucunda, akım daha düşük direnç değerine sahip olan iletkenin çeperlerine yakın alanlardan akmaya başlar. Frekansın artmasıyla birlikte, merkezdeki reaktans değeri daha da artar ve dolayısıyla iletkenden akan akım tamamen kenarlarda yoğunlaşır ve iletkenin merkezinden kayda değer akım akmadığı görülür [9]. Bu durum hızlı ısıl işlem kabiliyeti sağlarken deri etkisi sebebiyle derinlemesine ısıtma işlemini olanaksız hale getirir.

Kaynak şebeke frekansından (50-60 Hz), kHz ve MHz mertebelerine olan frekans artışı yüksek güç yoğunluğu ve çok dar bir dalma derinliği oluşumunu sağlamaktadır. Yüksek frekanslı sistemlerde IGBT invertörler veya bazı özel uygulamalar için MOSFET anahtarlar kullanılabilmektedir [10].

Yüksek frekanslı indüksiyon ısıtma sistemleri; kaynaklı imalat ve 2 mm ile 0.1 mm arası deri kalınlığında yüzey sertleştirme prosesleri gibi yüksek ısıtma hızına ihtiyaç olan proseslerde kullanılmaktadır [8].

3.2. Güç dönüşüm devreleri

İndüksiyon ısıtma sistemlerinde kullanılan yarıiletken güç dönüşüm devreleri üç grup altında incelenebilir.

- AC-DC Dönüştürücüler (Doğrultucu)
- AC-AC Dönüştürücüler (Matrix Dönüştürücüler)
- DC-AC Dönüştürücüler (İnvertör)

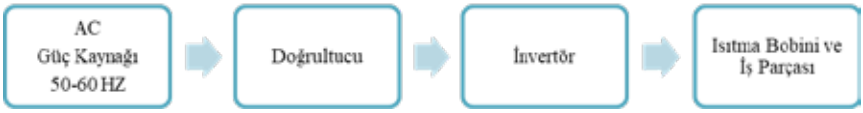
İndüksiyon ile ısıtma sistemlerinde kullanılan yarı iletken güç kaynaklarının diğer besleme kaynaklarına göre birçok üstünlüğü bulunmaktadır. Bu üstünlüklerini sıralamak gerekirse;

- Çalışma gücünün kolaylıkla ayarlanabilmesi.
- Verimlerinin %90'nın üzerine çıkarılabilmesi.
- Isıl kayıplarının az olması.
- Kurulum ve montaj kolaylığı.
- Statik kaynaklar olup çalışmalarının sessiz olması [11].

3.2.1. AC-DC dönüştürücüler (Doğrultucu)

AC-DC dönüştürücüler, indüksiyon ısıtma sistemlerinin ana besleyici kısmını oluşturmaktadır. Kaynak frekanslı sistemler haricinde istenilen frekanstaki akımı elde etmek için kaynaktan gelen akım öncelikle doğrultulur. Şebekeden gelen 50-60 Hz frekansa sahip alternatif akım doğrultucu tarafından evirici kısım için DC bara gerilimine dönüştürülür. Ardından

elde edilen doğru akım bir invertör vasıtası ile ısıtma bobini için gerekli olan frekanstaki alternatif akıma dönüştürülür. Doğrultucu kullanılan bir indüksiyon ısıtma sisteminin bileşenleri Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Kaynak Frekanslı İndüksiyon Isıtma Sistemi Şematik Gösterimi.

3.2.2. AC-AC dönüştürücüler (Matrix dönüştürücüler)

AC-AC dönüştürücüler, doğrultucular ile karşılaştırıldığında, geniş frekans çalışma aralığı ve sabit bir frekans için değişken çıkış voltajı gibi birçok avantajı bünyesinde bulundurmaktadır. Bu dönüştürücüler, herhangi bir ara DC voltaj beslemesi olmaksızın istenilen frekansta AC akım eldesini sağlamaktadır [12].

SCR, GTO, MOSFET ve IGBT gibi hızlı ve verimli anahtarlama elemanlarının gelişimi AC-AC dönüştürücülerin kullanım alanlarını arttırmıştır [13].

3.2.3. DC-AC dönüştürücüler (İnvertörler)

İnvertörler doğru akım kaynağından sağlanılan gücü, değişik frekans ve gerilim değerlerinde alternatif akıma çeviren devrelerdir. İnvertörler; motor hız kontrolü, indüksiyon ısıtma sistemleri, kesintisiz güç kaynakları gibi birçok endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır [8].

İnvertörlerin üreteceği dalganın biçimi ve frekansı kullanılan yarıiletken elemanın (tristör, transistor, MOSFET, IGBT) özelliklerine, iletim ve tıkama sürelerine bağlıdır. İnvertörlerde dalga biçimlendirmede temel faktör; tristör, transistör, MOSFET veya IGBT gibi anahtarlama elemanlarının doğru bir şekilde tercih edilmesidir. Bu tercihin yanı sıra anahtarlama elemanlarının, anahtarlama sıralamasının da doğru şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

İnvertörler, besleme özelliklerine göre; akım beslemeli ve gerilim beslemeli olarak ikiye ayrılır. Kullanılan ara devreye göre akım beslemeli veya gerilim beslemeli olduğu tespit edilebilir. Ara devre seri bir indüktanstan oluşuyorsa akım beslemeli, bir indüktans ve sisteme paralel bağlı bir kondansatörden oluşuyorsa gerilim beslemeli invertör adını almaktadır [14].

İnvertörler tek veya çok fazlı olarak tasarlanabilmektedir. Uygulama alanları göz önünde bulundurulduğunda en çok kullanılan invertör çeşitleri bir fazlı ve üç fazlı invertörlerdir.

Yarı iletken güç anahtarlarından oluşan statik invertörler, indüksiyon ısıtma sistemlerinde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Bu alanda birçok invertör teknolojisi geliştirilmiştir. Bunlar arasında en yaygın kullanılanlar;

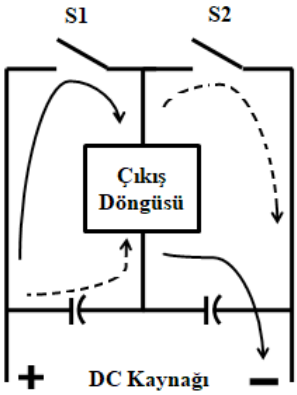
1. Akım kaynaklı paralel invertör

2. Gerilim kaynaklı seri invertör şeklindedir.

Güç dönüşüm sistemlerinde en yaygın olarak kullanılan invertör tipleri PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) ve rezonans invertör tipleridir. Rezonans invertörlerde anahtar kayıpları çok azdır. Elektromanyetik parazit yaymamalarından dolayı çok tercih edilmektedir [15].

Devre yapıları bakımından invertörler, yarım köprü bağlantılı ve tam köprü bağlantılı invertörler olarak ikiye ayrılır. Yüke bağlı olarak ise invertörler; seri rezonanslı ve paralel rezonanslı olarak ikiye ayrılmaktadır. Faz olarak da tek ve üç fazlı invertörler bulunmaktadır. Çıkış gerilimi invertör içinde gerçekleşen invertörler ise darbe genlik ve darbe genişlik modülasyonlu invertörler olarak adlandırılmaktadır [14].

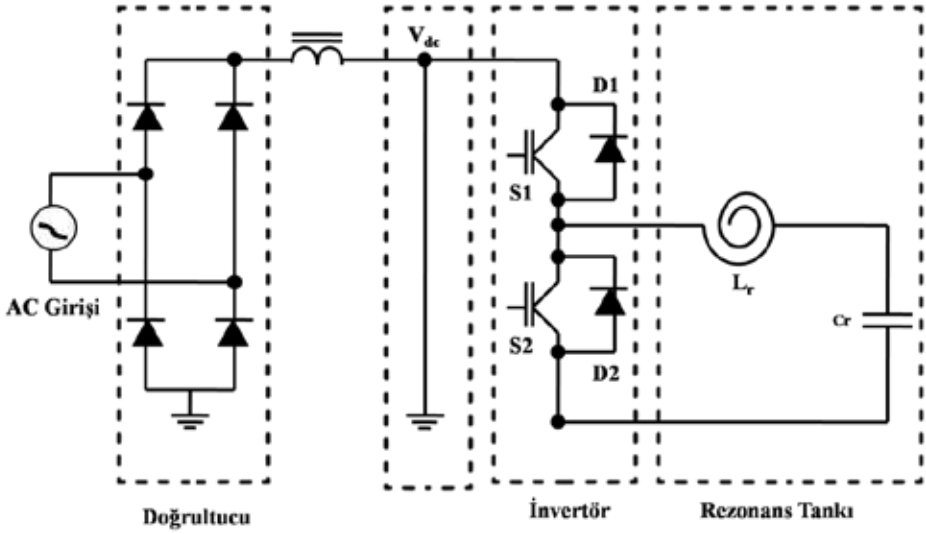
Yarım köprü invertörlerinde çıkış devresinin bir tarafında nötr bir bağlantı sağlanması için Şekil 3'te gösterildiği gibi iki anahtar ve iki kapasitör bulunur. Çıkış akımı S1 anahtarının pozitif DC beslemesi ile S2 anahtarının negatif DC beslemesi arasında dönüşümlü olarak değiştirilir böylece çıkış boyunca bir AC voltajı oluşturulur. Bu konfigürasyon, daha düşük çıkış voltajı veya çıkış gücünün istendiği tam köprü yerine kullanılır [1]. S1 ve S2 anahtarlarına bağlanan paralel dirençler ile akım kaybı minimize edilebilir [15].



Şekil 3. *Yarım Köprü İntertörün Şematik Gösterimi [1].*

Yarım köprü invertörlü seri rezonans devreli indüksiyon ocağının (Şekil 4) üstünlükleri; kararlı anahtarlama, düşük maliyet ve modern tasarımdır. Maliyetin düşük olmasının temel nedenlerinden biri devre geriliminin

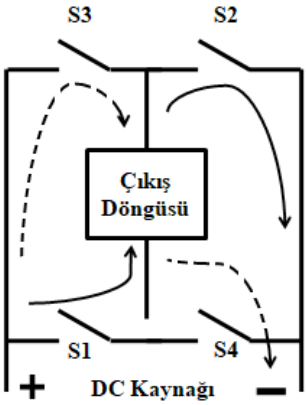
giriş geriliminden düşük olmasıdır. Bu sayede anahtarlama devresinin iç basıncı düşüktür. Bu durum sistemin ekonomik olmasını sağlamaktadır. Sistemin olumsuz yanı ise; sistemin iki anahtarlama devresine ihtiyaç duymasıdır. Bu durum invertörün kompleks bir yapıya sahip olmasına ve devrenin ebatlarının artmasına neden olmaktadır [15].



Şekil 4. *Yarım Köprü İnvertörlü Seri Rezonans Devreli İndüksiyon Sistemi Güç Devresi [15].*

Tek fazlı tam köprü invertör, iki adet yarım köprü invertörün birleşiminden oluşur. Tam köprü invertörlerin yapısında, bir gerilim kaynağı ve dört yarı iletken anahtarlama elemanı bulunur.

En yaygın kullanıma sahip invertör çeşidi tam köprüdür. Genellikle H köprüsü olarak adlandırılan, her biri bir anahtar içeren dört bacağı vardır. Şekil 5'te örnek bir tam köprü invertör devresi verilmiştir. Çıkış H köprünün merkezinde bulunur, böylece anahtarlar S1 ve S2 kapatıldığında akım DC beslemesinden çıkış devresinden soldan sağa doğru akar. Anahtar S1 ve S2 açıldığında ve anahtar S3 ve S4 kapatıldığında, akım sağdan sola ters yönde akar. Bu işlem tekrarlandıkça, anahtarların açılma ve kapanma hızına göre belirlenen bir frekansta alternatif bir akım üretilir [1].



Şekil 5. *Tam Köprü İnvertörün Şematik Gösterimi [1].*

Tam köprü rezonans invertörler, dört adet anahtarlama elemanı içerdiğinden, iki adet anahtarlama elemanı içeren yarım köprü invertöre göre daha yüksek maliyete sahiptir [8].

Yüksek frekanslı indüksiyon ısıtma sistemlerinde, seri rezonans ve akım beslemeli paralel rezonans invertör olmak üzere iki farklı devre tipi vardır. Gerilim beslemeli invertörlerin girişinde, DC gerilim kaynağı bulunmaktadır. Bu doğru akım filtre tipi bir kondansatör ile sağlanır. İnvertörün çıkışında seri bağlı bir rezonans yük devresi bulunmaktadır. Akım beslemeli invertörlerin girişinde ise, değişken bir DC gerilim kaynağından büyük bir endüktör ile sağlanan sabit bir DC akım kaynağı bulunmaktadır. Çıkışında ise paralel bir rezonans yük devresi bulunur [16]. Seri ve paralel invertörlerin avantaj ve dezavantajları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. *Seri ve Paralel Rezonans İnvertörlerin Avantaj ve Dezavantajları [16].*

	AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
SERİ REZONANS İNVERTÖRLER	Devre yapısının basit olması.	Yüksüz çalışması, yalnızca karmaşık kontroller ile sağlanabilir.
	Yatırım ve bakım maliyetlerinin düşük olması.	Kısa devre yeteneği yoktur.
	Kontrolsüz doğrultucular ile beslenebilmesi.	Transistörler endüktör akımının tümünü iletmek zorundadır.
	Güç faktörünün birim kontrolünün daha basit olması.	Değişken frekanstaki güç kontrolü bazı uygulamalarda problem teşkil eder.

PARALEL REZONANS İNVERTÖRLER	Yüksüz çalışmaları mümkündür.	Kontrolü karmaşıktır.
	Çalışma bobininde kısa devre mümkündür.	Bir kıyıcı veya kontrollü doğrultucu ile beslenir.
	Yüksek gerilim kondansatörleri gerekli değildir.	Boyutu daha büyüktür.
	Transistörler yalnızca aktif akımı iletir.	Beslemede filtre olarak bir şok bobinine ihtiyaç vardır.

İndüksiyon ısıtma sistemlerinde kullanılan temel rezonans invertör devreleri:

1. Gerilim kaynaklı seri rezonans invertör
2. Akım kaynaklı seri rezonans invertör
3. Gerilim kaynaklı paralel rezonans invertör
4. Akım kaynaklı paralel rezonans invertör
5. E sınıfı rezonans invertör, olmak üzere 5 gruba ayrılır.

3.3. Isıtma Bobinleri

Doğru ısıtma bobini seçimi, indüksiyonla ısıtma sistemlerinin performansını belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Bobin tasarımı; iş parçasının geometrisine, uygulanacak olan ısıl işlem ve/veya proses türüne, parça üzerinde istenilen sıcaklık dağılımına bağlıdır.

İndüksiyonla ısıtma işlemleri için oluşturulan bobin tasarımları, geniş kapsamlı deneysel verilerden sağlanan bilgiler yardımıyla elde edilmiştir. Bobin tasarımında çok sayıda durum dikkate alınmalıdır. Bunlar;

1) Ergitilecek malzemeye bobinden maksimum enerji transferi sağlanması için, malzeme bobine olabilecek en yakın uzaklıkta olmalıdır. Isıtılacak alanda bulunan malzemenin içinden azami miktarda manyetik akı çizgisinin geçmesi istenir. Malzeme içinde üretilen akımın artması malzeme üzerindeki manyetik akının yoğunlaşmasına bağlıdır.

2) Bir solenoitteki akı çizgileri bobinin merkezinde birbirine doğru yaklaşır. Bobinin içinde akı çizgilerinin sayısı yoğunlaşmıştır ve burada en yüksek ısınma elde edilir.

3) Bobin sarımlarına yakın noktalarda akı çizgilerinin sayısı yoğunlaşmakta ve iletkenden uzaklaştıkça azalmaktadır. Bu sebeple bobinin geometrik merkezi yetersiz bir akı bölgesidir. Dolayısıyla, manyetik alandan etkilenecek bir parça, bobinin geometrik merkezinin dışına yerleştirilirse, bobin sarmallarına yakın bölgelerde daha fazla sayıda akı çizgileriyle ke-

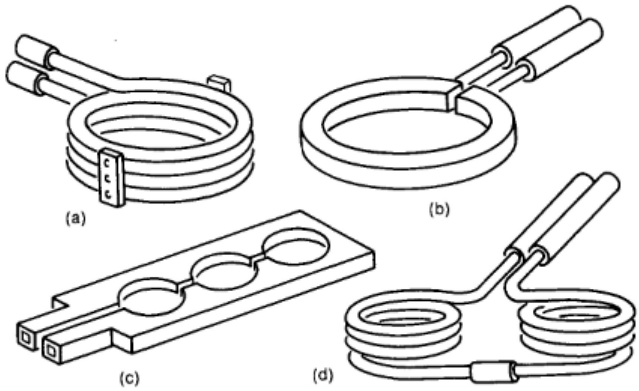
sişir ve böylece malzeme daha yüksek oranda ısınır.

4) Manyetik alan, bobinlerin kaynak noktalarında (sarmalın bağlantı noktalarında) diğer bölgelere nazaran daha zayıftır (kaçak fazladır). Bu sebeple, bobinin manyetik merkezinin aynı zamanda bobinin geometrik merkezi olması şart değildir. Bu etki en fazla tek sarmal bobinlerde görülmektedir. Bobinin sarmal sayısının artmasıyla ve her sarmaldaki akı bir önceki sarmaldakine eklendikçe bu durumun önemi azalmaktadır. Bobinin içindeki malzemeyi her zaman bobin merkezine koymak kolay olmadığı için malzeme bu alandan biraz saptırılmalıdır. Ek olarak, eğer uygunsa malzeme bobin içinde döndürülerek malzemenin her yerinde aynı etki oluşturulabilir.

5) Bobin içindeki manyetik akı çizgilerinin sayısının azalmasını engelleyecek şekilde bobin tasarımı yapılmalıdır [15].

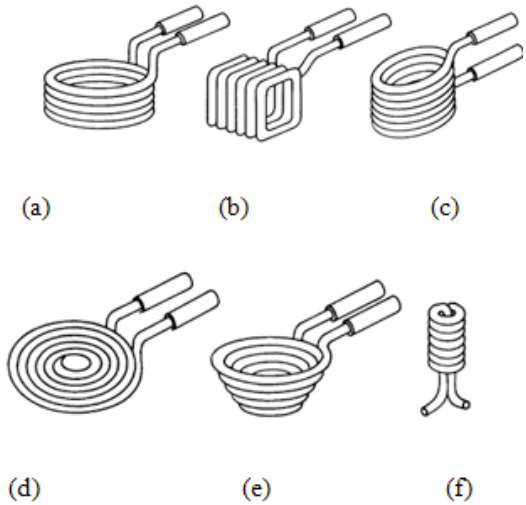
3.3.1. Bobin geometrisi

Isıtma bobinleri ısıtılacak olan malzemenin geometrisine veya ısıtılacak olan bölümün yapısına uygun olacak şekilde tasarlanır. Bobin seçiminde önemli bir parametre ise uygulanacak olan frekanstır. Düşük frekanslı indüksiyonla ısıtma sistemleri genellikle metallerin, özellikle büyük ve nispeten basit enine kesitleri olanların ısıtılması için tercih edilir. Tipik uygulama alanları dövme ve ekstrüzyon uygulamalarında kullanılmak üzere sıcak haddelenmiş yuvarlak ve yuvarlak köşeli kare (RCS) dolu profillerin ısıtılmasıdır. Genel olarak frekans ne kadar düşük olursa sarım sayısı o kadar fazladır yani bobin o kadar büyük olur. Basit yapıdaki solenoid bobin tipleri Şekil 6'da verilmiştir.



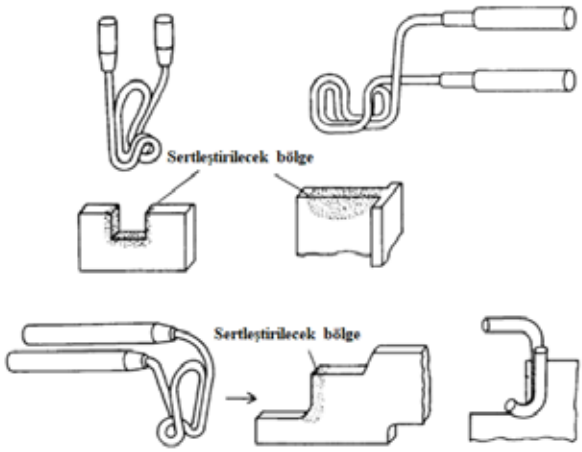
Şekil 6. *Basit Solenoid İndüksiyon Bobinleri: (a)Çoklu Sarım, Tek Pota; (b) Tek Sarım, Tek Pota; (c) Tek Sarım, Çoklu Pota; (d) Çoklu Sarım Çok Pota [17].*

Endüstride bazı durumlarda yüksek ve orta frekanslı uygulamalarda homojen ısıtma için ayarlanmış kontörlü ısıtma bobinleri gerekir [15]. Şekil 7'de bu tip ısıtma bobinlerinin başlıcaları verilmiştir. Bunlar yuvarlak, dörtgen, biçimli, pankek, helisel-sarmal ve içten geçmeli bobinlerdir [18].



Şekil 7. *Orta ve Yüksek Frekans İndüksiyon Bobinleri: (a) Yuvarlak; (b) Dörtgen; (c) Biçimli; (d) Pankek; (e)Helisel-Sarmal; (f) İçten Geçmeli [17].*

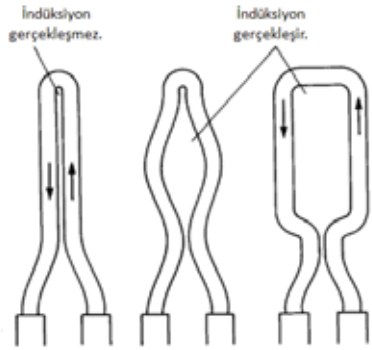
Şekil 8.'de görüldüğü gibi bazı özel ısıl işlemler için değişik formlardaki ısıtma bobinlerinin tasarım ve üretimleri gerçekleştirilebilir.



Şekil 8. *Bölgesel Sertleştirmeler İçin Çeşitli Bobin Şekilleri [17].*

3.3.2. Bobin indüktansı

İndüktörün içinden geçen akımlar yani indüktörün ters tarafları birbirine çok yakın olduğu durumlarda bobinin endüktansı yok sayılabilecek kadar azdır [19].



Şekil 9. *Endüktansı Olmayan ve Endüktansı Olan Bobin Tasarımları [19].*

Bobin, endüktörün karşı kısmı tarafından manyetik indüksiyon alanının yok edilmesini önleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Şekil 9'da soldaki bobin endüktansa sahip değildir. Çünkü indüktörün karşı tarafları birbirine çok yakındır. İndüktör sarımını arttırmak bir miktar endüktans sağlayacaktır.

3.3.3. Bobin çapı ve uzunluğu

Belirli bir frekansta nüfuziyet derinliğinin bobin çapına göre büyük olması halinde bobinin karşı tarafından gelen indüklenmiş akım çiftleri birbirini sönümlemektedir. Bu sebeple indüksiyon işleminde ısıtma verimi düşmektedir [11].

Çok turlu bobinlerde ısıtılan uzunluk arttıkça, dönüşlerin sayısı genellikle orantılı olarak artmalıdır. Isıtılan uzunluk bobinin çapının dört ile sekiz katını aştığında, yüksek güç yoğunluklarında düzgün ısıtma zorlaşır. Bu durumlarda, iş parçasının uzunluğunu tarayan tek sarımlı (tek dönüşlü) veya çok sarımlı (çok dönüşlü) bobinler genellikle tercih edilir. Çok dönüşlü bobinler genellikle belirli bir frekanstaki güç kaynağı kullanıldığında verimliliği ve dolayısıyla tarama hızını artırır. Tek dönüşlü bobinler, dar kesitli ve özellikle demir esaslı malzemelerin ısıtılması için etkilidir [17].

3.3.4. Bobin yüksekliği (Genişliği)

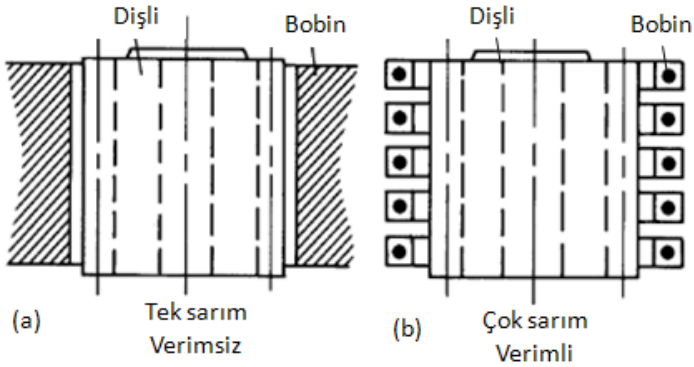
Çok sarımlı bobinlerde akı yoğunluğu tek sarımlı bobinlere göre fazladır. Çok sarımlı bobinlerde dönüşler arasındaki boşluk borunun çapının yarısından fazla olmamalı ve bobinin genel yüksekliği çapının iki katını geçmemelidir [17].

Yüksek frekanslı indüksiyon sistemleri endüstriyel uygulamalarda genellikle yüzey ısıl işlem uygulamalarında kullanılır. Frekans azaldıkça manyetik akının malzemeye olan penetrasyon derinliği artar. Numunenin tümünün manyetik akıdan etkilenebilmesi için indüksiyon bobinin çapı ve genişliği numunenin çapından ve yüksekliğinden biraz büyük seçilmektedir [20].

3.3.5. Sarım sayısı

Bir indüksiyon fırınında ısıtma yapan bobin, trafoların primer sargısına; çalışma parçası yani eritilecek veya ısıtılacak parça ise trafoların sekonder sarımına benzetilebilir [14].

Yaygın olarak kullanılan ısıtma bobinleri, tek turlu ve çok turlu tiplerde gruplandırılabilir. İş parçası üzerinde homojen bir ısıtma işlemi gerçekleştirmek ve iş parçasının uzunluğu; tek veya çok turlu bobin seçimindeki ana unsurlardır. Tek dönüşlü ısıtma bobinleri (Şekil 10 (a)) küçük ısıtma alanları için uygundur, çok turlu ısıtma bobinleri (Şekil 10 (b)) daha yüksek güç sağlar ve ısıtma için daha az zaman gerektirir [7,17].



Şekil 10. *Tek Sarımlı ve Çok Sarımlı Bobin Seçimi.*

4. İNDÜKSİYONLA ISITMA SİSTEMLERİNE İLİŞKİN TEMEL KAVRAMLAR

4.1. Histerezis Kayıpları

Manyetik özelliğe sahip malzemeler indüksiyonla ısıtılırken, değişen manyetik akı alanı, her döngüde kutup yönlerini değiştirdikçe malzemenin manyetik dipollerinin salınmasına neden olur. Bu salınım histerezis olarak adlandırılır ve dipoller salındığında oluşan sürtünme nedeniyle az miktarda ısı üretilir. Çelikler Curie sıcaklığının üzerine ısıtıldığında, manyetik olmayan hale gelirler ve titreme durur [2]. Histerezise dayalı ısınmada demir alaşımlı metaller için 700-800°C'de μ=1 iken Curie noktası ile birlikte ortadan kalkar [21].

İndüksiyon ısıtma sisteminde faydalanılan temel bileşenler Eddy Akımları ve histerezis kayıplarıdır. Histerezis kayıpları sonucunda moleküller frekansa bağlı olarak yön değiştirir. Bu yön değiştirmenin neticesinde sürtünmeden kaynaklı olarak ısı ortaya çıkarır [22]. Histerezis kayıpları sadece çelik, nikel ve diğer birkaç metal gibi manyetik malze-

melerde görülür [2].

Histerezis kayıpları malzemenin manyetik direnci, özdirenci ve çalışma frekansına bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu ısıtma türü sadece manyetik malzemelerde ortaya çıkar. Histerezis kayıplarının hesaplanmasında Histerezis katsayısı, akı yoğunluğu ve frekans göz önünde bulundurulur [5]. Eddy Akımları kayıplarına oranla histeresiz kayıpları katkısının çok düşük olması sebebi ile ısıl işlemlerde genellikle ihmal edilebilir [3].

4.2. Endüktans

Isıtma bobini uçlarına uygulanan alternatif akım sonucunda bobin üzerinde yönü ve şiddeti sürekli değişen bir manyetik alan oluşur. Bu durum bobinin endüktansı olarak adlandırılır. Endüktansı olmayan bobinler içerisinde, indüksiyon ısıtma işlemi gerçekleştirilemez. Bobin üzerindeki endüktans değerini arttırmak için sarım sayısı arttırılmalıdır [1].

4.3. Verim

İndüksiyon ısıtma sisteminin ısıtma veya ergitme proseslerinde verimli çalışabilmesi için bazı tasarım gereksinimleri vardır:

1. Sistem her türlü yük koşulunda, boş, dolu, soğuk, sıcak, çalışabilmelidir.

2. Şebeke kaynağından çekilen harmonik akımlar düşük olmalıdır.

3. Sistem, güç kaynağında meydana gelen kesintileri veya dalgalanmaları gidermek için yeterli toleransa sahip olmalıdır.

4. Yüklü bobin empedans değerlerindeki ani değişiklikler yani yükün kaldırılması, yerleştirilmesi veya şeklindeki değişiklikler tolere edilmelidir [23].

İndüksiyon ısıtma sistemlerindeki verimlilik esas olarak güç kaynağının ve ısıtma bobininin verimliliğine bağlıdır [24].

Tipik bir indüksiyon ısıtma sisteminde invertör, AC-AC dönüştürücüleri veya AC-DC-AC dönüştürücüleri kullanılır. AC-AC dönüştürücüler DC dönüştürücülerle karşılaştırıldığında, geniş çalışma frekansı aralığı, belirli bir sabit frekans için değişken çıkış voltajı büyüklüğü ve sabit voltaj giriş kaynağı gibi birçok avantaja sahiptir [13].

4.4. Dalma Derinliği (Deri Etkisi)

Deri etkisi; elektrik akımının iletkenin dış yüzeyine doğru yoğunlaşması başka bir deyişle elektrik akımının iletkende homojen olarak dağılmaması durumudur [5].

Dalma derinliği, indüklenen akımın yüzeydeki değerinin 1/e'ye (%38) ulaştığı noktanın yüzeyden olan mesafesidir [25]. Aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot f_s}}$$

δ : Dalma derinliği (metre)

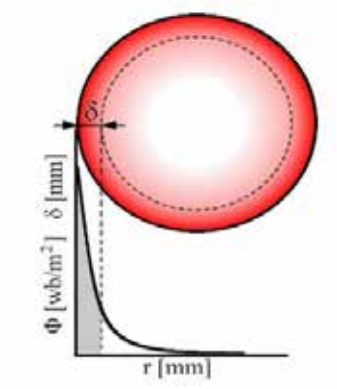
ρ : Isıtma işlemi boyunca ortalama direnç (Ω)

μ_0 : Havanın geçirgenliği (H/m)

μ_r : Metalin geçirgenliği

f_s : Çalışma frekansı (Hz) ifade eder.

İndüksiyonla ısıtma, Eddy Akımlarının dalma derinliği olarak ifade edilen yoğun manyetik alana maruz kalan bölgenin ısıtılması ile gerçekleşir [26]. Isıtma prosesinin verimli bir şekilde gerçekleşebilmesi için dalma derinliğinin malzeme çapının en çok dörtte biri kadar olması gerekmektedir [27]. Bobinin iç cidarından merkeze doğru gidildikçe manyetik akı yoğunluğu azalmaktadır. Isıtma veriminin Eddy Akımlarının azalmasına bağlı olarak düşmesi deneysel ve FEM (Sonlu Elemanlar Metodu) analizi ile ortaya konabilmektedir [28]. Şekil 11'de dalma derinliğinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 11. *Dalma Derinliğinin Şematik Gösterimi [28].*

4.5. Bobin İş Parçası Elektrik Modeli – Seri ve Paralel Model

Rezonans devrelerinde, rezonans anında bobin elemanının oluşturduğu endüktif etki ile kondansatör elemanın oluşturduğu kapasitif etki birbirini karşılamakta, sonuç olarak devrenin omik direnci devre empedansına eşit olmaktadır. Böylece devre omik özellik kazanmaktadır. Kondansatör

ve bobin elemanlarının bağlanış şekline göre rezonans devreleri isimlendirilmektedir. Rezonans invertörler, rezonans devresinden enerji çıkışına bağlı olarak paralel ya da seri rezonans devresine sahip olabilirler. Her iki devre de güç kaynağından çıkış devresine olan güç iletimi esnasında, L-C rezonansı vasıtasıyla güç kayıplarını azaltır [3].

5. İNDÜKSİYON ISITMA SİSTEMLERİNİN ÜSTÜNLÜKLERİ

İndüksiyon ısıtma sistemleri sağladığı avantajlar neticesinde, özellikle metal endüstrisinde birçok alanda kullanım alanı bulmuştur. İndüksiyon ısıtma sistemleri ısıl işlem, ön ısıtma prosesleri, ergitme, kaynak ve bazı özel uygulama alanlarında kullanılmaktadır.

İndüksiyon ısıtma sistemlerinin temel üstünlükleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

1- Isıtma işlemi çok hızlı gerçekleştiğinden oksit oluşumu ve tufal miktarı minimum düzeydedir.

2- Parçanın yalnızca istenilen bölümü ısıtılabilir.

3- Ergitme prosesinde karıştırma işlemi elektromanyetik akım neticesinde kendi kendine gerçekleşir. Bu özellik sayesinde alaşımlama proseslerinde karıştırıcılara ihtiyaç duyulmaz.

4- Isı radyasyonu yoktur ve yanma reaksiyonu gerçekleşmediğinden duman çıkışı minimum düzeydedir.

5- Çevreye ısı yaymadığı için işçilerin çalışma koşullarını iyileştirir.

6- Hızlı ısıtma özelliği neticesinde seri üretime ve otomasyona uygundur.

7- Akaryakıt ve gaz alevli fırınların aksine karbon ayak izi çok azdır.

8- Minimum dekarbürizasyon gerçekleşir [29].

9- İş parçasının sertlik derinliği ayarlanabilmektedir.

İndüksiyon ocaklarını kupol ocakları ile karşılaştırmak gerekirse yatırım maliyetleri kupol ocaklarına oranla yüksek olmasına rağmen demir ve çelik dökümhanelerinde büyük bir hızla yaygınlaşmaktadır. İndüksiyon ocaklarının avantajları sıralanacak olursa;

1. Sürekli (günün 24 saati) sıvı metal verebilme,

2. Dökümhanelerde değişen metal ihtiyaçlarına kolaylıkla uyum sağlama,

3. Sıcaklık kontrolünün çok iyi olması,
4. Ocakların metal kaybı olmaksızın hemen boşaltılabilmesi,
5. Pahalı ergitme proseslerine ihtiyaç duyulmaması,
6. Kupol ocaklarındaki kontrolsüz ilk dökümün bulunmaması,
7. Soğuk ve hurda metalin yeniden ocağa yüklenebilmesi,
8. Kireçtaşı ve kok ihtiyacı bulunmaması,
9. Koktan gelen kükürt probleminin olmaması,
10. İşçilik maliyetlerinin ve tecrübeye olan gereksinimin az olması,
11. Yüksek oranda hurda kullanımına imkân vermesi gibi avantajları bulunmaktadır.

Ark ocakları özellikle demir ergitme proseslerinde eski önemini kaybetmiştir. Çelik ergitmede ise indüksiyon ocaklarının kullanımının önüne geçen tek faktör ise indüksiyon ocaklarının kükürt ve fosforun giderilmesinde ark ocakları kadar etkili olamamasıdır [11].

6. İNDÜKSİYON ISITMA SİSTEMLERİNİN UYGULAMA ALANLARI

İndüksiyonla ısıtma sistemleri ergitme, lehimleme, ısıl işlem, kaynaklama, sinterleme, toz metalurjisi gibi birçok farklı proseste kullanılmaktadır. Gelişen teknolojik koşullar ile düşük enerjili temiz sistem arayışları sonucunda gelişimi ivme kazanan indüksiyon ısıtma sistemleri çağımızın en temiz ve en hızlı ısıtma yöntemidir.

6.1. Isıl İşlem

İndüksiyon ile ısıl işlemin en yaygın uygulama alanı çeliklerin ve dökme demirlerin sertleştirilme prosesleridir. İndüksiyon ile yüzey sertleştirme işlemi; debriyaj yayları, rot mafsal ve pimleri, akslar, miller, dişliler, makaralar, el aletleri, yataklama elemanları ve çeşitli makine parçalarında uygulanmaktadır. Her uygulama için uygun indüksiyon bobini ve frekans ayarı gerekmektedir. İstenilen sıcaklık dağılımı frekans, güç yoğunluğu ve bobin geometrisiyle kontrol edilir.

Çelik ve dökme demirlerin sertleştirilmesi için genellikle tipik bir ısıl işlem prosedürü izlenir. Martenzitik sertleşebilen çelikler, alaşım östenit fazına kadar ısıtılarak bu sıcaklıkta homojen yapı sağlanana kadar bekletilir. Artından M_s (martenzit başlama sıcaklığı) sıcaklığının altına kadar hızlı bir şekilde soğutulan demir esaslı alaşımın yapısında oluşan martenzitik iğnemsi yapı nihai sertliğin oluşumunu sağlar. Temel olarak, tüm martenzitik sertleşebilen çelikler indüksiyon ile sertleştirilebilir [30].

Çelik ve dökme demirlerin sertleştirilmesi, yüksek mukavemet ve aşınma direnci gibi özelliklerin elde edilmesi amacıyla gerçekleştirilir. Isıl işlem iş parçası yüzeyi veya kesiti boyunca yapılabilir [31].

İndüksiyon ısıtma sistemi, ısıl işlem sonucunda istenilen özelliklere, alaşımın kimyasal kompozisyonuna, parça geometrisine uygun şekilde tasarlanabilir. İndüksiyon ısıtma sistemlerinin çalışma prensibinin bir sonucu olarak bu tasarım parçanın belli bir bölümünde istenilen ısıl işlemin gerçekleştirilmesine uygun şekilde tasarlanabilir. Parçanın geri kalanı etkilenmeden dış yüzeyde istenilen sertlik ve aşınma direnci elde edilebilir.

Silindirik bir iş parçası için konuşmak gerekirse, kalınlığı boyunca sertlik dağılımına etki eden faktörler şunlardır;

- Sıcaklık dağılımı
- Mikroyapı
- Kimyasal kompozisyon
- Su verme koşulları
- Tane boyutu
- Sertleşebilirlik

İndüksiyon ısıtma sistemleri, yüzey sertleştirme uygulamaları dışında normalizasyon, gerilim giderme tavlaması, küreselleştirme işlemlerinde de kullanılabilir ancak bu noktada indüksiyon ile ısıtmanın homojen gerçekleştirilmesine özen göstermek gerekmektedir.

6.2. Kütle Isıtma

İndüksiyon ısıtma sistemleri kullanılarak çeşitli metaller sıcak şekillendirme proseslerine hızlı ve ekonomik olarak hazırlanır. Çevre dostu olma, otomasyon kapasitesi, güvenilirlik, bakım kolaylığı indüksiyon sistemlerinin günümüzdeki konumuna gelmesinde etkili olmuştur. İndüksiyon ısıtma sistemleri dövme, yuvarlama, haddeleme ve ekstrüzyon gibi plastik şekil verme prosesleri öncesinde ısıtma işlemi için kullanılır. Birçok durumda ana amaç, parçayı homojen sıcaklık dağılımı ile istenilen sıcaklığa yükseltmektir.

Genellikle, ısıtılmış gövde içinde düzgün bir sıcaklık dağılımının olması arzu edilir. Homojen sıcaklık dağılımını sağlamak için gerekli olan güç ve frekansın hassasiyetle hesaplanması gerekmektedir. Sıcaklık homojenliğinin yanı sıra, indüksiyonla ısıtmanın diğer bir önemli amacı maksimum üretim hızını sağlamaktır. İndüksiyon ile ısıtma sistemlerinin kütle ısıtmada tercih edilmesinin diğer bir nedeni minimum oksidasyon ve dekarbürüzasyona yol açmasıdır [32].

Sıcaklık dağılımının homojen olmaması durumunda orta çıkabilecek başlıca sorunlar şunlardır;

- Preslerde erkek ve dişi kalıpta erken aşınma
- Şekillendirme prosesi için hesaplanandan fazla kuvvet gereksinimi
- İstenmeyen iç gerilme oluşumu

Bar, rot ve metal kütükler gibi uzun ürünlerin üretilmesinde merdaneler arasında yeniden ısıtma işlemleri için indüksiyon ısıtma sistemleri aktif olarak kullanılmaktadır. Bazı durumlarda yeniden ısıtma işlemi oda sıcaklığından başlayarak gerçekleşebildiği gibi, bazı durumlarda üretim bandı boyunca çubuğun dengesiz soğuması sonucu ortaya çıkan değişken sıcaklık dağılımı sebebiyle yeniden ısıtma işlemi gerçekleştirilebilir. Bu durumda çubuk yüzeyi hızlı soğurken merkez sıcak kalmaktadır. Geçmişte ara ısıtma işlemleri için gazlı fırınlar kullanılmıştır. Ancak homojen sıcaklık için uzun tünellere ihtiyaç vardır. Döküm ünitesi ile haddehane arasındaki sınırlı alan ve gazlı fırınların yüzey kalitesini olumsuz etkilemesi nedeniyle indüksiyon ısıtma sistemleri gazlı fırınların yerini almıştır. Bu avantajları ile demir ve demir dışı metallerin yeniden ısıtılması işlemlerinde kullanılmaya uygundur.

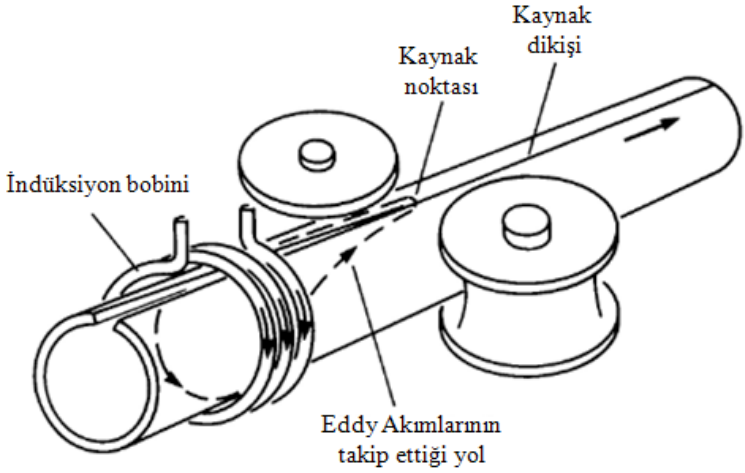
Uygulamanın özelliklerine bağlı olarak bir indüksiyon ısıtma sistemi bir veya çok sayıda sıralı indüksiyon bobininden oluşabilir. Farklı frekanslara sahip birkaç invertör ile çalıştırılabilir. Bazı kalın çelik çubuk üretim proseslerinde çok sayıda bobin olabilir. İndüksiyonla ısıtmada karşılaşılan temel zorluk, hattan geçerken yüzeyden merkeze sıcaklık profilinin değişmeye devam etmesinden kaynaklanmaktadır. İşlem prosesinin fiziği nedeniyle, çubuk merkezi, yüzeyinden daha yavaş ısınma eğilimindedir. Aynı zamanda, ön ve arka uçlar çubuğun gövdesinden daha hızlı ısınma eğilimindedir. Bu parametreler tasarım sürecinde göz önünde bulundurulmalıdır [9].

6.3. Sürtünme Kaynağı ve Lehimleme

Farklı metal parçaların birleştirilmesi uygulamalarında ısı kaynağı olarak indüksiyon ısıtma sistemlerinin kullanılması oldukça yaygındır. Lehimleme prosesleri 450 ^{0}C üzerinde gerçekleştiriliyorsa sert lehimleme, 450 ^{o}C altında gerçekleştiriliyorsa yumuşak lehimleme ismini alır. Her iki tipteki lehimleme de indüksiyon ısıtma sistemleri ile gerçekleştirilebilmektedir. Lehimle işlemlerinde iki metal parça birbirine çok yakın tutularak ve uygun bir sıcaklığa ısıtılır. Lehim iki parça arasına temas ettirildiğinde, lehimleme işlemi uygun sıcaklıkta gerçekleştirilmiş olur [33].

İndüksiyon ısıtma sistemlerinin birleştirme montaj ve imalat uygulamalarında kullanılmasına en yaygın örnek dikişli boru üretimidir. Ge-

nellikle boru kaynaklama işlemlerinde basit yapıdaki tek sarmal bobinler tercih edilir. Böyle bir bobinde indüklenen Eddy Akımları, borunun açık kenarlarında yoğunlaşır. Sonuç olarak bu noktalarda daha yüksek sıcaklık değerleri gözlemlenir [9]. Kaynaklama prosesi bu sayede yüksek enerji ihtiyacı olmadan gerçekleştirilebilir. Şekil 12'de indüksiyon ısıtma sistemi kullanılarak dikişli boru üretimi şematik olarak gösterilmiştir. İndüksiyon ile kaynak ve lehim prosesleri demir dışı metallere de uygulanabilir [34].



Şekil 12. *İndüksiyon ısıtma sistemi kullanılarak dikişli boru üretimi [17].*

KAYNAKLAR

[1] Rudnev, V., Loveless, D., & Cook, R. L. (2017). Handbook of induction heating. CRC press.

[2] Haimbaugh, R. E. (2015). Practical induction heat treating. ASM international.

[3] Yalçın, G. (2014). Üç Fazlı Gerilim Kaynaklı Tamköprü Paralel Rezonans İnvertörlü İndüksiyon Isıtma Sistemi, (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[4] Bodur, H., Akkaya, R., & Yaman, C. Endüksiyonla Isıtmada Rezonans Devreli İnverterler ve Örnek bir Endüksiyonla Isıtma Uygulaması. ELMEKSEM, 93, 384-391.

[5] Kara, İ. (2018). PLC – PDM Kontrollü İndüksiyon Isıtma Sistemi,(Yüksek Lisans Tezi). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

[6] Davies, J., & Simpson, P. (1979). Induction heating handbook. McGraw-Hill Companies.

[7] Nian, S. C., Tsai, S. W., Huang, M. S., Huang, R. C., & Chen, C. H. (2014). Key Parameters and Optimal Design of a Single-Layered Induction Coil for External Rapid Mold Surface Heating. International Communications in Heat and Mass Transfer, 57, 109-117.

[8] Çetin, S. (2005). Bir Fazlı Bir İndüksiyon Isıtma Sistemi Analizi ve Dizaynı,(Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

[9] Tezcan, Y. (2019). Sıvılar İçin Sıcaklık Kontrollü Bir İndüksiyon Isıtma Sistemi Tasarımı, (Yüksek Lisans Tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

[10] Zied, H. A., Mutschler, P., & Bachmann, G. (2002). A modular IGBT converter system for high frequency induction heating applications. In 23rd International Conference and Exhibition on Power Electronics, Intelligent Motion, Power Quality PCIM 2002 Europe.

[11] Çelik, Ö. (2005). İndüksiyon Fırını Tasarım ve Yapımı, (Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

[12] Alesina, A., & Venturini, M. G. (1989). Analysis and Design of Optimum-Amplitude Nine-Switch Direct AC-AC Converters. IEEE transactions on power electronics, 4(1), 101-112.

[13] Umasankar, P., & Kumar, S. S. (2016). A General Approach for Direct Conversion of Single Phase AC to AC Converter for Induction Heating System. Circuits and Systems, 7(11), 3896-3910.

[14] Bal, H. Y. (2006). Üçüncü Harmoniğin Kullanıldığı Yüksek Frekanslı Bir İndüksiyon Fırını Tasarımı, (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[15] Çelik, İ. U. (2008). İndüksiyon fırınında sıcaklık kontrolü ve ergiyen malzemelerin ısıl homojenliğinin sağlanması, (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[16] Akkaya, R., Anadol, M. A. (2003). Akım Beslemeli Paralel Rezonans İnverterli Bir İndüksiyonlu Isıtma Uygulaması, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, Bursa, 18-21 Eylül 2003.

[17] Zinn, S., & Semiatin, S. L. (1988). Elements of Induction Heating-Design, Control, and Applications. ASM International. Electronic Power Research Institute.

[18] Alınca, A. (2012). İndüksiyon ile Kompozit Malzemelerin Isıtılmalarının İncelenmesi, (Yayımlanmamış Yüksek LisansTezi). Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[19] Kızılkaya, İ. (2010). İndüksiyon Isıtma Prensibi ile Çalışan Mikrokontrolcü Denetimli Bir Sıvı Isıtıcısı Tasarımı,(Yüksek Lisans Tezi).Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

[20] Gezici, L. U. (2019). Yüksek Frekanslı İndüksiyon ile Sinterlemenin Hibrid Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Etkisi, (Yüksek Lisans Tezi). Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.

[21] Ünver, H. M. (2004). İndüksiyonlu Çelik Tav Fırınlarında Güç Ünitelerinin PLC ile Denetimi,(Yüksek Lisans Tezi). Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

[22] Voigt, A. L., da Cunha, T. V., & Niño, C. E. (2020). Conception, implementation and evaluation of induction wire heating system applied to hot wire GTAW (IHW-GTAW). Journal of Materials Processing Technology, 281, 116615.

[23] Sazak, B. S. (1999). Design of a 500W Resonant Induction Heater. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 5(1), 871-878.

[24] Acero J., Burdío J. M., Barragán L. A., Artigas J. I. andAlonso R., (2006, June). An Electromagnetic-based Model for Calculating the Efficiency in Domestic Induction Heating Appliances. In 2006 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference (pp. 1-6).

[25] Tanaka, T. (1989). A new induction cooking range for heating any kind of metal vessels. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 35(3), 635-641.

[26] Heisler, M. P. (1991). Temperature charts for induction and constant-temperature heating. Trans. ASME, 227-236.

[27] Unver, H. M., Unver, U., & Kelesoglu, A. (2018). Introduction of a Novel Design Approach for Tunnel-Type Induction Furnace Coil for Aluminium Billet Heating. Arabian Journal for Science and Engineering, 43(3), 1103-1111.

[28] Ünver, Ü., & Ünver, M. H. (2018). Tünel Tipi İndüksiyon Fırını İndüktörlerinde Isıtılacak Parça Çapının Değişimine Bağlı Olarak Sistem Veriminin Analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(1).

[29] Duran, M. C. (2016). 100Cr6 Çeliğinden Burç İmalatında İndüksiyonla Yüzey Sertleştirme Uygulaması ve Aşınma Davranışının İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi). Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

[30] Kabasakaloğlu, U. (2018). İndüksiyonla Sertleştirilmiş Millerin Dinamik Davranışlarının Deneysel Analizi, (Yüksek Lisans Tezi). Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.

[31] Torun, O. (1995). Dökme Demirlerde İndüksiyonla Yüzey Sertleştirme, (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

[32] Temiz, C. (2019). İndüksiyonla Ergitme ve Eriyik Eğirme Teknikleri ile Al-5Cu-XSc (X=0.5 ve 1.0) Alaşımlarının Üretimi ve Mekanik Karakterizasyonu, (Doktora Tezi).Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.

[33] Yamaç,Y. (2019). İki Farklı Metalin İndüksiyonla Lehimlenmesinin Sonlu Elemanlarla İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

[34] Efteli, Y., Alan, İ. (2012). Yüksek Frekans İndüksiyon Kaynak Makinesi Tasarımı, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO ‘2012), Bursa,29 Kasım - 01 Aralık 2012.

Bölüm 13

GERÇEK DÜNYA PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN YENİ BİR KAOTİK ATALET AĞIRLIKLI PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

***Mehmet Fatih TEFEK*[1]**

1 Dr.Öğr.Üyesi. Mehmet Fatih TEFEK, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, mehmetfatihtefek@osmaniye.edu.tr

1. Giriş

Optimizasyon, herhangi bir doğrusal veya doğrusal olmayan amaç fonksiyonunu belirli kısıtlamalar altında minimum ya da maksimum yapmayı sağlayan sayısal bir süreçtir. Gerçek dünya problemleri (GDP), doğrusal olmayan objektif fonksiyon ve daha küçük bir uygulanabilir bölge ile çoklu yerel optimum ile kısıtlamalar içerir (Yan, Wang, & Li, 2014). Bu problemleri klasik algoritmalar kullanarak çözmek, birçok yerel optimum noktalar ve küçük bir uygulanabilir bölgenin varlığı nedeniyle zor ve çözüm işlem maliyetlidir. Zorlu GDP'yi çözmek için sürü tabanlı, doğadan taklit edilerek esinlenen sezgisel algoritmalar uzun yıllardan beri kullanılmaktadır (Kumar et al., 2020). Tablo 1'de GDP çözümleri için sıklıkla kullanılan sezgisel yöntemler verilmiştir.

Tablo 1. GDP çözümleri için kullanılan bazı sezgisel yöntemler ve karakteristikleri

Algoritma Adı	Yazar(lar)	Algoritma Karakteristiği
Genetik Algoritma	(Holland, 1984)	Evrimsel Algoritma Temelli
Karınca Koloni Algoritması	(Dorigo, 1992)	Sürü Zekası Temelli
Parçacık Sürü Optimizasyonu	(Kennedy & Eberhart, 1995)	Sürü Zekası Temelli
Yapay Arı Kolonisi	(Karaboğa, 2005)	Sürü Zekası Temelli
Diferansiyel Gelişim Algoritması	(Storn & Price, 1997)	Evrimsel Algoritma Temelli
Benzetim Tavlama	(Kirkpatrick, Gelatt, & Vecchi, 1983)	Fizik Temelli
Yerçekimi Arama Algoritması	(Rashedi, Nezamabadi-pour, & Saryazdi, 2009)	Fizik Temelli
Bakteri Yiyecek Arama Algoritması	(Passino, 2002)	Sürü Zekası Temelli
Yarasa Algoritması	(Yang, 2010)	Sürü Zekası Temelli
Gri Kurt Algoritması	(Mirjalili, Mirjalili, & Lewis, 2014)	Sürü Zekası Temelli
Yapay Alg Algoritması	(Uymaz, Tezel, & Yel, 2015)	Biyolojik Temelli
Öğretme-Öğrenme Tabanlı Algoritma	(Rao, Savsani, & Vakharia, 2011)	Sosyal Temelli
Yapay Kimyasal Reaksiyon Optimizasyon Algoritması	(Alatas, 2011)	Kimya Temelli
Yandan Lekeli Kertenkele Algoritması	(Maciel C, Cuevas, Navarro, Zaldívar, & Hinojosa, 2020)	Biyolojik Temelli

Tablo 1'de de görüldüğü gibi 1984 yılından günümüze kadar birçok sezgisel yöntem ortaya sürülmüş ve GDP çözümleri için uygulanmıştır. Bu algoritmalardan biri de üzerinde çok fazla çalışmaların yapıldığı parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritmasıdır. Bu çalışmada PSO'nun

parçacık komum güncelleme aşamasında var olan atalet ağırlığı (inertia weight) yerine yeni bir rastgele kaotik atalet ağırlığı eklenmiş ve rastgele kaotik atalet ağırlıklı parçacık sürü optimizasyonu (RKAA-PSO) oluşturulmuştur (Bansal et al., 2011). RKAA-PSO literatürde sıklıkla kullanılan GDP olan basınç tankı tasarım problemi ve yay tasarım problemi çözümüne uygulanmıştır. Çözüm sonuçları standart PSO ve RKAA-PSO yöntemi ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo ve grafiklerle verilmiştir.

2. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

PSO, doğada var olan kuş ve balık sürülerinin yiyecek bulmalarından esinlenmiş popülasyon ve sürü zekası temelli sezgisel optimizasyon algoritmasıdır (Kennedy & Eberhart, 1995). Sürü zekâsı birbiriyle etkileşen, doğal veya doğal olmayan bir birini organize eden sistemlerin gösterdiği birlikte davranış biçimidir (Akyol & Alatas, 2012).

PSO'da her bir birey parçacık olarak kabul edilir ve her bir parça birbirinden bağımsız olarak hareket eder. Her bir parçacığın edindiği deneyimler diğer parçacıklar ile etkileşime geçer. Her bir parçacık, kendi en iyi çözümü (pbest) ve tüm parçacıkların en iyi çözümüne (gbest) bağlı olarak konumlarını günceller (Beşkirli & Tefek, 2019; Kennedy & Eberhart, 1995). Tüm parçacıklar birbirlerinden elde ettiği deneyimlere göre yeni konumlarını belirlemeye çalışırlar.

PSO algoritması temel olarak aşağıdaki basamaklardan oluşur;

1) Rasgele üretilen başlangıç pozisyonları ve hızları ile başlangıç sürüsü oluşturulur.

2) Sürü içerisindeki tüm parçacıkları amaç fonksiyonuna uygula.

3) Her bir parçacık için yerel en iyi (pbest) bulunur.

4) Mevcut iterasyonda pbest içerisinden küresel en iyi (gbest) seçilir.

5) Denklem 1'de d boyutundaki i. parçacığın hızı (v_{id}) hesapla.

$$v_{id} = v_{id} + c_1 r_1 (p_{id} - x_{id}) + c_2 r_2 (p_{gd} - x_{id}) \quad (1)$$

6) Denklem 2'de d boyutundaki i. parçacığın konumunu Denklem 1'e bağlı olarak güncelle.

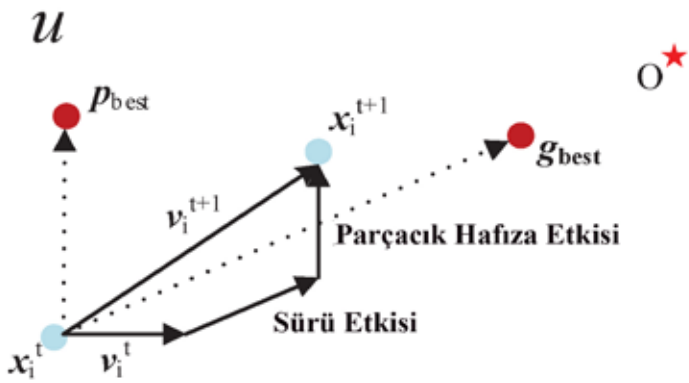
$$x_{id} = x_{id} + v_{id} \quad (2)$$

7) Durdurma kriteri sağlanmadıysa Adım 2'ye git.

8) Optimum değeri raporla.

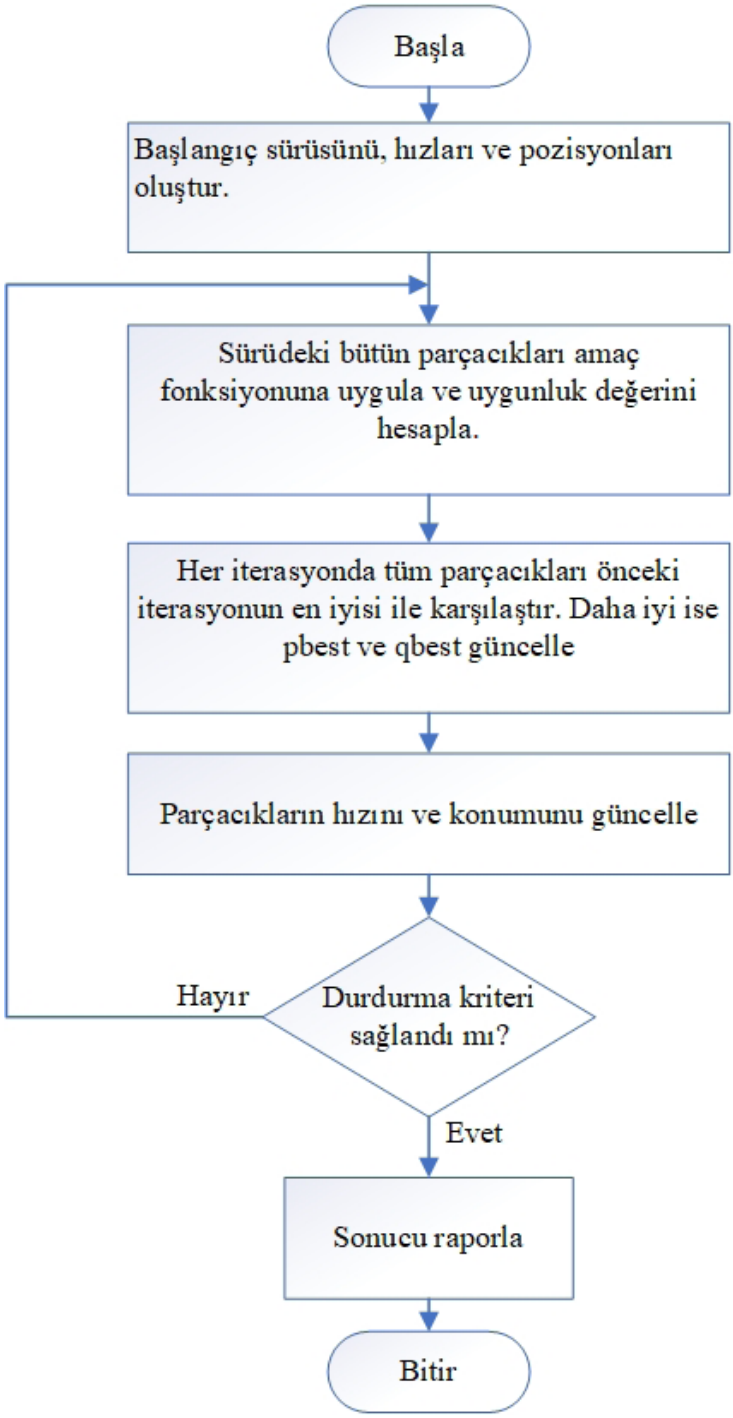
Denklem 1 ve Denklem 2'de, r_1 ve r_2 değerleri (0,1) arasında rasgele üretilmiş sayıları, c_1 ve c_2 öğrenme faktör katsayısıdır. (p_{id}) ; kişisel

(personel) en iyi, (p_{gd}) ise küresel (global) en iyi olarak tanımlanmıştır. Şekil 1'de U, arama uzayını, O ise optimum noktayı göstermekte olup bir sürü ve parçacığın hareketi verilmiştir (Zhang, 2018).



Şekil 1. PSO parçacık ve sürü etkileşimi (Zhang, 2018)

Şekil 1'de mevcut t zamanında i. parçacık, hızı v_i^t, konumu x_i^t olsun. Bu parçacık kendi bilgisiyle p_{best} local bölgesine gitmekte iken sürü etkisi ile $t+1$ zamanında Denklem 1 ve 2'de gibi hızını ve konumunu güncelleyerek hızını v_i^{t+1}, konumu x_i^{t+1} durumuna getirmiş ve küresel en iyiye (g_{best}) yaklaşmaya başlamıştır. Şekil 2'de PSO'nun akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 2. PSO akış çizelgesi (Kennedy & Eberhart, 1995)

3. Yeni Bir Kaotik Atalet Ağırlıklı Parçacık Sürü Optimizasyonu (YKAA-PSO)

Shi and Eberhart (1998) PSO algoritmasına parçacık sürülerini küresel arama ve yerel arama yeteneklerini iyileştirmek amacıyla atalet ağırlığı (inertia weight) ekleyerek güncellemişlerdir. Eklenen atalet ağırlığı ile parçacığın t anındaki hızı katkısını ayarlayarak parçacığın konumunu dengeler. Güncellenen PSO'da eklenen atalet ağırlığının algoritmanın performansını önemli derecede arttırdığını Shi and Eberhart (1998) deneysel çalışmalarda göstermişlerdir. Denklem 3'te PSO'ya eklenen atalet ağırlık katsayısı (**w**) verilmiştir.

$$v_{id} = \boldsymbol{w} * v_{id} + c_1 r_1 (p_{id} - x_{id}) + c_2 r_2 (p_{gd} - x_{id}) \tag{3}$$

Denklem 3'de, r_1 ve r_2 değerleri (0,1) arasında rasgele üretilmiş sayıları, c_1 ve c_2 öğrenme faktör katsayısıdır. p_{id} kişisel (personel) en iyi, p_{gd} ise küresel (global) en iyi olarak tanımlanmıştır. Bansal ve ark. (2011)

atalet ağırlığı katsayısı için farklı kullanımlar önermiştir (Bansal et al., 2011). Bansal ve ark. (2011) atalet ağırlıkları ile ilgili yapmış olduğu çalışmada Tablo 2'deki gibi sınıflandırmıştır.

Tablo 2. Kriterlere göre atalet ağırlığı stratejileri ve formülleri

Kriter	Ağırlık Stratejisi	Formülü
En iyi ortalama değer	Kaotik atalet ağırlığı (Feng, Teng, Wang, & Yao, 2007) (KAA-PSO)	$z = 4\ x\ z\ x\ (1 - z)$ $w = (w_{maks} - w_{min})\ x\ \frac{Maks\dot{I}ter - \dot{I}ter}{Maks\dot{I}ter} + w_{min}\ x\ z$
En iyi ortalama iterasyon sayısı	Rastgele atalet ağırlığı (Eberhart & Yuhui, 2001) (RAA-PSO)	$w = 0.5 + \frac{rand()}{2}$
En iyi minimum değer	Doğrusal azalan atalet ağırlığı (Xin, Chen, & Hai, 2009) (DAA-PSO)	$w_{iter} = w_{maks} - \frac{w_{maks} - w_{min}}{Maks\dot{I}ter}\ x\ \dot{I}ter$

Tablo 2'ye bakıldığında en iyi ortalama değer için Fenk ve ark. geliştirdiği kaotik atalet ağırlıklı PSO (KAA-PSO)'nun bulduğu görülmektedir. Burada z ve $rand$ değerleri $(0,1)$ arasında rastgele bir değer, $Maks\dot{I}ter$; maksimum iterasyon sayısını, $\dot{I}ter$; anlık iterasyon sayısını,

w_{maks} ve w_{min} ise kullanıcı tarafından tanımlanan ağırlık değerleridir ($w_{maks} > w_{min}$). Bu çalışmalarda w_{maks} ve w_{min} değerleri sırasıyla 0.9 ve 0.1 olarak alınmıştır (Feng et al., 2007).

Tablo 2'de RAA-PSO'da ağırlık parametresi kullanıcıdan bağımsız olarak işletilmektedir. Buna benzer bir şekilde kullanıcının belirlemediği yeni bir atalet ağırlığı KAA-PSO formülasyonuna göre belirlenmiş ve rastgele kaotik atalet ağırlıklı PSO (RKAA-PSO) olarak adlandırılmıştır. Aşağıda parçacıkların hız güncelleme prosedürüne eklenen RKAA-PSO'nun kaba kodu Tablo 3'te verilmiştir.

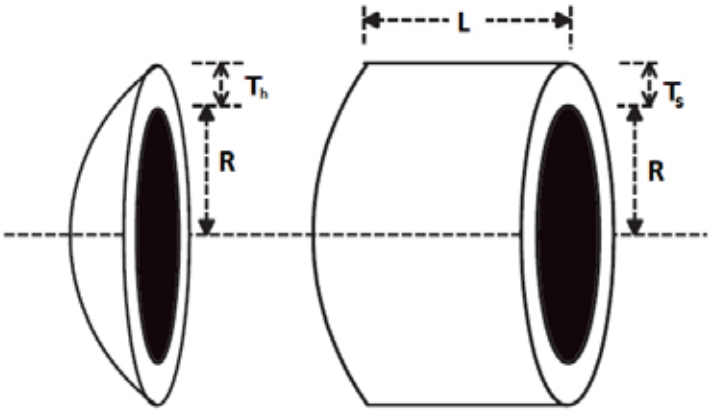
Tablo 3. Rastgele kaotik atalet ağırlıklı parçacık sürü optimizasyonu (RKAA-PSO) yeni hız ve konum güncelleme prosedürü

	Her bir iterasyonda aşağıdaki adımları tekrarla, yeni hız ve konum bilgisini al	
1	$rastg = rand(1,2)$	// (0,1) arasında rastgele 2 sayı oluştur
2	**if** $rastg(1) > rastg(2)$	// rastgele oluşan sayıları w_{maks} ve w_{min} olarak belirle
3	$w_{maks} = rastg(1)$	
4	$w_{min} = rastg(2)$	
5	else	
6	$w_{maks} = rastg(2)$	
7	$w_{min} = rastg(1)$	
8	end	
9	$\boldsymbol{z} = 4 * w_{min} * (1 - w_{max})$	// rastgele oluşturulan z değeri
10	$\boldsymbol{w} = (w_{maks} - w_{min})\ x\ \frac{Maks\dot{I}ter - \dot{I}ter}{Maks\dot{I}ter} + w_{min}\ x\ \boldsymbol{z}$	
11	$v_{id} = \boldsymbol{w} * v_{id} + c_1 r_1 (p_{id} - x_{id}) + c_2 r_2 (p_{gd} - x_{id})$	// Parçacık hız güncelleme
12	$x_{id} = x_{id} + v_{id}$	// Parçacık konum güncelleme

4. Gerçek Dünya Optimizasyon Problemleri

4.1. Basınç tankı tasarım problemi

Basınç tankı tasarımı yaygın olarak kullanılan kısıtlamalı optimizasyon problemlerindendir. Bu karışık tamsayı optimizasyon probleminin amacı, toplam malzeme, biçimlendirme ve kaynak maliyetini en aza indirmektir (Sandgren, 1990). Şekil 3'te basınç tankı tasarım problemi ve hesaplanması gereken değerler verilmiştir.



Şekil 3. Basınç tankı tasarım problemi

Basınç tankı tasarım problemi amaç fonksiyonu Denklem 4'te ve kısıtlar Denklem (5-8)'de verilmiştir.

$$min\ f(x) = 0.6224x_1x_3x_4 + 1.7781x_2x_3^2 + 3.1661x_1^2x_4 + 19.844x_1^2x_3 \quad (4)$$

$$g_1(x) = -x_1 + 0.0193x_3 \leq 0 \quad (5)$$

$$g_2(x) = -x_2 + 0.0094 \leq 0 \quad (6)$$

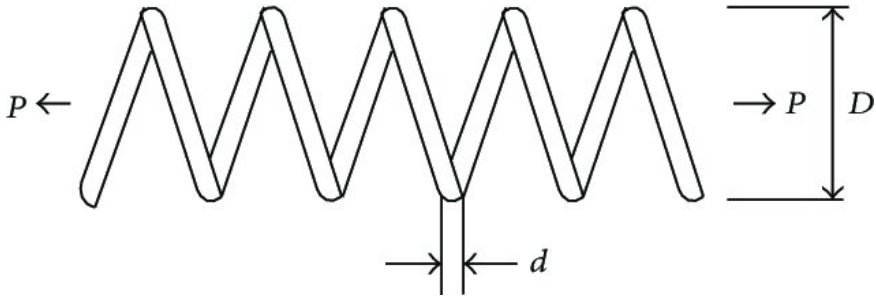
$$g_3(x) = -\pi x_3^2 x_4 - \frac{4}{3}\pi x_3^3 + 1296000 \leq 0 \quad (7)$$

$$g_4(x) = x_4 - 240 \leq 0 \quad (8)$$

Tasarım değişkenlerinin aralıkları $1 \leq x_1, x_2 \leq 99,\ \ 10 \leq x_3, x_4 \leq 200$ olarak belirlenmiştir. Basınç tankı tasarım problemi Denklem (4-8)' de olduğu gibi dört tane parametreye sahiptir ve bu parametreler x_1 ($= T_s$, dış kalınlık), x_2 (= T_h, *baş kısmın kalınlığı*), x_3 (=R, iç çap) ve x_4 (=L, silindirik kısmın uzunluğu)'dur.

4.2. Yay tasarım problemi

Yay tasarım problemi, Şekil 4'te gösterildiği gibi kesme gerilimi, dalgalanma frekansı ve minimum sapma üzerindeki kısıtlamalara tabi bir çekme / sıkıştırma yayının ağırlığını en aza indirmekten oluşur. Tasarım değişkenleri ortalama bobin çapı *D* (x_2), tel çapı *d* (x_1) ve aktif bobin sayısı *P* (x_3) 'dür.



Şekil 4. Yay tasarım problemi

Bu problemin matematiksel formülasyonu şu şekilde tanımlanabilir:

$$min\ f(x) = (x_3 + 2)x_2x_1^2 \tag{9}$$

$$g_1(x) = 1 - \frac{x_2^3x_3}{71785x_1^4} \leq 0 \tag{10}$$

$$g_2(x) = \frac{4x_2^2 - x_1x_2}{12566(x_2x_1^3 - x_1^4)} + \frac{1}{5108x_1^2} - 1 \leq 0 \tag{11}$$

$$g_3(x) = 1 - \frac{140.45x_1}{x_2^2x_3} \leq 0 \tag{12}$$

$$g_4(x) = \frac{x_2 + x_1}{1.5} - 1 \leq 0 \tag{13}$$

$$X_1 \in [0.05,2] \qquad X_2 \in [0.25,1.3] \qquad X_3 \in [2,15]$$

5. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışma amaçlı standart PSO ile tasarlanan RKAA-PSO aynı şartlar altında aynı makinede 30 kez çalıştırılmıştır. Sezgisel algoritmaların çalışma parametreleri Tablo 4'te verilmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar en iyi sonuç, ortalama (Ort.), en kötü sonuç ve standart sapmaya (Std.S) bağlı istatiksel değerlerle karşılaştırılmıştır.

Tablo 4. Standart PSO ve RKAA-PSO algoritma parametreleri

Parametreler	PSO	RKAA-PSO
c_1	2	2
c_2	2	2
w_{min}	0.1	(0,1) arasında rastgele bir değer

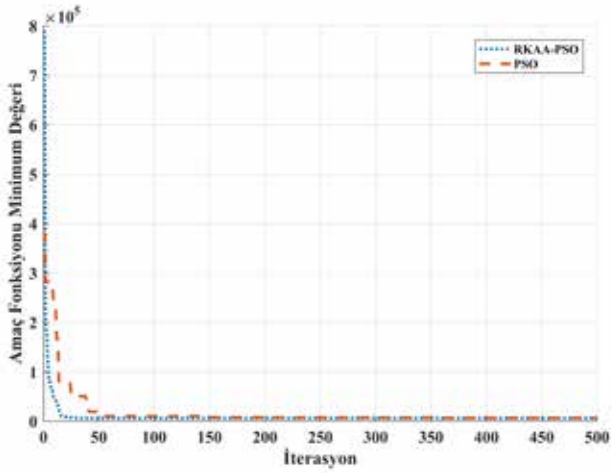
w_{maks}	0.9	(0,1) arasında rastgele bir değer
Popülasyon sayısı	50	50
İterasyon sayısı	500	500

5.1. Basınç tankı tasarım problemi deneysel çalışma sonuçları

Basınç tankı tasarım probleminin çözümü için standart PSO ve tasarlanan RKAA-PSO uygulanmıştır. Tablo 4'teki parametreler kullanılarak her iki algoritma da eşit koşullarda çalıştırılmıştır. Deneysel çalışma sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Algoritmaların yakınsama grafiği ise Şekil 5'te olduğu gibidir.

Tablo 5. PSO ve tasarlanan RKAA-PSO deneysel çalışma sonuçları (Basınç Tankı Tasarımı)

İstatistik	PSO	RKAA-PSO
En İyi	6.510792e+03	**5.885331e+03**
Ort.	7.920877e+03	6.478454e+03
En Kötü	1.018708e+04	7.318999e+03
Std.S.	1.183105e+03	5.173176e+02



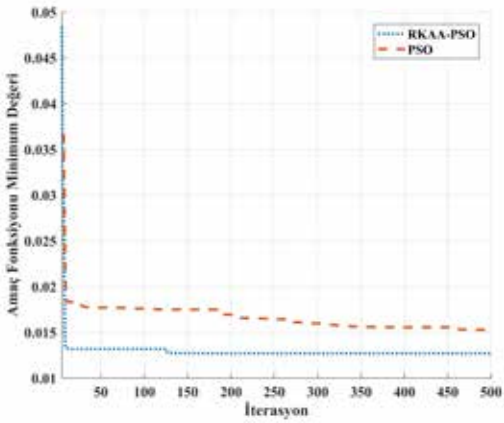
Şekil 5. PSO ve RKAA-PSO yakınsama eğrisi (Basınç Tankı Tasarımı)

5.2. Yay tasarım problemi deneysel çalışma sonuçları

Yay tasarım probleminin çözümü için standart PSO ve tasarlanan RKAA-PSO uygulanmıştır. Tablo 4'teki parametreler kullanılarak her iki algoritma da eşit koşullarda çalıştırılmıştır. Deneysel çalışma sonuçları Tablo 6'te verilmiştir. Algoritmaların yakınsama grafiği ise Şekil 6'te olduğu gibidir.

Tablo 6. PSO ve tasarlanan RKAA-PSO deneysel çalışma sonuçları (Yay Tasarımı)

İstatistik	PSO	RKAA-PSO
En İyi	0.012725862478182	**0.012703935286356**
Ort.	0.013555723399836	0.013537649958110
En Kötü	0.018368240026569	0.017773158078122
Std.S.	0.001595139224851	0.001317562231445



Şekil 6. PSO ve RKAA-PSO yakınsama eğrisi (Yay Tasarımı)

Tablo 5'te basınç tankı problem çözümünde tasarlanan RKAA-PSO'nun bulduğu sonuçlar standart PSO'dan istatiksel olarak daha iyi olduğu ortaya konmuştur. Şekil 5'te olduğu gibi RKAA-PSO yakınsama eğrisinin standart PSO'dan daha hızlı yakınsadığı görülmektedir.

Tablo 6'da yay tasarım probleminde RKAA-PSO'nun çözüm sonuçları standart PSO'dan daha iyi olduğu görülmektedir. Aynı zamanda Şekil 'da tasarlanan RKAA-PSO'nun yakınsaması her ne kadar başlangıçta yüksek bir değerde başlasa da PSO'dan daha hızlı yakınsamıştır.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada standart PSO algoritmasına rastgele kaotik atalet ağırlığı eklenmiş ve RKAA-PSO tasarlanmıştır. Tasarlanan yöntem ve standart PSO algoritması deneysel çalışma amaçlı gerçek dünya problemleri olan basınç tankı tasarımı ve yay tasarımına uygulanmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarında tasarlanan RKAA-PSO yönteminin standart PSO'dan daha iyi sonuçlar verdiği hem tablolarda hem de yakınsama grafiklerinde görülmektedir. Bu bağlamda öne sürülen rastgele kaotik atalet ağırlığının PSO için uygulanabildiği görülmektedir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan yöntemin diğer sürü temelli optimizasyon algoritmalarının popülasyon güncelleme prosedürlerinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Akyol, S., & Alatas, B. (2012). Güncel sürü zekasi optimizasyon algoritmalari. *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi, 1*, 36-50.

Alatas, B. (2011). ACROA: Artificial Chemical Reaction Optimization Algorithm for global optimization. *Expert Systems with Applications, 38*(10), 13170-13180. doi:https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.126

Bansal, J. C., Singh, P. K., Saraswat, M., Verma, A., Jadon, S. S., & Abraham, A. (2011, 19-21 Oct. 2011). *Inertia Weight strategies in Particle Swarm Optimization.* Paper presented at the 2011 Third World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing.

Beşkirli, M., & Tefek, M. F. (2019). Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Kullanılarak Optimum Robot Yolu Planlama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 201-213. doi:10.31590/ejosat.637832

Dorigo, M. (1992). *Optimization, learning and natural algorithms (in Italian).* (Ph.D), Politecnico di Milano, Italy.

Eberhart, R. C., & Yuhui, S. (2001, 27-30 May 2001). *Tracking and optimizing dynamic systems with particle swarms.* Paper presented at the Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation (IEEE Cat. No.01TH8546).

Feng, Y., Teng, G., Wang, A., & Yao, Y. (2007, 5-7 Sept. 2007). *Chaotic Inertia Weight in Particle Swarm Optimization.* Paper presented at the Second International Conference on Innovative Computing, Informatio and Control (ICICIC 2007).

Holland, J. H. (1984). Genetic Algorithms and Adaptation. In O. G. Selfridge, E. L. Rissland, & M. A. Arbib (Eds.), *Adaptive Control of Ill-Defined Systems* (pp. 317-333). Boston, MA: Springer US.

Karaboğa, D. (2005). An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. *Erciyes Universty, Technical report-tr06*.

Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995, 27 Nov.-1 Dec. 1995). *Particle swarm optimization.* Paper presented at the Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks.

Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by Simulated Annealing. *Science, 220*(4598), 671-680. doi:10.1126/science.220.4598.671

Kumar, A., Wu, G., Ali, M. Z., Mallipeddi, R., Suganthan, P. N., & Das, S. (2020). A test-suite of non-convex constrained optimization problems from the real-world and some baseline results. *Swarm and Evolutionary Computation, 56*, 100693. doi:https://doi.org/10.1016/j.swevo.2020.100693

Maciel C, O., Cuevas, E., Navarro, M. A., Zaldívar, D., & Hinojosa, S. (2020). Side-Blotched Lizard Algorithm: A polymorphic population approa-

ch. *Applied Soft Computing, 88*, 106039. doi:https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.106039

Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software, 69*, 46-61. doi:https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007

Passino, K. M. (2002). Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control. *IEEE Control Systems Magazine, 22*(3), 52-67. doi:10.1109/MCS.2002.1004010

Rao, R. V., Savsani, V. J., & Vakharia, D. P. (2011). Teaching–learning-based optimization: A novel method for constrained mechanical design optimization problems. *Computer-Aided Design, 43*(3), 303-315. doi:https://doi.org/10.1016/j.cad.2010.12.015

Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H., & Saryazdi, S. (2009). GSA: A Gravitational Search Algorithm. *Information Sciences, 179*(13), 2232-2248. doi:https://doi.org/10.1016/j.ins.2009.03.004

Sandgren, E. (1990). Nonlinear Integer and Discrete Programming in Mechanical Design Optimization. *Journal of Mechanical Design, 112*(2), 223-229. doi:10.1115/1.2912596

Shi, Y., & Eberhart, R. (1998). *A Modified Particle Swarm Optimizer* Paper presented at the 1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings, USA.

Storn, R., & Price, K. (1997). Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization, 11*(4), 341-359. doi:10.1023/A:1008202821328

Uymaz, S. A., Tezel, G., & Yel, E. (2015). Artificial algae algorithm (AAA) for nonlinear global optimization. *Applied Soft Computing, 31*, 153-171. doi:https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.03.003

Xin, J., Chen, G., & Hai, Y. (2009, 24-26 April 2009). *A Particle Swarm Optimizer with Multi-stage Linearly-Decreasing Inertia Weight.* Paper presented at the 2009 International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization.

Yan, Z., Wang, J., & Li, G. (2014). A collective neurodynamic optimization approach to bound-constrained nonconvex optimization. *Neural Networks, 55*, 20-29. doi:https://doi.org/10.1016/j.neunet.2014.03.006

Yang, X.-S. (2010). A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm. In J. R. González, D. A. Pelta, C. Cruz, G. Terrazas, & N. Krasnogor (Eds.), *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NICSO 2010)* (pp. 65-74). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Zhang, X. Z., D.; Shen, X. (2018). A Novel Simple Particle Swarm Optimization Algorithm for Global Optimization. *Mathematics, 6*(12), 287.

Bölüm 14

TOPRAK SOLUCANLARI

Sakine UGURLU KARAAĞAÇ
Eren Mestan ŞENKAYA

Ekosistem bünyesinde birçok abiyotik maddeleri, üretici, tüketici ve ayrıştırıcı canlıları barındırmaktadır. Canlılar karşılıklı olarak madde alışverişi yapmaları sonucu birbirine etki etmektedirler. Toprak, üzerindeki ve bünyesindeki canlı organizmaları ve cansız varlıkları nedeniyle canlı ve dinamik özellik gösteren bir ekosistem örneğidir. Ekosistemler bünyesindeki elemanların birbiriyle belli bir denge ve uyum ile etkileşimleri sonucu oluşmuştur. Ekosistem elemanları doğrudan ve dolaylı olarak besin döngülerine katılarak canlılığın sürdürülmesine katkıda bulunmaktadırlar. Besin maddelerinin çoğu toprak ekosistemi içerisinde meydana gelen bir takım döngülerle, etkileşim halindeki diğer ortamlara verilmektedir. Toprak makrofauna gubuna ait olan solucanlar, organik madde geri dönüşümü hususunda önemli katkıları bulunmaktadır. Yıllardır verimli topraklar ile ilişkilendirilen bu canlılar; toprak yapısını ve verimliliğini değiştirerek bitki büyümesini teşvik etmektedir (Buckerfield, 1998). Solucanlar toprağın verimliliğine olumlu etkileri ile su rejimi, organik atıkların ayrışması, toprağın organik dinamikleri ve mikrobiyal aktivite hususunda önemli roller üstlenmiştir. Toprak solucanlarının besin döngüleri için üstlendikleri mekanik ve biyokimyasal etkileri bulunan rolleri vardır (Lee, 1985; McLean ve Parkinson, 2000; Baker vd, 2003).

Aristoteles (M.Ö. 300) tarafından "toprağın bağırsakları" tanımını kullanarak toprak solucanları tarafından organik maddenin zengin humus veya kompost formuna dönüştürüldüğü vurgulanmıştır. Charles Darwin'in 39 yıllık süreçteki toprak solucanları üzerinde yapmış olduğu inceleme sonucunda "Saban insanlığın en eski ve en kıymetli icatlarından biridir, fakat daha insan toplumu ortaya çıkmadan çok önce bile toprak solucanları tarafından düzenli olarak sürülmüştür" açıklamasıyla tarım ve ekosistem için solucanların önemini vurgulamıştır.

Toprak solucanları omurgasız hayvanlar olup, uzun vücutları "metamer" segmentlerden oluşan Annelida şubesine mensup karasal canlılar olarak nitelendirilebilir (Tutar, 2012). Solucanların ortam istekleri türlere göre değişmekle birlikte genel olarak 15-20°C'lik bir sıcaklık, %70- 90 civarı bir nem ve 6,5-8 arası bir pH arzu edilmektedir (Munroe, 2007).

Omurgasız türler arasında yer alan annelid solucanlar, toprağın kalitesini ve verimliliğini sağlamaktadır (Brown vd, 2004; Reinecke, 2004). Toprak faunası içerisindeki nitelikleri itibariyle, toprak kirletici maddelerini ve toprağın toksisitesinin değerlendirilmesi sebebiyle önemli bir konumda yer almaktadırlar (Reinecke, 2004). Toprak solucanlarının besin yelpazesinde ölü bitkisel artıklar, toprak bünyesinde yaşayan birtakım mantar, protoza gibi ve patolojik özellikteki mikroorganizmalar ve çürümüş hayvan kalıntılarını gibi birçok organik artık bulunmaktadır.

Buchanan vd, (1988) tarafından atık su arıtma çamurları, bira üretimi atıkları, işlenmiş patates artıkları, kümes hayvanlarından, domuzlardan,

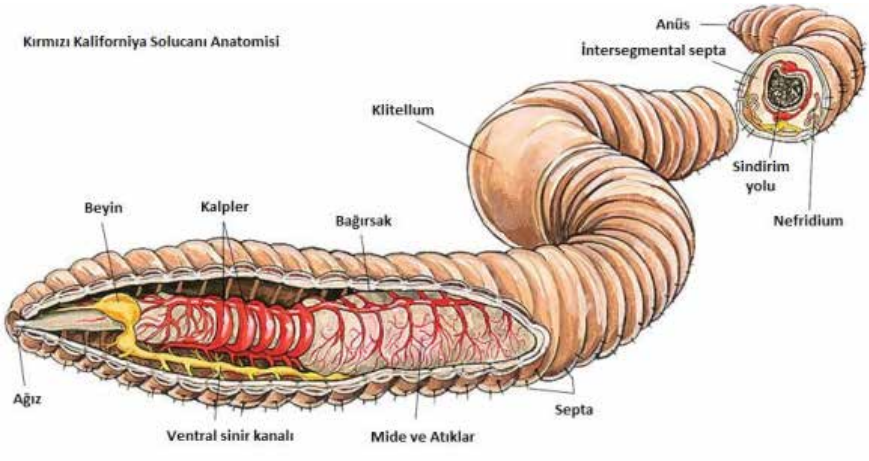
sığırlardan, koyunlardan, keçilerden, atlardan ve tavşanlardan kaynaklı organik artıklar, bahçecilik faaliyetleri sonucu bitkilerinden oluşan kalıntılar ve mantar üretimi endüstrisinden kaynaklanan organik atıklardan beslenerek toprağın zenginleştirme potansiyeline ve ticari potansiyele sahip olan materyale dönüştürme imkanlarına sahip olduklarına değinilmiştir.

Toprak solucanları doğaları nedeniyle organik maddenin ayrışması ve mineralizasyonunu gerçekleştirmesi ile birlikte besinin kullanılabilirlik potansiyelini arttırmaktadır. Vermik aktivite sonucu solucanların etkileşimde olduğu topraktaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin iyileşmesiyle toprağın verimliliği artmaktadır (Edwards ve Bohlen, 1996).

1. TOPRAK SOLUCANLARININ GENEL VÜCUT YAPILARI

Toprak solucanlarındaki boy uzunluluğu çeşitlilik göstermekte olup, ortalama 5-15 cm' den ve 50-100 cm (Dev Avustralya Solucanları, *Megascolides australis*) arası değerlere kadar değişim göstermektedir (Tutar, 2012). Toprak solucanları omurgasız hayvanlar olup, uzun vücutları "metamer" segmentlerden oluşan Annelida şubesine mensup karasal canlılar olarak nitelendirilebilir (Tutar, 2012).

Toprak solucanları çoğunlukla silindirik yapılı canlılar olup, vücutlarının son segmentlerinin enine kesiti dörtgen, sekizgen veya trapezoidal şekil özellikleri gösterebilmektedir. Bazı solucan türlerinin son segmentte sırt-karın yönünde yassılaşma ve sırt bölgesinden daha soluk renkli bir yapıya sahiptir (Mısırlıoğlu, 2011).



Şekil 4.1. Toprak solucanına ait anatomik yapıyı betimleyen çizim

Solucanların iskelet sistemi bulunmamaktadır. Vücutlarının dış dokuları kıllı ve ince kütikül yapıya sahiptir. Genel olarak vücut rengi kırmızı, kahverengi veya bu renklerin türevi şeklinde gözlemlenmektedir (Edwards ve Bohlen, 1996).

Beyni ve ağzı bulunduran baş bölümüne prostomium ve anüsü bulunduran kuyruk bölümüne periprokt veya anal segment denilmektedir. Toprak solucanları sölom olarak adlandırılan sıvı ile vücut boşluğunun ayırıldığı bir çift tüpten, vücut duvarı ve sindirim sisteminden meydana gelmiştir. Bu durum solucanların morfolojisi yönünden iç içe geçirilmiş iki adet boru gibidir. Vücut uzunluğu boyunca uzanmış sindirim sistemi kanalına, su dengesinin kontrolünü sağlayan boşaltım sistemine ve iki tüpün arasında konumlamış halde bulunan sinir sistemine sahiptir. Farklı ekolojik ortamlarda toprak solucanları türleri yaşamlarını sürdürmelerine karşın benzer fizyolojik özellikleri göstermektedirler. Solucanlar kopartılan vücut parçalarını yenileyebilen canlılardır. Bu özellikleri solucanların hayatta kalma şansını arttıran önemli bir faktördür (Tutar, 2012).

Solucanların anatomisi ele alındığında, vücutları bölmeli segment (halka) meydana gelmektedir. Bu halkalar vücut boyunca uzanmış sindirim sistemini çevrelemekte olan sıvı dolu bölmelerdir. Hayati organlar (beyin ve kalp gibi) solucanların baş bölümünde kümelendiği gözlemlenmektedir. Solucanların görme işlevi için duyu organları bulunmamasına rağmen ışığa karşı tepkileri oldukça hassastır. Işığa karşı oluşan duyarlılığın temel nedeni ise epidermis hücrelerinin arasında yer almış pigmentsiz ve ışıktan etkilenen hücrelerin varlığından kaynaklanmaktadır. Toprak solucanlarında her segmentin sırt kısmında porlar yer almaktadır. Olası bir kuruma tehlikesi anında vücut sıvısı porlardan çıkartılarak hayvanı nem dengesini sağlamaktadır (Tutar, 2012).

Güneş ışığı ve ışığa uzun süre maruz kalındığında kuruyarak ölmektedir. Dayısıyla toprağın nemli bölgelerinde yaşarlar. Toprakta oluşan titreşimleri hissetmektedirler. Solucanların her bir segmentine metamer ve bu özellikteki yapıya ise metamerizm denilmektedir (Kılıç, 2009).

Hareket ise 100-200 adet halkalı bölümlerin aynı zamanda etkileşimi ile gerçekleşmektedir. Vücutta bulunan her bir halka kas gibi ve diğer bölümlerden bağımsız hareket ederek genişleme ve büzülme olayını meydana getirmektedir. Solucanın ön ve arka uç kısmında seta adı verilen kıllar yer almaktadır.

Kıllar solucanın ön uç kısmını yere sabitler, solucan arka kısımdaki halkaları kasarak ileriye sürükler. Böylece öteleme hareketi yapılarak yer değiştirme hareketi yapılır. Setalar kitinden meydana gelmiş, iğneye benzeyen ve “S” şeklindeki yapılardır. Setaların boyları solucanın türüne ve aynı türe ait olan üyelerde dahi farklılık gösterebilmektedir. Bu kılların

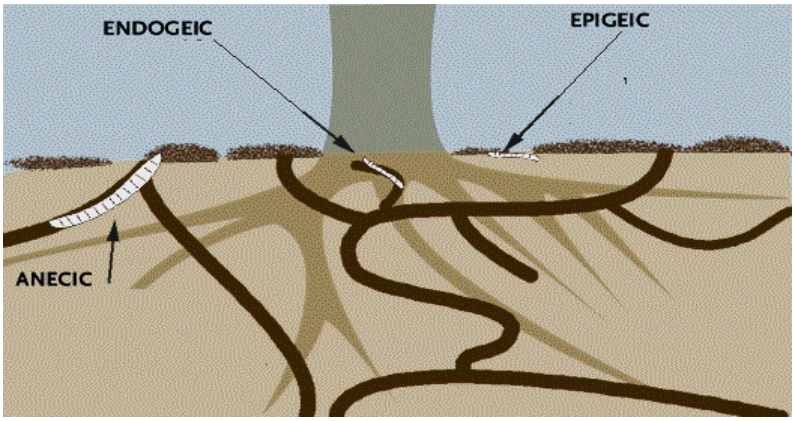
dip kısımları "kıl folikülü" adıyla adlandırılmış deriden meydana gelen bir kesede bulunmaktadır. Kıllar dışarıya ve içeriye doğru hareket ederek segmentlerin zemine tutunmasını sağlar. Solucanın bazı segmentlerindeki seta çiftleri, üremek için özelleşmiştir. Mikroskop ile incelendiğinde boyuna oluklar şeklinde gözlemlenen setaların görevinin birleşme esnasında partnerini uyarmak ve tutmak olduğu öngörülmektedir (Tutar, 2012).

2. TOPRAK SOLUCANLARINDA HAREKET OLAYI

Solucanların epidermis tabakası, vücudun dış kısmını çevreleyen sütun şekilli destek hücrelerinden meydana gelmiştir. Ayrıca epidermis tabakasındaki hücreler kütikül tabakasıyla bağlantıdır. Eş zamanlı olarak halkalı kas tabakası ile boyuna uzanmış kasların zıt yönde kasılması sölom sıvısında basınç oluşmasına neden olmaktadır. Oluşan basınç sonucu solucanın segmentleri uzayıp kısalmaktadır. Böylece solucan hareket faaliyetini gerçekleştirir. Solucanın vücut boşluğundaki sölom sıvısının hidrolik iskelet işlevi bulunmaktadır. Halka kaslar vücudu enine kasma olayını gerçekleştirdiğinde, sölom sıvısına basınç uygulanır ve bu durum solucanın ön ucunun uzamasını tetikler. Solucan ön ucunun tutunmasının ardından boyuna kaslarıyla arka ucunu ileri yönde çekme hareketini gerçekleştirerek vücudunu tekrar kalınlaştırmaktadır (Edwards ve Bohlen, 1996; Mısırlıoğlu, 2011).

3. TOPRAK SOLUCANLARININ EKOLOJİLERİ

Toprak solucanları habitatları bakımından temelde 3 sınıfta incelenebilir. Bu sınıflar ise epigeic, endogeic ve anecic olarak adlandırılmaktadır (Lee 1985).



Şekil 4.2. Toprak solucanlarının ekolojik sınıflandırılması

Toprak yüzeyi içinde yaşayan solucanlar bilimsel adlandırma ile "epigeic" olarak tanımlanmıştır. Epigeic toprak solucanları yaprak artıkları, gübre yığınlarının yakınlarında ve toprağın 0-2,5 cm derinliğinde bulun-

maktadır. Morfolojik olarak parlak kırmızı ya da kızıl kahverengi renge ve genel olarak 7,5 cm'den kısa uzunluğa sahip olup (Turgay vd. 2011), çoğunlukla vücut çizgileri bulunmamaktadır. Natural England Commissioned Report'a göre *Dendrobaena octaedra*, *Dendrobaena attemsi*, *Dendrodrilus rubidus*, *Eiseniella tetraedra*, *Heliodrilus oculatus*, *Lumbricus rubellus*, *Lumbricus castaneus*, *Lumbricus festivus*, *Lumbricus friendi* ve *Satchellius mammalis* türleri epigeic solucanlar sınıfında yer almaktadır. (http://publications.naturalengland.org.uk/file/5824256822738944, 2019).

Toprağın humusça zengin tabakasında yaşayan solucan türleri, bilimsel adlandırma ile "endogeic" olarak tanımlanırlar. Böyle tanımlandırılmasının nedeni olarak toprağın alt kısmını yatay hizada ve dallanan tünel sistemi şeklinde oluştururlar. Bu sınıftaki solucanlar toprağın yaklaşık 0-50 cm'lik yüzey kısmında bulunmaktadır. Yetişkinliğe ulaşmış olan türlerin vücut uzunlukları 3-12,5 cm arasında değişim göstermektedir (Lee, 1985). Organik madde bakımından zengin topraklara hakim büyük olan solucanlar bulundukları toprağı sindirip harmanlamaktadır. Böylece toprağın havalandırılması gerçekleşir.

Natural England Commissioned Report'a göre endogeic solucanlar bitki köklerinin ölü kısımlarının ayrışmasında büyük rol oynamalarına karşın, toprak yüzeyinin yakınındaki organik artıkların ayrışmasında pek bir rolleri bulunmamaktadır. Endogeic solucanlar genellikle soluk gi, pembe, yeşil veya mavi renge sahiptir. Endogeik solucan türleri arasında *Allolobophora chlorotica, Apporectodea caliginosa, Apporectodea icterica, Apporectodea rosea, Murchieona muldali, Octolasion cyaneum* ve *Octolasion lacteum* türleri endogeic solucanlar sınıfında yer almaktadır (http://publications.naturalengland.org.uk/file/5824256822738944, 2019).

Toprağın altında yaşayan solucan türleri bilimsel adlandırma ile "anecic" olarak olarak tanımlanırlar. Bu sınıfa giren solucanlar toprağın derinliğe uzanan dikey yönlü ve sağlam tüneller oluştururlar Anecic türler 12,5-20 cm arasında vücut uzunluğuna sahip toprak solucanlarıdır. Oluşturdukları sağlam ve genellikle 2 m derinliğindeki yuva tünellerinde yaşamlarını sürdürürler (Turgay vd, 2011).

Anecic sınıfı solucanlar hayvan gübresi, artık yaprak ve diğer çürüyen organik maddelerle beslenmek için yüzeye doğru hareket eder ve sindirim artıklarını yüzeydeki yuva ağzı çevresine bırakırlar. *Lumbricus terrestris* ve *Aporrectodea longa* gibi türler artık organik maddelerin ayrıştırılarak toprağın yapısının düzenlenmesinde önemli etkilere sahiptir. *Lumbricus terrestris* türü toprak solucanı beslenmek için toprak yüzeyinden 19-62 metre kadar derinlere ilerleyebilir (Warner 1996). Anecic sınıfı solucanların kafa kısmı koyu kırmızı veya koyu kahverengi renge sahip olup, kuyruk kısmı daha solgun renge sahiptir.

4. TOPRAK SOLUCANLARININ SİNDİRİM SİSTEMİ

Toprak solucanlarının, beslenme mekanizması kısaca vücutlarından sindirim yoluyla geçirdikleri toprağın bünyesindeki mineralleri aktifleştirerek boşaltım ile dışarı çıkartırlar. Solucanların sindirim sistemleri vücutları boyunca uzanmakta olup basit bir yapıya sahiptir.

- Ağzın bulunduğu solucanın ön tarafında organik madde yutulur.
- Yemek borusunda iç duvarlar tarafından salgılanan maddelerle komponentler nötralize edilir.
- Taşlıktaki güçlü kaslar organik maddeyi ve çamuru 2-4 mikron arasındaki boyuta kadar küçük parçacıklar haline getirir.
- Taşlıkta öğütülmüş atık parçaları proteaz, lipaz, amilaz, selüloaz ve kitineaz gibi enzimler tarafından parçalanarak bağırsağa geçer.
- Bağırsakta yaşayan simbiyotik bakteriler vasıtasıyla biyoparçalanma sağlanır ve emilim gerçekleşerek anüsten sindirim artığı uzaklaştırılır.

4.1. Sindirim Kanalı ve Sindirim Bezleri

Solucanlarda ağız direk olarak sindirim kanalına açılmakta olup, sindirim kanalı bünyesinde aşağıdaki yer alan organlar yer almaktadır. Sindirim olayı, mekanik ve kimyasal sindirim (hidroliz) ve besin maddelerinin emilimi için bir dizi odadan oluşur.

4.2. Ağız Boşluğu

Solucanlarda ağız boşluğu vücut üzerindeki üçüncü segmentin ortasına kadar olan bölüme denk gelmektedir. Yapısı ince duvarlı özellik göstermekte ve armut şekline benzemektedir. Eşleşmiş olan uzatıcı ve kısaltıcı kaslara sahiptir. Bu özelliğinden dolayı uzayan ve esnek bir yapıdadır.

4.3. Yutak

Vücut üzerindeki 3-5. segmentin arasında yutak yer almaktadır. Yutağın görevi alınan gıdayı yutmaktır ve 1,5 segmentten meydana gelmektedir. Farenks adı verilen kas yapısı tarafından, emme hareketi gerçekleştirilir ve toprak ile birlikte alınan besin alımını kolaylaştırmaktadır. Yutak duvarında radyal kaslar bulunmaktadır. Yutak tükürük odasını ve ön iletim odasını bünyesinde barındırmaktadır.

Tükürük odasının görevi salya üretmektir. İletim odasında ise besin maddelerinin geçirilir. Yutağın arka duvarı yutak haznesini barındırır. Yutak haznesindeki hücrelerden salgılanan salgıda protein parçalayıcı enzimler bulunmaktadır. Dolaysıyla yutakta proteinlerin sindirimi gerçekleşmektedir.

4.4. Yemek Borusu

Vücut üzerinde 5-7. segmentler yemek borusu yer almaktadır. Yemek borusunun yan kısımlarındaki her bir segmentte, bir ve bir veya birden fazla çift kese yer almaktadır. Keselerin bünyesinde kalsiyum karbonat taneleri barındıran bezler bulunmaktadır. Yüksek miktarda humik asit içeriğine sahip besin maddelerinin nötr değere döndürülmesi için bezlerin sayesinde olduğu düşünülmektedir. Başka bir sava göre ise bezler, besinle vücuda alınan aşırı miktarda kalsiyuma solunumla oluşan karbondioksiti bağlanması ile kanın pH dengesini koruması sağlanmaktadır.

4.5. Kursak

Kursak, besin maddelerinin taşlığa alınana kadar depo edildiği odacıktır. Kursakta besinler birbiriyle iyice karıştırılır. Daha sonra asıl sindirimin başlatılması için taşlığa iletilir.

4.6. Taşlık

Vücut üzerinde 8. segmentte taşlık yer almaktadır. Kursakta besin maddeleri öğütülerek boyutları ufaltılır. Besinle birlikte alınmış olan kumlar gibi sert maddelerinde boyutları küçültülmüş olur. Ufaltılan parçalar daha büyük yüzey alanına sahiptir ki bu durum enzimatik aktiviteyi kolaylaştırmaktadır.

Taşlığın iç kısmı ölü epiderm tabakadan meydana gelmiştir. Mide duvarı kuvvetli şekilde gelişim göstermiş dairesel kaslardan oluşmuştur. Buradan salgılanan bazı enzimler kimyasal sindirimi tetiklemektedir. Taşlıkta kalın macun haline getirilen materyal bağırsağın içine itilir.

4.7. Bağırsak

Vücut üzerinde 14-120. segment aralığına kadar bağırsak yer almaktadır. İnce duvarlı ve geniş bir yapıya sahip bağırsak, düz şekilde bulunur. Bağırsak duvarında pepsin, tripsin, maltaz, lipaz, kitinaz, selülaz gibi sindirim enzimlerine sahip olan bağırsak suyu salgılanmaktadır. Ayrıca bağırsakta simbiyotik bakteriler de yaşamaktadır. Bakteriler besin ile etkileşime girerek solucanın ihtiyacı olduğu vitaminleri, proteinleri, karbonhidratları ve mineralleri emilebilecek hale getirilmesini sağlarlar. Sindirilen besin maddeleri, villus tarafından emilerek kılcal damarlar vasıtasıyla kana geçirilmektedir. Bağırsak 3 bölgeye ayrılarak incelenmektedir.

4.7.1. Tiflosolis Öncesi Bölge

15-26. segment arasında ve bağırsakların ilk kısmını oluşturmaktadır. Tiflosolis öncesi bölgede, bağırsak astarı villus oluşturmak için katlanmış olup, tiflosolis içermemektedir. Vücudun yaklaşık 26. Segmentinde caeca yani bağırsağın her iki tarafında iki adet kısa ve konik şekilde çıkıntı yer almaktadır. Caecanın enine kesiti incelendiğinde villus gibi pek çok

uzunlamasına kıvrımlar bulunmaktadır. Caeca, nişastanın sindirimi için amilaz enzimini salgılamakla görevlidir.

4.7.2. Tiflosolis Bölgesi

Vücut üzerinde tiflosolis 24-25. segmentler hariç, 26. ile son segment arasında yer almakta olup, bağırsağın ikinci kısmını oluşturmaktadır Tiflosolis, bağırsakların emici yüzey alanını artıran yüksek derecede vasküler ve salgı bezinden oluşmaktadır.

4.7.3. Tiflosolis Sonrası Bölge

Solucan bağırsağında 24-25. segmentte yer alan tiflosolis veya vinillere sahip olmayan bölgedir. Bağırsağın bu kısmına üçüncü bölge veya rektum olarak da adlandırılmaktadır. Burada su ve mineraller emilerek özümsenmeyen kısım anüse yönlendirilmektedir.

4.8. Anüs

Vücudun son segmentinde yer alan anüs, bağırsağın son kısmındaki dairesel açıklıktır. Sindirilmeye uğramamış besin maddeler, toprak ve kum parçacıkları anüs yoluyla alıcı ortama verilmektedir.

5. SİNİR SİSTEMİ

Toprak solucanları basit yapılı bir sinir sistemine sahip olup, ip merdiveni şeklindedir. Vücudun 3. segmentinin sırt tarafında çift loblu ve beyaz renge sahip serebral ganglion yani beyin mevcuttur. Duysal ve motor fonksiyonların denetimi buradan gerçekleşmektedir. Bu bölgeden ayrılan iki sinir lifi solucanın yutağının etrafını çevreleyerek yutak altı ganglionu yapısını meydana getirerek karın kısmında sinir lifleri yan yana konumlanır. Toprak solucanın her segmentinde birer segmental ganglion meydana getirerek gövdenin arka uç kısmına kadar uzanmaktadır. Toprak solucanları kimyasallara, ışığa ve fiziksel temasa hassas derecede duyarlılık ve tepki gösterirler. Solucanların epidermisi bünyesinde çok fazla duyu organı mevcuttur. Bu organlar fotoreseptör organlar ve epitelyal duyu organları olarak ikiye ayrılmaktadır. Solucanın duyu organları, kütikula üzerindeki por ismi verilen açıklıklardan dışarı çıkan yapılar olup, hücre tabanına duyu sinirine bağlanmış durumdadır (Edwards ve Bohlen 1996; http://uguner.trakya.edu.tr/genelbiyo-2/images/g2-4.htm, 2019).

6. BOŞALTIM SİSTEMİ

Toprak solucanlarının boşaltım organları nefridyum adı verilen yapılardır. Nefridyumlar solucan vücudunun 3. segmentinden sonra başlayıp, son segmentten bir önceki segmentine kadarki tüm segmentlerde çift halde yer almış olan kıvrımlı, uzun ve ince boru şeklinde yapılardır. Nefridyumların su ve tuz düzeyini düzenleyici işlevlerinin yanı sıra sölom sıvı-

sının su içeriğini düzenleme işine de hizmet ederler. Solucan vücudundaki karın seta çiftlerine ek olarak nefridiopor olarak isimlendirilen yapılardan kreatin, amonyak ve üre gibi azotlu atık ürünlerin canlı bünyesinden uzaklaştırılmasını sağlamaktadır (Edwards ve Bohlen, 1996).

7. DOLAŞIM SİSTEMİ

Toprak solucanları vücutları boyunca uzanan kapalı dolaşım sistemine sahip canlılar olup, kırmızı renkte kan ve kan bünyesinde bir çeşit solunum pigmenti olan hemoglobin taşımaktadır

(Edwards ve Bohlen 1996; http://uguner.trakya.edu.tr/genelbiyo-2/images/g2-4.htm, 2019; https://www.sas.upenn.edu/~rlenet/Earthworms.html, 2019

Solucan bünyesinde bir adet dorsal bölgede iki adet ise ventral bögede olmak üzere organlara kan iletimini sağlayan üç ana damar mevcuttur. 7. ve 11. segmentler arasında yer alan 5 çift segmental damar kasılabilir özelliği nedeniyle kalp görevi üstlenmektedir (Edwards ve Bohlen 1996; http://uguner.trakya.edu.tr/genelbiyo-2/images/g2-4.htm, 2019). Dorsal kan damarlarının görevi kanın solucan vücudunun ön kısmına taşımasını sağlarken, ventral kan damarları ise kanın solucan vücudunun arkasına taşımakla görevlidir (http://uguner.trakya.edu.tr/genelbiyo-2/images/g2-4.htm, 2019). Toprak solucanın vücudundaki kan akış yönü sırt damarında ön tarafa, karın damarında ise arka tarafa doğru akmaktadır (Edwards ve Bohlen 1996).

8. SOLUNUM SİSTEMİ

Toprak solucanları derileri vasıtasıyla nefes almaktadır. Toprak solucanın derisinde olan difüzyon olayı ile oksijen ve karbondioksit akışı gerçekleşmektedir. Difüzyon olayı için solucanın derisinin nemli olması gerekmektedir (http://uguner.trakya.edu.tr/genelbiyo-2/images/g2-4.htm, 2019). Solucan derisinin nemi sölom sıvısı, nefridiopor ve epidermis bezleri tarafından salgılanan sekresyonlar ile sağlanmaktadır. Yapı itibariyle ince ve nemli vücut duvarı bünyesindeki kılcal damarlar oksijen alır ve karbondioksit vermektedir. Daha sonra bünyeye alınan oksijen plazmada bulunan hemoglobine bağlanır ve kanın hareketi sonucu solucanın vücudunda taşınır (Edwards ve Bohlen, 1996).

9. SAVUNMA SİSTEMİ

Toprak bünyesinde barınan solucanlar, patojenik özelliğe sahip mikroorganizmalarla birlikte yaşamaktadırlar. Vücutlarının yaralanmalara maruz kalması ve beslenmeleri esnasında bünyelerine aldıkları topraktan dolayı sürekli mikroorganizmaların istilasına maruz kalmaktadır. Farklı nedenlerle solucanların uyarılması durumunda, uyarının şiddetine göre

mukus salgılanmaktadır. Solucanların dış yüzeyini kaplayan mukus sıvısının mikroorganizmalara karşı koruma görevi bulunmaktadır. Mikroorganizma kaynaklı tehditlere karşı solucanlar, savunma sistemleri ve kendilerinin ürettiği antimikrobiyal maddeler ile savunmaktadırlar. Solucanların savunma mekanizmaları iki kısımda incelenebilir. İlk olarak yüzey mukusları, derileri ve sindirim kanalları antimikrobiyal bariyeri oluşturan elemanlardır. İkincisi ise humoral, doğal ve hücresel immün yanıtına ek olarak vücut sıvısı içerisindeki antimikrobiyal özelliği bulunan maddeler, antijen bağlayıcı proteinler ve lizozim organelleri en önemli elemanlarıdır (Wang vd, 2006). Solucanların çevresindeki patojenlere direnç oluşturmaları salgıladıkları vücut sıvıları ile sağlanmaktadır.

Solucanların sindirim sistemlerinin savunma işlevi de bulunmaktadır. Solucanların bağırsağındaki bakteriler besinlerin basit yapılarına ayrıştırılmasında görev alırlar. Yapılan çalışmalar sonucunda, solucan bağırsağında bulunan bakteriler nedeniyle etkileşim halinde olduğu topraktan yüksek oranlarda azot ve karbonu bağırsaklarında bulundurdukları saptanmıştır (Edwards ve Bohlen, 1996; Zhang, 1997; Zhang vd, 2000; Wang vd, 2006).

Vasanthi vd, (2012), *Eudrillus eugeniae* türü toprak solucanı hamurlaştırılarak farklı bakteri ve funguslar üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada, bakterilerden *Escherichia coli*, *Salmonella abony*, *Bacillus subtilis, Staphylococococus aureus* ve *Klebsiella pnuemoniae* türleri ile fusguslardan *Candida albicans, Aspergillus niger, Aspergillus flavus* ve *Penicillum notatum* türleri üzerinde antimikrobiyal aktivite tayini yapılmıştır. Sonuç olarak söz konusu fungus ve bakteriler üzerinde solucan hamurunun bakteriostatik etki gösterdiği belirlenmiştir.

10. ÜREME SİSTEMİ, ÇİFTLEŞME VE GELİŞİM

Solucanlar hermafrodit canlılardır. Hermafrodit canlılar hem erkek hem dişi üreme organlarına sahiptir. Solucanların üremesi sırasında, çiftleşen her solucan iki üreme organını da kullanarak yumurtaları döllenmektedir. Vücut üzerinde yer alan erkek eşey bezleri, yine vücut üzerindeki dişi eşey bezlerinden daha önde konumlanmıştır. Ayrıca her bir solucanda bir veya iki çift testis yapısı ile bir çift yumurtalık bulunabilmektedir (Tutar, 2012).

Solucanlarda erkek üreme sistemi sperm hunisinin iki çift testise kanal ile bağlanmasıyla oluşmaktadır. Üretilen spermler çiftleşme olayı sırasında huni ve kanallar vasıtasıyla transfer edilir. Dişi üreme sistemi ise aynı segmentte bulunan bir çift ovaryumdan oluşmaktadır. Çiftleşmenin başlaması için iki solucan birbirine zıt tarafa sıralanır. Her solucanın fazla miktarda mukoza salgılamasıyla sperm kesesi denilen yapı oluşur. Solucanlar karşılıklı aldıkları spermi sperm keselerine depolar. Depolanan

spermler kokon içindeki yumurtaların döllenmesi için muhafaza edilir.

Çiftleşme olayı solucanlar ayrıldıktan sonrada devam etmektedir. Solucanın ön kısmındaki kalın banda benzer yapıya klitellum denilmektedir. Klitellum etrafındaki bezler yardımıyla salgılanan maddeler yumurta kapsülünü (kokon) oluşturmaktadır.

Klitellumun bir diğer işlevi ise, çiftleşme esnasında meydana getirilen salgı vasıtasıyla partnerlerin birbirine sıkı bir şekilde sarılmalarını sağlamaktır (Tutar, 2012). Daha sonra vücut hareketleri yardımıyla kokon ileriye doğru ilerletilir. Dişi eşey açıklığı yapısına kokon halkası geldiğinde yumurtaların dışarı bırakılması sağlanır. Kokon halkasının spermateka porlarının üzerinden geçirildiği anda ise sperm keselerindeki spermler boşaltılmaktadır. Nihai olarak kokon solucanın ön kısmından ortama bırakılmaktadır (Mısırlıoğlu, 2011; https://www.sas.upenn.edu/~rlenet/Earthworms.html, 2019).

Genellikle çiftleşme gece ve ortalama 20-25°C arası ortam sıcaklığında çiftleşme gerçekleşmektedir. Çiftleşme sonunda oluşan kokonlar mercimek tanesi büyüklüğünde ve limona benzerler. Kaliforniya solucanları yumurtlayarak hızlı çoğalırlar ve bir yılda ortalama 16-20 katına kadar kokon üretebilirler. Kokonlardan yaklaşık 1 ay içinde beyaz renkte ve 2 mm boyunda solucanlar çıkmaya başlar.

Şekil 4.3. Toprak solucanlarının çiftleşmesi sırasında bir görünüm

Mısırlıoğlu (2011) tarafından *Eisenia fetida* türüne ait bireylerin 3-5 gün aralıkla 2-10 adet kokon oluşturduğu, üretilen her bir kokonun 1-8 adet yumurta barındırdığı ve yumurtalardan 2 adet yumurtanın gelişim gösterdiğine değinilmiştir.

Şekil 4.4. Toprak solucanı ve üretilen kokonlara ait bir görüntü

Mısırlıoğlu (2011) tarafından toprak solucanlarında zigot oluşumu kokon içerisinde meydana gelen döllenme ile gerçekleşmektedir. Daha sonra meydana gelen bir dizi bölünme olayları ile blastula evresi başlatılır. Blastula evresinde üstte ektoderm hücreleri ve altta endoderm hücrelerinin geliştiği gözlemlenmektedir. Bu iki hücrelerin arasında ise büyük iki tane mesoblast hücresi yer almaktadır. Blastula oval bir yapıya doğru şekillendiği anda sütun şeklini almaya başlayan endoderm hücreleri gözlemlenmektedir. Gastrula evresi içerisinde ventral yüzey konkavlaşmaya ve kenarları kıvrılarak posterior niteliğinde birleşme olayları gerçekleşir. Kapanma olayıyla birlikte endoderm ağız yapısıyla sonlanmış bir tüp (bağırsak) şeklinde invagine olmaktadır. Anüsün gelişimi daha sonra gerçekleşmektedir. Ektoderm ve bağırsağın arasında çoğalan iki mesoblast hücresi ise kese ve kas yapılarının oluşmasını sağlamaktadır. Kokon bünyesindeki albuminli madde embriyonun beslenmesi için bağırsağa nüfuz etmektedir. Sıcaklık ve çevre koşulları yumurtadan çıkma süresi ve olgunluğa erişimi etkileyen unsurlardır. Yavaş bir gelişme göstermekle birlikte uygun sıcaklık seviyesine ulaşılmadan yumurtadan çıkma olayı gerçekleşmez. Genç bireyler genellikle ilkbahar aylarında ortamın uygun sıcaklık seviyesine ulaşması ile birlikte eş zamanlı kokonlarını terk ederler.

Solucanların gelişiminde serbest larva evresi bulunmamakla birlikte, başkalaşım geçirmeksizin gelişim göstermektedirler. Solucanların gelişim evreleri 3 kısımda incelenmekle birlikte genç, önergin ve ergin safhalarıdır. Ergin solucanlar gelişmişimi tamamlamış klitellum bulundurmaktadır. Önergin solucanlarda eşeysel yapıların oluştuğu, ancak tam anlamıyla klitellumun gelişmediği tespit edilmiştir. Genç solucanlar ise eşeysel yapılar ve klitellum bulundurmazlar. Bu safhadaki solucanların yüksek yenilenme yeteneklerinden ötürü vücutlarının ön veya arka kısmında meydana gelen çok küçük kopmalar dahi tamamıyla yenilenebilir.

11. *Eisenia fetida* TÜRÜ TOPRAK SOLUCANI, EKOLOJİK YERİ VE ÖZELLİKLERİ

Toprak solucanları içerisinde halkalı solucan sınıfında yer alan Kırmızı Kaliforniya Solucanı, 8 türü bünyesinde barındıran Lumbricidae ailesine mensuptur. İlk olarak Kaliforniya Enstitüsü bünyesinde kültürlenmesinden ötürü "Kırmızı Kaliforniya Solucanı" adı kullanılmıştır. Latince adı ise *Eisenia fetida*'dır. *Eisenia fetida* türü solucanların vücut uzunluğu 2,5 ile 10,5 cm arasında ve vücut kalınlığı ise 0,50 ile 0,75 cm arasında değişlik göstermektedir. Bu türdeki solucanların ön baş bölgesi daha kalın ve kaslı bir yapıya sahiptir. Vücut rengi turuncu, kırmızı olarak gözlemlenir. Baş bölgesinin uç noktasında ağız ve kuyruk kısmında rektum yer almaktadır. Vücut ağırlığı ise 0,24 ile 1,4 g arasında değişebilmektedir (Arıman Karabulut vd, 2016).

Şekil 4.5. Eisenia fetida türü toprak solucanının görünümü.

Epigeic toprak solucanı türleri organik toprak horizonlarında, yüzeysel atık kümelerinin yakınında bulunurlar. Epigeic tür solucanlar sınıfında yer alan *Eisenia fetida,* değişen ortam koşullarına gösterdiği geniş tolerans aralığından dolayı dünya çapında vermikompostlama faaliyetlerinde yaygın olarak kullanılmakta olan solucan türüdür (Kumar, 2013). Kırmızı Kaliforniya solucanlarının ömürleri ortalama 4-5 yıl sürmektedir. Yetişkinliğe erişmiş solucanların ağırlığı 0,8-1 g arasında değişim göstermektedir. Bu türe ait solucanlar bir gün içerisinde tükettikleri besin miktarı kendi vücut ağırlıkları kadar olmakla birlikte ürettikleri gübre miktarı kendi vücut ağırlığının yarısı kadar olmaktadır. Bu durum göstermektedir ki vermikompost (solucan gübresi) üretme oranı yaklaşık canlı ağırlıklarının %55'i kadar olmaktadır (Edwards ve Bohlen, 1996).

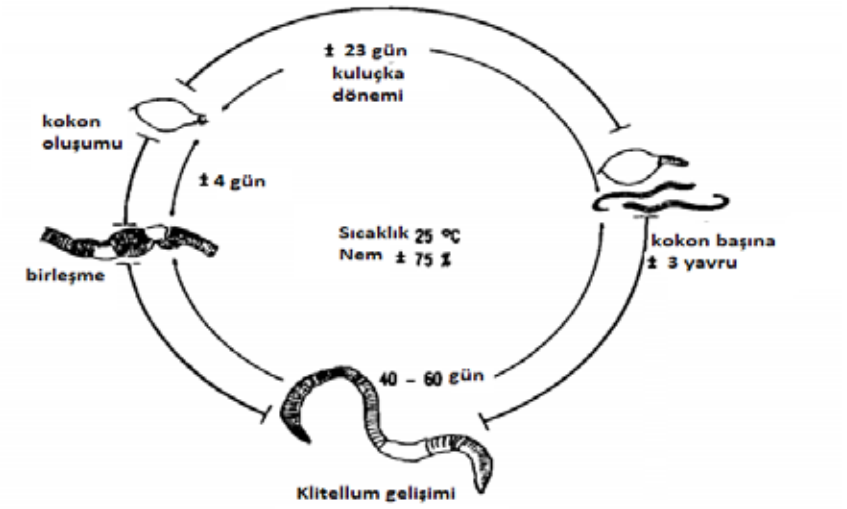
Eisenia fetida türü solucanlar kompostlama proseslerinde yaygın kullanılan solucanlarıdır (Venter ve Reinecke, 1988; Siddique, 2005). Diğer toprak solucan türlerine kıyasla daha küçük, parlağa dönük kırmızı renge sahiptirler. Yüzeyleri pürüzsüz ve mukusla kaplıdır fakat aynı zamanda

birer çıkıntı halinde birçok küçük kıllara (seta) da sahiptirler. Solucanlar ilk 30 gün boyunca ilk başta çok yavaş büyür ve daha sonra solucanın büyüme hızı sabit bir şekilde artar ve 600 gün sonra ortalama 2,5 mg / solucan / gün büyüme hızına ulaşır (Venter ve Reinecke, 1988).

Eisenia fetida kokondan çıktıktan sonraki 7 ila 8 haftalık süreçte cinsel olgunluğa ulaşmaktadır. *Eisenia fetida* solucanının gelişimi ve çoğalması için ortamın % 75-80 arasında nem içeriğinin uygun olduğu belirtilmiştir (Venter ve Reinecke, 1988; Edwards ve Bohlen, 1996).

Solucan gübresi üretiminde 9 tür solucan kullanılmasına rağmen bunlardan iki tanesi en iyi bilinenlerdendir: *Eisenia fetida* (Red Wigglers) ve *Lumbricus rubellus* (Red Worms) (Wendell, 1977) . Başka bir çalışmada ise; Altı toprak solucanı türü, organik atıkları parçalamak için potansiyel olarak en faydalı tür olarak tanımlanmıştır. Bunlar *E. fetida* (ve yakından ilişkili *Eisenia andrei*), *Dendrobaena veneta* ve sıcak bölgelerinden *Lumbricus rubellus* ve tropik bölgelerden *Eudrilus eugeniae* ve *Perionyx hawayana*. Diğer türler kullanılabilir ancak bu türler en yaygın olanıdır.

Geleneksel tarımda, ahır gübresi tarımsal amaçlı kullanılan toprağın organik madde içeriğini arttırmak için kullanılmaktadır. Bu durum, toprakların doğal özelliğini bozarak toprağın tuzluluk oranın artmasını, nitrat ve fosfatın akiferler vasıtasıyla akıntıya veya sızmaya karışarak yeraltı ve yüzey sularına ulaşmasını gibi ekosistem sağlığını olumsuz etkileyebilecek senaryolar meydana gelebilir. Ayrıca gübrenin içinde bulunan patojenik mikroorganizmaları, parazit yumurtalarını ve zararlı bitki tohumlarını içermektedir.



Şekil 4.6. İnek gübresi ile yetiştirilen E. fetida solucanının yaşam döngüsü (% 75 nem içeriği ve 25°C sıcaklıkta)

Gübrenin çevresel etkisinin azaltılması kompostlama ile gerçekleştirilebilir. Vermikompostlamada kompost materyalinin karıştırılması ile birlikte havalandırılması Kırmızı Kaliforniya Solucanı (*Eisenia fetida*) tarafından gerçekleştirilmektedir (Santamaría-Romero vd, 2001). Ferrera ve Alarcón (2001) ve Nogales vd, (2005) tarafından, vermik kompostlama yöntemiyle elde edilen malzemenin kompostlama öncesi durumuna kıyasla kimyasal ve biyolojik olarak zenginleştirilmiş olduğu kabul edildiğine değinilmiştir.

Castillo vd, (2010) tarafından yapılan çalışmada *Eisenia fetida* eklenmiş olan ve klasik kompostlama yöntemlerinin etkinliği değerlendirilmiştir. Sonuç olarak 25 haftalık kompost ürünleri incelenmiş, her iki yöntemde de C / N oranının, vermikompostta 15.5 ve klasik kompostta 17.1 değerine düştüğü gözlemlenmiştir. Marul tohumları (*Lactuca sativa* L.) kullanılarak çimlenme endeksi incelenmiş ve vermikompost ve klasik kompost materyalinin çimlenme endeksleri sırasıyla % 134 ± 3.08 ve % 121 ± 3.08 olduğu saptanmıştır. Bu sonuca göre vermikompostun bazı fitotoksik maddelerin tohumlar üzerindeki zararlılığının azalttığını göstermektedir. Dolayısıyla 25 haftalık vermikompost materyali, marul tohumlarının çimlenmesi için daha uygun bir malzemedir.

Eisenia fetida ile etkileşimde olan toprağın pH'ı, çözünmüş organik karbon (DOC), mikrobiyal popülasyonu ve suda çözünebilen ağır metallerin fraksiyonun arttığı ve bu topraktaki buğdayların kök sürgünlerindeki ağır metal artmıştır. Solucan aktivitesi ile topraklardaki ağır metallerin hareketliliği ve biyoyararlanımının arttığı belirtilmiştir (Wen vd, 2004).

12. TOPRAK SOLUCANLARINDA AĞIR METALİN BİYOAKÜMÜLASYONU

Litojenik faktörler sebebiyle toprak bünyesinde ağır metal birikimi gerçekleşeceği gibi toprağın ağır metal seviyesi endüstriyel faaliyetler (Cemek ve Kizilkaya, 2006) kontrolsüz kimyasal gübre ve arıtma çamurlarının kullanıldığı tarımsal faaliyetler (Kizilkaya ve Bayraklı, 2005) sonucunda artışlar meydana gelebilmektedir (Tarakçıoğlu vd, 2006). Ağır metaller ile kirletilmiş arazilerde yetişmiş olan bitkilerin dokuları, etkileşim halinde oldukları toprak veya sudaki ağır metalleri biriktirmektedir. Bu nedenle besin döngüsü içerisinde birincil ve ikincil tüketici hayvanlar besin yoluyla olumsuz etkilemektedir. Biyolojik olarak parçalanamayan ağır metaller besin döngüsündeki her bir katmanda daha çok etkilerini göstermektedir. Ağır metaller ile etkileşime girmiş bitki ve hayvanlardan elde edilen gıda ve doğal maddeleri tercih eden insanlar ise besin döngüsünün en üst katmanında düşünülebilir.

Toprak içerisindeki fauna ve floranın diğer üyelerine kıyasla toprak solucanları ağır metal konsantrasyonundan daha az etkilenmekte (Kizil-

kaya, 2004; 2005) olup, yine de ağır metaller toprak solucanının gelişimini (Van Gestel vd, 1991; Khalil vd, 1996), kokon üretimini (Ma, 1988; Spurgeon ve Hopkin, 1996) ve toprak içindeki faaliyetini (Siekierska ve Urbanska-Jasik, 2002) olumsuz etkileyerek ölmesine neden olabilmektedir (Neuhauser vd, 1985; Dominguez, 2012).

Vermikompostlama organik kirleticilerin bozunması ve ağır metallerin arıtmanın çamuru içerisinden uzaklaştırılması bakımından etkili olduğu kanıtlanmıştır (Gupta vd, 2005; Rosińska ve Karwowska, 2017; Khan, 2019). Ağır metal barındıran ortamlarda beslenen toprak solucanları dışkılama yolu ile ağır metalleri toprağa geri transfer edilirken bir kısmı da solucan dokularında biriktirilebilmektedir. Kompost ortamının ağır metal konsantrasyonuna bağlı olarak bu durum değişiklik göstermektedir. Birçok solucan türünde metaller dışkılama yolu vasıtasıyla vücutlarından ortama bırakılmaktadır ve dışkı bünyesindeki ağır metal konsantrasyonları bünyelerindekine kıyasla daha yüksek seviyelerde rastlanabilmektedir (Tessier vd, 1994).

Song vd., (2014) tarafından, vermikompost malzemesi içerisindeki ağır metallerin (As, Pb, Cu ve Zn) seviyeleri vermikompostlama sırasında meydana gelen organik bozulmadan dolayı ilk duruma göre ağır metal seviyelerinin daha yüksek olduğunu bildirilmiştir. Suthar vd, (2014) ise, arıtma çamurunun vermikompostlanmasından sonra ağır metal (Pb, Cd, Cr ve Cu) seviyelerinde azalmanın olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bazı araştırmalar sonucunda toprak solucanları etkileşim halinde olduğu topraktaki ağır metali vücut dokularında biriktirerek toplam metal konsantrasyonun azaltılmasını sağlamışlardır (Wang vd, 1998; Hepsen ve Kizilkaya, 2007; Sizmur and Hodson, 2009; Li vd, 2010). Dolayısıyla solucanlar beslenme olayı sırasında ağır metal biriktirme yeteneklerinin etkisiyle metallerin besin zincirine katılma oranını azaltabilirler (Wang vd, 1998; Hepsen ve Kizilkaya, 2007).Ayrıca yapılan çoğu çalışmalarda toplam konsantrasyonlara odaklanmış ve metallerin fraksiyonlanması ihmal edilmiştir. Önceki bulgulara göre, eser metallerin hareketliliği ve biyoyararlılığı büyük ölçüde toplam içerikten ziyade spesifik kimyasal türlerine bağlı olmaktadır (He vd, 2009; Wang vd, 2013).

Lv vd, (2016) tarafından, vermikompost içerisindeki ağır metallerin oranlarının artışı, organik stabilizasyonun neden olduğu konsantrasyon etkisinin vermikompostlama sırasında solucan bünyesinde biriktirilen ağır metal seviyelerinin aşılmasının bir sonucunun olabileceği belirtilmiştir.

Toprak solucanları suda çözünebilen ve ekstrakte edilebilir ağır metal fraksiyonlarını doğrudan bağırsak / deri emilimi ile emer ve okside olabilen veya organik bağlı ağır metal fraksiyonlarını organik madde alımıyla biriktirebilmektedir (Nahmani vd, 2007; Goswami vd, 2016; Suleiman vd, 2017).

Vermikompostlama sırasında oksitlenebilir fraksiyondaki ağır metallerin artışı ile solucanlarda ağır metal birikimini artırılmasında ve vermikompost içerisindeki ağır metallerin azaltılması bakımından önemli bir mekanizma olabilir. Bitkisel atıklar suda çözünebilen ve ekstrakte edilebilen ağır metallerin bir kısmının bağlanmasına bağlı olarak oksitlenebilir ağır metallerin artmasında etkili olabilmektedir. Ayrıca solucan bağırsağındaki metallothionein ve diğer yüksek moleküler ağırlıklı proteinler ağır metallerin birikimine katkıda bulunmaktadır (Goswami vd, 2016).

Solucanlar beslenme yoluyla almış oldukları ağır metallerin bir kısmı dışkılama yoluyla alıcı ortama verilirken bir kısmını ise vücut dokularında birikimi gerçekleşmektedir (Tessier vd, 1994; Wang vd, 1998). Solucan dokuları yüksek konsantrasyonlarda ağır metalleri barındırabileceği gibi gübrelerinde daha az miktarda metal içerebilir (Kizilkaya, 2004). Bu durum etkileşimde bulunulan topraktaki ağır metal konsantrasyonuna, toprağın fiziksel yapısına, organik madde içeriği gibi faktörlere bağlı olmaktadır (Wang vd, 1998).

He vd. (2016), Ni, As, Cr, Fe ve Pb'nin değiştirilebilir fraksiyonunun azaltıldığını, katkı malzemeleri (toprak, saman, uçucu kül ve talaş) ile vermikompostlama sırasında artmış fraksiyonun arttığını bulmuşlardır. Bununla birlikte, Cu, Cd, Mn ve Zn için, değişebilir artık fraksiyonları arttırılmış ve aynı vermikompostlama sırasında indirgenebilir ve oksitlenebilir fraksiyonlar azaltılmıştır.

Toprağın pH'ı, solucanların ağır metal birikimini etkileyen parametrelerden biridir. (Morgan ve Morgan, 1988). Ağır metallerin çözünürlüğü ve toprak pH'ı arasında yakın bir ilişki bulunmakta olup, pH seviyesi düştüğünde solucanların metal birikimi artmaktadır (Herms and Brumner, 1984). Solucanlarda ağır metal birikimini etkileyen bir diğer faktör ekolojik kategorileridir (Morgan ve Morgan, 1988; Nahmani vd, 2007; Suthar, 2009).

Endojeik tür sınıfına ait solucanlar kadmiyumu epigeic ve anecic solucan türlerine göre daha yüksek oranlarda vücutlarında biriktirirken, anicic türler ise çinkoyu diğer ekolojik kategorilerdeki iki türden daha yüksek oranlarda biriktirebilmektedir. Örneğin, *L. rubellus* bakır kaynaklı kirliliği *A. caliginosa'*ya göre toleransı daha fazladır. *E. fetida* türü solucanların ise kurşunda en az toksisite gösterdikleri gözlemlenmiştir (Neuhauser vd, 1985).

Toprağın nem içeriği ağır metalin solucan dokularında birikmesini etkilemektedir (Marinussen ve Van Der Zee, 1997). Temelinde alan kapasitesine yakın nem içeriği solucanlarının aktivitesini arttırarak dokularındaki metal birikim oranını arttırmaktadır. Ayrıca topraktaki yüksek tuzluluk (Chang vd, 1997) ve yüksek orandaki amonyum iyonlarının var-

lığı (Masciandaro vd, 2002; Kizilkaya vd, 2009) toprak solucanlarının aktivitesini olumsuz etkileyerek metal birikimlerini olumsuz etkilemektedir. Malińska vd, (2016) tarafından ağır metallerin solucanların aktivitesi, büyümesi ve üremesinin inhibe edilebileceği bildirilmektedir. Dolayısıyla arıtma çamurunun kompostlanma verimliliğini azaltmaktadır. Solucanların yaşamsal özelliklerin sağlanması için hacim arttırıcı maddelerle (örneğin gübre, talaş tozu vb.) desteklenerek vermikompost dönüşüm oranını arttırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Arıman Karabulut, H., Kurtoğlu, İ. Z., Yüksek, T. ve Osmanoğlu M.İ. (2016). Balık Yemlerinde Hayvansal Protein Kaynağı Olarak Solucan Unununun Kullanımı. ***Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi,*** Yıl: 1, Sayı: 2:64-69.

Baker, G. H., Amato, M. and Ladd, J. (2003. Influences of Aporrectodea trapezoides and A. rosea (Lumbricidae) on the uptake of nitrogen and yield of oats (*Avena fatua*) and lupins (*Lupinus angustifolius*). ***Pedobiologia***, 47: 857–862.

Brown, G. G., Benito, N. P., Pasini, A., Sautter, K. D., Guimaraes, M. And Torres, E. (2004). No-tillage greatly increases earthworm populations in Parana State. ***Pedobiol.***, Brazil, Volume-47, 764-771.

Buchanan, M.A., Russell, E., Block, S.D. (1988). Chemical characterization and nitrogen earthworms in environmental and waste management. In C.A.Edwards and E.F. Neuhauser (Eds.), SPB Acad. Publ., the Netherlands, 231-239.

Buckerfield, J. C. (1998). Earthworm are indicators of sustainable production. ***6th international Symp., Earthworm Ecol., Vigo, Spain, 95.***

Cemek, B. ve Kizilkaya, R., (2006). Spatial variability and monitoring of Pb contamination of farming soils affected by industry. ***Environment Monitoring Assessment,*** 117, 357–375.

Castillo, H., Hernández, A., Dominguez D. and Ojeda, D. (2010). Effect Of Calıfornıan Red Worm (*Eisenia fetida*) On The Nutrıent Dynamıcs Of A Mıxture Of Semıcomposted Materıals. ***Chilean Journal Of Agrıcultural Research***, 70(3):465-473.

Chang, L. W., Meier, J. R. and Smith, M. K., "Application of plant and earthworm bioassays to evaluate remediation of a lead-contaminated soi", ***Arch Environ Contam Toxicol,*** 32:166–171 (1997).

Domínguez, C. A .M., Sánchez-Hernández, Z. E., Torres-Huerta, A. M., NegreteRodríguez, M., Conde-Barajas, E. and Flores, A. (2012). Vela Effect of the Heavy Metals Cu, Ni, Cd and Zn on the Growth and Reproduction of Epigeicic Earthworms (*E. fetida*) during the Vermistabilization of Municipal Sewage Sludge. ***Water Air Soil Pollut***, 223, 915–931.

Edwards, C. A. and Bohlen, P. J. (1996).Biology and Ecology of Earthworms 3rd. Ed.", Chapman and Hall, New York, 15-27.

Ferrera, C. D., Alarcón, A. (2001). La agricultura del suelo en la agricultura sostenible. ***Ciencia Ergo Sum***, 8:175-183.

Goswami, L., Pratihar, S., Dasgupta, S., Bhattacharyya, P., Mudoi, P., Bora, J., Bhattacharya, S. S. and Kim, K. H. (2016). Exploring metal detoxification and accumulation potential during vermicomposting of Tea factory coal ash: sequential extraction and fluorescence probe analysis", ***Sci. Rep.***, 6, 30402

Gupta, S. K., Tewari, A., Srivastava, R., Murthy, R. C. and Chandra, S., "Potential of *Eisenia foetida* for sustainable and efficient vermicomposting of fly ash", ***Water Air Soil Pollut***. 163(1–4) 293-302 (2005).

He, M. M., Tian, G. M. and Liang, X. Q. (2009). Phytotoxicity and speciation of copper, zinc and lead during the aerobic composting of sewage sludge. ***J. Hazard. Mater***. 163, 671–677.

He, X., Zhang, Y., Shen, M., Zeng, G., Zhou, M. and Li, M. (2016). Effect of vermicomposting on concentration and speciation of heavy metals in sewage sludge with additive materials", ***Bioresource Technology***, 218, 867–873.

http://publications.naturalengland.org.uk/file/5824256822738944, 2019.

http://uguner.trakya.edu.tr/genelbiyo-2/images/g2-4.htm, 2019.

https://www.sas.upenn.edu/~rlenet/Earthworms.html, 2019.

Kılıç, Y.A. (2009). Genel Biyoloji 1. Baskı, T.C. Anadolu Üniversitesi, Yay. No: 1965, Eskişehir, 65 (2009).

Kizilkaya, R. (2004). Cu and Zn accumulation in earthworm *L. Terrestris* L. in sewage sludge amended soil and fractions of Cu and Zn in casts and surrounding soil. ***Ecological Engineering***, 22, 141-151.

Kizilkaya, R. (2005). The role of different organic wastes on zinc bioaccumulation by earthworm Lumbricus terrestris L. (Oligochaeta) in successive Zn added soil. ***Ecological Engineering***, 25:322–331.

Kizilkaya, R., Bayraklı B. (2005). Effects of N-enriched sewage sludge on soil enzyme activities", ***Applied Soil Ecology,*** 30,192–202.

Kizilkaya, R. ve Hepşen, Ş., (2007). Microbiological properties in earthworm *Lumbricus terrestris* L. cast and surrounding soil amended with various organic wastes", ***Communucation Soil Science Plant Anal.***, 38: 2861-2876.

Kizilkaya, R., Hepsen, S., Akca, I., Bayrakli, B., Askin, T. ve Turkmen. C. 2009. Determination of total and mobile Pb fractions during vermicomposting in sewage sludge. ***International symposium on environment, Kyrgyzstan – Turkey Manas University, Faculty of Engineering***, Bishkek, Kyrgyzstan.

Khalil, M. A., Abdel-Lateif, H. M., Bayoumi, B. M. and van Straalen, N. M., "Analysis of separate and combined effects of heavy metals on the growth of *Aporrectodea caliginosa* (Oligochaeta; Annelida), using the toxic approach. ***Appl Soil Ecol.***, 4:213–219 (1996).

Khan, M. B., Cui X., Jilani, G., Lazzat, U., Zehra, A., Hamid, Y., Hussain, B,, Tang, L., Yang, X. and He, Z. (2019). Eisenia fetida and biochar synergistically alleviate the heavy metals content during valorization of biosolids via enhancing vermicompost quality. ***Science of The Total Environment***, 684, 597–609.

Kumar, D. S., Kumar, P. S., Kumar, V. U. and Anbuganapathi, G., "Impact of Biofertilizers on Growth and Reproductive Performance of *Eisenia fetida*

(Savigny 1926) During Flower Waste Vermicomposting Process", ***Scıencedomaın İnternational***, 3(4): 574-583 (2013).

Lee, K. E. (1985). Earthworms – Their Ecology and Relationship with Soils and Land Use. Sydney", Academic Pres.,….

Li, L. X. Y., Xu, Z. L., Wu, J. Y. and Tian, G. M. (2010). Bioaccumulation of heavy metals in the earthworm *Eisenia fetida* in relation to bioavailable metal concentrations in pig manure", ***Bioresour. Technol.***, 101, 3430–3436.

Lv, B., Xing, M. and Yang, J. (2016). Speciation and transformation of heavy metals during vermicomposting of animal manure", ***Bioresour. Technol.***, 209, 397–401.

Ma, W. C. (1988). Toxicity of copper to lumbricid earthworms in sandy agricultural soils amended with Cu-enriched organic waste materials", ***Ecol Bull***, 39:53–56 (1988).

Malinska, K., Zabochnicka-Swiatek, M., Cáceres, R. and Marfàb, O., "The effect of precomposted sewage sludge mixture amended with biochar on the growth and reproduction of Eisenia fetida during laboratory vermicomposting", ***Ecol. Eng.***, 90, 35–41 (2016).

Marinussen, M. P. J. C. and Van Der Zee, S. E. A. T. M. (1997). Cu accumulation by *Lumbricus rubellus* as affected by total amount of Cu in soil, soil moisture and soil heterogeneity" ***Soil Biol Biochem.***, 29:641–647.

Masciandaro, G., Ceccanti D. and Garcia C. (2002). In situ vermicomposting of biological sludges and impacts on soil quality", ***Soil Biol Biochem.***, 32:1015–1024.

Mc Lean, M. A. and Parkinson, D. (2000). Introduction of the epigeicic earthworm Dendrobaena octaedra changes the oribatid community and micro arthropod abundances in a pine forest. Soil Biol. Biochem., Volume-32, 1671-1681.

Mısırlıoğlu, M. (2011). Toprak Solucanları Biyolojileri, Ekolojileri ve Türkiye Türleri. Nobel Yayınları, No: 1636, 92 s, Ankara (2011).

Morgan, J. E. and Morgan, A. J. (1992). Heavy metal concentrations in the tissues, ingesta and faeces of ecophysiologically different earthworm species", ***Soil Biology and Biochemistry*** 24,1691–1697.

Munroe, G. (2007). Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture. Publication of Organic Agriculture Centre of Canada. EcoAction Program of Environment, 1-15.

Nahmani, J., Hodson, M. E. and Black, S., "A review of studies performed to assess metal uptake by earthworms", ***Environ. Pollut.***, 145 (2), 402–424 (2007).

Nogales, R., Cifuentes, C. and Benitez, E. (2005). Vermicomposting of winery wastes: A laboratory study. ***Journal of Environmental Science and He-***

alth Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes, 34:659-573.

Neuhauser, E. F., Loehr, R. C., Milligan, D. L. and Malecki, M. R. (1985). Toxicity of metals to the earthworm *Eisenia fetida*", ***Biol Fertil Soils***, 1:149–152.

Reinecke, A. J. and Reinecke, S. A. (2004). Earthworms as test organisms in ecotoxicological assessment of toxicant impacts on ecosystems. ***Earthworm Ecol.,*** 299–320.

Rosińska, A. and Karwowska, B. (2017). Dynamics of changes in coplanar and indicator PCB in sewage sludge during mesophilic methane digestion", ***J. Hazard. Mater.***, 323 341-349.

Santamaría-Romero, S., Ferrera, C. R., Almaraz, S. J., Galvis, S. A. and Barois, B. I., "Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N-total durante el composteo y vermicomposteo", ***Agrociencia*** 35:377384 (2001).

Siekierska E. and Urbanska-Jasik D. (2002). Cadmium effect on the ovarian structure in earthworm *Dendrobaena veneta* (Rosa). ***Environ Pollut.***, 120:289–297

Siddique, J., Khan, A. A., Hussain, I. and Akhter, S. (2005). Growth and reproduction of earthworm (*Eisenia fetida*) in different organic media. ***Pak. J. Zool.***, 37:211.

Sizmur, T. and Hodson, M. E. (2009). Do earthworms impact metal mobility and availability in soil? – a review. ***Environ. Pollut.***, 157, 1981–1989.

Spurgeon, D. J. and Hopkin, S. P. (1996). Effects of metal-contaminated soils on the growth, sexual development, and early cocoon production of the earthworm *Eisenia fetida*, with particular reference to zinc. ***Ecotoxicol Environ***., 35:86–95.

Song, X.C., Liu, M.Q., Wu, D., Qi, L., Ye, C.L., Jiao, J.G. and Hu, F. (2014). Heavy metal and nutrient changes during vermicomposting animal manure spiked with mushroom residues. ***Waste Manage.***, 34, 1977–1983.

Suleiman, H., Rorat, A., Grobelak, A., Grosser, A., Milczarek, M., Płytycz, B., Kacprzak, M. and Vandenbulcke, F. 2017. Determination of the performance of vermicomposting process applied to sewage sludge by monitoring of the compost quality and immune responses in three earthworm species: *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei* and *Dendrobaena veneta*", ***Bioresour. Technol.*** 241, 103–112.

Suthar, S. (2009). Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia fetida*: impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate", ***Ecological Engineering***, 35, 914-920.

Suthar, S., Sajwan, P. and Kumar, K. (2014). Vermiremediation of heavy metals in wastewater sludge from paper and pulp industry using earthworm *Eisenia fetida*. ***Ecotoxicology and Environmental Safety***, 109, 177–184.

Tarakçıoglu, C., Aşkın, T. ve Kizilkaya, R. (2006). Heavy metal distribution: A survey from Ordu Province in the Black Sea region", ***American- Eurasian Journal of Agricultural Environmental Science***, 1, 282–287.

Tessier, L., Vaillancourt, G. and Pazdernik, L. (1994). Temperature effects on cadmium and mercury kinetics in freshwater mollusks under laboratory conditions. ***Archives Environmental Contamination and Toxicology,*** 26,179-184.

Turgay, O. C., Kizilkaya, R., Karaca, A. ve Camcı Çetin, S. (2011). Detoxification of heavy metals using earthworms. ***Soil Biology,*** 407-421 (2011).

Tutar, U., (2012). *Eisenia fetida* Türü Toprak Solucanlarından Elde Edilen Farklı Ekstraktların Bitki Patojenleri Üzerindeki Antibakteriyel ve Antifungal Aktivitelerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Ana Bilim Dalı, Tokat, 10-23.

Van Gestel, M., Van Dis, W. A., Dirven-van Breemen, E. M., Sparenburg, P. M. and Baerselman, R., "Influence of cadmium copper and pentachlorophenol on growth and sexual development of *Eisenia andrei* (Oligochaeta, Annelida)", ***Biol Fertil Soils***., 12:117–121 (1991).

Vasanthi, K., Chairman, K. and Ranjit, A. J. A. (2012). Antimicrobial activity of earthworm paste *Eudrilus eugeniae*", ***African Journal of Environmental Science and Technology***, 7(8), 789-793

Venter, J. M. and Reinecke, A. (1988). Sublethal ecotoxicological studies with the earthworm *E. fetida* (Lumbricidae), in earthworms in Waste and Environmental Management", ***SPB Acad. Publ.***, The Hague, Netherlands. 337-354 (1988).

Werner, M.R., (1996). Inoculative release of anecic earthworms in a California orchard. Am. J. Alternat. Agric. 11, 176-181.

Wang, C., Sun, Z-J. and Zheng D., (2006). "Research advance in antibacterial immunity ecology of earthworm", ***The Journal of Applied Ecology***, 17(3), 525.

Wang, Z., Zhang, Y., Guo, Y., Xia, W. and Li, Z. (1998). Monitoring of soil heavy metal pollution by earthworm", ***J. Environ. Sci.***, 10:437–444.

Wang, L., M., Zhang, Y. M., Lian, J. J., Chao, J. Y., Gao, Y. X., Yang, F. and Zhang, L.Y. (2013). Impact of fly ash and phosphatic rock on metal stabilization and bioavailability during sewage sludge vermicomposting", ***Bioresour. Technol.***, 136, 281–287.

Zhang, B., (1997). Interaction between earthworms and microorganisms. ***Acta Ecological Science***, 17(5): 556- 560.

Zhang, B. G., Li, G. T., Shen, T. S., Wang, J. K. and Sun, Z. (2000). Changes in microbial biomass C, N, and P and enzyme activities in soil incubated with the earthworms Metaphire guillelmi or *Eisenia fetida*", ***Soil Biol. Biochem.,*** 32:2055-2062.

Bölüm 15

KOMPOST VE VERMİKOMPOST

Sakine UGURLU KARAAĞAÇ
Eren Mestan ŞENKAYA

1. KOMPOST VE TARİHİ

İnsanlık tarihinde kompostun kullanılması, yaklaşık M.Ö. 9000 tarihine avcılık ve toplayıcılık faaliyeti yapan insanların çeşitli nedenlerle yöneldikleri tarımcılık faaliyetlerinin erken döneminde ortaya çıktığı düşünülmektedir. İlk çağlardan beri insanlar çevresini gözlemlemiştir. Bu gözlemsel değerlendirmelerini günlük hayatta kullanarak yaşam zorlukları aşılmıştır.

Muhtemel olarak insanlar tarafından, hayvan gübresi yığınlarının bulunduğu yerlerdeki verimde artışın yaşandığı gözlemlenerek iki olgu arasında bağlantı kuruldu. Bu durumunda kompostlama hakkında bilinçli çalışmaların yapılmasının kapısını araladığı düşünülmektedir. Hayvan gübresinin toprağa uygulanması hakkında ilk yazılı kaynağın, Akad İmparatorluğu'na ait olan kil tabletler olduğu bilinmektedir (Rodale vb, 1960; Roba ve Labriga, 2015). Romalılar, Yunanlılar ve İsrail Kabilelerinin kompost bilgisine sahip olduğuna dair kanıtlar bulunmaktadır. İncil ve Talmud çürütülmüş gübre ile samanının kullanımı hakkında pek çok referans içermektedir. Kompostlama hakkında diğer referanslar ise onuncu ve on ikinci yüzyıla ait Arap yazılarında, ortaçağ dönemi kilisesi metinleri ve Rönesans dönemi edebi yazılarda yer almaktadır. William Shakespeare, Sir Francis Bacon, Sir Walter Raleigh gibi pek çok yazar kompost kullanımına değinmiş olup, kompost üretimini destekleyen George Washington, Thomas Jefferson, James Madison ve George Washington Carver gibi önemli insanlar bulunmaktadır (https://web.extension.illinois.edu/homecompost/history.cfm, 2019).

Sürdürülebilir atık yönetimi çerçevesinde atıklar işe yaramayan materyaller yerine, ekonomi ve doğaya geri kazandırılmaları mümkün olan hammaddeler olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle geri dönüşüm ve atıkların değerlendirilmesi temel hedef olarak belirlenmiştir. Sürdürülebilir atık yönetimi çerçevesinde doğaya ve ekonomiye kazandırılması gereken materyaller içerisinde tarımsal atıklar da bulunmaktadır. Tarımsal atıkları tarımsal faaliyetler sonucu bitkisel ve hayvansal kökenli atıklar oluşturulmaktadır. Bitkisel atıklar bünyesinde organik madde ve karbonu, hayvansal atıklar bünyelerinde ise azotu yüksek miktarlarda bulundurmaktadır. Ülkemizde yıl içerisinde yaklaşık 160 milyon ton gübre hayvansal üretim faaliyetleri ve yaklaşık 12,8 milyon ton organik atık ise bitkisel üretim faaliyetleri sonucunda oluşturulmaktadır (Başçetinçelik vd, 2006).

Çevreci olan biyolojik arıtma yöntemlerinden biri olan kompostlaştırma dünya çapında yaygınlaşmaktadır. Örnek olarak ABD'de bilhassa 1980 yılının ortalarından itibaren hızlı bir şekilde artış yaşanan evsel kompost tesisleri, 2000 yılında 3400 sayısına ulaşmıştır. Sadece bahçecilik faaliyetleri sonucu oluşturulan atıkları kompostlayan hem özel sektör hem de kamu hizmetinde olmak üzere 3 500 tesis çalıştırılmaktadır. Yapılan tah-

minler göstermektedir ki günümüzde 5 000'den fazla işletilen kompost tesisi bulunmaktadır.

Ülkemizde ise 1968 tarihinde başlatılan kompostlama faaliyeti için kurulan tesislerin çoğu kurulu kapasitelerinin altında çalışmakta veya çeşitli gerekçeler nedeniyle kapatılmaktadır. Ülkemizde lisanslı ve aktif bulunan kompost tesislerinin sayısında azalma görülmektedir (Ergin, 2006; Roda ve Labriga, 2015).

Kompost tesislerinin verimsiz işletilmesi ve / veya kapatılması hakkında tespit edilen bulgular aşağıda listelenmiştir (Ergin, 2006; Roda ve Labriga, 2015; http://www.yildiz.edu.tr/~kanat/2/kompost.html, 2019):

- Kompost tesisleri için temin edilen ithal ekipmanlar ülkemizin katı atık profiline uygun olmaması, bu durum ise ekipmanların kullanım ömrünü düşürerek verimi azaltmakta ve ithal ekipmanların değişimi bakım masraflarını arttırmaktadır.
- İşletme maliyeti beklenilen miktarlardan çok daha yüksek olması, bu durum belediye bütçesi ve / veya sözleşme yapılan şirketlerde baskıya sebebiyet vermektedir.
- Tesis yerlerinin uygun seçilmemesine ek olarak yetersiz yönetim ve denetimi yöre halkının tepkisine sebebiyet vermektedir.
- Büyükşehir Belediyesi Kanununun ardından, ilçe belediyelerinde olan tesis yönetimi büyükşehir belediyelerine verilmiştir. Bu durumdan sonra söz konusu tesisler ve faaliyetlerine, tesis verimleri ve istatistiksel verileri hakkında yeterli bilgiler bulunmamaktadır.
- Teknik ve bilginin yetersiz olması, deneyimli kalifiye eleman olmaması ve yetiştirilmemesi üretilen kompostun kalitesini düşürmüş ve talebin azalmasına sebebiyet vermektedir.
- Ülkemizdeki atık ayrıştırma uygulamalarının gelişmemiş olması, kompost tesislerinin proses akışını bozarak elde edilen kompostun kullanılabilirliğini sınırlandırmaktadır.

Tanım olarak kompostlama, kontrollü koşullar altında mikroorganizmalar ve / veya organizmalar tarafından organik materyalin bozunmaya uğratıldığı işlemdir. Tarım artıkları, hayvan atıkları, yemek artıkları, bazı belediye atıkları ve uygun endüstriyel atıklar gibi ham organik maddeler kullanılmaktadır (Misra ve Roy, 2003).

2. KOMPOSTLAMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Kontrollü bir kompost prosesi için aşağıda belirtilen hususlara dikkat etmek gerekmektedir (Misra ve Roy, 2003; Yıldız vd, 2009; https://www.epa.gov/sustainable-management-food/reducing-impact-wasted-food-fee-

ding-soil-and-composting, 2019). Bu hususlar:

2.1. Kompost Malzemesi ve Nutrientlerin Dengesi (C:N Oranı)

Kontrollü bir kompostlaştırma için yeşil ve kahverengi organik malzemelerin belli bir dengede kullanılması gerekmektedir. EPA (Amerika Çevre Koruma Ajansı) tarafından belirtildiği üzere yeşil organik malzemeler bünyelerinde büyük miktarlarda azot (N) barındırmaktadır. Bu sınıftaki malzemelere çim kırpıntıları, meyve ve sebze artıkları ve gübre örnek verilebilir. Kahverengi organik malzemeler ise bünyelerinde ve büyük miktarda karbon (C) içeren kuru yapraklar, odun talaşı ve dal parçaları örnek verilebilir (https://www.epa.gov/sustainable-management-food/reducing-impact-wasted-food-feeding-soil-and-composting, 2019). Kompostlama sürecinde görev alacak mikroorganizmalar enerji elde etmek ve büyümek için karbonu; üremek ve protein sentezlemek için ise azotu kullanmaktadırlar. Bu nedenle karbon ve azotun uygun oranlarda olması önemlidir (Öztürk, 2017). Ortamda yeterli besinin varlığı dengeli bir C:N oranıyla elde edilmektedir. Aktif kompostlama sürecinde besin maddesindeki C:N oranı 15:1-30:1 ayarlanır. Ancak iyi bir kompostlama süreci 20:1-40:1 C:N oranlarıyla da sağlanabilmektedir. C:N oranı 50:1 veya daha yüksek oranlarda kullanılan uygulamalarda mevcuttur. Yüksek azot içeriğinin mevcut olduğu şartlar altında amonyak (NH_3) veya azot oksit (N_2O) atmosfere transfer edilir ve bu durum ise koku problemine sebebiyet vermektedir (Rynk vd, 1992; Öztürk, 2017). C:N oranı 25-30 değeri arasında olmalıdır (Sharma vd, 1996; Günay ve Dursun, 2018). Yapılan bazı çalışmaların neticesinde ise C:N oranın 15-20 değerinde üretilen kompostun kalitesinin iyi olduğu saptanmıştır (Sharma vd, 1996).

Kompost malzemesinin düşük azot içeriğine sahip olması mikroorganizma popülasyonundaki azalmaya sebebiyet vermekte, malzeme içerisindeki karbon ayrışma süresi uzamaktadır (Tchobanoglous vd, 1993). Dolayısıyla kompost malzemesindeki yüksek karbon içeriği kompostlama sürecini yavaşlatarak kompost süresini uzatmaktadır (Graves vd, 2000; Öztürk, 2017).

Samanın içerisindeki karbonu mikroorganizmalar odunsu maddelere kıyasla daha kolay kullanabilmektedirler. Bir diğer örnek ise dirençli selülozik formdan meydana gelen mısır koçanları ile bazı bitki saplarının biyolojik bozunması çok yavaş olmaktadır. Bu duruma neden olan olay ise, odunsu malzemenin bünyesinde barındırdıkları biyolojik bozunmaya direnç gösteren lignin bileşiklerinin yine odunsu malzemesinin bünyesindeki organik maddelerle bağlı bir yapıda olmasıdır (Öztürk, 2017).

Lignin bitkinin kök ve gövdedeki odunsu yapıyı meydana getiren madde olup, suyu geçirmeme özelliği gösteren yapıya sahiptir. Selüloz çeperlerinin üstünde ölü hücrelerin birikmesiyle olumsuz çevre koşulla-

rından korumaktadır (Martinez vd. 2001). Lignini ayrıştırabilen bakteri veya mantarlar mevcut karbon oranını arttırabilir, kompostlama sürecini hızlandırır ve azot kaybını azaltabilir (Misra ve Roy, 2003).

2.2. Malzemenin Parçacık Boyutu

EPA tarafından belirtildiği üzere kompost malzemelerinin öğütülerek, ufaltılarak veya parçalanarak mikroorganizmaların etkileşime gireceği yüzey alanı arttırılmaktadır. Malzemelerin küçük parçalar haline getirilmesiyle daha homojinize kompost edilir. Ancak malzemenin boyutu gereğinden fazla küçükse, yığına verilen havanın akışına olumsuz etki yaratabilir (https://www.epa.gov/sustainable-management-food/reducing-impact-wasted-food-feeding-soil-and-composting, 2019). Ayrıca oksijenli kompost prosesinde malzemenin yüzey alanının arttırılması ile mikrobiyal aktivite ve biyolojik bozunma hızı arttırılabilmektedir. Kompostlama prosesi için kullanılan parça büyüklüğü 5 cm'den daha azdır (Tchobanoglous vd, 1993; Rynk vd, 1992)

2.3. pH

Mikroorganizmalarda dahil canlıların hayatlarını sürdürmeleri için pH önemli bir faktördür. Kompost malzemesi içerisinde optimimum bozunmayı sağlamak için pH aralığı 6.5-8 değerleri arasında olmalıdır (Rynk vd, 1992; Vanlalmawii ve Awasthi, 2016). Kompost ortamının bakteriyel faaliyet için pH'ın 6.0-7.5 değerleri arasında; fungal faaliyet için ise 5.5-8.0 değerleri arasında bulunması gerekmektedir (Vanlalmawii ve Awasthi, 2016). Ortamın pH değerinin sekizin üstü değerlere ulaştığında ortamda amonyak gazı oluşarak atmosfere verilmektedir (Rynk vd, 1992; Misra ve Roy, 2003). Kompostlamanın ilk safhalarında organik asitlerin oluşması ortam pH'ını düşürebilmektedir. Eğer ortamda amonyak üretimi gerçekleşirse pH artabilmektedir.

2.4. Nem İçeriği

EPA tarafından belirtildiği üzere yeterli miktarda nem kompost yığını içerisinde yaşayan mikroorganizmaları hayatta tutmak için gerekli etmenlerden biridir. Su, organik atıktaki besin maddelerinin mikroorganizmalara ulaştırılmasını sağlayan temel unsurdur (Gaves vd. 2000; Meenembal vd, 2003; Misra ve Roy, 2003https://www.epa.gov/sustainable-management-food/reducing-impact-wasted-food-feeding-soil-and-composting, 2019) . Genel olarak kompost uygulamaları için % 40-65 arasında nem içeriği önerilmektedir (Gaves vd, 2000; Baldwin ve Geenfield, 2006; Öztürk, 2017).

Malzemenin içindeki nem içeriği % 15 değerinin altında olduğu şartlarda biyolojik aktivitenin durduğu gözlemlenmiştir. Nem içeriğinin % 40 değerine yaklaştığı şartlarda kompostlama yavaşlamaktadır. Nem içeriği

% 65 değerini aşan şartlarda ise malzeme parçaları arasındaki gözenek boşlukları su barındırır. Oksijen yerine su içerdiğinden oksijen azalarak anaerobik koşullar ortaya çıkmasına neden olur (Öztürk, 2017). Bu durum, komposttaki besin maddelerinin süzülmesiyle mikrobiyal aktivite azalmasına ve biyolojik ayrışmanın yavaşlamasıyla sıcaklığın azalmasına neden olmaktadır. Ancak, malzemenin emiciliğine ve gözenekliliğine bağlı olarak % 65 değerinden fazla nem içeriği kabul edilebilmektedir (Rynk vd, 1992).

2.5. Havalandırma

Aerobik mikroorganizmalar için oksijen kompostlama süreci içerisinde canlılıklarını korumaları için önemli bir faktördür. Aerobik koşulların devamlılığı için kompost malzemesinde bulunan gözenek boşluklarının oksijen konsantrasyonu minimum % 5 değerinde olmalıdır (Gaves vd, 2000; Öztürk, 2017; http://www.yildiz.edu.tr/~kanat/2/kompost.htm, 2019).

Havalandırmanın diğer etkileri ise aşırı ısınmayı veya soğumayı önler, su buharını ve diğer gazları kütlelerini yığın bünyesinden uzaklaştırır (Misra ve Roy, 2003). Yeterli oksijenin olmadığı şartlarda, anaerobik ortam şartları şekillenmektedir. Anaerobik ortamda farklı mikroorganizma formaları ve bu farklı mikroorganizma formalarının biyokimyasal reaksiyonları gelişmektedir. Anaerobik bozunma ile oluşan ara ürünler hidrojen sülfür (H_2S), metan (CH_4), organik asitler, karbon dioksit (CO_2) ve diğer maddeler olarak sıralanabilir. Anaerobik bozunma ürünlerinin çoğu ağır kokulu özelliğinden dolayı kontrol edilmesi gerekmektedir. Ayrıca anaerobik bozunma aerobik bozunmaya kıyasla daha yavaş ve verimi azdır (Öztürk, 2017). Kompost yığınının gözenekliliği ve nem içeriği havalandırmayı etkilemektedir.

2.6. Sıcaklık

Mikroorganizmalarda dahil olmak üzere organizmaların canlılıklarını sürdürmeleri için özel bir sıcaklık aralığına sahip ortamda bulunmaları gerekmektedir. Bazı sıcaklık aralıkları hızlı kompostlama sürecini hızlandırır ve kompost yığınındaki patojenleri ve yabancı ot tohumlarının canlılıklarını sonlandırmaktadır (Misra ve Roy, 2003). Yüksek sıcaklığa maruz kalan kompost malzemesi içerisindeki selüloz, protein, karbonhidratların ve yağ gibi besin maddelerinin bozunması hızlanmaktadır. Ancak bazı yüksek sıcaklık değerleri mikroorganizmaların hayatı fonksiyonlarını olumsuz etkilediğinden besin maddesinin bozunması engellenebilmektedir (Rynk vd, 1992).

Kompostlama süreci mezofilik ve termofilik olarak adlandırılan iki sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir. Kompostlaşmanın ilk aşamasında 20–45 ° C sıcaklık aralığı ideal olup, kompostlama sürecinde termofilik

mikroorganizmalar hakim olduğunda, 50-70 ° C sıcaklık aralığı ideal olabilmektedir (Misra ve Roy 2003; Tchobanoglous vd, 1993). Eğer yığın çok sıcak ve su kaybı fazla ise (nem içeriği % 40'ın altında), kompostta kendiliğinden yanma gerçekleşebilir (Öztürk, 2017).

Kompostlamanın ilk aşamasında, kompost yığını içerisindeki karbonhidratların, yağların ve proteinlerin biyolojik bozunması mezofilik bakterilerle birlikte aynı ortamda yer alan mantarlar aktinomisetler ve mayalar tarafından gerçekleştirilir. Protozoonlar tarafından bakteri ve mantarlar besin kaynağı olarak kullanılmaktadır (http://www.yildiz.edu.tr/~kanat/2/kompost.htm, 2019).

Sıcaklık koşuları 30 °C dereceye ulaşana kadar kompost ortamında küf mantarları, nematodlar, protozoonlar ve bakteriler aktif görev almaktadır. 30-40 °C derece aralığına sahip ortamlarda aktif olan organizmanın aktinomisetler olduğu gözlemlenmektedir ve kompost yığınında topraksı koku meydana gelmektedir. Aktinomisetlerin ürettiği antibiyotik etki gösteren maddeler patojenleri ortadan kaldırmaktadır. Kompost ortamının 40-50 °C dereceye ulaştığı şartlar altında kompostlama sürecini başlatmış organizmaların hemen hemen tamamının yaşamı sonlanmaktadır. Ortamda 70 °C sıcaklık seviyesine kadar dayanıklı ve ısı üretebilir özelliğe sahip termofilik bakteriler hakim olmaktadır. 40-50 °C seviyesindeki sıcaklıklarda bulunan bakteri ve aktinomisetler kompost içerisinde bünyesinde bulunan zorlukla parçalanabilen bazı maddelerin parçalanmasını sağlayabilirler. 60-70 °C sıcaklık meydana gelen kompost bölgelerinde hemen hemen çoğu patojenik özellik gösteren organizmalar 1-2 saat içerisinde yaşamını yitirmektedir. Kompost içerisindeki termofilik bakterilerin besleneceği besini tüketmeleriyle ısı üretmeyi durdurmaktadırlar. Böylece soğuyan kompost içerisinde ölü bakterilerle birlikte son kalan besin maddelerini kullanan mantar ve aktinomisetler çoğalmaktadır (http://www.yildiz.edu.tr/~kanat/2/kompost.htm, 2019).

İz element sınıfında yer alan bazı metaller canlıların beslenmesinde ve yaşamını sürdürmesinde hayati öneme sahiptir. Kompost içerisinde de toksik etkiler yaratan elementlerin (Cu, Pb veya Zn gibi) bulunması halinde, toprağa uygulanması sonucu çevre üzerinde meydana gelebilecek olumsuz söz konusu olmaktadır. Toprakta söz konusu elementlerin konsantrasyonu aşırı arttığında, toprakla etkileşimde olan bitkilerin büyümesini ve gelişmesini olumsuz etkileyebilir ve besin zincirine dâhil olarak insan ve hayvan sağlığını etkileyebilmektedir (Kabata-Pendias ve Pendias, 1984; Barral ve Paradelo, 2011). Özellikle kentsel atıklar kullanılarak üretilen bazı kompost tipleri önemli riskler barındırmaktadır**.** Arıtma çamurlarındaki metal kayakların insanların beslenme alışkanlığı ve atıksu kanal sistemindeki korozyonlardan kaynaklanabilmektedir (Topal ve Topal, 2013).

3. KOMPOSTLAMA TÜRLERİ

Dünya çapında uygulanmakta olan farklı kompostlama modelleri mevcuttur. Genellikle açık ve kapalı sistemler olmak üzere iki kısımda incelenmekte olup; faaliyette kullanılan makine/ekipmana ve işletme şartlarına göre bünyesinde dallara ayrılmaktadır. Aşağıda yaygın olarak uygulanan kompostlama sistemleri verilmiştir (Yıldız vd, 2009).

- Pasif ya da açık yığında kompostlaştırma,
- Çevirmek, karıştırmak ve işlemek için yükleyici iş makinaları kullanarak yapılan aktarmalı yığın kompostlaştırma,
- Özel aktarma makinaları kullanarak yapılan aktarmalı yığında kompostlaştırma,
- Delikli borular kullanarak yapılan havalandırmalı statik yığında kompostlaştırma,
- Reaktörde kompostlaştırma,
- Bahçe tipi kompost

4. VERMİKÜLTÜR, VERMİKOMPOST VE TARİHİ

Vermikompost veya vermikültür terimleri latince kökenli olan "vermes" kelimesinden türetilen ve solucanlar anlamına gelmektedir (Sinha vd, 2002; Dominguez ve Edwards, 2004). Vermikompost organik malzemenin stabilize edilmesi için toprak solucanı ve bir takım mikroorganizmalar organik materyali stabilize etmek için vermikompost süreci boyunca birlikte çalışmakta olup, termofilik aşamayı içermemektedir.(Dominguez ve Edwards, 1997; Suthar, 2009)

Kompostlama sürecinde organik malzemenin biyolojik olarak bozunması mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilirken, toprak solucanları ise, besini şartlandırma ve biyolojik bozunmayı başlatmaktadır (Suthar, 2009). Vermikültür solucan yetiştiriciliği veya kültürel ortam içerisinde solucanların çoğaltılması ve bu kapsamda yapılan yan eylemler şeklinde tanımlanabilmektedir.

Toprak solucanları 600 milyon yıldır ekosistem mühendisleri olarak faaliyet göstermektedir (Sinha vd, 2010). Dünya üzerinde antik Mısırlılar, toprak solucanın toprak üzerine etkilerini tanıyan ve tarım ekonomisi çerçevesinde önemi bilinen ilk kültürlerden biridir.

Kleopatra'nın yönetimi altında (M.Ö. 69-30), toprak solucanları yeryüzünün kutsal varlıkları kabul edilmiş ve Mısır'da solucanlara zarar verilmesi veya ihracatının yapılması halinde, ilgili kişilerin idamına sebep gösterilebilecek bir suç niteliği taşımaktaydı (Hosaad 2009). Mısır ve Hindistan'daki subtropikal bölgelerde, Nil ve İndus Vadisi'nde yaşamış antik

uygarlıkların başarısı, alüvyon süreci nedeniyle toprağın dinamik olarak yenilenmesi ve kısmi olarak toprak solucanlarının faaliyeti sonucu bereketli toprakların meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır (Yadav, 2014). Aristoteles (M.Ö. 300) tarafından "toprağın bağırsakları" tanımını kullanarak toprak solucanları tarafından organik maddenin zengin humus veya kompost formuna dönüştürüldüğü vurgulanmıştır. Charles Darwin'in 39 yıllık süreçteki toprak solucanları üzerinde yapmış olduğu inceleme sonucunda "Saban insanlığın en eski ve en kıymetli icatlarından biridir, fakat daha insan toplumu ortaya çıkmadan çok önce bile toprak solucanları tarafından düzenli olarak sürülmüştür" açıklamasıyla tarım ve ekosistem için solucanların önemini vurgulanmıştır.

Kırmızı Kaliforniya solucanı, ABD'de 1950'li yılların sonunda Thomas Jason Barrett tarafından organik atıkların miktarının azaltılmasını hızlandırmak için yetiştirilmiştir. Thomas J. Barrett, Amerika Birleşik Devletleri'nde endüstriyel vermikompostlamanın kurucusudur (Edwards, 2011). Türkiye'deki vermikompost üretimi hakkında çok az veri bulunmaktadır. Vermikompost üretimi 2011 yılından sonra başlamıştır. 2017 yılında ortalama katı vermikompost üretimi, Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı'nın resmi üretim izni olan 15 tesis tarafından üretilen yaklaşık 20000 tondur. Resmi olarak onaylanan işlemlere ek olarak, Türkiye'de yaklaşık 4200 izinsiz vermikompost üreticisi bulunmaktadır (Bellitürk, 2018). Türkiye'de 23.02.2018 tarihli ve 30341 sayılı resmi gazetede yayınlanmış "Tarımda Kullanılan Organik, Mineral Ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik" kapsamında vermikompost ürünü standartları düzenlenmiştir.

Toprak solucanı, atık materyal bünyesinde faydalı ayrıştırıcı bakterilerin çoğalmasını teşvik etmekle birlikte, bulunduğu ortamdaki atık materyaline havalandırıcı, öğütücü, karıştırıcı ve biyolojik uyarıcı etkilere sahiptir. Toprak solucanlarının sindirim sisteminde (taşlık ve bağırsaklarında) salgılanan birtakım enzimlerin (proteaz, lipaz, amilaz, selülaz ve kitinaz) yardımıyla organik atık materyal bünyesindeki selülozik ve proteinli maddelerin hızlı biyokimyasal dönüşümünü sağlamaktadır (Hand, 1988). Solucanın taşlığı ve bağırsakları biyoreaktör gibi çalışmaktadır. Bu organlarda öğütülen ve kimyasal sindirime uğrayan materyalin % 5-10'luk bir kısmı solucan tarafından özümsenmektedir. Özümsenmeyen kısmı ise vermikastingler adı ile bilinen nitrat, fosfat ve potasyum oranı yüksek mukus kaplı ganül agega şeklinde vücut bünyesinden uzaklaştırılır (Agarwal 1999). Atık materyal içinde aktif olarak dolaşma ve öğütme faaliyetleri sonucunda materyal hacmini azaltmaktadırlar (Dominguez ve Edwards, 1997). Komarowski (2001) tarafından Avustralya'da solucan kompostlama yöntemi uygulanarak yılda 13 000 metre karelik depolama alanının azaltıldığına değinilmiştir. Dolayısıyla vermikompost çevre sağlığı açışından uygun ve düşük maliyetli bir atık yönetimi sağlamaktadır (Banu vd, 2001; Asha vd, 2008).

5. VERMİKOMPOST ÜRETİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kaliteli bir vermikompost üretimi için toprak solucanlarının yaşam koşullarını ve farklı abiyotik ve biyotik faktörlere karşı tepkilerini bilmek önemlidir. Bu faktörler aşağıda listelenmiştir.

5.1. Yatak Malzemesi

Yatak malzemesi, toprak solucanlarının ihtiyaç duyduğu yaşama ortamını sağlayan materyaldir. Yatak malzemesi aşağıdaki özellikleri barındırmalıdır (Namlı vd, 2016).

5.1.1. Yüksek Oranda Emicilik

Toprak solucanları deri solunumu yaptıklarından dolayı nemli ortamları tercih etmektedir. Dolayısıyla yatak malzemesinin suyu iyi bir şekilde emmesi ve tutması gerekmektedir.

5.1.2. Yüksek Hacim Kazanma Potansiyeli

Yatak malzemesi çok yoğun yahut sıkışık ise, malzeme içerisindeki hava akışı azalabilir veya tamamen kesilebilir. Malzemenin parça boyutu, şeklinin çeşidi, yapı ve dayanıklılığı gibi unsurlar malzemenin genel gözenekli yapısını etkilemektedir. Bahsedilen etkiye ise, malzemenin hacim kazanma potansiyeli olarak adlandırılmaktadır.

5.1.3. Düşük Protein Ve/Veya Azot İçeriği (Yüksek Karbon: Azot Oranı)

Toprak solucanları bulundukları yatağı tükettiklerinden yavaş parçalanması önem taşımaktadır. Yüksek oranda protein/azot içeriğine sahip olan malzeme hızlı parçalanmaya ve kompost ısısının yükselmesiyle ölümlere sebebiyet verebilmektedir. Vermikültür veya vermikompost içerisindeki besin katmanlarında ısınma güvenli olabilir ancak yatak malzemesindeki ısınma için bu durum geçerli olmamaktadır. *E. fetida* türü toprak solucanları için mükemmel yatak malzemesi; iyi nem tutma, yüksek oranda C:N ve yüksek hacim kazanma özelliklerini barındırması gerektirmektedir. Genel olarak iyi vermikompost prosesi için uygun yatak malzemelerinin karıştırılması önemlidir. İyi yatak malzemesi karışımları aşırı sıcaklık değişimlerinden koruma, gerekli olan nem ve yeterli oksijen sağlamaktadır.

5.2. Nem İçeriği

Toprak solucanlarının hayatta kalabilmesi için yatağın yeterli düzeyde nemli tutulması gerekmektedir. Solucanlar deri solunumu yapmaları nedeniyle nem içeriğinin %50'den az nem içeriği barındıran yataklar tehlikeli olmaktadır. Yüksek sıcaklık değişikliği haricinde, yetersiz nemlilik durumu hızlı bir şekilde solucanların hayatını kaybetmesine neden olmaktadır.

Geleneksel kompostlama sistemlerinde kullanılan malzemeler söz konusu olduğunda ideal nem içeriği %45-60 değerler arasında olmaktadır. Ayrıca solucan kompostu işlemleri nem içeriği %70-90 arasındaki değerlerde de gerçekleştirilmektedir. Yapılan araştırmalar neticesinde birbirinden farklı nemlilik değerleri bulunmuştur. Dominguez and Edwards (1997), tarafından %80-90 değerlerinin en iyi nem içeriği aralığı olmasına ek olarak, %85 değerinin en iyi nokta olduğu belirtilmiştir. İskoçya'lı araştırmacılar tarafından ise, en iyi gelişme ve çoğalma ortamının %75-80 nem içeriğinde oluşturulduğu bildirilmiştir. Ayrıca iki araştırma (diğer değişkenlerle birlikte) artan nem içeriği ile ortalama solucan ağırlığının da arttığını bildirmişlerdir (Namlı vd, 2016).

5.3. Havalandırma

Toprak solucanları oksijensiz şartlar altında hayatlarını sürdürememektedirler. Ortamdaki aşırı nem, besin içerisindeki yüksek yağ ve malzemenin sıkı olması gibi faktörler oksijenin azalması veya kesilmesi durumunu doğurarak toprak solucanlarının hayatını tehlikeye sokmaktadır. Ayrıca oksijensiz şartlarda meydana gelen mikroorganizmaların ürettiği zehirleyici maddelerde toprak solucanlarının hayatını tehlikeye sokmaktadır. Oksijenin kompost solucanları için en önemli unsurlardan biri olmasına karşın nispeten ılımlılardır. Sert kış şartlarında meydana gelen yüzey donmalarında yığın materyali içindeki suda bulunan oksijen sayesinde hayatlarını sürdürürler. Solucanların hareket aktiviteleri ile toprağın havalandırılması gerçekleşmektedir. Bu nedenle kompostu karıştırmaya gerek duyulmamaktadır.

5.4. Sıcaklık

Vermikompost ve vermikültür süreçleri için ortamın sıcaklığını toprak solucanlarının tolerans eşik değerleri içerisinde tutmak önemlidir.

5.4.1. Düşük Sıcaklık

Eisenia cinsine ait solucanlar 0°C dereceye kadarki ortam sıcaklıklarında hayatlarını sürdürebilmelerine karşın tek haneli sıcaklıklarda beslenmeleri azalır ve bu sıcaklıklarda üememektedirler. Genellikle minimum olarak 10°C derece, vermikompostlamanın verimliliğinin sağlanması tercihen minimum 15°C derecenin üzerinde ve vermikültür verimi için 20°C derecenin üstü 30 °C derecenin altında tutmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

5.4.2. Donmanın Etkisi

Eisenia fetida türü toprak solucanları kısmen donan yataklarda hayatlarını sürdürebilmekte ve beslenmediklerinde hayatlarını kaybedebilirler. Araştırmalara göre uzun süre donmuş kokonların hayatta kaldıkları tasdik edilmiştir.

5.4.3. Yüksek Sıcaklık

Vermikompost solucanları ortam sıcaklığının 30°C dereceye kadar ulaşan sıcaklıklarda hayatlarını sürdürebilmekte ancak 20°C derece seviyesindeki sıcaklıkları tercih etmektedirler. Ortam sıcaklığının 35°C derecenin üzerinde olduğu şartlarda ise solucanlar bulundukları ortamı terk etmektedirler. Genellikle 20°C derece üzerindeki sıcaklıklar üremeyi desteklemektedir.

5.5. pH

Toprak solucanlarının yaşabildikleri ortamın pH değeri 5 ile 9 arasında değişiklik göstermektedir. Birçok araştırmacı solucanların 7 veya biraz daha yüksek seviyedeki pH'ı tercih ettikleri belirtmiştir. En ideal yaşam ise ortamının 7.5 ile 8.0 arası pH değerinde olduğu bazı araştırmacılar tarafından belirtilmektedir. Genellikle kompost yatağının pH değerinde zaman içerisinde düşüş yaşanmaktadır. Eğer besin maddesi alkali ise nötrden hafif alkali değere eğilim gösteren etkiye sahiptir.

Besin maddesi veya kompost yatağı asidik düzeydeyse pH 7'den de aşağı değerlere düşebilmektedir. Bu gibi durumlarda ortamın pH'ı, kalsiyum karbonat miktarının arttırılmasıyla yukarı seviyelere çıkartılabilmektedir. pH'ın aşağı seviyelere düşülmesi gerektiği nadir şartlarda kompost ortamına yosun gibi asidik malzemeler eklenebilir

5.6. Tuz İçeriği

Tuzluluğa karşı hassasiyet gösteren toprak solucanları %0.5 değerinden daha düşük seviyelerde tuz barındıran ortamları tercih etmektedirler. Kompostlamada tuzlu su yosunu besin olarak kullanılacağı zaman yüzey kısmındaki tuzun temizlenmesi için suyla temizleme işlemi yapılmalıdır. Çoğunlukla gübreler bünyelerinde yüksek miktarda tuz (%8'e varan) barındırmaktadır. Tuz içeriğince zengin gübreler yatak malzemesi olarak kullanılacak ise, tuz içeriğinin düşülmesi amacıyla yıkanma uygulanabilmektedir. Ancak gübreye ön kompostlama yapıldıysa tuzluluk solucanlar için sorun olmayacaktır (Namlı vd, 2016).

5.7. Üre İçeriği

Kompostlamada kullanılacak gübre betondan yapılarda yetiştirilmiş ya da beton alanlarda beslenen hayvanlardan temin edildiğinde, bünyesinde yüksek oranlarda üre bulundurmaktadır. Çünkü üre toprakta drene olmamaktadır. Aşırı oranlardaki üre kompost yatağında gaz birikimine sebebiyet vermektedir. Ayrıca bu durum beton üzerine ya da kafeslerin alt bölümlerine düşen gübrelerde rastlanmaktadır (Namlı vd, 2016).

5.8. Besin İçeriği

Vermikompostlama ile kompost üretiminde yararlanılan organik atık yelpazesi oldukça fazladır. Bu organik atıklardan bazıları atık su arıtma (Neuhauser vd. 1988) faaliyetleriyle oluşturulan katı atıklar, kağıt, bira ve mantar endüstri faaliyetleri (Butt 1993) sırasında oluşturulan artık/atıklar, şarap üretimi sırasında oluşan cibre vb., pamuk üretim faaliyetleri atıkları, kabuklu yemiş atıkları, şeker üretimiyle oluşan pancar atık posaları ve parçaları (Bellitürk, 2016), manav, restorant ve evsel atıklar (Edwards vd, 1985), tavşan, domuz, büyükbaş ve küçükbaş hayvanları ve at (Edwards, 1988a) yetiştirme faaliyetleri sırasında oluşturulan hayvansal atıklar, park ve bahçe atıkları, tarımsal üretim sonucu oluşturulan bitki atıkları, gıda ve kağıt endüstrisi atıkları kullanılabilmektedir.

Kanatlı hayvanlardan elde edilen gübreler içerdiği yüksek amonyak sebebiyle vermikompost faaliyetlerinde çok fazla tercih edilmemektedir. Bu durumun temel nedeni ise amonyağın solucanlar üzerinde zehir etkisinin olmasıdır (Tchobanoglous vd, 1993). Bellitürk (2016), yalnızca sığır gübresiyle üretilen vermikomposttaki organik madde içeriğinin diğer materyaller ile hazırlanan vermikompostlara kıyasla % 44 daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Kaliteli bir vermikompost elde etmek için önemli diğer etken ise solucan mamasının uygun olarak hazırlanmasıdır. Uygulanacak solucan mamasının önceden fermantasyon işlemi yapılması gerekmektedir. Fermantasyon işlemi ile organik materyalin ön ayrışması yapılmaktadır. Ayrıca termofilik parçalanma ve zararlı patojenik unsurlar ortadan kaldırılmaktadır (Bansal ve Kapoor, 2000). Et, kan, kemik, hayvansal yağlar ve süt ürünleri içerdikleri yüksek oranda protein nedeniyle ayrışırken anaerobik şartları tetikleyerek pH düşüşüne ve koku problemlerine neden olmaktadır. Narenciye, soğan ve sarımsak artıkları kompost ortamının pH'ını düşürerek asidik şartların oluşmasını sağlamaktadır. Solucanlar tuzluluğa karşı aşırı hassas canlılardır ve tuz oranı yüksek besinlerin mama içerisine katılmaması önerilmektedir. Ayrıca odunsu bitki artıkları parçacık boyutları ufaltılarak ve ön işlemden geçirilerek üretim dizaynına göre belli dozlarda uygulanmalıdır. Yapılan araştırmalar sonucunda solucanların en çok tercih ettiği besinler arasında kahve ve çay posası, kabak, elma, muz kabuğu gibi meyve atıkları, yumurta kabuğu ve sığır gübresi yer almaktadır. Antibiyotik kullanan hayvanlardan elde edilen gübreler ve böcek ilacı kalıntısı barındıran gıda artıkları da solucanların hayati aktivitelerini inhibe edebilmektedir.

Son yıllarda biyocharlar kompost ve vermikompostlama faaliyetlerinde kullanılmaktadır. Biyocharın toprak kirleticilerinin biyodegadasyonu veya immobilizasyonu üzerindeki olumlu etkilere sahiptir. Yüzeyinde

metallerin ve organik kirleticilerin immobilizasyonunu sağlamaktadır. Biyochar toprak sera gazı emisyonlarını oldukça azaltmaktadır. Uygulandığı topraktaki besin kayıplarını azaltır ve toprak karbon mineralizasyonunu tetiklemektedir. Ayrıca hücre dışı enzimler, biyocharın stabilizasyon potansiyeli nedeniyle uzun süreli aktif halde kalmaktadır (Sanchez-Hernandez vd. 2019). Biyochar havalandırmayı sağlaması, sıcaklığı, mikrobiyal biyokütleyi arttırması ve nitrifikasyonun yoğunluğunu düzenlemesi gibi özellikleri nedeniyle kompostlama süreci için önemli olmaktadır (Wu vd, 2017).

Vermikompostlama faaliyetinde biyocharın uygulanması ise solucan üreme potansiyelini arttırmakta ve substratın vermikompost bünyesine daha verimli bir şekilde dahil edilmesine katkıda bulunmaktadır (Malinska vd, 2016). Biyochar uygulaması ile yapılan vermikompostlama sonucu elde edilen "vermichar" adı ile tanımlanan yenilikçi yan ürün üretilmektedir. Böylece charın üzerinde mikrobiyal aktivite artırılmış olur ve solucanların biyocharın yüzeyindeki adsorpsiyonunu kolaylaştırabilme yeteneklerinin olduğu belirlenmiştir (Sanchez-Monedero, 2018).

Zhao vd. (2016) kompost ya da vermikompost uygulamaları sırasında kullanılan biyocharın, kanalizasyon çamuru digestatının olumsuz özelliklerini azaltabilmekte, düşük C / N oranını değiştirebilme ve komposta tatmin edici yapı ve gözeneklilik kazandırılmasına katkı sağlayabilmektedir. Tehlikeli hammaddelerin vermicompostlanması sırasında metal biyoyararlanımındaki artış, biyochar yüzeyinde gerçekleşen metal immobilizasyonu dengelenebilmektedir. Ancak tehlikeli materyallerin kullanımı ile (örneğin, kanalizasyon çamurları) biyochar bünyesinde biriken yüksek konsantrasyonlarda toksik kimyasallar ile tehlikeli koşullar oluşabilir (Sanchez-Hernandez vd, 2019).

10. VERMİKOMPOSTLAMA SİSTEMLERİ

Vermikompost üretiminde yığın sistemi ve sürekli akış sistemi vasıtasıyla pek çok yöntem kullanılabilmektedir. Genellikle kullanılan ya da kullanılabilecek olan yöntemler aşağıda verilmiştir (Namlı vd, 2016):

10.1. Küçük Yataklarda Üstten Besleme İle Vermikompost Üretimi

Bu tip vermikompost üretim faaliyetleri sandıklar ya da kasalar kullanılarak yapılmaktadır. Bu yöntemle yapılan vermikompost üretimi ticari üretim için uygun bir yöntem değildir. Genellikle küçük yataklar için genişliğin 1 metre, uzunluğun 2 metre ve yüksekliğin 30 santimetre olması tavsiye edilmektedir. Kompostlama kabının (kutu, kasa ya da sandık) zeminine bitki atığı ya da parçalanmış kâğıt yerleştirilmesinin ardından üstüne solucan yataklığıyla birlikte kompost solucanları eklenmektedir. İyi

bir kompost ortamı için yatak türü ve miktarı önemlidir. Vermikompost üretiminin sağlanması ve kompost solucanlarının beslenmesi için üste azar azar taze besin ilavesi yapılmaktadır. Az miktarlarda ve düzenli besleme yapıldığında sürekli yüzeye doğru hareket eden solucanların amacı taze besinlere ulaşmaktır. Böylece üretilen vermikompost alt kısımlarda kalmaktadır. Dolayısıyla kompost kabının alt kısmında hareketli sistemin yerleştirilmemesiyle sistemin altında biriken kompostun alınımı zor olmaktadır. Sistemin alt kısmında birikmiş olan vermikomposun alınması için kompost solucanlarının diğer kompost kaplarına transfer edilmesi gerekmektedir. Bu vermikompost yöntemi daha çok evsel atıkların değerlendirilmesi amacıyla ya da hobi olarak vemikompost üretimini gerçekleştirmek isteyenlere yöneliktir. Kasa sistemiyle vermikompost üretiminde; katmanlar prensibiyle tasarlanmış kasaların alt kısımlarında hareketli sistem mevcut olup, alt kısımda birikmiş vermikompost solucanlarının transfer edilmesine gerek kalmadan alınmaktadır. Dolayısıyla iş gücü azaltılır ve kompost solucanları strese sokulmaz. Profesyonel vermikompost (ticari işletmeler) üretiminde kullanılan yerden yüksek yataklarda da aynı mantıkla üretim gerçekleştirilmektedir. Hazır kasaların kullanılmadığı durumda alt kısımda gereğinden fazla suyun drenajını sağlayacak yeterli deliklerin bulunması ya da kasanın alt tarafının delikli telden üretilmiş olmasına dikkat edilmelidir.

Alt kısmı tel örgülü kasaların kullanıldığı üretimlerde; Kasanın alt kısmı kontrplak ile kapatılır. Solucan yatağına solucanlar ve az miktarda besin eklenir. Alt seviye doldurulduktan sonra, üzerine ikinci kasa konulur ve solucan yatağı besin bu kasaya eklenir. İkinci kasa doldurulduğunda aynı işlem üçüncü kasa için yapılır. Böceklerin uzaklaştırılması ve nemin tutulması için kasalar kapak ile kapatılabilir. Üçüncü kasa doldurulduğunda ilk kasada zengin tamamlanmış vermikompost kalmış olmalıdır. Birinci kasada sadece birkaç solucan kalmalı, onlarda sisteme geri eklenmelidir. Birinci kasa tekrar en üste yerleştirilerek yatak malzemesi ve besin ile doldurulmalıdır ve böylece işlem tekrar edilir. Kompost solucanları bulundukları kasadaki besini tükettikçe üzerindeki doldurulan kasaya yer değiştireceklerdir. Böylece alt seviyelere ait kasalarda solucanlar azalacak, solucan dökümleri (vermikompost) kalacaktır.

10.2. Zemin Yataklı ve Sıralı Yığınlar Halinde Vermikompost Üretimi

Doğrudan toprak üzerine açık alanlardaki sıralı yığınlar halinde veya toprak zemininden derinliği 50-60 santimetre, genişliği ise 2,4 metre boyutlarında kazılmasıyla oluşturulan yataklarda vermikompost üretim teknikleri ticari olarak vermikompost üretim faaliyeti arasında yer almaktadır. Vermikompost faaliyetinde sıralı yığınlar halinde uygulanması toprağın kazılarak oluşturulduğu yataklarda ya da arazinin boyutlarına

göre yığınların uzunluğu ayarlanmaktadır. Üretimin toprağın üzerinde gerçekleştiğinden ötürü, kompost solucanlar düzenli beslendiği takdirde bulundukları yığını terk etmemektedir. Kompost yığınlarının toprak ile teması gerçekleştiğinden ötürü toprak bünyesindeki doğal olarak varlığını sürdüren solucan ırklarıyla kompost solucanları çiftleşebilmekte ve meydana gelen yeni oluşan solucan generasyonunun vermikompost üretmesi azalabilmektedir.

Açık alanda uygulanan üretim faaliyetlerinde yığınlara serilen organik malzemenin nem içeriği buharlaşma ya da sızıntı olayları nedeniyle hızlı değişimler gözlenebilmektedir. Dolayısıyla bu tip vermikompost üretim faaliyetlerinde ortam nemi dikkatlice kontrol edilmelidir. Vermikompost yığınları oluşturulurken aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir;

1. Kompost yığınlarının karıştırılması gerekmemekte olup, düzenli sulanıp yığın üzeri kapatılmalıdır. Kompost ortamında nem içeriğinin %70 değerinin üstü olan şartları tercih eden solucanlar %60'in altındaki değerlerde gelişim gösterememektedirler. Ayrıca kompost yığınlarının nemi koruması için kapatılabilir. Kompost yığınları oluşturulurken kullanılacak malzemenin çok ıslak olduğu durumlarda, yığının iyi kaplanmasıyla üretimin tamamlanması için yeterli nem tutulmuş olacaktır. Üretimin yeterli yağış olan bölgede yapıldığında, kaplama malzemesi olarak halı kullanılarak kompost malzemesinin bünyesine nemin girişi sağlanmış olur. Yağışın yeterli olmadığı durumlarda plastik kaplama malzemeleri tercih edilmesiyle nemin uzun zaman korunması sağlanır.

2. Sert kış olaylarının yaşandığı bölgelerde küçük ölçekli vermikompost çalışmaları denenmelidir. Sert kış olaylarının yaşandığı bölgelerdeki yığınlarında bulunan solucanlar, kış şartlarına dayanabilmekte ve bahar aylarında tekrar yığınlara dönmektedir. Bu şartlardaki bölgelerde ilk olarak pahalı ve büyük ölçekte denemelerin kurulmasından kaçınılmalıdır. Hasır gibi yalıtkan kaplama malzemeleriyle bir yere kadar yığınlar korunmaktadır. Yüksek azot içeriğine sahip besinlerin kullanımı sert kış şartlarında bile iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

3. Azot takviyesi uygulanabilir. Solucanların çekilebileceği alanlar olması şartıyla (örnek olarak besinsiz 20 cm derinliğinde yatak temeli gibi) kompost karışımına azot içeriği yüksek besinler eklenebilir. Azot içeriği yönünden zengin malzeme, sıcaklığı yüksek tutarak kış şartlarında solucanların sıcak kalmasına olanak sağlamaktadır.

10.3. Beton veya Plastik Yataklı Havuzlarda Vermikompost Üretimi

Açık alanda yapılan üretimin toprağın üzerinde gerçekleştiğinden kompost solucanları düzenli beslendiği takdirde bulundukları yığını terk etmemektedir. Kompost yığınlarının toprak ile teması gerçekleştiğinden toprak bünyesinde doğal olarak varlığını sürdüren solucan ırklarıyla kom-

post solucanları çiftleşebilmekte ve meydana gelen vermikompost üretim verimi düşük yeni solucan jenerasyonunun engellenmesi ve açık alanlardaki kompost yığınlarının buharlaşma gibi olaylar ile nem içeriğindeki dalgalanmaların önlenmesi için, beton ya da plastik malzemeden imal edilmiş havuzlarda ve kompost yığının doğrudan güneş ışığına maruz kalmayacak şekilde üzerinin kapatılması sağlanarak, vermikompost üretim faaliyetinin gerçekleştirilmesidir. Bu tip üretimde küçük yataklarda üstten beslemeyle üretime benzerlik göstererek solucanların beslenmesi ve kompost üretimi için üst kısımdan düzenli beslenme yapılmaktadır.

10.4. Sürekli Akış Reaktörleri İle Yerden Yüksek Yataklarda Vermikompost Üretimi

Vermikompost üretim faaliyetinde kompost solucanları genel olarak yüzey kısma yakın yaklaşık 10-15 cm arasındaki alanda vermikompost oluşumunu gerçekleştirmekte ve zaman içerisinde yataklardaki yığının alt taraflarında oluşumunu tamamlamış vermikompost birikmektedir. Bu sistemde de solucanlar üstten beslenerek, solucanların taze besine yönelmelerini sağlayarak alt kısımlarda biriken vermikompost toplanmaktadır. Günümüzde sağlanan teknolojik gelişmelerin sayesinde tamamen otomasyon sistemleri kullanılarak solucanların üst kısımdan beslenmesi ve alt kısımlarda biriken vermikompostun toplanması gerçekleştirilir Bu durum işletme için tesis maliyetini artırmaktadır ve işgücünü azaltmaktadır. Taze solucan besin malzemesi üst kısımdan otomatik olarak yapılmakta ve vermikompost sistemin alt kısmına konumlandırılmış ızgaradan hidrolik prensipte çalışan mafsallı kol vasıtasıyla çıkarılmaktadır. “Sürekli akış” ifadesi solucanların yatak içerisinde rahatsız edilmediğinin bir ifadesidir. Bu tip sistemlerde kompost malzemeleri yukarıdan dâhil edilip reaktör boyunca (solucanların bağırsakları dâhil) akarak alt taraftan çıkışı (genel olarak *E. fetida* türü solucanlar yüzeyde beslenmekte ve dışkılarını sistemin alt kısımlarına bırakmaktadır) gerçekleşmektedir. Düzgün olarak yönetilen 0.3 m yüzey alanına sahip olan sürekli akış ünitesi günlük 2-3 ton organik atık işlemektedir.

11. TOPRAK SOLUCANLARININ KULLANIM ALANLARI

Solucanların tıbbi alanda kullanımına ilişkin bilgiler M.S. 1340 yılına kadar uzanmaktadır (Reynolds ve Reynolds, 1973). Solucan dokuları kullanılarak elde edilen ekstraklar birçok hastalığın tedavi edilmesinde kullanılmaktadır. Elde edilen solucan ekstraklarının antioksidant, antikanser, antibakteriyel ve iltihap sökücü özelliği olan makromolekülleri barındırdığı yapılan birçok çalışmada saptanmıştır (Gdiša vd, 2013). Burma ve Hindistan'da alternatif tıbbı uygulamaları gerçekleştiren halk hekimleri solucanları kullanmaktadır. Burma'da solucanlar külleşme gerçekleşince-

ye kadar kapalı bir kap içerisinde ısıtılmaktadır. Solucan külleri, diş tozu olarak kullanılabilmekte ya da içerisine kavrulmuş demir hindi tohumları ve fındık karıştırılarak lezzeti değiştirilebilmektedir. Ayrıca Burma'da solucanlar suda bekletilerek elde edilen sıvı içerisine çiçek hastalığı olan kişinin banyosu yaptırılarak uygulanan tedavi yöntemi mevcuttur.

İran'da ise solucanlar, mesane taşının boyutunu azaltmak ya da düşürmek için ekmek ile pişirilip tüketilmiştir. Solucan küllerine gül yağı eklenerek saçların uzaması amacıyla saçlara uygulanmıştır. Delaware'in Nanticoke Kızılderilileri, romatizma ağrısında uygulanan bir ilaçta solucan kullanmışlardır Biyokimyacı araştırmacıların solucanların lipitleri üzerine yaptıkları araştırmalarda terapötiklere giren solucan yağ asitlerini keşfetmişler ve bilim adamları tarafından solucanlardan bronşiyal özelliğe sahip dilatasyon maddesi izole edilmiştir. Bu çalışmalar Kızılderililer 'in keşiflerini tıbbi inançlarında bilinçli olarak uygulandığını göstermektedir (Reynolds ve Reynolds, 1973).

Anadolu'da pek çok halk hekimi tedavilerinde solucanları kullanmışlardır. Bu uygulamalardan bazıları, Adana bölgesinde mantar enfeksiyonlarının tedavisi için solucanlar kullanılmaktadır (Özgen, 2007). Manavgat yöresinde gızıl (kızamık) hastalığı gelişen yeni doğanlarda solucanlar çocuğa ait bir beze yerleştirilir ve kına eklenerek bebeğin göbeğinin üzerine yerleştirilir (Göreç, 2019). Ayrıca deri kesiği ve derin yaralanma olaylarında, yara üzerine ölü solucan koyularak temiz bezle sarılmaktadır. Batı Visayas yerlileri tarafından kanın inceltilmesi amacıyla kullanılan solucan püresinden elde edilmiş ekstraktın kan pıhtılaştırma etkisi olduğu saptanmıştır. Japon bilim adamı tarafından 1986 yılında "lumbrokinaz" adlı enzimin izole edildiği ve bu enzimin insanın kan dolaşımındaki kan pıhtılarını çözme etkisinin olduğu belirlenmiştir (Guerrero, 2006).

Afrika, Güney Amerika, Japonya, Çin, Papua Yeni Gine ve Yeni Zelanda yerlileri tarafından gıdalarında kullanılmıştır (Guerrero ve Guerrero 2006). Son yıllarda, Batı Avrupa ve Güney Doğu'daki bazı ülkeler konserve solucanlar, mantar-solucanlar ve solucan bisküvileri ve ekmek gibi çeşitli solucan ürünleri üretmiştir. Solucanlar yapıları gereği protein ve çeşitli amino asit içeriği bakımından zengin canlılardır. Solucan yemeği kuru ağırlık bakımından % 54,6-59,4 oranında protein içeriğine sahiptir. Amino asit bileşimi ve protein içeriği bakımından solucanlar balık unu, inek sütü ve soya küspesinden daha iyi değerlerdedir. Solucan yemeğinin ham yağ içeriği % 7,34 civarındadır. Solucan proteini serbest amino asitlere kolaylıkla hidrolize olmaktadır. Hidrolize edilmiş solucanlarla elde edilen vücut sıvılarında litre başına % 9,34 oranında protein ve serbest amino asit içeriği 78,73 mg oranında bulunmaktadır. Ayrıca solucanlar yüksek vitamin ve mineral içeriğine sahiptir. Bu durumdan dolayı gıda kaynaklarının sınırlı olması durumunda insan beslenmesi için önemli hayvansal

kökenli protein kaynağı olması muhtemel olmaktadır (Sun ve Jiang, 2017).

Solucan unu hayvan yemi olarak kullanılmakta olup, yüksek oranlarda protein ve uygun aminoasit ve yağ asitleri barındırmaktadır. Canlılar üzerinde kilo aldırma etkisi bulunan solucan unu ek takviye olarak da kullanılabilmektedir. Solucan unu kültür balıkları başta olmak üzere diğer hayvanlarda kullanılabilmektedir. Karabulut (2016), kültür ortamından temin edilen 37 adet canlı durumdaki Kırmızı Kaliforniya Solucanının üzerindeki toprak kalıntıları ve 28ºC sıcaklıkta sindirim içeriğinden arındırıldıktan sonra 105ºC'de kurutma işlemine tabi tutulmuştur. 8,51 g yaş solucanın kurutma işlemi ile 1,24 g solucan unu üretilmiştir. Akvaryum veya balık çiftliklerinde canlı veya kuru olarak solucanlar besin olarak kullanılabilmektedir.

12. VERMİKOMPOSTUN ÖZELLİKLERİ

Vermikompostun özellikleri aşağıda verilmiştir (Tavuç ve Özçelik, 2014):

- Yapısında barındırdığı yüksek oranda faydalı mikroorganizma, uygulandığı toprakta bulunan zararlı mikroorganizmaları baskılayarak zararlı etkilerini ortadan kaldırmaktadır.
- Tamamıyla kokusuzdur.
- Zararlı mikroorganizmalar tarafından hastalanmış olan bitkilerin iyileşmesini sağlamaktadır.
- Kimyasal ilaç ve gübreler ile verimliliğini kaybetmiş ve çoraklaşmış olan toprakların hızla canlanmasını, iyileşmesini sağlamaktadır.
- Toprağın yapısını düzenleyerek su tutma kapasitesini arttırmaktadır
- Aşırı kuraklığa ve don olaylarına karşı bitkinin köklerini korumaktadır
- Dikilen fidanların tutma yüzdesini arttırmaktadır
- Yapısında bulunan humik ve fulvik asit ile bitkilerde köklendirmeyi arttırmaktadır
- Topraktaki etkisi 1-3 yıl arasında devam etmektedir
- Yüksek su tutma kapasitesinden dolayı sulama miktarını azaltmaktadır
- Tamamen organik atıklardan üretildiği için yeraltı ve yerüstü su kaynaklarını, atmosferi ve toprağı kirletmemektedir.

- Üretilen gübrenin diğer organik gübreler gibi eskitilmesine gerek yoktur.
- Vermikompost tamamen organik ve hiçbir şekilde kimyasal madde içermemektedir.
- Bitkilerde 2-3 hafta erkencilik sağlamakta ve ürün verimini arttırmaktadır.
- Üretilen ürünlerin raf ömrünü arttırmaktadır.
- Vermikompost ile yetiştirilen bitkiler daha canlı renklere sahip olmaktadır.
- Toprağın yapısını gevşeterek köklerin büyümesine ve gelişmesine destek olmaktadır.
- Toprak solucanları bulundukları malzemeyi havalandırdığından, oksijence doygun vermikompost üretimi gerçekleşir.
- Aşırı kimyasal gübre ve tarım ilacı kullanımından kaynaklanan toprak kirliliğinin etkilerini ortadan kaldırır.
- Klasik gübrenin uygulanmasından sonraki yanma ile bitki kökleri zarar göremektedir. Vermikompost bu olasılığı içermemektedir.
- Vermikompost bünyesinde zararlı ot tohumu, parazit yumurtaları, bitkiyi hasta eden mikroorganizmalar barındırmamaktadır.
- Vermikompostun içyapısı gereği besin maddelerini sulama ve yağmur suyuna karıştırmamaktadır. Dolayısıyla yeraltı suları korunur.

13. VERMİKOMPOSTUN GELENEKSEL KOMPOSTTAN FARKLI TARAFLARI

Vermicompost ürünü ideal gözenekli, havalandırılmış, iyi drenaj ve nem tutma kapasitesi olan ince yapılı özelliğe sahip bir malzemedir. Vermikompost uygulandığı toprakta dengeli mineral özelliği sağlar ve bitkilerin topraktan besin kullanılabilirliğini kolaylaştırmaktadır. Düşük teknolojili vermikompost sistemleri küçük ölçekli çiftliklerde veya hayvancılık faaliyeti gösteren işletmelerde kolaylıkla uyarlanabilen ve yönetilebilen sistemlerdir (Dominguez ve Edwards, 1997).

Dominguez ve Edwards (1997) tarafından yapılan laboratuvar çalışmaları vermikompostlama süreci yüksek oranlarda patojenik mikroorganizmaları azaltması bakımından kompostlamadan farklı olmadığını ortaya koymaktadır. Ancak kompotlama sürecinde termofilik aşamanın patojenik mikroorganizmaları ortadan kaldırdığı kabul edilmektedir. Ancak yapılan çalışmalar vermikompostlama sürecinde patojenik mikroorganizmaların azaldığı saptanmıştır.

Bitki büyümesine olumlu özellikleri olan rizosferik bakterileri (*Pseudomonas, Rhizobium, Bacillus, Azosprillium, Azotobacter* vb.) toprak solucanlarının sindirim sistemlerindeki ideal mikro ortamlardan geçerek aktifleşmekte ve çoğalabilmektedir (Sinha vd, 2010). Antibiyotikler, flüoresan pigmentleri, sideroforlar ve fungal hücre duvarı bozundurucu enzimler, yani, kitinaz ve glukanaz gibi maddeler simbiyotik bakteriler tarafından üretilerek fungal büyümenin baskılanmasında önemli etkisi olmaktadır (Wang vd, 2006; Ravindra vd, 2008; Pathma ve Sakthivel, 2012).

Tutar (2013) tarafından yapılan çalışmada vermikompostun (*Eisenia fetida* türü kullanılarak) etanol ve kloroform solventleriyle hazırlanan ekstreleri, bitkilerde hastalık yapıcı etkisi olan patojenik 9 adet bakteri ve 9 adet fungus türüne karşı etkisinin saptanması için "disk difüzyon" ve "MIC" testleri yapılmıştır. Sonuç olarak toprak solucanlarındaki enfeksiyonlara direnç gösteren immun sisteminin dolaylı olarak etkileşimde oldukları bölgedeki pek çok toprak kaynaklı olan bitki patojeni bakteri ve funguslar üzerinde etkili olabileceği gözlemlenmiştir.

Konveksiyonel kompostlamada aktif faz süresini oluşturan termofilik aşama organik atığın yapısal özelliğine ve kompost kontrol parametreleri (havalandırma ve sulama) gibi faktörlere bağlı olmaktadır. Vermikompost sürecinde ise organik atığın özelliği itibariyle toprak solucanlarının atığın taze ayrışmayan katmanlarına ilerlemesi ve mikrobiyal bozunmada aktif faz sürecinde etkilidir. Bu nedenle aktif faz süreci toprak solucanının türüne ve komposttaki yoğunluğuna, mikrobiyal faaliyetin yoğunluğuna ve toprak solucanlarının kompost materyali alım hızına bağlı olmaktadır (Dominguez ve Edwards, 1997).

Kompostlama sürecinde havalandırma ve karıştırma mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri için önemli unsurdur. Vermikompostlama sürecinde ise toprak solucanları doğaları gereği kompost materyali içinde hareket ettiklerinde havalandırma gerçekleştirilir. Kompostlama süreci mezofilik sıcaklarda başlayıp termofilik sıcaklıklarda tamamlanırken vermikompostlama mezofilik sıcaklık aralıklarında gerçekleşir. Mezofilik safhayı içeren vermikompost, termofilik komposta kıyasla daha kısa sürelerde olgunlaşmakta olup, ürün ve işlem yönünden iyi sonuçlara ulaşılabilmektedir (Dominguez vd. 1997).

Vermikompost ürünü kompost ürününe kıyasla daha yüksek azot, fosfor ve potasyum oranlarına sahiptir. Ayrıca vermikompost fiziksel yapısı itibariyle besin maddelerini bünyesinde daha uzun süre muhafaza etmektedir ve bitkiler besin maddelerini vermikompot malzemesinden daha kolay temin etmektedir (Sinha vd. 2010). Kompost sürecinde anaerobik şartların oluşması ile koku problemleri meydana gelebilmektedir. Vermikompost sürecinde toprak solucanları materyali karıştırarak homojen olarak havalandırılmasını sağlamaktadır. Kompostlama sürecinde ağır

metaller ve antibiyotik maddelerin varlığı mikroorganizmaları inhibe edici unsurlar arasındadır. Ancak toprak solucanları ekotoksisiteye dirençli canlılardır ve bulunduğu ortamları iyileştirmektedirler.

Klasik kompostlama sırasında organik ksenobiyotiklerin bozulmasına yol açarken, hacim ve hacim azalması nedeniyle ağır metal konsantrasyonlarını yoğunlaştırabilmektedir (He vd, 2016). Bu nedenle, ağır metallerin hareketsiz hale getirilmesi veya uzaklaştırılması, gübre veya toprak değişikliği olarak kanalizasyon çamurunun geri dönüşümü için çok önemlidir (Wu vd, 2018). Vermikompostlama organik kirleticilerin bozunmasında ve ağır metallerin arıtma çamuru içerisinden uzaklaştırılması bakımından etkili olduğu kanıtlanmıştır (Gupta vd, 2005; Rosińska ve Karwowska, 2017; Khan, 2019) .

Toprak solucanına ait ağır metal biriktirme kapasitesi, ağır metallerin toprak solucanlarını üzerinde göstereceği toksisite, ağır metal türü ve toprak solucanın ekolojik kategorisi gibi faktörlere bağlı olarak, solucanın vücut dokularındaki ağır metal birikimi oranı değişkenlik göstermektedir (Kara vd, 2016).

Vermikompostlama ortamı için % 70 ile % 90 oranında nem içeriğine gereksinim duyulurken (Edwards, 1985), kompostlama ortamı için % 40 ile % 60 oranında nem içeriğine sahip olmalıdır (Golueke, 1991). Vermikompostun değerli olmasındaki temel sebeplerden biriside, bitkilerin ihtiyaç duyduğu besin elementlerinin çözünmüş ve basit formda bünyesinde barındırması ve bitkilere faydalı etkileri bulunan bakteri, fungus gibi pek çok mikroorganizmayı barındırmasıdır. Solucanların sindirim faaliyeti sonucunda dışarı atılan solucan dökümlerindeki mikro besin elementleri kolloidal formda bulunduğundan topraktan bitkiye kolaylıkla geçişi sağlanır. Vermikompostunun içerisindeki organik bileşikler bitkilerin hormon aktivitesini hızlandırarak hastalıklara karşı direnci kuvvetlendirmektedir. Bu duruma ek olarak, simbiotik ve asimbiotik azot bağlacı işlevleri bulunan bakteriler bulunduğundan, toprağın azot kazancı yükselmektedir (Karaçal ve Tüfenkçi, 2010).

Solucanlar beslenirken, bulundukları ortamdaki patojen özellikteki bakterileri, nematodları, pek çok yabancı ot tohumu ve mantarların tüketimini gerçekleştirmektedirler. Bu duruma ek olarak solucan sindirim sisteminden geçirilen zararlı maddelerin birçoğu imha edilmektedir. Solucanların sindirim sisteminde salgılanan maddeler etkileşim halinde olduğu ortamda bulunun birçok zararlı canlının yapısını bozmaktadır. Yapısı bozulan zararlılar farklı mikroorganizmalar tarafından hızlıca tüketilebilmektedir. Solucan mukusuyla kaplanan besin elementleri toprağa yavaşça salınmaktadır. Dolayısıyla toprağın besin elementlerinin kaybını azaltmaktadır (Yüksek vd, 2019).

Yağmur vd, (2013) tarafından, vermikompost, uygulandığı toprağa besinleri yavaş salınımlı şekilde transfer etmesi ve toprağa sağladığı olumlu fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkileri nedeniyle son zamanların en rağbet gören organik gübre konumunda olduğuna değinilmiştir. Vermikompostlama, diğer kompost sistemlerine kıyasla daha kaliteli ürünün elde edilmesine olanak sağladığı ve stabilize edilmiş bir ürün olduğu belirtilmiş olup, bitkilerin besin alımını kolaylaştırdığı belirtilmiştir (Suthar, 2009). Malzeme miktarına ve parça boyutuna göre değişmekle birlikte vermikompostlama, kompostlamaya kıyasla daha kısa sürelerde organik gübre elde etmeye olanak sağlamaktadır.

Selladurai vd, (2009)'a göre, vermikompost prosesi zararlı arıtma çamurlarının besin açısından zengin, toksik içermeyen materyale dönüşmesi için potansiyel bir teknoloji olabilir, ayrıca belediye atık yönetimine yeni bir biyolojik yaklaşım sağlamaktadır.

14. VERMİKOMPOSTLAMA VE VERMİKOMPOST UYGULAMALARI HAKKINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Arancon vd, (2004) 4,2 m^2'lik sahada 5 ve ya 10 ton/ha miktarlarında vermikompost uygulamaları yapılarak çilek (*Fragaria ananasa*) bitkisinin gelişimi ve verimi incelenmiştir. Çalışmada kullanılacak vermikompostun analizi doğrultusunda vermikompost ilave edilmiş araziler için önerilen toplam toplam azot, fosfor ve potasyum oranlarını elde etmek için ilave olarak uygun miktarda inorganik gübre vermikomposta eklenmiştir. Elde edilen karışım uygulanacak alanın 10 cm derinliğine nakil edilmiştir. Her bir yatağa yirmi dört bitki, üç sıra halinde ve bitkiler arasında 38 cm aralıklarla ekilmiştir. Sonuç olarak yetiştirilmiş çilek bitkisinin yaprak alanında ve bitki kök biyokütlesinde % 37, çiçek oluşumunda % 40 ve pazarlanabilir meyve miktarında % 35 oranlarında artışların meydana geldiği bildirilmiştir.

Azarmi vd, (2008) tarafından vermikompostun toprağın kimyasal ve fiziksel özelliklerine etkisi domates (*Lycopersicum esculentum*) tarlasında incelendiği çalışmada; 4 grup olarak toprağın 15 cm derinliğine farklı miktarlarda (0,5, 10, 15 t/ha) *Eisenia fetida* türü toprak solucanıyla üretilmiş koyun gübresi vermikompostu uygulanmıştır. Domates yetiştirilen uygulama topraklarındaki 3 aylık süreç sonunda 15 t/ ha oranında uygulanan örneğin kontrol örneğine kıyasla fiziksel yapısının (yoğunluk ve toprak gözenekliliği gibi) pozitif yönde değişim gösterdiği ve organik karbon, toplam azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, çinko ve mangan içeriğinde artış meydana geldiği saptanmıştır. Çalışmanın bir diğer sonucu ise vermikopost uygulanan toprağın uygulanma yapılmayan toprağa göre daha fazla tuzluluk ve pH seviyesinde azalma saptanmıştır.

Atiyeh vd, (2000) *Eisenia andrei* türü toprak solucanının taze inek gübresi üzerindeki biyokimyasal değişikliğinin değerlendirildiği çalışmada, 2500 g taze inek gübresi 8 adet deney kabına koyulmuş ve 4 adedin her birine 250 (yaklaşık 65 g) solucan eklemiş diğer kaplar ise solucansız kontrol olarak kullanılmıştır. Deney ortamı 24 ± 2 ° C'de 4 ay boyunca sürdürülmüştür. Deney süreci sonucunda solucanların pH'ı ve gübrenin nemini azalttığı belirtilmiştir. Ancak tüm deney kaplarında C: N oranı aşamalı olarak 36'dan 21'e düşmüştür. Ayrıca solucan aktivitesi ile mikrobiyal biyokütle azalmış, amonyum azotunun nitrata dönüşümü artmıştır. Araştırmacılar tarafından vermikompostun büyükbaş hayvan gübresine kıyasla bitkinin gelişimi hususundaki etkilerinin daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Küçükyumuk vd, (2014) mikoriza (bazı bitkiler ile simbiyotik özelliğe sahip mantar) ve vermikompostun ayrı ayrı ve karıştırılarak biber bitkisinin gelişimi üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada, mikoriza (0, 1 ve 2 g saksı $^{-1}$) ve vermikompost dozları (0, 2.5, 5 ve 10 g saksı$^{-1}$) uygulanmıştır. 44 günlük deney sürecinden sonra biber bitkisi içerisindeki besin elementi, biber bitkisi yaş ve kuru ağırlıkları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda mikoriza ve vermikompost kullanımının değerlendirilen parametrelere pozitif etkisinin olduğu belirtilmiştir. Ayrıca en yüksek doz mikoriza ve vermikompost kullanılarak hasat edilen biber bitkisinin daha fazla gelişme göstererek ve daha fazla besin elementi içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Zaller, (2007) tarafından turba alternatif olarak vermikompostun uygulanabilirlik potansiyelinin araştırıldığı çalışmada, turba % 0, 20, 40, 60, 80 ve 100 (v/v) oranlarında vermikompost eklenerek domates bitkisinin biyokütle miktarı, elde edilecek ürünlerin verimi, pazarlanabilir ürün kalitesi ve çimlenme süresi üzerine etkisi incelemiştir. Deneydeki 3 çeşit içerisinden 2'si % 100 oranında turba uygulanması sonucu erken çimlenme göstermiş, 1'inde ise % 100 oranında vermikompost uygulanmasıyla erken çimlenmiştir. Sonuç olarak vermikompost uygulamasının bitki gelişimi ve biyokütlesi üzerine olumlu etkilerinin olduğu saptanmıştır.

Sönmez vd, (2011) tarafından kış dönemi içerisinde ve açık tarla şartları altında yapılan çalışmada, 100 kg/da^{-1} ile 200 kg/da^{-1} vermikompost dozları, 1500 kg/da^{-1} ile 3000 kg/da^{-1} ahır gübresi dozları ve kontrol materyali kullanılarak toprağın verimliliğine, ıspanak bitkisinin gelişimi ve verimi üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak 3000 kg/da^{-1} ahır gübresi daha etkiliyken, vermikompostlu denemelerde kontrole kıyasla önemli artışların meydana geldiği belirlenmiştir. Ayrıca ıspanak bitkisinin demir içeriği ve ekim toprağının kalsiyum içeriği 200 kg/da^{-1} vermikompost dozu uygulanarak en iyi sonucu verdiği belirtilmiştir. Araştırmacılar uygulanan vermikompost dozlarının yeterli olmadığı ve daha iyi sonuçlar

için uygulanan vermikompost dozlarının yükseltilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Harstenstein ve Mitschell, (1978) tarafından aerobik veya anaerobik koşullarda oluşturulan arıtma çamurunun solucan aktivitesine etkisinin araştırıldığı çalışmada anaerobik şartlarda olgunlaştırılan arıtma çamurunun *Eisenia fetida* türü toprak solucanları üzerinde akut toksisitesinin bulunduğu belirtilmiştir.

Contreras-Ramos vd, (2005) tekstil endüstrisi ve evsel atıksularından oluşturulmuş arıtma çamuruyla yulaf samanı ve ahır gübresinin belli oranlarda elde edilen karışımlarının *Eisenia* fetida türü toprak solucanları kullanılarak elde edilen vermikompost kalitesi USEPA standartlarına uygunluğunun değerlendirildiği 2 aylık inkübasyon çalışmasında, karışımların metal içeriklerinin USEPA standartlarına uygun olduğu saptanmış olup, inkübasyon süresi sonunda bazı karışımlardaki kimyasal özellikler için stabilitenin sağlanamadığı belirlenmiştir. USEPA standartlarına uygunluğa ve stabiliteye sahip karışımın içeriğinin 200 g yulaf samanı, 1400 g arıtma çamuru ve 200 g ahır gübresi olduğu saptanmıştır.

Zhi-wei vd, (2019) farklı oranlarda pirinç kabuğu ve mutfak atığının 20-25 ° C derecede ve % 45'in altındaki nem koşullarında 45 günlük vermikompostlamanın yapıldığı çalışmada, fosfor ve potasyum içeriğinde önemli artışların meydana geldiği ve TOK (Toplam Organik Karbon) ve TN (Toplam Azot) içeriklerinde azalmanın meydana geldiği belirlenmiştir. Solucanların büyüme oranı (*Eisenia foetida*) tüm karışımlarda elde edilmiş olup, solucan büyümesi için en uygun karışım oranının pirinç samanı / mutfak atık için 3/2 değerinde olduğu ve aşırı mutfak atığı içeriğinin solucanların büyümesi üzerinde olumsuz etkiler yarattığı belirtilmiştir.

Paul vd, (2019) epigeik solucanlar ile sebze atığı, talaş tozu ve inek gübresinin vermikompostlanması sırasında farklı miktarlardaki biyochar dozunun kompostlama ve ağır metaller üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada, sonuç olarak biochar uygulanması, elektriksel iletkenliği, azot içeriğini, NO_3-N ve besin değerini arttırmış olup CO_2 üretiminin azaltılmış olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar tarafından ağır metallerin biyochar uygulanması nedeniyle gelişen organik materyalin parçalanması sırasında immobilizasyonun sağlandığı belirtilmiştir.

Ananthavalli vd, (2019) önceden ayıklanmış farklı türdeki yosunlar ile inek gübresinin (1:1) oranında elde edilen karışımların *Perionyx excavatus* türü toprak solucanıyla 60 günlük uygulanan vermikompostlama çalışmasında, vermikompostun pH'ında düşük oranlarda azalma gözlenirken, elektrik iletkenliğinde önemli bir artışın meydana geldiği belirtilmişitir. Toplam NPK içeriği solucan kontrole göre vermikompostta artış meydana gelmiştir. Vermikompostlardaki toplam mikrobiyal populasyon,

tüm deniz yosunu ve inek gübresi karışım kombinasyonlarının başlangıçtaki durumuna kıyasla önemli ölçüde yüksektir. *Perionyx excavatus* türünün deniz yosunu ve inek gübresi kombinasyonları içerisinde büyümesi ve çoğalması ve bu karışımların besin açısından zengin vermikomposta dönüştürülmesi için uygun şartların olduğu saptanmıştır.

Atmaca, (2012) tarafından vermikompostun fide (domates ve hıyar) yetiştirmeciliği üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışma, fideleri organik ve konvansiyonel şekilde sadece torf, sadece vermikompost ve farklı oranlarda vermikompost dozlarıyla elde edilen karışımlar ile gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar üç dönemde (2 bahar ve 1 sonbahar) yapılmıştır. Fide yetiştiriciliğindeki bazı kalite değerlerindeki farklılığın yetiştirme dönemine, yetiştirme sistemine ve türe bağlı olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda üç dönem içerisinde konvansiyonel domates fidesi üretimi için sadece vermikompost uygulanarak oluşturulan grupta en düşük fide boyu elde edilirken, organik fideler için ilkbahar çalışmalarında torfa kıyasla vermikompost karışım uygulamalarında daha yüksek değerde bitki boyunun elde edildiği gözlemlenmiştir. Yüksek oranda vermikompostun sonbaharda domates ve ilkbaharda ise hıyar için daha yüksek oranlarda bitki biyokütlesi elde edilmiştir. Vermikompost oranlarının artışı kök biyokütlesini de arttırmıştır.

KAYNAKLAR

Agarwal, S. (1999). Vermiculture biotechnology for ecological degradation of kitchen wastes and growth of vegetable crops on the biodegraded waste products (Vermicompost). ***University of Rajasthan***, PhD Thesis, Jaipur, India, 27-28.

Ananthavalli, R., Ramadas, V., John Paul, J. A., Karunai Selvi, B. and Karmegam, N. (2019). Seaweeds as bioresources for vermicompost production using the earthworm, *Perionyx excavatus* (Perrier). ***Bioresource Technology***, 275, 394–401.

Arancon, N. Q., Galvis, P. A. and Edwards, C. A. (2005). Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicompost", ***Bioresource Technology***, 96, 1137-1142.

Arslan Topal, E. I. ve Topal, M. (2013). Kompost Standartları Üzerine Bir Derleme. ***Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi,*** Cilt 2(2): 85-108.

Asha, A., Tripathi, A. K. and Soni, P. (2008). Vermicomposting: A Better Option for Organic Solid Waste Management. ***J Hum Ecol***., 24:59–64.

Atiyeh, R. A., Dominguez, J., Subler, S. and Edwards, C. A. (2000). Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. ***Pedobiologia***, 44 (6) :709–724.

Atmaca, L. (2012). Fide yetiştirme ortamı olarak vermikompost kullanımının etkileri. Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış), ***Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı***, İzmir 1-7.

Azarmi, R., Giglou, M. T. and Talesmikail, R. D. (2008). Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (Lycopersicum esculentum) field. ***African Journal of Biotechnology***, 7 (14): 2397-2401.

Başçetinçelik, A., Öztürk, H. H., Kaya, D., Kaçira, K., Ekinci, K. ve Karaca, C. (2006). Türkiye'de Biyokütle Enerjsi Kullanımını Geliştirme Olanakları. ***VI: Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu***, Mayıs, Isparta, 25-26.

Banu, J. R., Logakanthi, S. and Vijayalakshmi, G. S. (2001). Biomanagement of paper mill sludge using an indigenous (*Lampito mauritii*) and two exotic (*Eudrilus eugineae* and *Eisenia foetida*) earthworms. ***J Environ Biol***. 22:181–185.

Baldwin, K. R. and Greenfield, J. K., (2006). Composting on Organic Farms. ***North Carolina Cooperative Extension Service***, July.

Barral, M. T. and Paradelo, R. (2011). Trace elements in compost regulation: The case of Spain. ***Waste Management*** 31, 407-410.

Bellitürk, K. (2018). Vermicomposting in Turkey: Challenges and opportunities in future. ***Eurasian Journal of Forest Science***, 6(4): 32-41.

Contreras-Ramos, S.M., Escamilla–Silva, E.M. and Dendooven, L. (2005). Vermicomposting of biosolids with cow dung and oat straw. ***Biol. Fertil. Soils***., 41: 190-198.

Dominguez, J. and Edwards, C. A. (1997). Comparison of vermicomposting and composting. ***BioCycle*** 38(4):57-59.

Edwards, C. A., Burrows, I., Fletcher, K. E. and Jones, B. A. (1985). The use of earthworms for composting farm wastes. In composting of Agricultural and Other Wastes. ***JKR Gasser (Ed.)***, Elsevier, Amsterdam, 229-242.

Edwards, C. A., Arancon, N. Q. and Sherman, N. (2011). Introduction, history, and potential of vermicomposting technology. Vermiculture Technology. Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management. ***CRC Press***, 11–21.

Erdin, E. (2019). Türkiye'de Kompost Üretimi Ders Notu. ***Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü***, İzmir.

Graves, R. E. and Hattemer, G. M., Stettler, D., Krider, J. N., and Chapman, D. (2000). Chapter-2 Composting, Environmental Engineering National Engineering Handbook. ***The United States Department of Agriculture***, USA, Washington, 2-17.

Golueke, C. G. (1991). Understanding the process. In: Staff of BioCycle (Eds.). The BioCycle Guide to the Art and Science of Composting. ***The JG Press, Inc.,*** Emmaus, Pennsylvania, USA, 14-27.

Göreç, C. (2019). Manavgat Yöresinde Halk Hekimliği Uygulamaları. ***SUTAD***, (46): 195-219.

Guerrero R. D., III. n.d. (2006). The culture and use of earthworms as animal protein source in the Philippines. ***Philippine Council for Aquatic and Marine Resources and Development***.

Guerrero, L. A and Guerrero, R. D. III. n.d. (2006). Eugeton- a new natural health product from earthworms. In: Guerrero R. D. III. n.d., Guerrero-del Castillo MRA (eds.). Vermi Technologies for Developing Countries. Proceedings of the International Symposium-Workshop on Vermi Technologies for Developing Countries. Nov. 16-18, 2005, Los Baños, Laguna, Phils. ***Philippine Fisheries Association, Inc.*** 145-147.

Gupta, S. K., Tewari, A., Srivastava, R., Murthy, R. C. and Chandra, S. (2005). Potential of *Eisenia foetida* for sustainable and efficient vermicomposting of fly ash. ***Water Air Soil Pollut***. 163(1–4) 293-302.

Günay, Ü. ve Dursun, Ş. (2018). Arıtma Çamuru ve Zirai Atıkların Kompostlanarak Tarım Arazilerinde Kullanımı. ***Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi***, Sayı 1(1): 14-19

Hand, P. (1988). Earthworm Biotechnology; In: Greenshields, R. (ed.) Resources and Application of Biotechnology: The New Wave. ***MacMillan Press Ltd.***, US.

Harstenstein, R, and Mitchell, M. J. (1978). Utilization of earthworms and microorganisms in stabilization, decontamination and detoxification of residual sludges from treatment of wastewater, Final Report, US Department

of Commence. ***National Technical Information Services***. PB 286018, Springfield, Virginia, 34.

He, X., Zhang, Y., Shen, M., Zeng, G., Zhou, M. and Li, M. (2016). Effect of vermicomposting on concentration and speciation of heavy metals in sewage sludge with additive materials. ***Bioresource Technology***, 218, 867–873.

Hosaad, K. H. (2009). Case study: Vermiculture and vermicomposting technologies use in sustainable agriculture in Egypt. ***Agricultural Research Center***, Egypt, 1-2.

https://web.extension.illinois.edu/homecompost/history.cfm,

http://www.yildiz.edu.tr/~kanat/2/kompost.html

https://www.epa.gov/sustainable-management-food/reducing-impact-wasted-food-feeding-soil-and-composting

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (1984).Trace Elements in Soils and Plants. ***CRC Press Boca Raton***, 315.

Kara, E. E., Taciroğlu, B. ve Sak, T. (2016). Toprakta Ağır Metal Gideriminde Solucanların Kullanımı. ***KSÜ Doğa Bil. Derg.***, 19(2), 201-207.

Karaçal, İ. ve Tüfenkçi, Ş. (2010). Bitki Beslemede Yeni Yaklaşımlar ve Gübre-Çevre İlişkisi. ***Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi***, 257-268.

Khan, M. B., Cui X., Jilani, G., Lazzat, U., Zehra, A., Hamid, Y., Hussain, B,, Tang, L., Yang, X. and He, Z. (2019). Eisenia fetida and biochar synergistically alleviate the heavy metals content during valorization of biosolids via enhancing vermicompost quality. ***Science of The Total Environment***, 684, 597–609.

Komarowski, S. (2001). Vermiculture for Sewage and Water Treatment Sludge. ***Water,*** 28(5):39-43 January.

Küçükyumuk, Z., Gültekin, M. ve Erdal, İ. (2014). Vermikompost ve Mikorizanın Biber Bitkisinin Gelişimi ile Mineral Beslenmesi Üzerine Etkisi. ***Ziraat Fakültesi Dergisi,*** Cilt 9, Sayı 1, 51- 58.

Martınez, A. T., Camerero, S. and Gutıerrez, A. (2001). Studies on wheat lignin degradation by Pleurotus species using analytical pyrolysis. ***Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.***, 59, 401-411.

Misra, R. V. and Roy, R. N. (2003). On-Farm Composting Methods. ***Food And Agrıculture Organization Of The United Nations (F.A.O.)***, Rome, 16-17.

Özgen, Z. N. (2007). Adana (Merkez) Halk Hekimliği Araştırması. Yüksek Lisans Tezi. ***Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Türk Dili Ve Edebiyatı Ana Bilim Dalı***, Adana, 56.

Öztürk, M. (2017). Hayvan Gübresi ve Atıklardan Kompost Üretimi. ***Çevre ve Şehircilik Bakanlığı***, Ankara, 7-17, 50-71.

Pathma, J. and Sakthivel N. (2012). Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. ***Springerplus***, 1:26.

Paul, S., Kauser, H., Jain, M. S., Khwairakpam, M. and Kalamdhad, A. S. (2019). Biogenic Stabilization and Heavy Metal Immobilization During Vermicomposting of Vegetable Waste with Biochar Amendment. ***Journal of Hazardous Materials***, 12136.

Ravindra, N. P., Raman, G., Badri Narayanan, K. and Sakthivel, N., (2008). Assessment of genetic and functional diversity of phosphate solubilizing *Fluorescent pseudomonads* isolated from rhizospheric soil. ***BMC Microbiol***., 8:230.

Roba, E., Labriga, L., (2015). Belediyeler İçin Kompost Rehberi. ***Buğday Ekolojik Yaşamı Destekleme Derneği***, İstanbul, 15-24.

Rodale, J. I., Rodale, R., Olds, J., Goldman, M. C., Franz, M. and Minnich, J., (1960). The complete book of composting. ***Rodale Books***, Emmaus, Pa., 215-250.

Rosińska, A. and Karwowska, B., (2017). Dynamics of changes in coplanar and indicator PCB in sewage sludge during mesophilic methane digestion. ***J. Hazard. Mater.***, 323 341-349.

Rynk, R.; van de Kamp, M.; Willson, G.G.; Singley, M.E.; Richard, T.L.; Kolega, J.J.; Gouin, F.R.; Laliberty, L., Jr.; Kay, D.; Murphy, D.; Hoitink, H.A.J. and Brinton, W.F. (1992). On-Farm Composting Handbook, Rynk, R.Editor.; NRAES-54. ***Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service***, Ithaca, NY.

Selladurai, G., Anbusaravanan N., Prakash Shyam, K., Palanivel, K. and Kadalmani, B., (2009). Biomanagement of municipal sludge using epigenic earthworms *Eudrilus eugeniae* and *Eisenia fetida*. ***Advances in Environmental Biology***, 3(3): 278-284.

Sharma V. K., Canditelli M., Fortuna F. and Cornacchia G., (1996). Processing of Urban and Agroindustrial Residues by Aerobic Composting. ENEA Research Centre, Department of Environment, Resource*,* ***Conservation and Reycling****, Trisaia, 23: 209*-223.

Sinha, R. K., S., Agarwa, Chauhan, K., Chandran, V. and Soni, B. K., (2010). Vermiculture Technology: Reviving the Dreams of Sir Charles Darwin for Scientific Use of Earthworms in Sustainable Development Programs. ***Technology and Investment***, 1, 155-172.

Sönmez, S., Çıtak S., Koçak, F. ve Yaşin, S. (2011). Vermikompost ve Ahır Gübresi Uygulamalarının Ispanak Bitkisinin Gelişimi ve Toprak verimliliği Üzerine Etkileri. ***Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi***, 28(1):56-69.

Sun, Z. and Jiang, H. (2017). Nutritive Evaluation of Earthworms as Human Food. Future Foods, Future Foods, Hemio Mikkola, ***Intech Open***, Croatia, 135-138.

Suthar, S. (2009). Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia fetida*: impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate. ***Ecological Engineering***, 35, 914-920.

Tavuç, İ. ve Özçelik, H. (2014). Doğa Dostu Solucan Gübresi Ve Özellikleri. ***Tabiat ve İnsan.*** Yıl: 48, Sayı188. ISSN: 1302-1001.

Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S. A. (1993). Integrated Solid Waste Management, Engineering Principle and Management Issue. ***McGraw Hill Inc.,*** New York, 285-297.

Tutar, U. (2013). Toprak Solucanlarından Elde Edilen Vermikompostun Bazı Bitki Patojenleri Üzerindeki Antimikrobiyal Aktivitelerinin Araştırılması. ***Cumhuriyet University Faculty of Science Journal (CSJ)***, Vol.34, No.2.

Vanlalmawii, E. and Awasthi, M. (2016). Municipal Solid Waste Composting- A review. ***International Journal of Advances in Science Engineering and Technology***, Vol-4, Iss-2, Spl. Issue-1, ISSN: 2321-9009.

Wang, C., Sun, Z-J. and Zheng D. (2006). Research advance in antibacterial immunity ecology of earthworm. ***The Journal of Applied Ecology***, 17(3), 525.

Wu, D., Yu, X., Chu, S., Jacobs, D. F., Wei, X., Wang, C., Long, F., Chen. X. and Zeng, S. (2018). Alleviation of heavy metal phytotoxicity in sewage sludge by vermicomposting with additive urban plant litter. ***Science of The Total Environment***, 633, 71–80.

Yadav, S. (2014). Inter-specific Competition and Co-existence among Epigeic Earthworms in Polyculture Vermireactors. ***International Journal of Current Research and Academic Review***, 2(7): 291-294

Yağmur, B. ve Eşiyok, K. D. (2013). Solucan Gübresi: Vermikompost-III. (Vermikompostun Kullanım Alanları). ***Dünya Gıda Dergisi***, 92-95.

Yıldız, Ş., Ölmez, E. ve Kiriş, A. (2009). Kompost Teknolojileri Ve İstanbul'daki Uygulamaları. ***Kompostlaştırma Sistemleri ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı***, İstanbul.

Yüksek, T., Atamov, A. ve Türüt, K. (2019). Demlenmiş Çay Atığı ve Evsel Yemek Atıkları İle Beslenen Kırmızı Kaliforniya Solucanından Elde Edilen Katı Solucan Gübresindeki Bazı Besin Elementlerinin Belirlenmesi. ***Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi***, Yıl: 4, Sayı:2, 263-271.

Zaller, J. G. (2007). Vermicompost as a substitute for peat in potting media: effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. ***Science Direct***, 112:191-199.

Zhi-wei, S., Tao, S., Wen-jing, D. and Jing, W. (2019). Investigation of rice straw and kitchen waste degradation through vermicomposting. ***Journal of Environmental Management***, 243, 269–272.

Bölüm 16

YAPAY SİNİR AĞI KULLANILARAK DISCONE ANTEN TASARIMI

Akif Atakan SEVİNÇ[1]
Peyman MAHOUTI[2]
Mehmet Ali BELEN[3]

1 İstanbul Arel Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı Elektrik Elektronik Mühendisi Akif Atakan SEVİNÇ
2 İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Elektronik Otomasyon Bölümü Doçent Doktor Peyman MAHOUTİ
3 Artvin Çoruh Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Doçent Doktor Mehmet Ali BELEN

Giriş

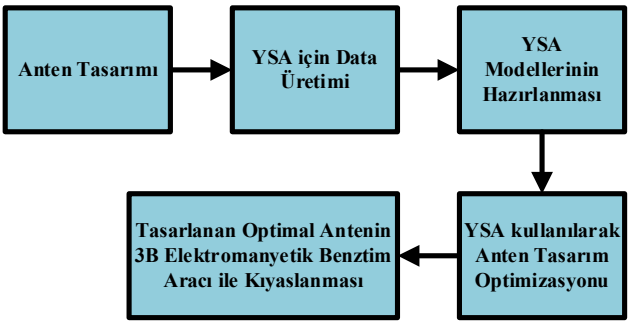
Gelişmekte olan teknoloji sayesinde dünya kendi içinde birbiri ile bağlantılı olan bir yer haline gelmiştir. Uzak mesafeler arasında görüntü, ses, bilgi vb. taşınması kablo ile yapıldığında imalat zorlaşmaktadır ve buna bağlı olarak maliyet artmaktadır. Ayrıca, uzun kablo hatlarının çekilmesi iyi bir koruma ve bakım gerektirdiği için maliyeti hatırı sayılır biçimde arttırmaktadır. Bu nedenle, haberleşmeye duyulan ihtiyacın ve iletim hızının önemli olduğu günümüzde antenler üzerinde çalışılması gereken bir konu olmuştur. Bir bilginin taşınması için elektromanyetik dalgalar kullanıldığında, bu dalgaları yüksek enerji ile atmosfere (veya uzay boşluğuna) gönderebilecek elemanlar gerekir. Aynı şekilde, boşlukta yayılmakta olan elektromanyetik dalgalardan gereksinime uygun olanını tutup güçlendirdikten sonra alıcı aygıta aktarmak gerekir. Tam olarak anten, bu temel iki gereksinime cevap veren elektronik bir aygıttır. İstenilen amaca ve konumlandırılan yerin özelliklerine göre değişik büyüklük ve şekillerde üretilirler. Anten tasarımındaki temel amaç, iletilecek verinin sorunsuz bir şekilde alıcıya ulaştırılmasıdır. Bu yüzden öncelikle ihtiyaçların (iletilecek veya alınacak mesajın boyutu, iletim mesafesi, kullanılacak frekans aralığı) tam olarak belirlenmeli ve tasarım yapılırken bu göz önünde bulundurulmalıdır, aksi takdirde maliyette ve boyutlarda gereksiz artışlar gözlenebilir.

Geniş Bant (GB) ve Ultra Geniş Bant(UGB) antenler, modern kablosuz iletişimde önemli rol oynamaktadır. Ancak GB antenler, nispeten büyük boyutlarından dolayı yerini yavaş yavaş UGB antenlere bırakmaya başlamıştır. UGB antenlerin geniş frekans aralığında çalışması çok kanallı sistem uygulamalarında kolaylık sağlamaktadır ve bu da UGB anten tasarımına olan ilgiyi arttırmıştır. Bu tezde de GSM Teknolojisinde sıklıkla kullanılan bir UGB anten olan discone anten üzerinde çalışmıştır. Günümüzde kullanılan yapay zekâ teknikleri discone anten analiz ve tasarımında kullanılmıştır ve karmaşık gözüken tasarımların hızlı ve doğru yapılabilmesinin önü açılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, günlük hayatta farkında olmasak da sıkça kullandığımız discone anten yapısını inceleyerek anten mühendisliğine katkı sağlamak ve bu alanda uluslararası bir kaynak ortaya çıkarmaktır. İlk olarak bir discone antenin ana fiziksel parametrelerinde değişiklikler yapılarak ortaya farkı boyutlara sahip discone antenlere ait performans verileri elde edilecektir. Daha sonra elde edilen veriler ile “bir Yapay Sinir Ağ” (YSA) ile hızlı ve doğru bir şekilde analiz edilerek discone antene ait tasarım parametrelerine bağlı performans karakteristiklerinin tahminini edecek bir Yapay Sinir Ağ modeli geliştirilecektir. Son olarak ise YSA tabanlı modelin doğruluğunun gözlemlenmesi için, YSA tabanlı model ile optimize edilen bir anten tasarımının 3B elektromanyetik benzetim prog-

ramı CST ile performans kıyaslanması yapılacaktır. Böylece, bu alanda çalışmalar yapan kişiler için tasarım optimizasyon süreçlerini hızlandıracak etkin bir modelleme tekniği sunulmuş olacaktır.

İlk aşama olarak simülasyon programı ile antenin temel modellenmesi yapılacaktır. Daha sonrasında ise, belirli geometrik tasarım parametreleri için benzetim yapılarak farklı fiziksel şekiller için temel performans karakteristikleri elde edilecektir. Daha sonrasında ise bu veriler kullanılarak bir YSA modelli geliştirilecektir. Bu sayede çeşitli boyutlar için defalarca benzetim yapmadan belirli frekansa uygun parametreler tespit edilecektir. Önerilen yöntemin doğruluğunun incelenmesi için örnek bir optimizasyon sonucu elde edilen YSA tabanlı antenin performansı 3B benzetim algoritması ile kıyaslanacaktır. Bu çalışmada akış diyagramı Şekil 1 de verilmiştir.



Şekil 1. *Çalışmanın akış diyagramı*

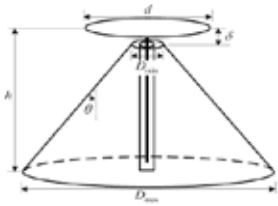
Çalışmanın diğer bölümünde Discone anten ve Tasarım parametreleri incelenmiştir.

DISCONE ANTEN

Son yıllarda Ultra Geniş Bant(UGB) sistem teknolojisinin gelişmesi ile haberleşme alanında yapılan çalışmalarda da artış görülmüştür. 3.1 GHz ve 10.6 GHz frekans aralığının Amerika Birleşik Devletleri düzenleme kuruluşu (Federal Communication Commission - FCC) tarafından Ultra Geniş Bant sistemlerinin kullanımı için tahsis edilmesi ile UGB çalışmaları da hız kazanmıştır. Yine aynı kuruluş tarafından yapılan açıklamada UGB tanımı "*S11(dB)<-10dB* olduğu frekans bant genişliğinin, merkez frekansa oranının %25 den fazla olması durumu" olarak açıklanmıştır [1]. Geniş frekans aralıklarında çalışmalarının yanı sıra, UGB antenlerin doğrusal faz cevaplı olarak tasarlanması, minimum bozulma ile yüksek hızda veri aktarıma olanak sağlaması, düşük güç ihtiyacı olması ve üretim maliyetlerinin azlığı UGB antenleri askeri ve sivil alanlarda popüler hale getirmiştir [2].

Discone antenlerin nispeten küçük boyutlu olmaları, çok yönlü ışıma

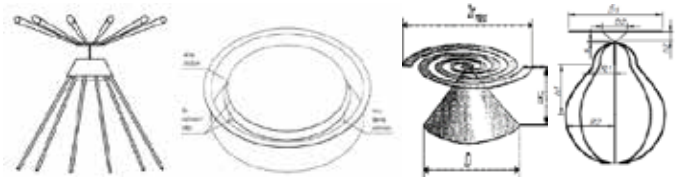
karakteristiğinin olması ve bu ışıma karakteristiğinin eğik asimetrik yapısı sebebiyle UGB sistemlerinde en çok incelenen ve üzerinde araştırmalar yapılan anten konumuna gelmiştir [3]. Farklı açılarda ışıma yapabilme yeteneğine sahip olmasından dolayı discone antenler günümüzde GSM (Global System for Mobile Communications) sektöründe sıklıkla tercih edilmektedir [4]. Discone anten genel olarak, bir koni üzerine yatay olarak yerleştirilmiş bir diskten oluşmaktadır. Bu iki ana bileşen çeşitli şekillerde ve boyutlarda tasarlanabilir ve ek bağlantı elemanları ile de kullanılabilir. Disk ve koni kısmı genellikle metal bir parçadan üretilir ancak bu üretim rüzgâr yükünün yoğun olduğu yerlerde zorluklar çıkartabilir, bu nedenle bu iki kısım metal çubuklar kullanılarak da tasarlanabilir [5].



Şekil 2. *Bir discone antenin kısımları [6]*

Discone antenlerin öncelikli kullanım alanı ticari ve askeri alanlar olduğu için yapısında da ihtiyaca göre çeşitli değişiklikler olmaktadır. Ancak bu uygulamalar yüksek bir kazanca sahip bir anten yapısına ihtiyaç duymaktadır. Dolayısıyla anteni geliştirerek yeni bir geniş bant anten oluşturmak için antene yeni eklemeler yapmak gerekmektedir. Eğer boyutlarda yüksek oranda küçültmeler yapılması gerekiyorsa, dalga boyunu azaltmamak için antene tarif edilen şu üç özellik eklenmelidir: 1. Koniyi çevreleyen arka oyuk eklenmesi. 2.Koninin taban kısmı(ya da zemin) ile çemberin arasına kısa devre sağlayan metal bir tabaka konulması. 3.Üstte bulunan dairesel tabaya ek yeni bir dairesel tabaka eklenmesi. Ek elemanlar kullanmadan discone antenin boyutlarında küçülmeye gitmek isteniyorsa parametreleri mümkün olduğunca az değiştirmek gerekmektedir, aksi takdirde bant genişliğinde azalma olacaktır [6]. Discone antenlerin farklı modelleri üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Şekil 1. (a)'da görülen ve 200MHz-447MH frekans bandında çalışan discone anten, küçük hacimli yerlerde antenin az yer kaplaması için tasarlanmıştır ve boyutlarda küçülmeye gidildiği için yukarıda bahsedilen "3" parametre antene eklenmiştir [6]. 180MHz-18GHz çalışma frekansı aralığında tasarlanan bir double cylindrical wire discone anten(b), omni-directional ışıma karakteristiğinde ve 12GHz frekans bandında çalışır olarak kabul görülmektedir ve UGB frekans taraması yapmak için kullanılmaktadır [3]. Disk kısmı spiral olarak tasarlanmış bir discone anten(c), indoor GSM haberleşmesi için iki farklı frekans aralığında tasarlanmıştır(650MHz-3GHz, 1.27GHz-3GHz) [7]. Şekil 1.(d)'de görülen skeletal discone anten, omni-directional

ışıma karakteristiğine sahiptir ve 1.47 GHz-16.48 GHz frekans aralığında çalışmaktadır [8].



(a) *(b)* *(c)* *(d)*

Şekil 3. *Farklı şekillerde tasarlanmış discone antenler; Küçük hacimli tasarlanmış bir discone anten(a), Double cylindrical wire discone anten (b), Spiral-discone anten (c), skeletal discone anten (d).*

YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

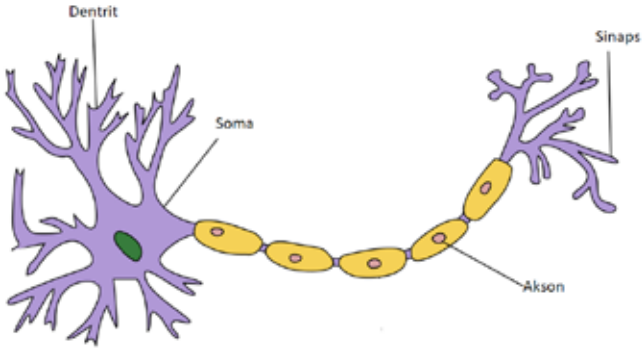
Yapay Sinir Ağı, beynin sinir yapısına dayanan ve beynin sinir yapısına göre daha da basitleştirilmiş elektronik model olarak açıklanabilir. Beyin temel olarak deneyimlerden öğrenir, bu da mevcut bilgisayarların kapsamı dışındaki bazı sorunları az enerji paketleri kullanılarak çözülebileceğinin doğal bir kanıtıdır. Bu beyin modellemesi, aynı zamanda yapay zekâ çözümleri geliştirmek için daha basitleştirilmiş bir yol sunar. Eski sistemlerin karşılaştığı karmaşık problemler ve hata oranlarındaki fazlalık, YSA tekniği ile en aza indirilir.

Antenlerin geometrik ve tasarımsal özellikleri arasındaki ilişkiler genellikle doğrusal ve/veya doğrusal olmayan bileşenlerden (çalışma frekansı, ışıma örüntüsü ve geri dönüş kaybı ile ilişkisi vb.) oluşmaktadır. Geometrik ve tasarımsal özellikler ile istenen kriterler arasında yüksek performans oluşturmak için anten tasarımı, doğru ve güvenilir bir model ile yapılmalıdır. Bu nedenle tasarımcı, hesaplama yaparken verimli bir optimizasyon süreci için hassas bir tasarım modeli kullanmalıdır. Son yıllarda tasarım ve modelleme alanlarında sayısal ve analitik yöntemler oluşturmak için birçok çalışma yapılmıştır ve YSA modeli tasarımcılar tarafından en çok kullanılan metotlardan biri olmuştur [9].

Günümüzde kullanılan bant genişliklerindeki artışlara karşılık olarak, çalışma frekans aralığı değiştirilebilen anten tasarımları da hız kazanmıştır. Yeniden yapılandırılabilen bu çok yönlü antenler de yapay sinir ağı kullanılarak geliştirilmektedir. YSA'nın bu alandaki kullanım amacı, antenin belirli bantlarda rezonansa girmesini sağlamaktır [10]. Küçük yapıları ve düşük maliyetli olmalarından dolayı mikroşerit antenler de, günümüzde üzerinde çalışılan anten çeşitleri arasında yerini almıştır. Telsiz haberleşmelerinde kullanıldıkları için hesaplamalarının yüksek doğrulukta yapılması gerekmektedir. Bu nedenle mikroşerit anten tasarımlarında da yapay sinir ağı modelleri sıklıkla kullanılmaktadır [11].

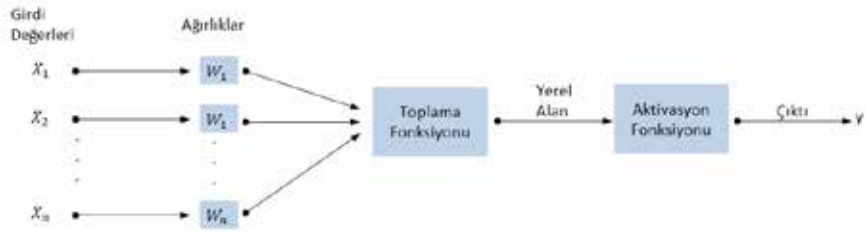
A. Yapay Sinir Ağı Nasıl Çalışır

Bir sinir ağında bulunan temel işlem elemanı nörondur. Bu yapı belirli birkaç yeteneğe sahiptir. Biyolojik olarak bir nöron, başka kaynaktan gelen bilgiyi alır, doğrusal olmayan bir yol ile çözümler üretir ve ortaya bir sonuç çıkartır. Şekilde nöronun kısımları ve bu kısımlarda yapılan işlemler görülmektedir. İnsanlarda düşünme yetisinin gelişmesi bu nöronları daha karmaşık hale getirmiştir ancak temel olarak nöron, dört ana temel bileşenden oluşmaktadır.



Şekil 4. *Biyolojik Sinir Hücresinin Kısımları [12]*

Dentrit: Çözümlenmesi istenilen verinin nörona ulaştığı kısımdır. Soma: Gelen verinin işlendiği kısımdır. Axon: Çözümlenmiş olan bilgi çıktı olarak axonlara aktarılır. Sinaps: Çözümlenmiş olan bilgi sinapslar sayesinde diğer nöronlara aktarılır [13]. Şekil 5' de Biyolojik Sinir hücresinin en temel matematiksel karşılığı verilmiştir.



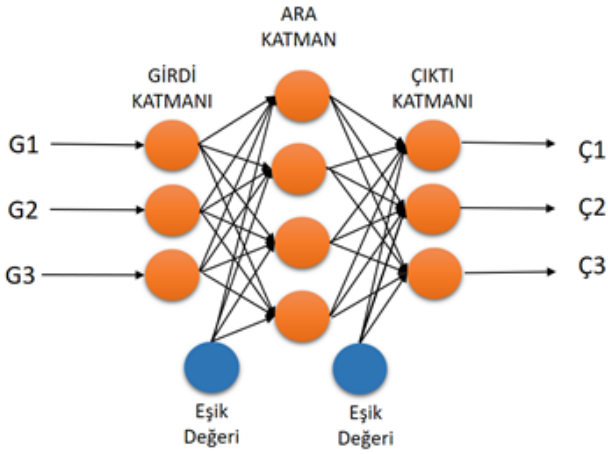
Şekil 5. *Sinir hücresinin sanal ortama uyarlanmış hali*

Yapay sinir ağlarındaki hücreler girdi değerleri, ağırlık değerleri, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı olmak üzere beş farklı bölümden oluşur. Girdi kısmı YSA'ya dışarıdan ya da farklı bir YSA'dan gelen verilerdir. Ağırlıklar yardımı ile farklı hücrelerden ya da dış ortamdan elde edilen veriler ağırlıklar yardımı ile hücreye bağlanmaktadır ve girdi değerlerinin çıktı değerleri üzerindeki etkilerin ayarlanabilmesi için giriş değerlerinin bağlantılarının ağırlıklarıyla çarpılması gerekmektedir. Toplama fonksiyonu kısmı ise çarpılmış olan girdilerin, ağırlıklar ile toplanması ile net girdinin hesaplandığı kısımdır. Aktivasyon fonksiyonu kıs-

mında ise toplama fonksiyonu kısmından çıkan net veriler hesaplanarak çıktı üretilmektedir. Çıktı denilen kısım ise aktivasyon fonksiyonu çıkışında elde edilen verilerdir. Yapay sinir ağı hücresini biyolojik sinir hücresine karşılık geldiğini düşündüğümüzde, toplama fonksiyonları dentrit, aktivasyon fonksiyonu soma, işlem elemanları ise sinapslar olarak düşünülebilir [14]. Yapay sinir hücrelerinin birbirlerine bağlanması ile oluşan yapılara katman denir. Bu katmanların bir araya gelmesiyle yapay sinir ağları oluşmaktadır. Yapay sinir ağları genel olarak girdi katmanı, ara katman ve çıkış katmanı olarak 3 katmanlı olarak modellenmektedir. Girdi değerlerinin ara katmanlarda bulunan ağırlık değerleri ile çarpılması sonucu oluşan çıkış değerleri, eğitim setinde verilen doğru çıkış değerleri ile kıyaslanır. Bu iki çıkış değeri arasındaki hata oranlarının azaltılması için ağırlık değerleri her işlemde değişiklik gösterir. Bu işlem her bir değer için doğru sonuç bulununcaya kadar devam eder. Bu doğru ağırlık değeri bulma işlemi "ağın eğitilmesi" olarak adlandırılır [15].

B. ÇOK KATMANLI ALGILAYICI [MULTILAYER PERCEPTRON (MLP)]

Günlük yaşantımızda önemli bir yere sahip olan bilgisayarların, öğrenme ve karar verme yeteneklerini kazanması ile kullanım alanları oldukça genişlemiştir. Matematiksel olarak ifade edilemeyen ve inşalar tarafından çözülmesi zor olan problemlerin çözümü için YSA teknikleri kullanılmaktadır [16]. Yapay sinir ağlarının en çok kullanılan çeşidi Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA)'lardır. Tek katmanlı algılayıcıların doğrusal olmayan problemlerin çözümlerinde başarısız olmalarından dolayı geliştirilen çok katmanlı algılayıcılar 3 katmandan oluşmaktadır. Bunlar giriş katmanı, ara katman ve çıkış katmanıdır. Giriş ve çıkış katmanları dışında kalan katmanlar gizli katman olarak adlandırılmaktadır [17].



Şekil 6. MLP modeli gösterimi [18]

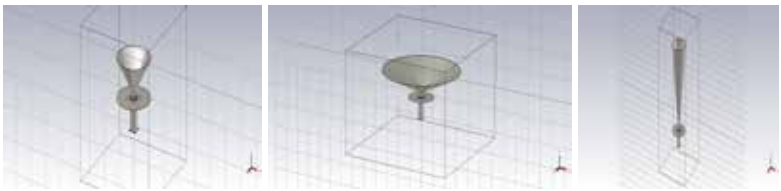
Çok katmanlı algılayıcılar, eğitimli öğrenme stratejisinden faydalanmaktadırlar, bu nedenle eğitime başlarken hem giriş değerleri hem de bu değerlere karşılık gelen çıkış değerleri ağa gösterilir. Amaç ağın ürettiği çıkış verileri ile üretilmesi beklenen çıkış verileri arasındaki farkın (hatanın) ağın ağırlıklarına bölünerek hatayı en aza indirgemektir. Giriş verileri ağa gösterilerek bu verilere karşılık gelen çıktı verileri üretilir. Bu işleme ileri doğru hesaplama adı verilir. İleri doğru hesaplama sonucunda ortaya çıkan sonuçlar, oluşması beklenen sonuçlar ile karşılaştırılır ve ortaya çıkan hatalar geriye doğru bölüştürülerek ağırlıklar değiştirilir. Bu işleme ise geriye doğru hesaplama adı verilir. Çok katmanlı algılayıcıların eğitim performansını belirlemek için, eğitim sırasında algılayamadığı örnekler tekrar ağa gösterilir. Eğer ağ, bu karşılaşmadığı örneklere düzgün cevaplar verebiliyor ise çalışmasında bir sorun olmadığı anlaşılır [19].

DISCONE ANTEN TASARIMI

Discone anten tasarlanırken "CST Studio Suite Student Edition" programı kullanılmıştır. Antenin parametrelerinde yapılan değişimler ve adımlar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

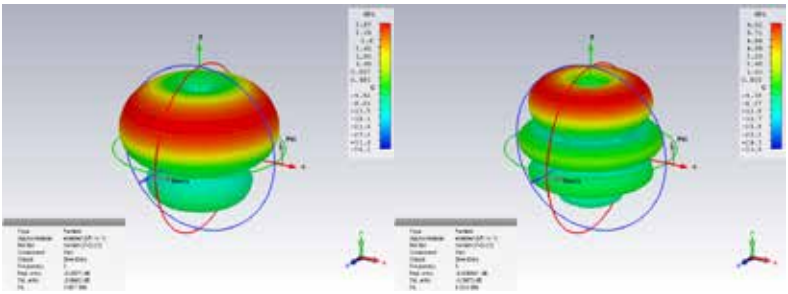
Tablo 1. Discone anten tasarımında kullanılan fiziksel büyüklük değerleri

Parametre	Başlangıç	Bitiş	Artış Miktarı
Koni Çapı (mm)	10	50	2.5
Koni Yüksekliği (mm)	5	100	5
Disk Çapı (mm)	50	100	5
Frekans (GHz)	0.1	12	0.1
Toplam Veri boyutu	429912		

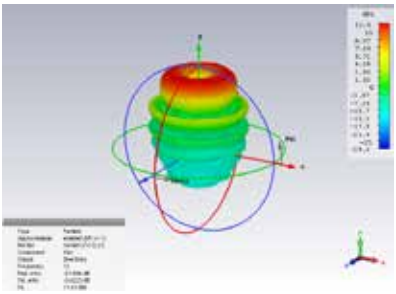


(a) (b) (c)

Şekil 7. (a) Disk ve koni çapının eşit büyüklükte olduğu, (b) Koni çapının en yüksek, taban diskinin en düşük değerde tutulduğu,(c) Koni yüksekliğinin en büyük değerde tutulduğu, Discone Anten Tasarımı

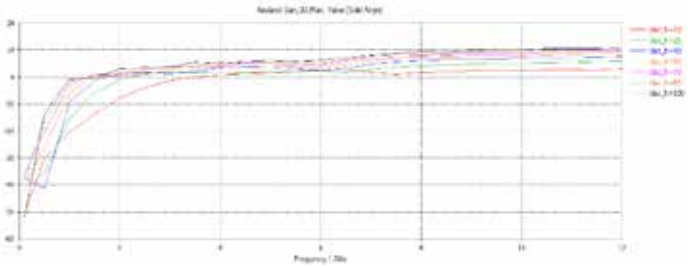


(a) (b)

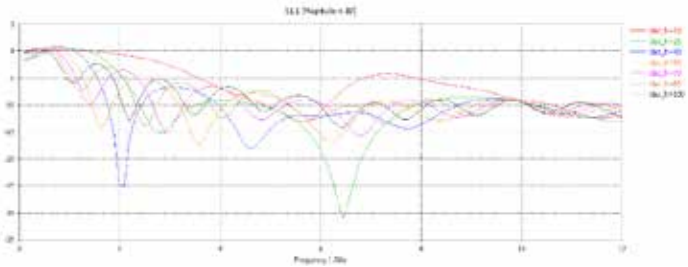


(c)

Şekil 8. Şekil 7'de gösterilen antenlerin ışıma örüntüleri



(a)



(b)

Şekil 9. Antenin Farklı disk Yüksekliklerindeki (a) Maksimum Kazanç, (b) S_{11} karakteristiği.

Buradan da görüleceği üzere antenin geometrik tasarım parametrelerine bağlı olarak performans kriterleri değişiklik göstermektedir. Çalışmanın diğer bölümünde buradaki veriler kullanılarak YSA modellerinin geliştirilmesi incelenecektir.

YSA modellerinin Oluşturulması

Bu aşamada, benzetim programı ile tasarlanan antenden elde edilen veriler (Tablo 1), yapay sinir ağını eğitmek için kullanılmıştır. Veriler karıştırılarak 2 eşit parçaya bölünmüştür ve K=2 Çapraz doğrulama yöntemi ile modellerin eğitim sonuçları sunulmuştur. Bu çalışmada, S parametreleri için ayrı kazanç karakteristiği için ise kazancın dB değerleri modelleyecek ve toplamda 2 farklı YSA modeli oluşturulacaktır.

Her bir model için toplamda 11 farklı mimariye ait YSA modeli (Tablo 2) kullanılmıştır. Bu modeller birbirlerinden farklı nöron ya da katman sayılarına sahiptirler. Bu farklılıklar incelenerek en uygun modelin elde edilmesi hedeflenmiştir.

Tablo 2. *İncelemek için ele alınan modeller*

ÇKA Modeli ID	Kullanıcı Tarafından Seçilen Parametreler
Durum 1	5 nörondan oluşan, Tek katman
Durum 2	15 nörondan oluşan, Tek katman
Durum 3	30 nörondan oluşan, Tek katman
Durum 4	5 ve 10 nörondan oluşan, Çift katman
Durum 5	5 ve 30 nörondan oluşan, Çift katman
Durum 6	20 ve 30 nörondan oluşan, Çift katman
Durum 7	5, 10 ve 15 nörondan oluşan, Üç katman
Durum 8	10, 15 ve 20 nörondan oluşan, Üç katman
Durum 9	15, 20 ve 30 nörondan oluşan, Üç katman
Durum 10	20, 15 ve 10 nörondan oluşan, Üç katman
Durum 11	30, 20 ve 15 nörondan oluşan, Üç katman

YSA kullanılarak incelenen modellerin En iyi, En kötü, Ortalama Değer, Standart Sapma (STD) ve yüzdesel olarak hata oranları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

A. S parametrelerinin modellenmesi

Tablo 1 de verilen veriler kullanılarak 11 farklı YSA modeli için k=2 çapraz doğrulama ile elde edilen test sonuçları Tablo 3 de sunulmuştur. YSA yapıları eğitim işlemleri rastgele süreçlerden oluştuğu için aynı katman ve nöron sayısına sahip modeller her defasında farklı sonuçlar verme olasılığına sahiptirler. Dolayısı ile bu modellerin kararlılıklarının da incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada her bir mimari 10 farklı eğitim test sonuçlarının sonuçları da incelenmiştir. Bu analizler sonucunda her bir mimariye ait en iyi, en kotu, ortalama ve "STD" standart sapma değerini ve en iyi modele ait yüzdesel hata oranı verilmiştir. Hata olçum metriği

olarak Ortalama Mutlak Hata (OMH) fonksiyonu seçilmiştir.

$$OMH = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|H_i - T_i\right| \quad (1)$$

Burada; N toplam test verisi sayısı, H: Hedef değer, T: YSA tarafından tahmin edilen değerdir.

Tablo 3. *S Parametreleri YSA modellerinin OMH Değerleri*

Durum	**En Kötü**	**En İyi**	**Ortalama Değer**	**STD**	**Hata oranı(%)**
1	0.1086	0.0931	0.0981	0.0071	43.3
2	0.0549	0.0515	0.0530	0.0014	24
3	0.0404	0.0390	0.0396	0.0005	18
4	0.0609	0.0442	0.050007	0.0063	20
5	0.03402	0.0311	0.0325	0.0012	14
6	0.1047	0.0236	0.0414	0.0354	11
7	0.0298	0.0272	0.0288	0.00102	12
8	**0.0227**	**0.0203**	**0.0213**	**0.0009**	**9.4**
9	0.1026	0.0187	0.0817	0.0355	8.7
10	0.0939	0.0206	0.0363	0.0321	9.5
11	0.1037	0.0194	0.0725	0.04002	9

Tablo 3'den görüleceği üzere, Tek katmanlı yapılarda ortalama performans ve en iyi performans değerlerinin yeterli olmadığı görülmektedir. Buna bağlı olarak katman ve nöron sayılarının arttırılmasının genel olarak YSA modelinin performansını arttırdığı gözlenmektedir. Burada 10 farklı eğitimde elde edilen en iyi modelin değerine bakmaktan ziyade (Model 9), en iyi, en kötü ve ortalama hata değeri performansının da incelenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda model 8'in her ne kadar en iyi değeri model 9'dan kötü olsa da ortalama değerlerinde ciddi bir fark mevcuttur. Bu da model 8. Çok daha stabil bir yapı olduğunu göstermektedir ve her farklı eğitim sürecinde yine benzer bir performans sergileyeceği varsayımında bulunulabilinir.

B. Kazanç karakteristiğinin Modellenmesi

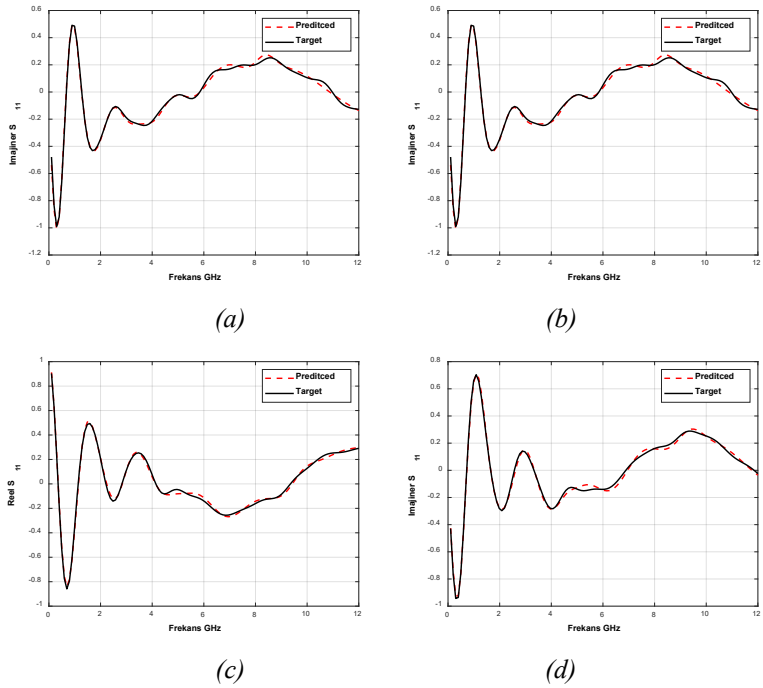
S parametrelerinde kullanılan 11 model (Tablo 2) benzer bir şekilde Kazanç karakteristiğinin de incelenmesi için kullanılmıştır. Bu çalışmada kazanç parametresi dB skalasında ele alınarak modelin geometrik parametrelerine bağlı çıktı olması hedeflenmiştir. Kazanç karakteristiğinin Tablo 2 de verilen modeller ile 10 farklı denemede elde edilen regresyon performansları sonuçları Tablo 4 de sunulmuştur.

Tablo 4. Kazanç Parametresinin YSA modellerinin OMH Değerleri

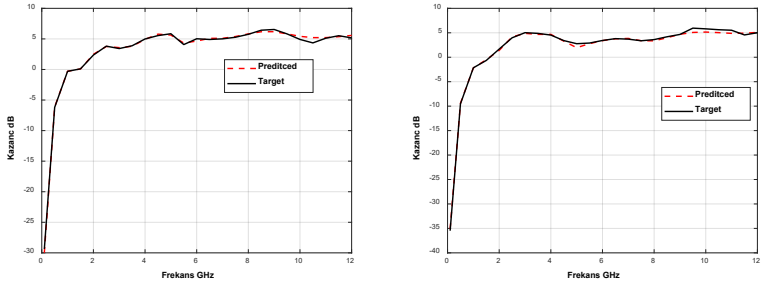
Durum	En Kötü	En İyi	**Ortalama Değer**	**STD**	**Hata oranı(%)**
1	0.8056	0.6929	0.7431	0.0578	11
2	0.5928	0.5252	0.5434	0.0278	8.4
3	0.9424	0.4469	0.5897	0.2091	7.1
4	0.5608	0.5060	0.5346	0.0248	8.1

5	0.4288	0.3958	0.4155	0.0139	6.3
6	1.3007	0.3048	0.6571	0.4804	4.8
7	0.4109	0.375	0.3913	0.0137	6.02
8	0.359	0.3058	0.3319	0.0193	4.9
9	**0.277**	**0.2556**	**0.266**	**0.0099**	**4.1**
10	0.3573	0.3128	0.3244	0.0188	5.02
11	1.6734	0.2773	0.5594	0.6227	4.45

Tablo 4'te de görüldüğü üzere, S parametrelerinde benzer bir şekilde, tek katmanlı sistem yapıları, ortalama performans ve en iyi performans değeri açısından yetersiz kalmaktadır. Buna bağlı olarak, katman ve nöron sayılarındaki artışın, yine YSA modelinin performansını arttırdığı gözlemlenmiştir. Yapılan incelemelerde Model 9, hata oranındaki azlık ve ortalama değerinin az olması nedeniyle incelemedeki en iyi model olarak görülmektedir. Ayrıca standart sapmasındaki azlık sayesinde stabil bir yapı olarak görülmektedir ve farklı eğitim süreçlerinde de yine benzer bir performans sergileyeceği yaklaşımı da çıkartılmaktadır. Elde edilen en iyi YSA modellerinin seçili bazen geometrik parametrelerdeki performans sonuçları aşağıdaki figürlerde verilmiştir. Seçilen örnek geometriler: Senaryo 1 [Koni Çapı: 30, Koni Yüksekliği: 55, Disk Çapı: 75], Senaryo 2 [Koni Çapı: 42,5, Koni Yüksekliği: 35, Disk Çapı: 65].



Şekil 10. *Kazanç karakteristiğinin (a) Senaryo 1 S_{11} reel, (b) Senaryo 1 S_{11} imajiner, (c) Senaryo 2 S_{11} reel, (d) Senaryo 2 S_{11} imajiner, için sonuçları*



(a) (b)

Şekil 11. *Kazanç karakteristiğinin (a) Senaryo 1, (b) Senaryo 2 için sonuçları*

Çalışmanın diğer bölümünde elde edilen YSA tabanlı S ve kazanç modelleri kullanılarak istenilen bir uygulamaya uygun discone anten tasarım optimizasyonu yapılacaktır. YSA modelleri kullanılarak elde edilen optimum discone anten yapısı daha sonra doğruluğunun incelenmesi için CST benzetim aracı ile yapılan aynı geometrik tasarımlara sahip antenin performans sonuçları ile kıyaslanacaktır.

Discone Anten yapısının YSA tabanlı Tasarım Optimizasyonu

Çalışmanın bu kısmında elde edilen YSA modelleri kullanılarak örnek bir Discone anten tasarım optimizasyonu gerçekleştirilecektir. Hedeflenen tasarım optimizasyon işlemi için en genel kullanılan meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarından olan Parçacık Sürü Optimizasyon (PSO) kullanılmıştır. Algoritmanın kullanıcı tanımlı parametreleri olan maksimum iterasyon değeri ve popülasyon sayısı sırası ile 30 ve 50 alınmıştır. Optimizasyon işlemi için kullanılan maliyet fonksiyonları ise aşağıdaki gibi seçilmiştir.

$$\text{Maliyet}_i = \frac{C_1}{Kazanç_i} + \frac{C_2}{\left|S_{11_i}\right|} \tag{2}$$

$$S_{11}dB \le -10 \qquad Kazanc\,dB \ge 3 \qquad f = f_{\min} \text{ ile } f_{\max} \tag{3}$$

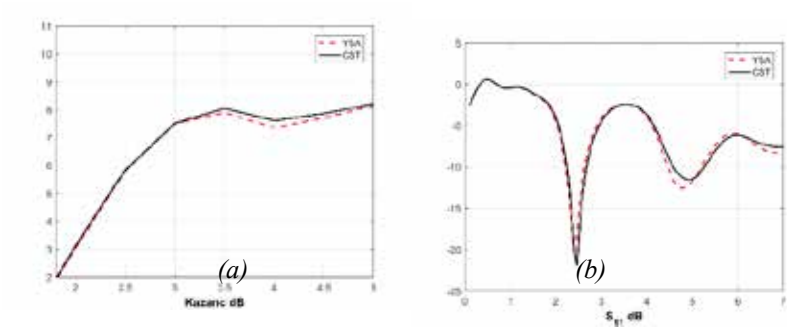
$$Max(Kazanç) \qquad f = f_{\min} \text{ ile } f_{\max} \tag{4}$$

Burada C_i değerleri hedeflere ait ağırlık katsayılarıdır. Bu çalışmada C1=0.7 C2 ise 0.3 alınmıştır. Minimum ve maksimum frekans değerleri ise 2.3 ve 2.5 GHz olarak alınmıştır.

Optimizasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Tablo 5 de verilmiştir. Ayrıca elde edilen geometrik parametreler kullanılarak CST ortamında benzer anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. YSA tabanlı model ile CST modelinin performans sonuçları şekil 12 de kıyaslanarak verilmiştir. Görüleceği üzere önerilen yöntem, doğruluğu yüksek olan 3B elektromanyetik benzetim aracının sonuçları ile nerde ise birebirdir. Özellikle elde edilen optimal geometrik değerlerinin eğitim ve test verilerinden farklı olması, önerilen yöntemin interpolasyon yeteneğinin yüksek doğruluğa sahip olduğunu göstermiştir.

Tablo 5. *Optimizasyon sonucu elde edilen geometrik değerler (mm)*

Koni Çapı	12.8
Koni Yüksekliği	69,5
Koni Çapı	52.8



Şekil 12. *YSA ve CST modellerinin (a) Kazanç, (b) S_{11} karakteristikleri*

Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında Yapay Sinir Ağları kullanılarak bir Discone antene ait performans karakteristiklerinin modellenmesi incelenmiştir. Öncelik ile doğruluğu yüksek ve hızlı YSA tabanlı bir tahminleme modellinin geliştirilmesi için CST benzetim aracı ile oluşturulmuş bir discone anten yapısının farklı geometrik parametreleri için Saçılma ve Kazanç performanslarından oluşsan bir veri kümesi oluşturulmuştur. Daha sonrasın da ise Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) modeli kullanılması hedeflenmiştir. ÇKA için optimal mimari parametrelerinin belirlenmesi için 11 farklı ÇKA modellinin 10 farklı denemedeki ortalama, maksimum, ve minimum hata değerleri incelenmiştir. Bu analizler sonucunda optimal bir YSA tabanlı discone anten modeli elde edilmiştir. Oluşturulan modelin doğrulunun incelenmesi için örnek bir anten tasarım optimizasyonu uygulaması yapılmıştır. Optimizasyon işlemi için en yaygın kullanılan optimizasyon algoritmalarından biri olan Parçacık Suru Optimizasyonu ele alınmıştır. YSA tabanlı optimizasyon sonucunda oluşturulan modelin performans sonuçlar 3B benzetim araçlarının sonuçları ile kıyaslanmıştır. Sonuç olarak önerilen modellin hızlı ve doğruluğu yüksek anten tasarım optimizasyon süreçleri için etkin bir çözüm yöntemi olduğu görülmüştür.

KAYNAKÇA

[1] Kuşulay İ. Toktaş A. (2019) C ve X-Bant Uygulamaları İçin Kompakt Ultra Geniş Bant Dirgen Şekilli Mikroşerit Anten Tasarımı Conference Paper 2019:405

[2] Qing X. Chen Z. ve Chia M. (2005) UWB Characteristics of Disc Cone Antenna Institute for hfocotnm Research IWAT 2005. IEEE International Workshop on Antenna Technology 2005:97

[3] Kim K. Kim J.ve Park S. (2005) An Ultrawide-Band Double Discone Antenna With the Tapered Cylindrical Wires IeeeTransactıons on Antennas and Propagatıon, vol. 53, no. 10, 2005:3403

[4] Zhang Y. ve Brown A.K. (2006) The Discone Antenna in a BPSK Direct-Sequence Indoor UWB Communication System Ieee Transactıons on Mıcrowave Theory and Technıques, vol. 54, no. 4 2006:1675

[5] Wei Y. Ai-xin C. Tie-hua J. (2010) Design of UHF miniature discone antenna Proceedings of the 9th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory 2010:356

[6] Chen A. Tiehua Jiang T. Chen Z. Su D. Wei W. ve Zhang Y. A Wideband (2011) VHF/UHF Discone-Based Antenna Ieee Antennas and Wıreless Propagatıon Letters, vol. 10. 2011:450

[7] Januszkiewicu L. Hausman S. Combined Spiral-Discone Broadband Antenna For Indoor Applications (2004) *IEEE 15th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*

[8] Yuanqing Z. ve Wei W. Design of a Novel Broadband Skeletal Discone Antennawith a Compact Configuration (2014) *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*2014:1725

[9] Calik N. Belen M.A. Mahouti P. (2019) Deep learning base modified MLP model for precise scattering parameter prediction of capacitive feed antenna *WILEY*

[10] Patnaik A. Anagnostou D. Christodoulou C. Lyke J. A Frequency Reconfigurable Antenna Design Using Neural Networks IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 2005:409

[11] Vilovic I. Burum N. Brailo M. Microstrip Antenna Design Using Neural Networks Optimized by PSO ICECom 2013

[12] Biological Neuron Model Artifical Neural Network, pngwave, https://www.pngwave.com/png-clip-art-beimf (20.08.2020)

[13] Basheera I. Hajmeerb M. (2000) Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application *Journal of Microbiological Methods 43 3–31* 2000:3

[14] Demir E. Geniş Çalışma Bölgeli Transistörlerin Tek Bir Çok Katmanlı Algılayıcı ile Modellenmesi (2017) Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

[15] Demir E. Geniş Çalışma Bölgeli Transistörlerin Tek Bir Çok Katmanlı Algılayıcı ile Modellenmesi (2017) Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

[16] Arı A. Berberler M.E. (2017) Yapay Sinir Ağları ile Tahmin ve Sınıflandırma Problemlerinin Çözümü İçin Arayüz Tasarımı Acta Infologica 2017:55

[17] Türker N. Güneş F. Yıldırım T. (2006) Artificial Neural Design of Microstrip Antennas Turk J Elec Engin, VOL.14, NO.3, TÜBİTAK

[18] İnsan Sinir Ağının Taklidi : Yapay Sinir Ağları, mc.ai, https://mc.ai/insan-sinir-sisteminin-taklidi-yapay-sinir-aglari/ (12.08.2020)

[19] Kalaycı H. (2016) Mikrodalga Transistorların Yapay Sinir Ağları Modellemeleri İçin Optimum Eğitim Veri Mimarisi" *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*

Bölüm 17

ÇİFT YAKITLI SIKIŞTIRMA ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE MODELLENMESİ

Ramazan ŞENER[1]

1 Dr., Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Batman Üniversitesi.
E-mail: ramazan.sener@batman.edu.tr Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6108-8673

1. Giriş

Hava kirliliği insan sağlığı için büyük bir risk oluşturmaktadır. Akciğer ve astım gibi rahatsızlıklar, uzun süreli hava kirliliğine maruz kalan kişilerde sıkça görülmektedir. Hatta hava kirliliği doğurganlığı bile negatif etkilemektedir (Salameh, 2014; WHO, 2013). Fosil yakıtlarının kullanılması, küresel ısınmanın ve iklim değişikliğinin ana sebeplerinden biridir. Küresel ısınma, yeryüzündeki ekosisteme çok büyük tehdit oluşturmaktadır (Nordell, 2003; Williams, 2002).

Fosil yakıtların kullanımda oluşan zararlı emisyonların azaltılması, dünya genelinde devlet politikasıdır. Bütün dünyadaki ülkeler karbon salınımını azaltmak için çaba sarf etmektedirler. Buna göre, ülkeler 1990'daki değer ile karşılaştırıldığında, 2016 yılında %22 oranında karbon salınımlarını azaltmışlardır. 2050 yılına kadar karbon salınım değerlerini %80 ila %95 arasında azaltmayı hedeflemektedirler (EEA, 2017). Gittikçe artan nüfusa rağmen, karbon salınımı azaltılması amaçlanmaktadır ki hiç kolay bir hedef değildir. Fosil yakıtların verimini arttırmak temel isterdir.

Emisyon salınım oranına sektörel olarak bakarsak, %50 civarında ulaşımdan kaynaklandığı görülmektedir (EEA, 2018). Ulaşım dolayısıyla, küresel ısınmaya sebep olan CO_2 haricinde, kanserojen olan ve asit yağmurlarına sebep olan NO_X, is, CO emisyonları da salınmaktadır. Bu nedenle, içten yanmalı motorların emisyon salınımına sınırlama ve standart getirilmektedir.

Fosil yakıtlar yerine, alternatif yakıtların kullanımı, hem emisyonların azaltılması amacıyla hem de sınırlı kaynak olan fosil yakıtların kullanımının azaltılması amacıyla günden güne artmaktadır. Çift yakıtlı yanma konseptleri, alternatif yakıtları geleneksel motorlara adapte etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca CO_2, NO_X ve is emisyonlarda da azalma gözlemlenmektedir. Metan veya doğalgaz kullanan sıkıştırma ateşlemeli (CI) motorlar, temiz bir yanma sağlamaktadır. Daha düşük karbon içeriğinden dolayı, metan, daha az CO_2 emisyonu salınımına sebep olmaktadır.

Çift yakıtlı motorlar sıkıştırma ateşlemeli ve buji ateşlemeli (SI) motorların bir kombinasyonu gibidir. Düşük reaksiyona girme kabiliyeti olan metan, daha yüksek reaksiyona girme kabiliyeti olan dizel ile sıkıştırma ile kendiliğinden tutuşturulmaktadır (Ahmad, Kaario, Qiang, Vuorinen, & Larmi, 2019; Karim, 2015). Dizel yakıtı, üst ölü nokta (ÜÖN)'ya yakın püskürtülür ve yakıtın püskürtülmesi ile silindir içinde yanma başlar ve metan (veya ikinci yakıt olarak hangi yakıt kullanılıyorsa) da yanmaya başlar. Çift yakıtlı motorlar çok az miktar pilot dizel enjeksiyonuna ihtiyaç duyarlar. Ancak bu az miktar pilot enjeksiyon silindir içindeki hava ve gaz karışımını tutuşturmayı sağlar. Genellikle bu motorlar düşük yüklerde stabil çalışırken, orta ve yüksek yüklerde rötarlı tutuşma, tutuşmama veya

vuruntu gibi istenmeyen durumlar meydana gelebilmektedir. Avantajları olan düşük emisyon ve yüksek verim gibi özelliklerini kullanabilmek için bu durum elimine edilmedir (Nwafor, 2002; Selim, 2004). Silindir içindeki yakıt hava karışımının daha homojen olması ve dolayısıyla yanma veriminin yüksek olduğu bir yanmanın gerçekleşebilmesi için piston çanağı geometrisi de önem arz etmektedir. Yanma odası iyileştirilerek, yanma en yüksek verimde gerçekleşebilir ve emisyonlar önemli ölçüde azalabilir (Şener, Özdemir, & Yangaz, 2019; Sener, Yangaz, & Gul, 2020).

Nümerik ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) çalışmaları ile çift yakıtlı motorların çalışması incelenebilmektedir. HAD çalışmaları, karışım teşkili, silindir içi hava hareketleri, yakıt enjeksiyonu ve yanma hakkında detaylı bir şekilde çalışma imkanı sunar. Günümüze kadar bu konuda birçok çalışma yapılmıştır. Maghbouli ve diğ. dizel ve gaz yakıt olarak, çift yakıtlı motorda yanma kimyasını çözmek için, HAD ve kimyasal kinetik çalışmışlardır. Metan ve dizeli temsil etmek için n-heptan kullanılmıştır. HAD kodu ve yanma kimyası, çift yakıtla çalıştırılan dizel motora uygulanmıştır. Kullanılan yanma kimya mekanizması, 42 tür ve 57 reaksiyondan oluşur ve n-heptanın oksidasyon kimyasının ön görülmesi için kullanmıştır. Ayrıca model ve deneysel data doğrulanmış, deney ve simülasyonun uyum içinde olduğu görülmüştür. Çalışma sonunda çift yakıtlı yanmada toplam karışım enerjisine dayalı olarak, pilot yakıt miktarının arttırılmasıyla, daha kısa ateşleme gecikmesine ve yüksek basınç artışına yol açtığı bulunmuştur. NO_X ve CO emisyonlarının konsantrasyonlarının daha yüksek pilot yakıt enjeksiyonu ile artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir (Maghbouli, Saray, Shafee, & Ghafouri, 2013).

Maurya ve Mishra, altı silindirli, dört zamanlı, turbo şarjlı çift yakıtlı motorun performansını, yanmasını ve emisyon özelliklerini araştırmışlardır. Sayısal analizler için 0B ve 3B-HAD modellerini kullandılar. Parametrik analiz yapılırken doğalgaz ön karışım oranı, motor devri ve EGR kütle yüzdesi gibi motor çalışma parametrelerini değiştirmişlerdir. Bu çalışmalar sonucunda motor performansının iyileştirildiği ve aynı zamanda daha yüksek motor yüklerinde CO emisyonları ve yanmamış HC emisyonlarında azalma olduğunu tespit etmişlerdir (Maurya & Mishra, 2017). Li ve diğ. doğalgaz-dizel çift yakıtlı motorlarda, egzozdan salınan yanmamış metanın oluşma sebeplerini araştırdılar. Öncelikle metan emisyonlarını minimize etmek için metanın silindir içerisinde dağılımını incelemek istediler. Ancak bunu deneysel olarak yapmak çok zordur. Bu nedenle çalışmalarında, HAD yazılımı olan Converge'yi kullanmışlardır. Modelin, ısı salınımı, CH_4, CO ve NO_X salınımını tek silindirli çift yakıtlı motorun deneysel verisi ile doğruladılar. Bu doğrulanmış model üzerinden metanın silindir içerisinde dağılımı incelenmiştir. Elde ettikleri sonuçlar, pilot yakıt enjeksiyonu ve yanmanın ürettiği momentumun pilot püskürtme dumanındaki yakıtı ve metan yanma ürünlerini yanmamış metan-hava karı-

şımına doğru ittiğini göstermiştir. Bu hareket, ana yanma işlemi sırasında sıcak yanma ürünlerinin ve nispeten soğuk yanmamış metan-hava karışmasını iyileştirmiştir. Pilot yakıt püskürtme dumanının dışında sunulan metanın yanmasını domine ettiğini tespit etmişlerdir. Düşük yüklerde, ana yanma süreci %43-53 civarında metanın yandığını göstermektedir. Son yanma oksidasyon sürecinde is %17-29 civarında yakıt yanmaktadır. Yanma prosesine katılmayan, %27-35 civarı metan tespit edilmiştir. Egzoz supabı açıldığında, yanmamış metanın büyük çoğunluğu silindir merkezinde bulunmaktadır. Çok küçük bir miktarı ancak piston-silindir aralığında ve duvarlarda olduğu görmüşlerdir. Yanmamış metanı azaltmak için, ikincil pilot yakıt enjeksiyonunun yapılmasını önermişlerdir (Li, Li, Guo, Li, & Yao, 2017).

Poorghasemi ve diğ. modifiye edilmiş bir reaksiyon kontrollü sıkıştırma ateşlemeli (RCCI) bir motorun enjeksiyon stratejilerinin yanma verimliliği ve egzoz emisyon özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Doğalgaz porttan enjekte edilirken, dizel direkt silindir içine enjekte ederek çift yakıt kullanmışlardır. Doğalgazın ön karışım oranını, enjeksiyonun başlangıcını, dizel kütle oranını, enjeksiyon basıncını ve püskürtme açısını analiz ettiler. Bu parametrelerin egzoz emisyonunu ve motor performansını önemli ölçüde etkilediğini buldular. Ayrıca, enjeksiyon basıncını 450 bardan 300 bara düşürerek, belirtilen verimlilik % 5 artarken, püskürtme açısını 144 dereceden 100 dereceye düşürdüklerinde, brüt belirtilen verimlilik %4 azalmaktadır. Yüksek ön karışım oranı, HC ve CO emisyonunu artırır ama NO_X emisyonunu azaltır (Poorghasemi et al., 2017).

Zhao ve diğ. CI motorları için 61 tür ve 199 reaksiyon içeren bir iskelet dizel ve doğal gaz reaksiyon mekanizması geliştirmiştir. Dizel için reaksiyon mekanizmasını ve doğal gaz yakıtı için GRI-Mech 3.0 reaksiyon mekanizmasını birleştirdiler. Bu çift yakıtlı mekanizma tutuşma, yanma ve emisyon özelliklerinin etkili olarak çözdüğü görülmüştür. KIVA4 kodunun round-robin algoritmasına dayanan bir hesaplama yöntemi kullanarak, CI motorlarında yanma için HAD simülasyon süresinin önemli ölçüde azaldığını bildirdiler (Zhao, Yang, Fan, Zhou, & Ma, 2017).

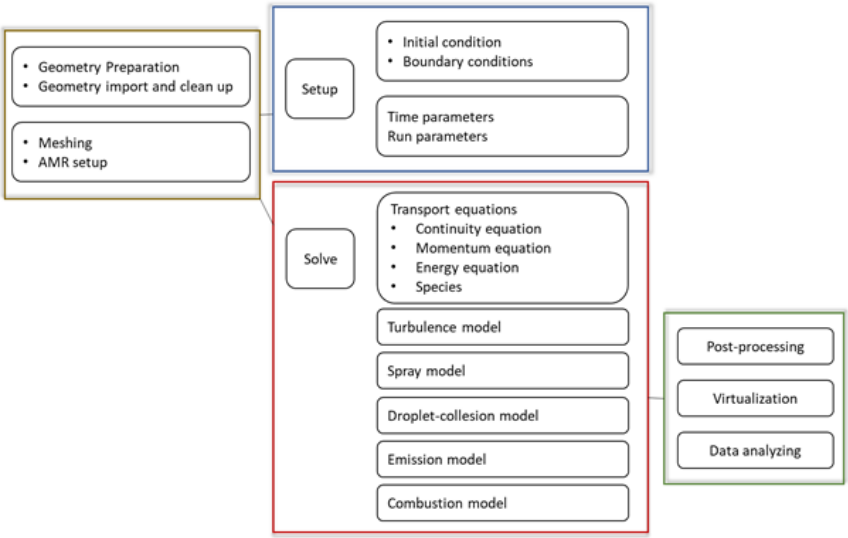
Sunulan önceki çalışmalara göre, çift yakıtlı motorlar düşük emisyon ve yüksek yanma verimi vaat etmektedir. Yanmamış gaz yakıt emisyonu, pilot enjeksiyon ile tutuşma sorunları ve vuruntu gibi elimine edilmesi gereken olumsuz tarafları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlar, HAD yazılımı ve deneysel metotlar birlikte kullanılarak giderilmeye çalışılmaktadır. HAD metotları ile deneysel imkanlarla yapılamayacak veya çok zor olan silindir içi hareketin detaylı gözlemlenmesi gibi durumları gerçekleştirebilmektedir. Diğer yandan onaylanmış model üzerinden, farklı parametreler denenerek optimizasyon çalışmaları da yapılabilmektedir. Yapılacak

parametrik ve optimizasyon çalışmaları ile yüksek verimli düşük emisyonlu çift yakıtlı motor elde edilebilir.

2. Çift yakıtlı bir Motorun Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile Modellenmesi

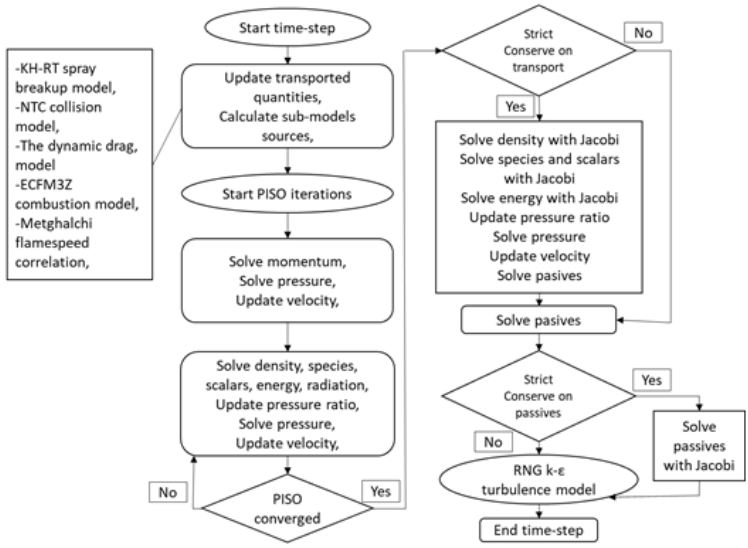
Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) modeller, valf hareketleri, yakıt enjeksiyonu, silindir içi akış ve türbülans gibi özel problemler, ayrıntılı bir uzamsal çözünürlükle çözüme izin verirler. HAD tabanlı modeller, yanma odası ve türbülans etkilerinin içindeki akışkan hareketini ayrıntılı olarak çözer ve yanma odası içinde yüksek bir uzamsal çözünürlük sağlar.

Havacılık endüstrisi HAD tekniklerini uçak, jet motorlarının tasarım, araştırma ve geliştirme çalışmalarına 1960'lardan bu yana entegre etmiştir. Günümüzde bilgisayarların işlem kabiliyeti artması ile birlikte içten yanmalı motorlar ve gaz türbinlerinin tasarımına uygulanmakta ve başarı elde edilmektedir. Yanma odasının, emme ve egzoz kanallarının kütle, enerji ve momentum (Navier-Stokes denklemleri), ve partikül konsantrasyonlarının korunması için kısmi diferansiyel denklemleri çözerler. Geometrinin oluşturulması, sınır şartlarının tanımlanması, çözüm ağının oluşturulması ve sıvı-gaz özelliklerinin tanımlanması çözümde temel bir adımdır.



Şekil 1. *Simülasyon süreci akış diyagramı.*

Ticari HAD yazılımı, Converge, test motorunun silindir içi akış, enjeksiyon ve yanma modellemesinde kullanılmaktadır. Çözüm ağ yapısı olarak, modifiye edilmiş kesme-hücreli kartezyen kafes yöntemi benimsenmiştir. Supap ve pistonlar hareket ettiği için, her bir zaman adımında ağ yapısı tekrar oluşturulur. Simülasyon süreci akış diyagramı şekil 1'te görülebilir. Simülasyonda kullanılan algoritma ise şekil 2'da özetlenmiştir.



Şekil 2. *Simülasyon çözüm algoritması.*

2.1. Yönetim Denklemleri

Akışkan akışının dinamiği, kütle, momentum ve enerjinin korunumunu tanımlayan denklemlerle yönetilir. Ek denklemler türbülans ve pasif, skalar ve türlerin taşınmasını tanılamaktadır (Richards, Senecal, & Pomraning, 2019). Momentum denkleminde kütle ve momentum denklemlerinin gradyanını çözmek gerekir. Kütle taşınım ve momentum taşınım için sıkıştırılabilir denklemler:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = S \tag{1}$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + S_i \tag{2}$$

Viskoz stres tensörü ise (Maia et al., 2020):

$$\sigma_{ij} = \mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) - \frac{2}{3}\mu\left(\frac{\partial u_k}{\partial x_k}\delta_{ij}\right) \tag{3}$$

Denklemlerde u hız, ρ yoğunluk, P basınç, S kaynak terimi, μ viskozite, μ' dilatasyonel viskozite ve δ_{ij} kroneker delta'yı ifade etmektedir.

Denklem 1 ve 2 kaynak terimi kullanımına izin verir. Momentum denklemi sonlu hacimler formunda çözülür. Momentum denklemi çözülürken korunan değerler yüzeylerde ifade edilirken, birincil değerler hacim merkezinde tutulur.

Enerji denklemi bağımsız olarak veya momentum ve kütle denklemleriyle birlikte çözülebilir. Enerji denklemi momentum ve kütle olmadan çözülürse, taşınım enerji denklemine dahil edilmeyecektir (yani enerji taşınım denklemi sadece difüzyon terimlerini içerecektir). Sıkıştırılabilir akışlar için enerji denklemini, aşağıda verilmiştir;

$$\frac{\partial \rho e}{\partial t}+\frac{\partial u_j \rho e}{\partial x_j}=-P\frac{\partial u_j}{\partial x_j}+\sigma_{ij}\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(K\frac{\partial T}{\partial x_j}\right)+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho D\sum_m h_m\frac{\partial Y_m}{\partial x_j}\right)+S \quad (4)$$

Denklemde ρ yoğunluk, Y_m m türlerinin kütle oranı, e özgül enerji, D kütle difüzyon katsayısı, P basınç K iletim, h_m entalpi, T sıcaklık, σ_{ij} stres tensörü ve S kaynak terimdir. Eğer türbülans modeli dahil edilirse, taşınım terimi yerine türbülans taşınımı eklenir. Türler taşıma denklemi, bölgedeki tüm türlerin kütle fraksiyonunu çözer. Tür kütle fraksiyonu;

$$Y_m=\frac{M_m}{M_t}=\frac{\rho_m}{\rho_t} \quad (5)$$

Tür denklemleri tek başlarına veya diğer taşınım denklemlerinden herhangi biriyle birlikte çözülebilir. Momentum çözülmezse, taşınım türü taşıma denkleminde dikkate alınmayacaktır (yani, türlerin korunum denklemi sadece difüzyon terimlerini içerecektir). Sıkıştırılabilir akış için türlerin korunum denklemi;

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t}+\frac{\partial \rho_m u_j}{\partial x_j}=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho D\frac{\partial Y_m}{\partial x_j}\right)+S_m \quad (6)$$

2.2. Türbülansın Modellenmesi

Türbulans, çok komplike akışkan hareketidir. Türbülanslı akış zamandan bağımsız, üç boyutlu, aralıklı, rotasyonel, dağınık, ve düzensizdir veya düzenini tanımlayacak denklem henüz bulunmamıştır. Dolayısıyla model kullanılmaktadır. Çok çeşitli uygulamalar için, türbülans modeli dahil olmadan doğru HAD simülasyonu sonuçlarını elde etmek zordur.

Türbülanslı karıştırma, akışta türbülanslı girdapların varlığından kaynaklanan konvektif bir süreçtir. Bu çalkantılı girdaplar birçok uzunluk skalasında ortaya çıkar. Bir HAD çözücü en küçük girdap uzunluk ölçeğini çözebilen çözüm ağı içermiyorsa, çözücü, simülasyondaki tür-

bülansın gelişmiş karışım etkilerini tamamen hesaba katamaz. Şu anda, tüm uzunluk ölçeklerinin tipik bir HAD simülasyonunda çözülmesi pratik değildir ve bu nedenle türbülans modelleri ek karışımları hesaba katmak için kullanılır.

Motor modellerinde genellikle, Reynold-Averaged Navier-Stokes (RANS) türbülans modeli kullanılmaktadır. İki denklemli RNG k-epsilon modeli literatürde benzer çalışmalarda yaygın kullanılmaktadır. Çözüm doğruluğu ve hız dolayısı ile tercih edilmiştir (Han & Reitz, 1995; Launder & Spalding, 1974). Bu model, akış değişkenlerinin bir toplam ortama ve bir dalgalanma terime ayrıştırıldığı iki eşitlikli RANS modelleridir:

$$\rho = \overline{\rho} + \rho' \qquad (7)$$

$$U_i = \overline{U}_i + u_i \qquad (8)$$

Sıkıştırılabilir akış için denklemlerin ortalaması alınması aşağıdaki denklemleri üretir:

Kütle korunumu;

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\overline{\rho}\right) + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\overline{\rho}\overline{U_j} + \overline{\rho}\overline{u_j}\right) = 0 \qquad (9)$$

Momentum korunumu;

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\overline{\rho}\overline{U_i} + \overline{\rho' u_i}\right) + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\overline{\rho}\overline{U_j}\overline{U_i} + \overline{\rho}\overline{u_i}\overline{u_j} + \overline{U_j}\overline{\rho' U_i} + \overline{U_i}\overline{\rho' u_i}\right) = -\frac{\partial \overline{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\overline{\sigma_{ij}} \qquad (10)$$

Skalerlerin taşınması, ϕ

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\overline{\rho}\overline{\phi} + \overline{\rho'\phi'}\right) + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\overline{\rho}\overline{U_j}\overline{\phi} + \overline{\rho}\overline{u_j}\overline{\phi'} + \overline{U_j}\overline{\rho'\phi'} + \overline{\phi}\overline{\rho' u_j} + \overline{\rho}\overline{u_j\phi'}\right) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\Gamma_\phi \frac{\partial \overline{\phi}}{\partial x_j}\right) + \overline{S_\phi} \qquad (11)$$

Reynold stresi;

$$\tau_{ij} = -\overline{\rho u_i' u_j'} \qquad (12)$$

2.3. Yanmanın Modellenmesi

Yanma için SAGE çözücüsü kullanılmaktadır. Bileşiklerin konsantrasyonunu, her bir zaman için ve her bir hücrede CHEMKIN dosyaları ile çözmektedirler. Model ayrıca dizeli temsil eden n-heptan için indirgenmiş reaksiyon mekanizması kullanmaktadır. Bu çalışmada, yanmayı modelleyebilmek için, GRI-Mech v3 CHEMKIN mekanizması kullanılmıştır.

Mekanizmada 5 element, 76 tür ve 464 mekanizma tanımlıdır. Çok adımlı reaksiyon mekanizması aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\sum_{j=1}^{J} v'_{ji} X_j \leftrightarrow \sum_{j=1}^{J} v''_{ji} X_j \quad for \quad i = 1,2,\ldots I \tag{13}$$

Formülde, v'_{ji} reaktanların stokiyometrik katsayısı, v''_{ji} i ve j türleri için ürünlerin stokiyometrik katsayısı ve X_j türlerin kimyasal sembolüdür. Türlerin üretim miktarı:

$$\dot{\omega}_j = \sum_{i=1}^{I} v_{ji} q_i \quad j = 1,2,\ldots,J \tag{14}$$

$$v_{ji} = v''_{ji} - v'_{ji} \tag{15}$$

Yönetim denklemleri, alandaki belirli bir hücre için çözülebilir. Bu denklemler:

$$\frac{d\left[X_j\right]}{dt} = \dot{\omega}_j \tag{16}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{V\frac{dP}{dt} - \sum_j \left(\bar{h}_j \dot{\omega}_j\right)}{\sum_j \left(\left[X_j\right]\bar{c}_{p,j}\right)} \tag{17}$$

Burada $\bar{h}_j$ molar özgül entalpidir ve $\bar{c}_{p,j}$ j türlerinin özgül ısısıdır. Her adımda denklem 16 ve 17 çözülür, ardından türler uygun şekilde güncellenir (Senecal et al., 2003).

2.4. Emisyon Modellemesi

Yanma, modelin içindeki reaksiyon mekanizması ile çözülür. CO, CO2 ve yanmamış HC türleri Converge CFD ticari kodundaki reaksiyon mekanizması ile hesaplanır veya enterpole edilir.

NO_X oluşumu reaksiyon sıcaklığına bağlıdır. Sıcaklık belirli bir değerden yüksek olursa NO_X emisyonu oluşur. NO oluşumunu hesaplamak için genişletilmiş Zeldovich mekanizması kullanılır. Bu mekanizma aşağıdaki reaksiyonları oluşturur (Heywood, 1988):

$$O + N_2 \leftrightarrow NO + N \quad \text{(R1)} \tag{18}$$

$$N + O_2 \leftrightarrow NO + O \quad \text{(R2)} \tag{19}$$

$$N + OH \leftrightarrow NO + H \quad \text{(R3)} \tag{20}$$

Reaksiyon hızı sabitleri (cm^3/mol):

$$k_{R1,f} = 7.6 \cdot 10^{13} e^{\left(\frac{-38000}{T}\right)} \tag{21}$$

$$k_{R1,r} = 1.6 \cdot 10^{13} \tag{22}$$

$$k_{R2,f} = 6.4 \cdot 10^{9} Te^{\left(\frac{-3150}{T}\right)} \tag{23}$$

$$k_{R2,r} = 1.5 \cdot 10^{9} Te^{\left(\frac{-19500}{T}\right)} \tag{24}$$

$$k_{R3,f} = 4.1 \cdot 10^{13} \tag{25}$$

$$k_{R3,r} = 2.0 \cdot 10^{14} e^{\left(\frac{-23650}{T}\right)} \tag{26}$$

Burada alt simge f ileri tepkimeyi ve alt simge r ters tepkimeyi ifade eder.

Ani NO_X mekanizması, tamamen hidrokarbon yanmasının kimyası ile ilgilidir. NO_X, oksijen konsantrasyonunun yüksek olduğu, yakıt açısından zengin ve düşük sıcaklıklı bölgelerde oluşur. Hızlı NO_X oluşumu nedeniyle kaynak terimi şu şekilde verilmiştir (Richards et al., 2019):

$$S_{prompt,NO} = M_{w,NO} \frac{dNO}{dt} \tag{27}$$

İs oluşumu, gaz fazındaki hidrokarbon moleküllerinden küçük katı partiküllerin oluşumu ile başlamaktadır. Gaz fazıyla iki yönlü bağlantı elde etmek için is yüzeyinin büyümesi gerekmektedir. İs pıhtılaşması, daha büyük is partiküllerinin oluşumuna yol açan küçük is partikülleri arasındaki fiziksel bir çarpışma sürecidir. İs yoğunlaşması, gaz fazındaki türlerin bir araya geldiğini ve büyük is parçacıkları oluşturduğunu gösterir (Bockhorn, 1994).

Hiroyasu-NSC ampirik is modeli, is oksidasyonunu simüle etmek için kullanılır. İs oksidasyon hızı (Hiroyasu & Kadota, 1976):

$$\dot{M}_{so} = A_{so} \frac{6\ddot{M}_s}{\rho_s D_s} R_{total} MW_c \tag{28}$$

A_{so} ölçekleme faktörü, M_s toplam partikül kütlesi (g), MW_c karbonun moleküler ağırlığı (g/mol), D_s nominal is partikül çapı (cm), R_{total} toplam reaksiyon hızı ve ρ_s is yoğunluğu (g/cm^3).

Hesaplanan zaman adımının başlangıcında ve sonunda is yoğunluğundaki fark:

$$\rho_s^{n+1} - \rho_s^n = \left(\frac{SF\rho_{form}}{SO} - \rho_s^n \right) \cdot \left[1 - e^{(-SOdt)} \right] \tag{29}$$

Tablo 1'de simülasyonda kullanılan diğer alt modeller verilmiştir. Bu modeller dizel ve çift yakıtlı yanma için doğrulanmış modellerdendir. Sprey enjeksiyonunda KH-RT modeli kullanılmıştır. Yanma için, dizel motorlardaki çözüm doğruluğu dolayısıyla, SAGE çözücüsü seçilmiştir. Genişletilmiş Zeldovich termal NOx emisyon modeli ve Hiroyasu is modeli seçilmiştir.

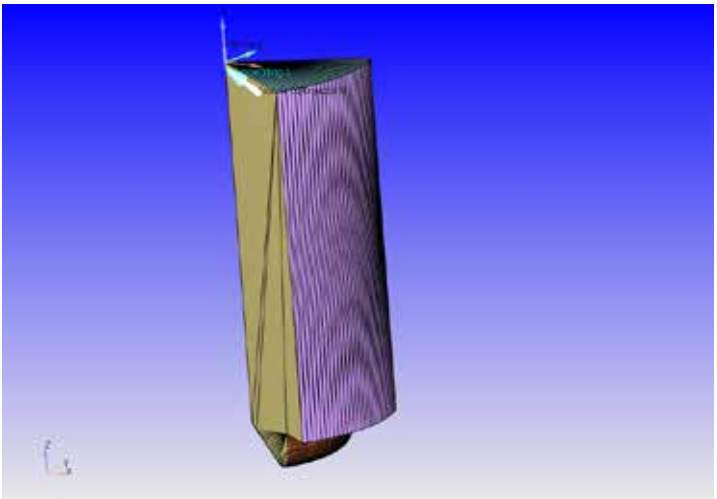
Tablo 1. *Simülasyonda kullanılan alt modeller.*

Türbülans modeli	RANS - RNG k-ε
Yanma modeli	SAGE
Çarpışma modeli	NTC
Buharlaşma modeli	Frossling
Sprey ayrılması modeli	KH + RT
Sprey-duvar ilişkisi modeli	Rebound/Slide
Soot modeli	Hiroyasu-NSC
NO_X modeli	Genişletilmiş Zeldovich

3. Analiz ve Bulgular

3.1. HAD modelinin oluşturulması

Converge programı kullanılarak, HAD modeli oluşturulmuştur. Öncelikle motorun geometrisi hazırlanmış, piston hareketleri modelde belirlenmiştir (şekil 3). Simüle edilen motorun özellikleri tablo 2'de listelenmiştir. Motor, 2.44 litre hacimli ve sıkıştırma oranı 16'dır. Çözüm süresini kısaltmak amacıyla sektör çözüm ağı kullanılmıştır. Sektör olarak modelleyebilmek için enjektör silindirin merkezinde olmalı veya merkezde olduğu varsayılmalıdır. Varsayım hata payına sebep olacağı da unutulmamalıdır. Motor enjektör nozül sayısına göre sektör açısı belirlenebilir. Toplam 6 enjektör nozülü bulunduğu için, motor 60 derece sektör olarak modellenmiştir. Piston, emme portu kapalı olduğu konumdan, egzoz portu açıldığı konuma kadar çözüm yapılabilmektedir.



Şekil 3. *Çalışmada kullanılan motorun sektör geometrisi.*

Motor çift yakıtlı olarak çalışmaktadır. Emme portlarından metan enjekte edilirken, silindir içine doğrudan dizel enjeksiyonu yapılmaktadır. Silindir içine metan tanımlanarak çözüm başlatılmıştır. Silindir içine kütlece %2.3 metan tanımlanmıştır. Piston ÜÖN'dan 9 derece önce, 10.5 derece dizel enjekte edilmiştir. Enjekte edilen dizel miktarı 13.5 mg/çevrim-nozül'dür. Enjekte edilen yakıtın sıcaklığı 341 K'dir. Enjektör konumu silindir kafasından 3.22 mm mesafededir. Bu yakıtı temsil etmek için 50000 parsel kullanılmıştır.

Tablo 2. *Caterpillar Marka Motorun özellikleri.*

Motor tipi	Tek silindirli, direkt enjeksiyonlu
Silindir hacmi [l]	2.44
Piston çapı [mm]	137.6
Strok [mm]	165.1
biyel kolu uzunluğu [mm]	263
Sıkıştırma oranı [-]	16:1
Püskürtme açısı [derece]	125
Enjeksiyon basıncı [MPa]	90

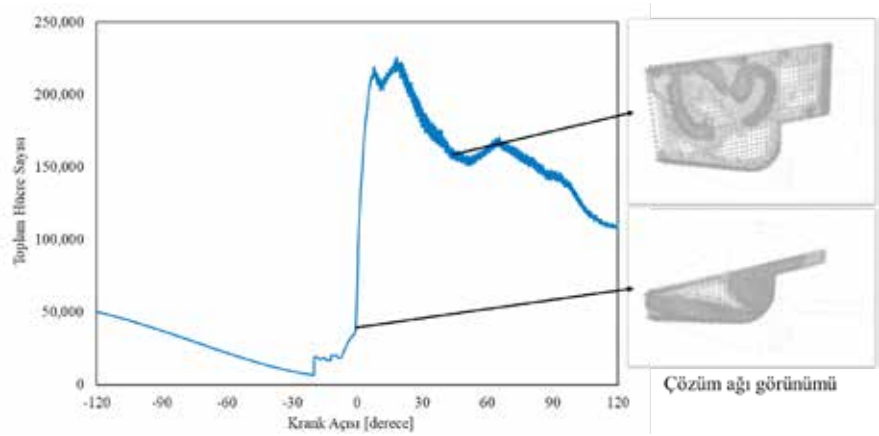
Simülasyon 147 derece ÜÖN'dan önce başlatılmış ve 135 derece ÜÖN'dan sonraya kadar çözdürülmüştür. Simülasyon zaman adımı 5e-7 s olarak başlatılmış ve 1e-8 s'ye kadar düşürülmüştür. PISO algoritması kullanılmıştır. Swirl oranı 0.978, swirl profili 3.11 olarak tanımlanmıştır. Türbülans Prandtl sayısı 0.9 ve türbülans Schmidt sayısı 0.78 olarak girilmiştir.

Simülasyon başlangıcında sıcaklık 355.0 K ve basınç 134793.0 Pa olarak tanımlanmıştır. Türbülans kinetik enerjisi 62.0271 m^2/s^2 ve türbülans yayılması 17183.4 m^2/s^3 simülasyon başlatılmıştır. Duvar sıcaklığı olarak piston 553 K, silindir 433 K ve silindir kafası 523 K olarak sıcaklık sınır

şartı girilmiştir. Yanma çözücüsü olarak SAGE seçilmiştir. Yanma çözücüsü -10 derece krank açısında başlatılmıştır.

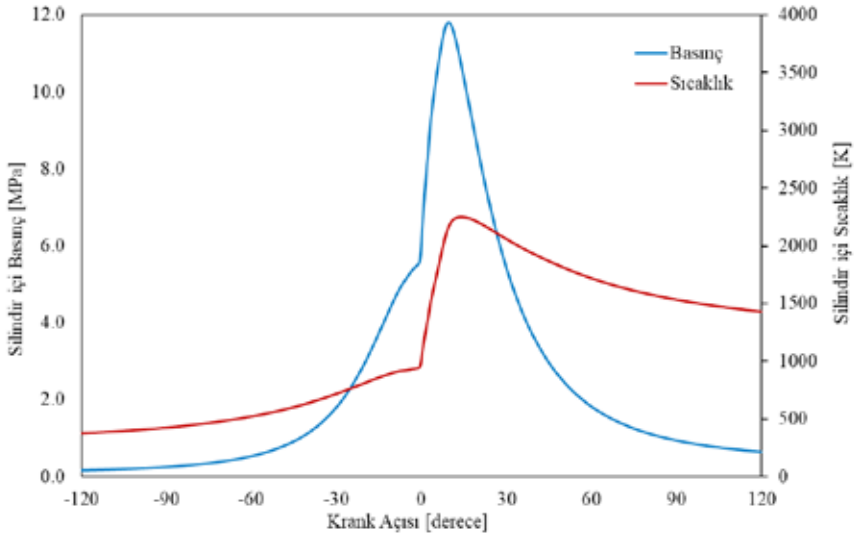
3.2. Çözüm Ağının oluşturulması

HAD simülasyonlarında, çözüm ağı olarak, temel çözüm ağı boyutu olarak 1.4 mm seçilmiştir. Ayrıca sıcaklık ve hız dalgalanmalarına göre çözüm ağı boyutu küçültülmektedir. Hıza ve sıcaklığa bağlı olarak çözüm ağı 4 kat küçültülebilmektedir. Ayrıca çözüm alanı belli bölgelerde sıklaştırma yapılabilmektedir. Nozül için enjeksiyonun başlaması ve bitişi süresince 4 kat çözüm ağı sıklaştırılmıştır. Ayrıca piston ve silindir kafası yüzeyinde 1 katman ve 2 kat çözüm ağını sıklaştırma yapılmaktadır. Bu yüzeyde sıklaştırma piston ÜÖN'dan 20 derece önce başlayıp, ÜÖN'dan 135 derece sonra kaldırılmaktadır. Tek hücre sayısı 0.35 mm'ye kadar düşmektedir. Toplam hücre sayısı en çok 225,923'e kadar çıkabilirken ve en düşük 6640'e kadar düşebilmektedir. Piston ÜÖN'da iken hücre sayısı 65,229'dır (şekil 4).

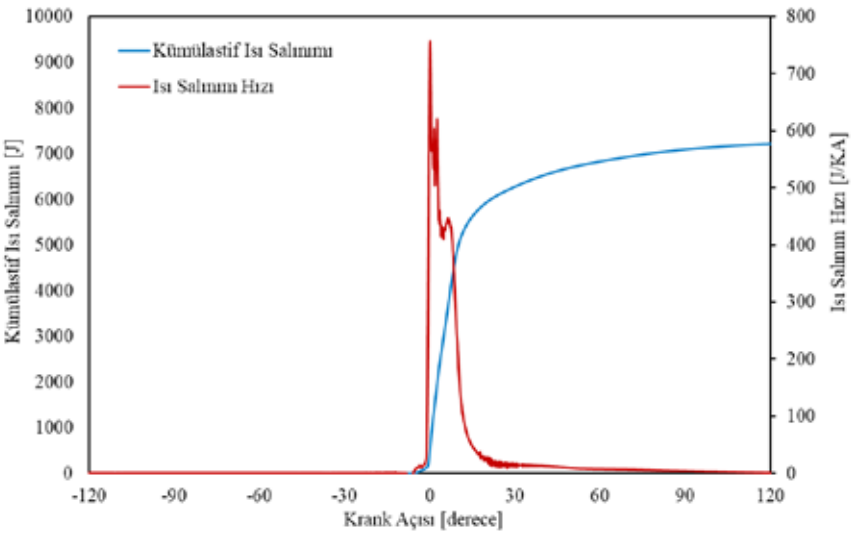


Şekil 4. *Çözüm sırasında çözüm ağı hücre sayısı değişimi.*

Simülasyon sonucu silindir içi basınçları şekil 5'te verilmiştir. Silindir içinde oluşan maksimum basınç 11.83 MPa'dır ve ÜÖN sonrası 9.51 krank açısında meydana gelmiştir. Silindir içinde oluşan maksimum sıcaklık ise 2970.44 Kelvindir. Gross IMEP 1.343220 MPa olarak hesaplanmıştır. Yakıtın %50'sinin yandığı nokta 6.43 krank açısıdır ve krank açısı 39.64'e ulaştığında yakıtın %90'ı yanmıştır. Kümülastif ısı salınımı ve ısı salınım hızı şekil 6'da verilmiştir. Isı salınım hızı maksimum 765.0 J/derece'ye 31.0 krank açısında ulaşmıştır.

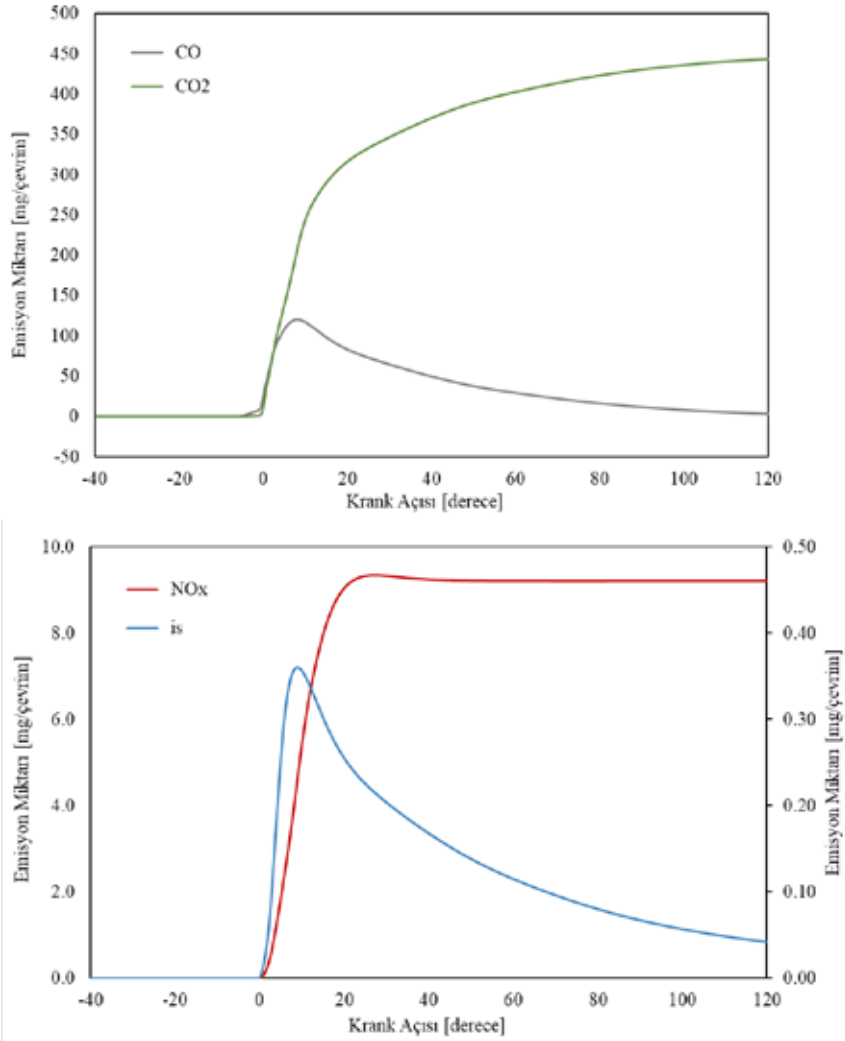


Şekil 5. *Silindir içi basınç ve sıcaklıkları.*

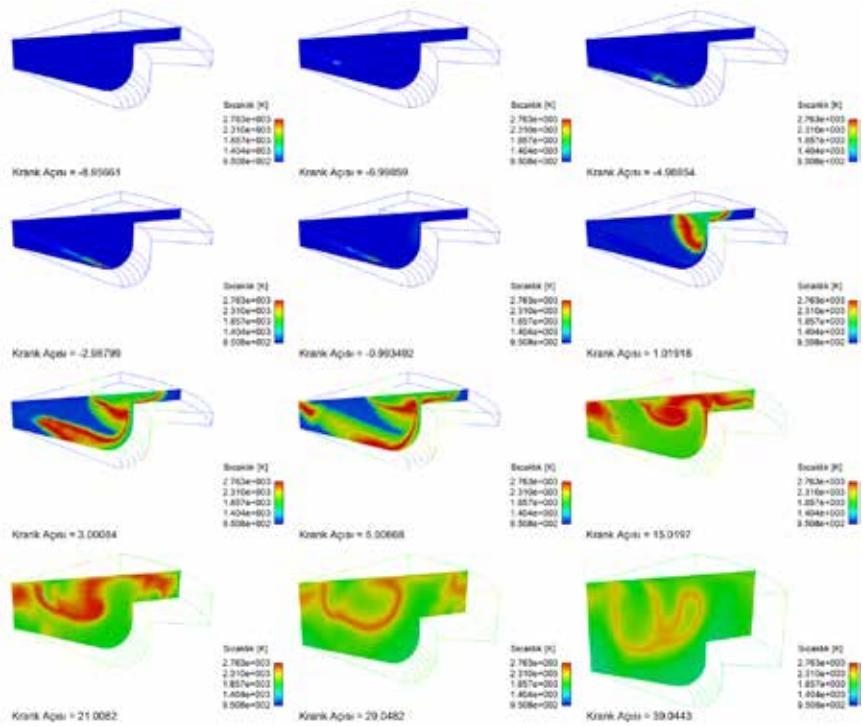


Şekil 6. *Yanma ile oluşan ısı salınımları.*

Silindir içi yanma sonucu açığa çıkan emisyonlar şekil 7'de sunulmuştur. Egzoz supabı açıldığı noktada 446.06 mg/çevrim CO_2 emisyonu ve 1.68 mg/çevrim CO emisyonu açığa çıkmıştır. Ayrıca 9.22 mg/çevrim NO_X emisyonu ve 0.035 mg/çevrim is emisyonu salınmıştır.



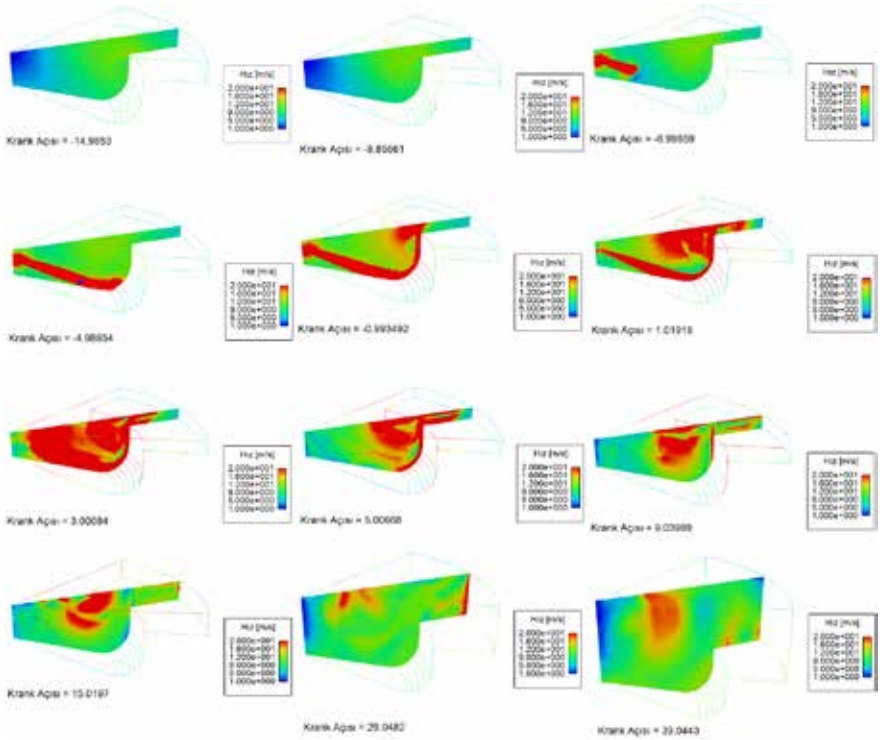
Şekil 7. *Oluşan CO_2, CO, NO_X ve is emisyon miktarlarının kranka bağlı değişimi.*



Şekil 8. *Farklı krank açılarındaki silindir içi sıcaklık dağılımları.*

Silindir içinde oluşan sıcaklık dağılımları farklı krank açılarında şekil 8'de görülmektedir. Enjeksiyonun başladığı -9 derecede silindir içine giren yakıt görülmektedir. Bir süre, tutuşma gecikmesi kadar silindir içi sıcaklıklarda artış gözlemlenmemektedir. Ardından ÜÖN civarında ve sonrasında silindir içi sıcaklıklarında artış gözlemlenmektedir. Lokal bazı bölgelerde sıcaklık 2763 K civarına kadar çıkabilmektedir. Yakıt enjeksiyonu sırasında piston çanağına yakın bölgelerde yüksek sıcaklıklar gözlenirken, krank açısı +15'e ulaştığında silindir kafası civarında daha yüksek sıcaklıkların oluştuğu gözlemlenmektedir.

Silindir içinde oluşan hızlar şekil 9'da gösterilmektedir. Enjeksiyon ile beraber silindir içindeki hızlar artmaktadır. Silindir içinde oluşan hızlar 20 m/s'ye kadar çıkarken, -9 dereceden başlayıp, +1 derece civarına kadar devam eden yakıt enjeksiyonu silindir içinde hızları arttırmaya devam etmektedir. Piston çanağının yakıt enjeksiyonuna yön verdiği görülebilmektedir. Pistonun alt ölü noktaya doğru ilerlemesi ve yakıt enjeksiyonunun tamamlanmasıyla, silindir içindeki hızlar da azalmaktadır.



Şekil 9. *Farklı krank açılarındaki silindir içi hız dağılımları.*

4. Sonuçlar

Bu bölümde, çift yakıtlı (metan+dizel) bir motorun HAD yazılımı ile modellenmesi, örnek çalışma üzerinden anlatılmıştır. Dizel yakıt enjeksiyonu, enjektör parametreleri ile beraber modellenirken, metan silindir içinde belli bir oranda tanımlanmıştır. Dizel pilot enjeksiyonu ile karışım ateşlenmiştir. Çift yakıtlı motorlar düşük emisyon ve yüksek verim vaat etmektedir. Ancak çalışma parametrelerinin en uygun şekilde belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Her bir parametre için deney düzeneğinde değişiklik yapmak oldukça zor veya imkansız olabilmektedir. Bu yüzden, HAD yazılımları bize büyük kolaylık sağlamaktadır. Deney parametreleri ile oluşturulmuş ve doğrulanmış bir model, gerçek test motorunu temsil edebilmektedir. Bu şekilde optimum çalışma parametrelerini bulabilmek için, farklı parametreler simüle edilebilmektedir. Bunlardan, en uygun ateşleme zamanını bulmak için farklı ateşleme zamanlarında, model çalıştırılarak en uygun nokta tespit edilebilir. Ayrıca, HAD yazılımları ve optimizasyon yöntemleri beraber kullanılarak, çoklu amaçlı optimizasyon çalışması yapılabilir. Yanma çok kompleks bir olgu olduğu için, birçok parametre motor verim ve emisyonlarına etki edebilmektedir. Bunun için farklı parametreler beraber çalışılarak, bütün parametrelerin en uygun oluğu noktalar tespit edilebilmektedir. Emisyon standartlarının bu denli sıkılaştırıldığı günümüzde, bu çalışmalar zorunlu hale gelmektedir.

KAYNAKÇA

Ahmad, Z., Kaario, O., Qiang, C., Vuorinen, V., & Larmi, M. (2019). A parametric investigation of diesel/methane dual-fuel combustion progression/stages in a heavy-duty optical engine. *Applied Energy*. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.187

Bockhorn, H. (1994). *Soot Formation in Combustion: Mechanisms and Models*. (H. Bockhorn, Ed.), *Springer-Verlag* (Vol. 59). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-85167-4

EEA. (2017). *Trends and projections in Europe 2018*. *EEA Report*. Luxembourg. https://doi.org/10.2800/93693

EEA. (2018). Annual European Union greenhous gas inventory 1990-2016 and inventory report 2018. *EEA Technical Report*. https://doi.org/10.2800/92220

Han, Z., & Reitz, R. D. (1995). Turbulence Modeling of Internal Combustion Engines Using RNG k-ε Models. *Combustion Science and Technology*. https://doi.org/10.1080/00102209508907782

Heywood, J. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. *McGraw Hill*. New York.

Hiroyasu, H., & Kadota, T. (1976). Models for Combustion and Formation of Nitric Oxide and Soot in Direct Injection Diesel Engines. https://doi.org/10.4271/760129

Karim, G. A. (2015). *Dual-fuel diesel engines*. *Dual-Fuel Diesel Engines*. https://doi.org/10.1201/b18163

Launder, B. E., & Spalding, D. B. (1974). The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, *3*(2), 269–289. https://doi.org/10.1016/0045-7825(74)90029-2

Li, Y., Li, H., Guo, H., Li, Y., & Yao, M. (2017). A numerical investigation on methane combustion and emissions from a natural gas-diesel dual fuel engine using CFD model. *Applied Energy*. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.071

Maghbouli, A., Saray, R. K., Shafee, S., & Ghafouri, J. (2013). Numerical study of combustion and emission characteristics of dual-fuel engines using 3D-CFD models coupled with chemical kinetics. *Fuel*. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.10.055

Maia, A. A. G., Kapat, J. S., Tomita, J. T., Silva, J. F., Bringhenti, C., & Cavalca, D. F. (2020). Preconditioning methods for compressible flow CFD codes: Revisited. *International Journal of Mechanical Sciences*, *186*(October 2019), 105898. https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2020.105898

Maurya, R. K., & Mishra, P. (2017). Parametric investigation on combustion and emissions characteristics of a dual fuel (natural gas port injection and die-

sel pilot injection) engine using 0-D SRM and 3D CFD approach. *Fuel*. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.09.021

Nordell, B. (2003). Thermal pollution causes global warming. *Global and Planetary Change*, *38*(3–4), 305–312. https://doi.org/10.1016/S0921-8181(03)00113-9

Nwafor, O. M. I. (2002). Knock characteristics of dual-fuel combustion in diesel engines using natural gas as primary fuel. *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*. https://doi.org/10.1007/BF02703658

Poorghasemi, K., Saray, R. K., Ansari, E., Irdmousa, B. K., Shahbakhti, M., & Naber, J. D. (2017). Effect of diesel injection strategies on natural gas/diesel RCCI combustion characteristics in a light duty diesel engine. *Applied Energy*. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.011

Richards, K. J., Senecal, P. K., & Pomraning, E. (2019). CONVERGE 2.4 Manual. Madison, WI: Convergent Science.

Salameh, Z. (2014). Factors Promoting Renewable Energy Applications. In *Renewable Energy System Design* (pp. 1–32). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374991-8.00001-5

Selim, M. Y. E. (2004). Sensitivity of dual fuel engine combustion and knocking limits to gaseous fuel composition. *Energy Conversion and Management*. https://doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00150-X

Senecal, P. K., Pomraning, E., Richards, K. J., Briggs, T. E., Choi, C. Y., McDavid, R. M., & Patterson, M. A. (2003). Multi-dimensional modeling of direct-injection diesel spray liquid length and flame lift-off length using cfd and parallel detailed chemistry. In *SAE Technical Papers*. https://doi.org/10.4271/2003-01-1043

Şener, R., Özdemir, M. R., & Yangaz, M. U. (2019). Influence of piston bowl geometry on combustion and emission characteristics. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, *233*(5), 576–587. https://doi.org/10.1177/0957650919854637

Sener, R., Yangaz, M. U., & Gul, M. Z. (2020). Effects of injection strategy and combustion chamber modification on a single-cylinder diesel engine. *Fuel*. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117122

WHO. (2013). Review of evidence on health aspects of air pollution - REVIHAAP Project. *Pollution Atmospherique*. https://doi.org/0-19-914818-X

Williams, L. O. (2002). An End to Global Warming. *An End to Global Warming*. https://doi.org/10.1016/B978-008044045-3/50013-X

Zhao, W., Yang, W., Fan, L., Zhou, D., & Ma, X. (2017). Development of a skeletal mechanism for heavy-duty engines fuelled by diesel and natural gas. *Applied Thermal Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.05.175

Bölüm 18

KÜÇÜKMUHSİNE PERİBACALARININ (KONYA) JEOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE JEOTURİZM POTANSİYELİ

Şeyda PARLAR[1]
Yaşar EREN[2]

1 Dr. Öğr. Üyesi, Konya Teknik Üniv., Müh. ve Doğa bilimleri Fak., Jeoloji Müh. Böl., sparlar@ktun.edu.tr
2 Prof. Dr., Konya Teknik Üniv., Müh. ve Doğa bilimleri Fak., Jeoloji Müh. Böl., yeren@ktun.edu.tr

1.GİRİŞ

Peribacaları ilginç ve nadir olarak oluşan yeryüzü şekilleridir. Peribacalarının oluşumunda ve şekillenmesinde hem erozyona karşı farklı direnç gösteren seviyelerin varlığı, hem de farklı yönlerde gelişmiş kırık takımları etkili olmaktadır. Farklı aşınma özelliğine sahip litolojilerde oluşan peribacalarında aşınmaya karşı dayanımsız litolojiler kolaylıkla aşınıp törpülenirken, aşınmaya daha dayanımlı olan litolojiler genellikle şapkalar şeklinde kalmaktadır. Kolaylıkla aşınan kısımlar tüf, tüfit, ignimbirit gibi volkanoklastik materyallerden oluşmaktadır. Daha sert olan ve aşınmaya dayanımlı olan litolojiler ise kireçtaşı, kumtaşı ve konglomeradır. Diferansiyel aşınmaya bağlı olarak oluşan bu nadir jeolojik yapılar, genellikle kurak ya da yarı kurak iklime sahip ortamlarda gözlenmektedir. Aşınma ajanı olarak ise rüzgar ve su etkili olmaktadır. Kırık takımlarının etkisi de peribacalarının oluşumunu hızlandırmaktadır.

Genellikle volkano-sedimanter kayaçlarda oluşan peribacalarının ülkemizdeki en geniş yayılımlı ve en bilinenleri Kapadokya bölgesindeki peribacalarıdır (İmamoğlu, 2019). Bunların dışında Seydiler (Afyon) Peribacaları (Özdemir, 2019), Abacı Kızılcahamam (Ankara) Peribacaları (Koçan, 2011) ve Simav Yeniköy (Kütahya) Peribacaları (Ekinci ve Doğaner, 2012) gibi peribacaları da mevcuttur. Volkanik kökenli peribacalarının yanı sıra sedimanter kökenli kayaçlarda oluşan peribacaları da bulunmaktadır. Narman (Erzurum) peribacaları (Kalkan ve Alacalı, 2017) en bilinenlerindedir. Ilgın Çiğil Kırmızı peribacaları (Parlar, 2019), Konya ili için sedimanter kökenli peribacalarına çok güzel bir örnektir.

Birçok doğa anıtı barındıran Konya bölgesindeki görülmeye değer jeolojik doğa anıtlarından biri de, Küçükmuhsine Mahallesi çevresinde gözlenen peribacalarıdır. Konya il merkezinin 20 km batısında yer alan peribacaları (Şekil 1), Küçükmuhsine Mahallesi kuzeyinde 8 ayrı alanda yoğun olarak izlenmektedir. Bu alanlar Mahallenin girişinden başlamakta olup 4 km uzağına kadar gözlenmektedir. Bu çalışmanın amacı; bu doğa güzelliğini tanıtmak, jeolojik özelliklerini açıklamak ve jeoturizm potansiyeli açısından önemini vurgulamaktır.

Şekil 1. *Çalışma alanının yer bulduru haritası*

2. BULGULAR

2.1. Jeoloji

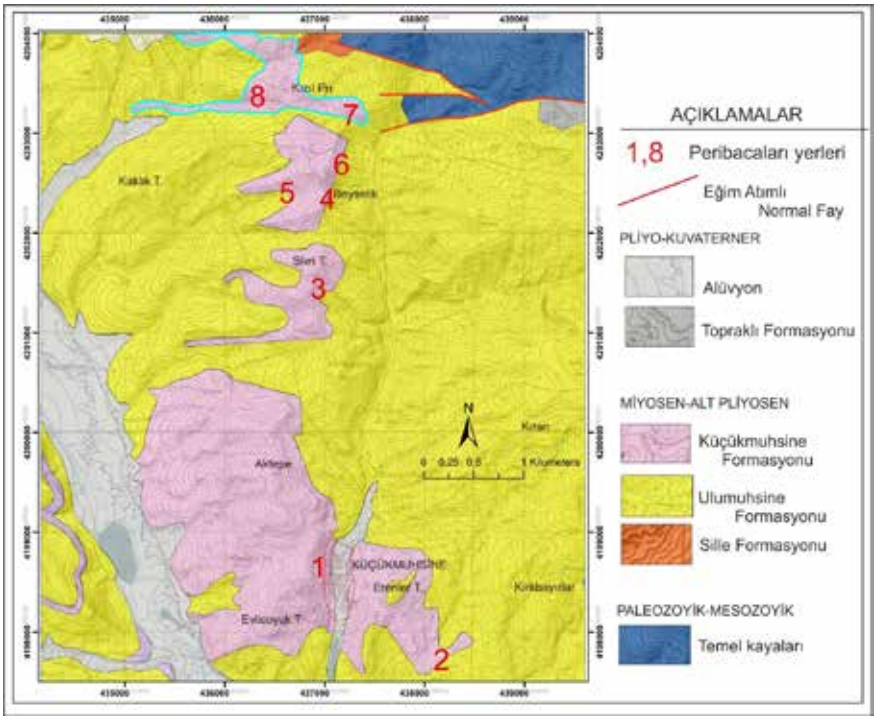
Bölgede temeli, Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı metamorfik kayaçlar oluşturmaktadır. Bu temelin üzerine üzerine, açılı uyumsuz olarak Kızılören Grabeni'nin dolgusunu oluşturan Miyosen-Pliyosen yaşlı alüvyal yelpaze, gölsel, volkanik ve volkanoklastik kayaçlar gelmektedir. Yörenin en genç birimini Kuvaterner yaşlı alüvyonlar oluşturur (Göğer ve Kıral, 1969; Özcan ve diğ., 1990; Eren, 1993, 1996 ve 2003) (Şekil 2).

İnceleme alanının kuzey kesimlerinde yüzlek veren temele ait Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı kayaçların en yaşlı topluluğunu, Siluriyen-Permiyen yaşlı mermer ve metakırıntılı kayaçlar oluşturur. Bu birimlerin üzerinde uyumsuz olarak Mesozoyik yaşlı koyu gri, siyah renkli dolomit mermerler yer almaktadır. Temele ait bu topluluğun üzerine açılı uyumsuz olarak Kızılören çöküntüsünün dolgusunu oluşturan Miyosen-Pliyo-

sen yaşlı Dilekçi grubu gelmektedir. İnceleme alanında Dilekçi Grubunu,alttan üste doğru Sille, Ulumuhsine ve Küçükmuhsine formasyonları oluşturur. Temel üzerinde açılı uyumsuz olarak yer alan Sille formasyonu inceleme alanının kuzeyinde gözlenmektedir (Şekil 2). Birim açık kahve, kırmızı ve sarımsı renkli çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşur. Sille formasyonu yanal ve düşey olarak inceleme alanının en yaygın birimi olan gölsel Ulumuhsine formasyonuna geçiş gösterir. Üst Miyosen- Alt Pliyosen Ulumuhsine Formasyonu, beyazımsı, grimsi ve sarı renkli kireçtaşı, marn, çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından yapılıdır. Kirli beyaz, gri ve krem renkli kireçtaşlarının en önemli özelliği, yaygın olarak stromatolitik ve onkolitik özellikler sunmalıdır. Kireçtaşlarının tabaka kalınlıkları 20 cm ile 1 m arasındadır.Bu birimin üzerine yanal ve düşey geçişli olarak gelen Küçükmuhsine Formasyonu, genelde açık gri, yer yer beyaz, sarı-kahve renk tonlarıyla dikkati çeker. Birimin litolojilerini, tüf, tüfit, volkanik breş ve yer yer aglomeralar oluşturur. Genelde tabakalı olan birimin tabakalarının kalınlığı, lamina boyutu ile kalın tabaka arasında değişir. Yer yer masif görünümlüdür. Ara seviyeler olarak ince tabakalı ve beyaz açık sarı renkli kireçtaşı-çamurtaşı ardalanması da bulundurur. Bu birimlerin üzerine alüviyal yelpaze özellikli Topraklı Formasyonu ve Dolay deresinin dolgusunu oluşturan alüvyonlar gelmektedir. Topraklı formasyonu, Tatköy fayı (Eren, 2003) boyunca düşen blok üzerinde inceleme alanının kuzeydoğusunda gözlenmektedir. Kırmızı-kahve renkli birimin litolojilerini çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanması oluşturur. Yörenin en genç birimlerini ise inceleme alanının güneybatısında Dolay deresi ve yan kollarında gözlenen Güncel alüvyonlar oluşturur (Şekil 2).

2.2. Yapısal Jeoloji

İnceleme alanında, Kızılören Grabeni'ni (Eren, 2003) şekillendiren D-B gidişli normal faylar gözlenmektedir (Şekil 2). Bunun yanı sıra KKD-GGB gidişli ikinci bir normal fay takımı da bulunmaktadır. Haritalanabilir faylara ise inceleme alanının kuzeyinde Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı temel birimleri ile Miyosen-Pliyosen yaşlı gölsel-karasal kayaçların arasında rastlanılmaktadır. İnceleme alanında Yaklaşık 3 km uzunluğundaki ana fayın eğimi güneye doğrudur. Tatköy fayının en batı kesimindeki uzanımını oluşturan bu fayla, Dilekçi Grubu'na ait kayaçlar aşağı doğru düşerken, Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı kayaçlar horst şeklinde yükselmiştir.



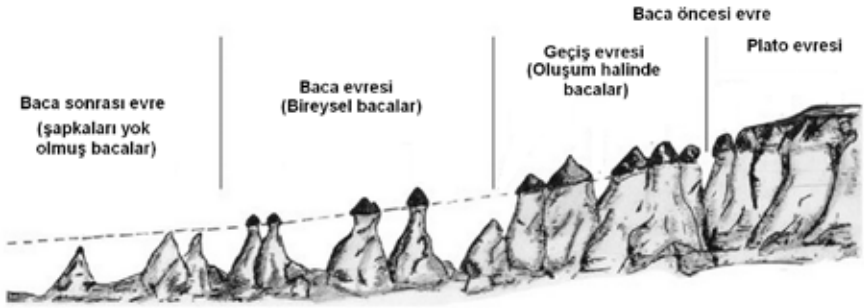
Şekil 2. *Çalışma alanının ve yakın çevresinin jeoloji haritası*

2.3. Peribacalarının oluşumu, yayılımı ve özellikleri

Konya ili sınırları içerisinde yer alan Küçükmuhsine peribacaları volkanik kökenli peribacalarına güzel bir örnektir. Bu peribacaları ilk kez bu çalışmada doğal jeolojik anıt olarak tanıtılmıştır.

Peribacaları Miyosen-Pliyosen yaşlı gölsel çökellerle yanal düşey geçişler sunan Küçükmuhsine formasyonuna ait tüf, tüfit ve volkanik breşler içerisinde gelişmiştir. Volkanaklastiklerin kalınlığı bölgede 10m ile 150 m arasında değişmektedir. Peribacaları daha çok volkanik istifin taban veya orta kesimlerinde yaygındır. Ayrıca peribacalarının şekillenmesinde tüf ve tüfitler içinde gözlenen küresel ve diğer ayrışma yapılarının da etkin olduğu görülmüştür. Bu soğan kabuğu şeklindeki ayrışma yapılarına da alan boyunca peribacalarının olduğu kesimlerde yaygın olarak rastlanılmaktadır.

Sarıkaya ve diğ. (2015), peribacalarının oluşumunda baca öncesi (plato) evresi, baca evresi ve baca sonrası evre olmak üzere 3 evre tanımlamışlardır (Şekil 3). Buna göre Küçükmuhsine peribacaları bölgesinde de tüm farklı evrelerdeki peribacaları bulunmaktadır. Peribacaları Miyosen-Pliyosen yaşlı tüf, tüfit ve volkanik breşlerin erozyonu sonucu gelişmekte ve gelişmeye devam etmektedir. Ana erozyon ajanları su ve rüzgardır.



Şekil 3. *Peribacalarının oluşum evreleri (Sarıkaya ve diğ. (2015)'den değiştirilmiştir).*

Genellikle gri veya beyaz renkli peribacalarının geliştiği birimlerin tabaka eğimleri kuzeye doğru olup, 0-30º arasında değişmektedir. Peribacaları, 200 metre uzunluğunda ve 100 metre genişliğindeki alanlarda yayılım sunmaktadır. Bireysel peribacalarının yükseklikleri 8 metreye, genişlikleri ise 3 metreye kadar ulaşabilmektedir.

Peribacalarının büyük kısmının tepesinde diferansiyel aşınmadan kaynaklanan şapkalar bulunmaktadır. Bu şapkalar aşınmaya dayanımlı litolojilerden oluşmaktadır ve genellikle kireçtaşı, kumtaşı ve konglomeralardan oluştukları gözlenmiştir. Şapka, demiroksitçe zengin ve daha iyi tutturulmuştur. Şapka kalınlıkları da 5 cm ile 50 cm arasında değişmektedir. Peribacalarının bir kısmında ise şapka gözlenmemektedir.

Bireysel peribacaları, ilginç ve gözalıcı geometrik şekiller oluşturmaktadır. Yöredeki peribacalarının büyük çoğunluğu koni şekillidir. Ayrıca mantara benzer şekilli peribacaları ve sütuna benzer şekilli peribacaları da mevcuttur. Bunların yanı sıra hayal gücüne bağlı olarak hayvan ve insan silüetlerine benzer peribacalarına da rastlanılmaktadır.

Konya batısı ve kuzeybatısında Miyosen-Pliyosen yaşlı volkanik ve volkano-klastik kayaçlar içerisinde dağınık halde bir çok yerde peribacaları gözlenirken, bölgede yoğun olarak Küçükmuhsine çevresinde bulunmaktadır. Küçükmuhsine ve çevresinde de yoğun olarak 8 bölgede bu yapılar gözlenmektedir.

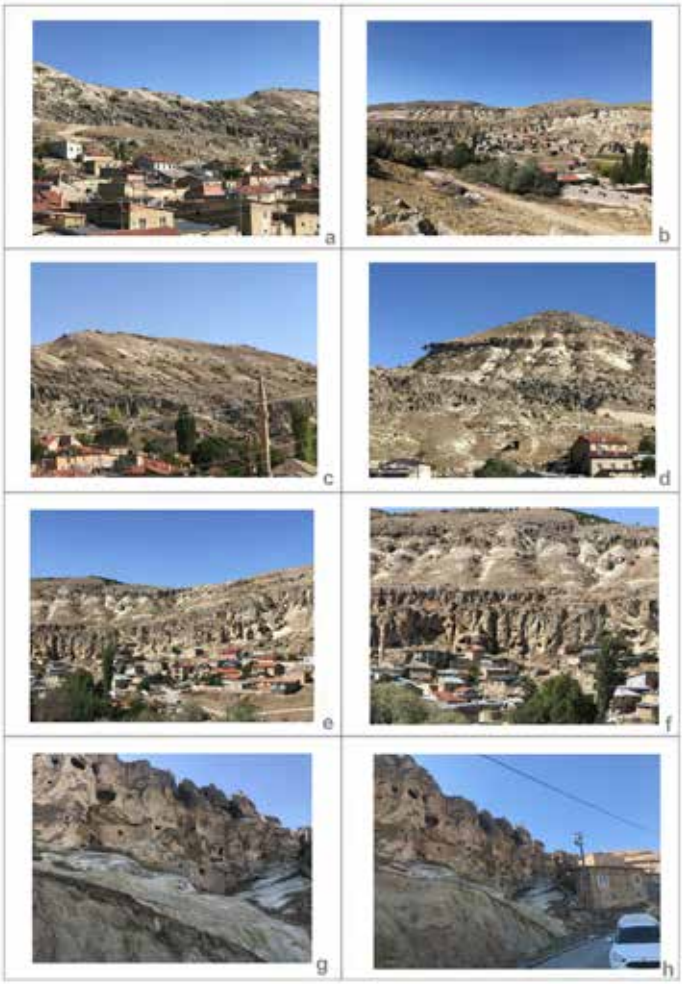
İlk bölge Küçükmuhsine Mahallesi'nin yer aldığı yaklaşık 1.5 km uzunluğundaki vadidir (Şekil 2).Bu kesimde volkanik kayaçlar üst seviyelerinde beyaz renkli-kireçtaşı ve marnlar ile ardalanma sunarlar. Peribacaları genelde altındaki ve üstündeki seviyelere göre daha iyi tutturulmuş volkanoklastik kayaçlar içinde bulunur. Vadi boyunca yüzlek veren volkano-klastik kayaçlarda çoğunlukla baca öncesi evre ve baca evresini temsil eden peribacaları oluşumları bulunur (Şekil4a-4h). Yaklaşık 150 m derinliğindeki vadi boyunca sağlı sollu değişik şekillerde genelde kırıklı yapılar ve bu yapılar boyunca gerçekleşen erozyonla şekillendirmiş gü-

zel oluşumlar izlenir. Vadinin batı yamacında boydan boya uzanan kalın kayaçlarda büyük çoğunluğu baca öncesi evresinde olan Peribacaları bulunmaktadır. Yükseklikleri 10 m.ye varabilen ve genelde bitişik olan bu bacaların üst kesimlerin sivri koni şekillidir. Bu kesimde insanların faaliyetlerinden kaynaklanmış mağaralar ve diğer yerleşim yapıları görsel açıdan güzel görüntüler oluşturur (Şekil 4g, 4h). Vadinin doğu yamacında ise yine yaklaşık 20 m kalınlığında bir seviye boyunca genelde bitişik sıralanmış ve üst üste gelişmiş koniler şeklinde yüksekliği maksimum 5 m.ye varabilen peribacaları bulunur. Bu kesimdeki peribacaları yerleşim yerine göre nispeten daha yukarı kotlarda bulunan seviyeler içinde bulunmaktadır(Şekil 4a-4f).

2.bölge Küçükmuhsine Mahallesi'nin 1,5 km güneydoğusu ile Kayacık Mevki arasındaki bölgede yüzlek veren volkanoklastik kayaçlar içinde gelişmiştir (Şekil 5a-5h). Bu bölgede 150 m genişliğinde ve 300 m uzunluğunda bir alan boyunca tüf, tüfit ve volkanik breş özelliğindeki kayaçlarda farklı boyut ve geometrilerde peribacaları bulunmaktadır. Bu peribacaları ve oluşumların bir kısmı bitişik düzende (Şekil 5h), bir kısmı da izole bireysel yapılar şeklindedir. Kuzeye 10-20 eğimli olan farklı kalınlıklardaki tabakalar içinde yer alırlar. Yükseklikleri 1 m ile 5 m arasındadır. Şekilleri üstte daha iyi tutturulmuş seviyenin aşınıp aşınmamasına bağlı olarak kırık sistemleri tarafından kontrol edilen köşeli şekillerden, erozyonla yuvarlatılmış bacalara ve değişik hayvan-mantar figürlerine kadar değişir(Şekil 5a, 5b).

3. bölge, mahallenin içinde yer aldığı vadinin yaklaşık 3 km kuzeyinde bulunan diğer bir vadinin batı yamacında, Sivri Tepe'nin ise doğusunda yer almaktadır. Vadi tabanından düşey olarak 130 m yükseklikten itibaren başlayan ve batıya doğru 10°-20° eğimli olan Küçükmuhsine formasyonu tüf-tüfit ve volkanik breş ardalanmasının kalınlığı 50 m ile 80 m arasında değişmektedir. Peribacaları genellikle birimin gölsel özellikli karbonatlı-kırıntılı kayaçlarında olmak üzere, birimin taban kesiminde yer yer de daha küçük ölçeklerde orta seviyelerinde bulunmaktadır. Taban seviyelerindeki peribacaları, orta kesimlerinde gelişen peribacalarına göre daha büyük boyutlardadır. Sivri Tepe'nin doğusunda, 500 m uzunluğunda ve 100 m genişliğinde bir alan içinde yayılım göstermektedirler. Peribacalarının boyları 8 m.ye genişlikleri ise 3-4 m.ye kadar varabilmektedir. Düşey yönde çok iyi gelişmiş çatlaklar içeren peribacalarının genişlikleri genelde çatlak aralıkları ile kontrol edilir.Yine soğansı küresel ayrışmanın gözlendiği birimlerde peribacalarının yuvarlaklığını bu küresel çatlaklar kontrol etmektedir. Peribacaları oluşumunun her evresinin izlenebildiği bu bölgede göze oldukça hoş gelen, mantar, koni, silindir, ayak parmağı, hayvan başı gibi çok değişik şekillerde Peribacaları bulunmaktadır (Şekil 6a, 6b).4., 5., 6., 7. ve 8. bölgeler Küçükmuhsine Mahallesi'nin kuş uçuşu 4 km K-KD'sundaki bir bölge içinde yer almaktadır (Şekil 2).

4 bölge vadiden 100 m yükseklikte bulunan küçük bir vadinin üst kesiminde ve sırt üzerinde, yine Küçükmuhsine formasyonunun taban kesiminde bulunmaktadır (Şekil 6c-6h, Şekil 7a-7h).Bu bölgede volkanoklastik kayaçların kalınlığı 40 m ile 50 m arasındadır.Peribacalarının 50 m genişliğinde ve yaklaşık 100 m genişliğinde bir alanda gözlenmektedir. Bireysel peribacalarının yüksekliği 4 m.ye genişlikleri ise 5 m. ye kadar varabilmektedir (Şekil 6d). Bu kesimde, insan ve hayvanlara (özellikle kuşlara) benzer (Şekil 7b, 7c, 7d)., izole olmuş kendi içinde farklı geometriler sunan peribacaları yaygındır (Şekil 6e, 6f). Ayrıca üzerinde hayvan süslemesi bulunan köprü-geçit gibi yapılar da bulunmaktadır.Burada peribacalarının şekillenmesinde kırıkların ve erozyonal ajanların yanısıra, küresel ayrışma yapılarının da oldukça etken olduğu gözlenmiştir (Şekil 7h).



Şekil 4.a-h.*1. bölgeye ait peribacalarının ve* **g-h.***buyapılar içerisinde oluşturulan mağaraların ve kaya evlerin görünümü*

Şekil 5.a-h.*2. bölgeye ait peribacalarının ve* **h.***bu yapılar içerisindeki bitişik düzendeki peribacalarının görünümü*

5 bölge, 4.bölgenin hemen batısında, batıya bakan yamaç üzerinde gelişmiş bir dere içinde bulunmaktadır (Şekil 8a-8c). Eski bir yerleşim yerinin de olabileceği düşünülen bu kesimde, defineciler tarafından yer yer kazılar yapılmıştır. Peribacalarının bulunduğu alan 250 m uzunluğunda ve 100 m genişliğindedir. Peribacaları batıya doğru hafifçe eğimli volka-

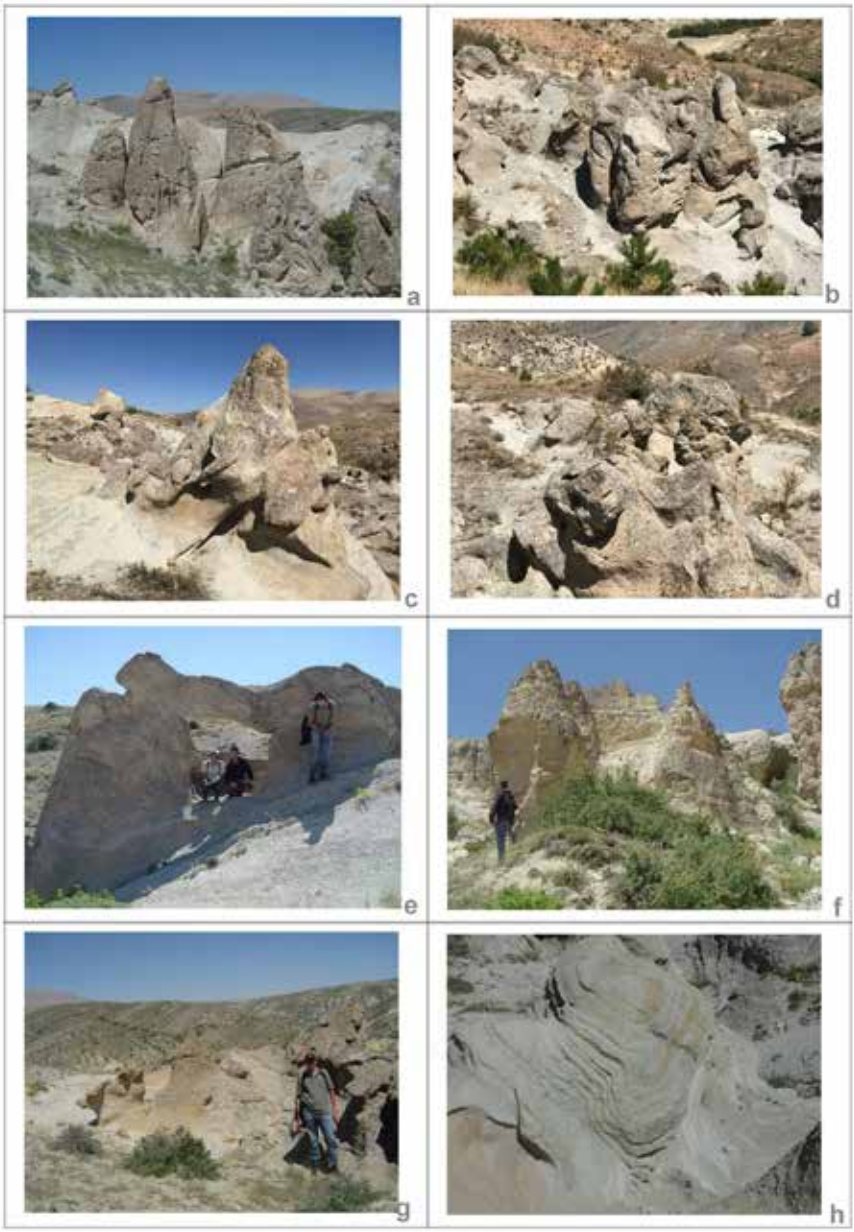
nik kökenli kırıntılı kayaçlar içinde gelişmiştir.İzole olmuş ve kendi içinde gruplaşmış değişik geometrili peribacalarından oluşur.Yükseklikleri 6 m.ye, genişlikleri ise yanyana gruplaşmış peribacaları şeklinde 10 m.ye varmaktadır.Aşınmaya karşı daha dirençli seviyelerin oluşturduğu farklı kalınlıklarda ve şekillerde şapka içerirler.Bu bölgedeki peribacaları, table, değişik kuş şekilleri, koni, derviş külahı veya Nemrut Dağı'ndaki heykelleri andırır şekiller ile dere içlerinde pencere şekilli yapılar oluşturur.Yine yanyana dizilmiş gruplar şeklindeki kuş-hayvan figürleri ilginç yapılar şeklinde gözlenmektedir (Şekil 8b, 8c).Bu bölgedeki peribacaları genellikle kalın tabakalı kırıntılı volkanik kayaçlar ile daha ince ve daha iyi tutturulmuş benzer özellikli kayaçların ardalandığı yerlerde gelişmiştir.

6. Bölge ise, 4. bölgenin hemen 250 m kuzeyinde yine aynı vadinin doğuya bakan yamacında vadi tabanından 60-70 m yüksekte, volkanoklastik kayaçlar içinde gözlenmiştir (Şekil 8d-8h, Şekil 9a-9h).Peribacalarının büyük çoğunluğu Küçükmuhsine formasyonunun Ulumuhsine formasyonu ile sınırı olan taban kesiminde, yer yer de daha küçük ölçekli olarak formasyonun orta kesimlerinde bulunmaktadır.Bu bölgede aşağı kesimlerde yine birbirine yakın bitişik düzende çok sayıda koni ve mantar şekilli peribacaları bulunmaktadır.Üst seviyelerde ise genellikle bireysel peribacaları bulunur.Bu bölgede peribacaları 150 m uzunluğunda ve 100 m genişliğinde bir yamaç üzerinde yine batıya eğimli tabakalar içinde gelişmiştir.Kalın tabakalı tüflerde gelişen yapılar erozyona karşı dirençli tabakalar tarafından korunmuştur. Peribacalarının şekilleri koni (Şekil 9d) ve mantar şeklinden, birbirine sarılmış insanları anımsatan şekillere (Şekil 8g) ve beşik şekillerine (Şekil 9a)kadar değişmektedir. Ve yine vadi içlerine yakın kesimlerinde köprü-kemer şeklinde çok güzel oluşumlar (Şekil 9b, 9f) bulunmaktadır.

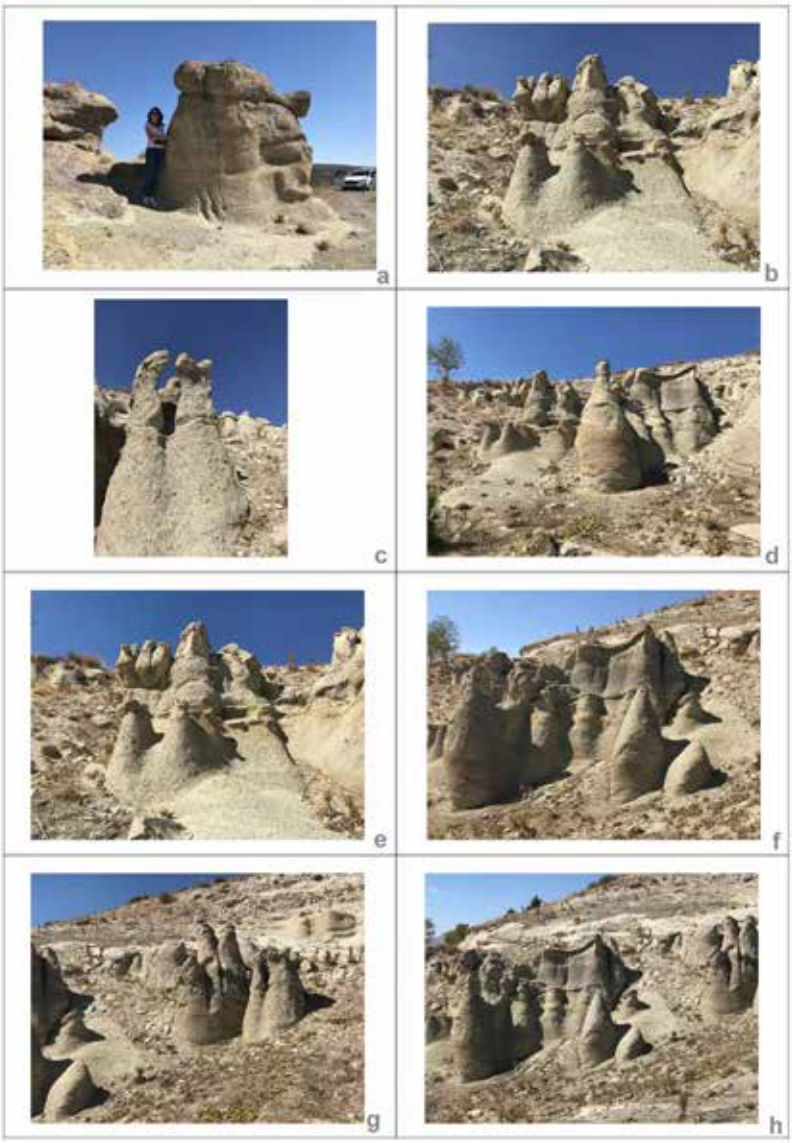
7. Bölge inceleme alanının en kuzeyinde Tatköy Fay zonunun batıya doğru uzantısı içinde yer alan volkanoklastik kayaçlar içinde gelişmiştir (Şekil 10a-10h, Şekil 11a-11f). Kuş uçuşu Küçükmusine Mahallesi'ne 5 km uzaklıkta olan bu bölgede, yine tabakalar batı-kuzeybatıya doğru eğimlidir.Peribacaları, vadinin doğuya bakan en üst kesimi ile sırt kesimi üzerinde yer almaktadır.Yine alt kesimlerde yoğun, birbirine bitişik düzende çok sayıda koni-mantar şekilli yapılar gelişirken, üst kesimlerde bireysel (Şekil 10h) veya birkaç bitişik bacadan oluşmuş izole yapılar şeklinde izlenmektedir (Şekil 11f).Bireysel peribacalarının yükseklikleri 9 m.ye, genişlikleri ise 3 m.ye kadarulaşabilmektedir. Bu bölgede peribacaları 150 m genişliğinde ve 300 m uzunluğunda bir alanda yayılım göstermektedir. Şekilleri, koni, mantar, klasik şapkalı peribacası, şişe, ters topaç ve masa şekilleri arasında değişmektedir.Bacalar üzerinde Haç şekilli yapıların bulunması yine bu bölgenin geçmişte değişik yerleşim amaçları ile kullanıldığına işaret etmektedir (Şekil 11e).

8. bölge de,7. bölgenin de bulunduğu bölgenin 500 m batısında batıya doğru eğimli bir derenin içinde ve güneye bakan yamacında gözlenmektedir (Şekil 12a-12f) Bu bölgede de görünüş olarak çok güzel bireysel ve bitişik düzende peribacaları izlenmektedir. Bu bölgenin doğusunda ilk olarak yamaç boyunca yaklaşık 30 m kalınlığındaki bir seviyede farklı kademelerde gelişmiş peribacaları yer almaktadır (Şekil 12b).Bu bölgede alt seviyelerde genellikle bitişik, üst seviyelerde ise bireysel ve bitişik peribacaları göeülmektedir. Peribacaları, 30 m genişliğinde 100 m uzunluğunda bir alan içerisinde gözlenmektedir. Bireysel peribacaları genellikle koni ve sütun şekillidir.

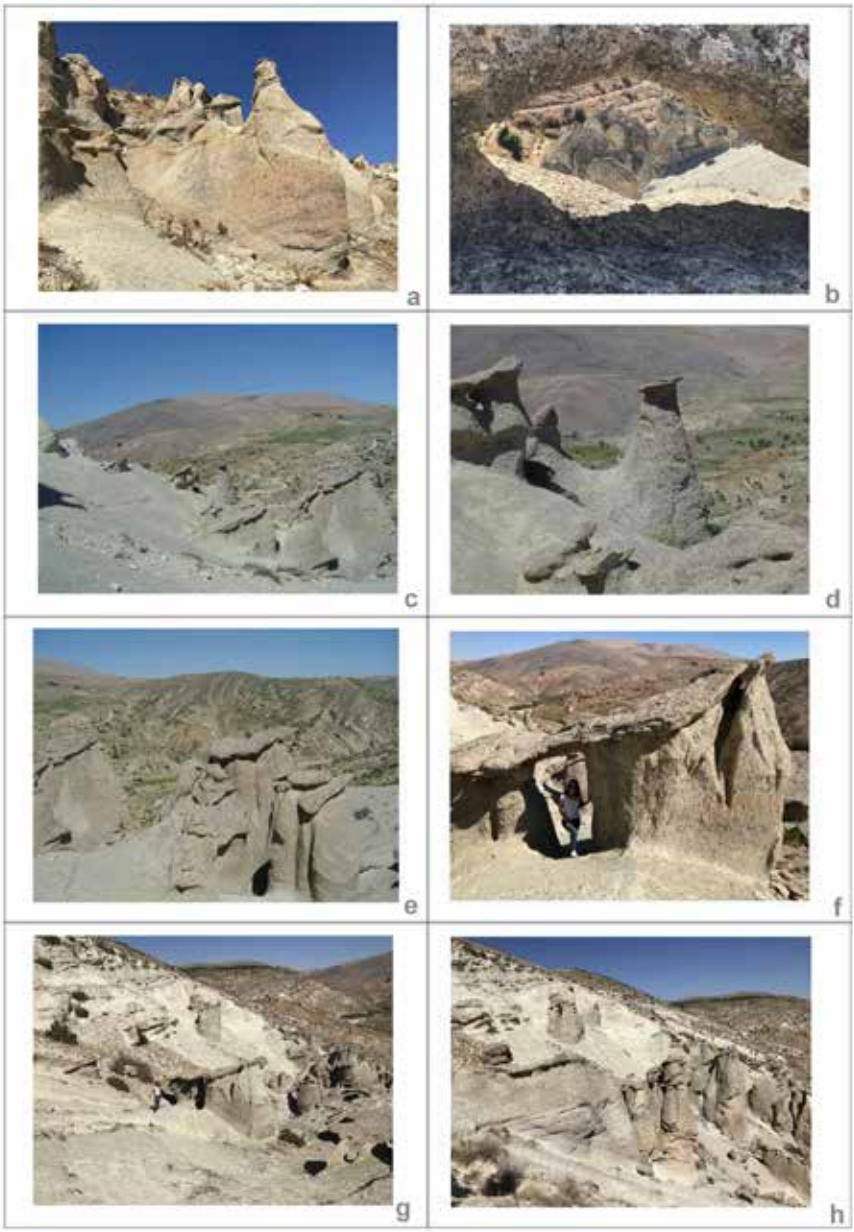
Şekil 6.a. b. *3. bölgeye* **c-h.** *4. bölgeye ait peribacalarının görünümü*



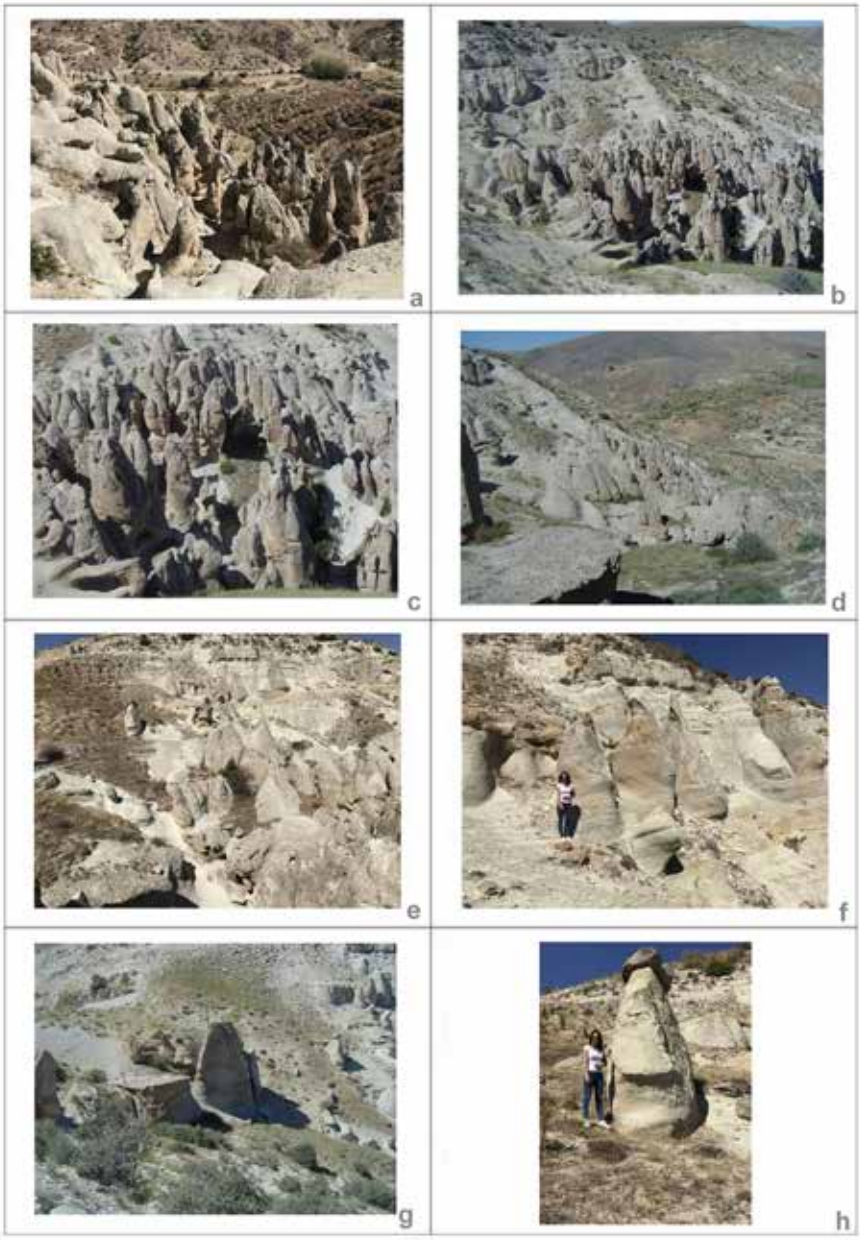
Şekil 7.a-h. *4. bölgeye ait peribacalarının görünümü*



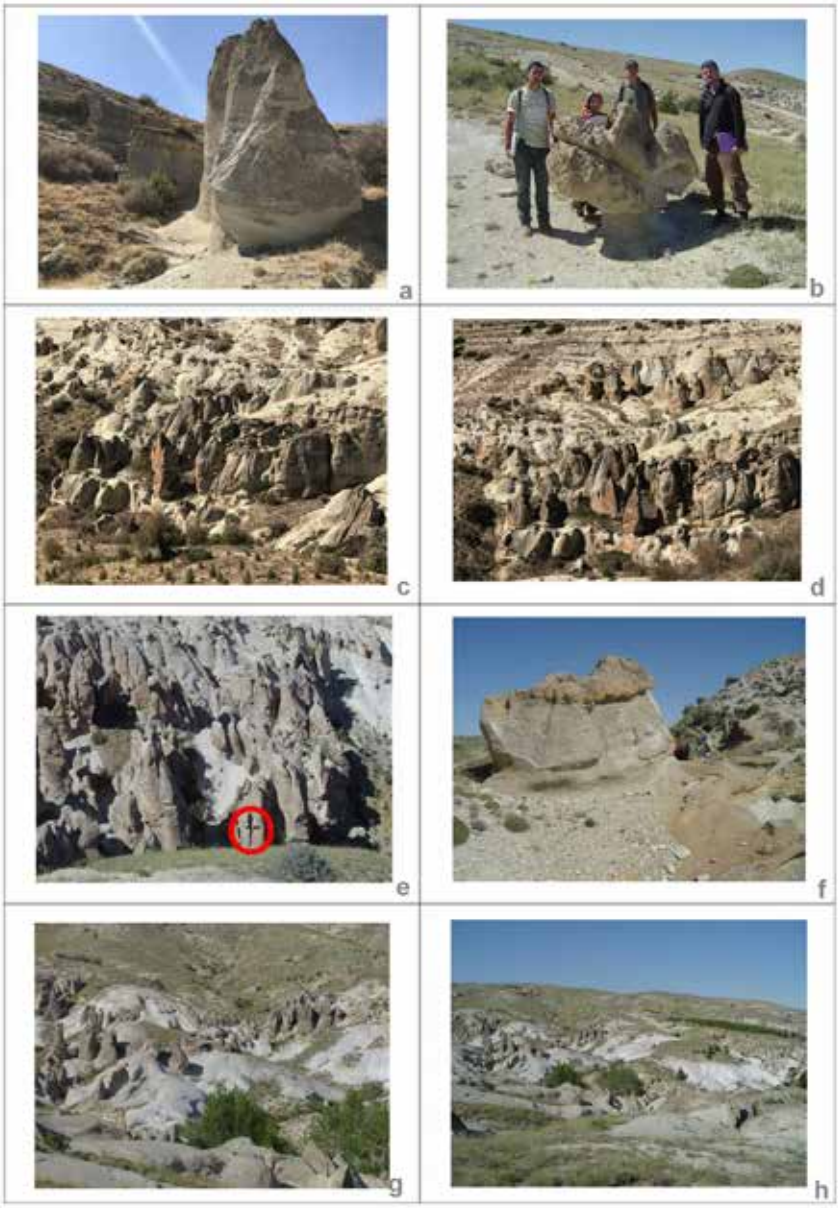
Şekil 8.a-c. *5. bölgeye* **d-h.** *6. Bölgeye ait peribacalarının görünümü*



Şekil 9.a-h. *6. bölgeye ait peribacalarının görünümü*



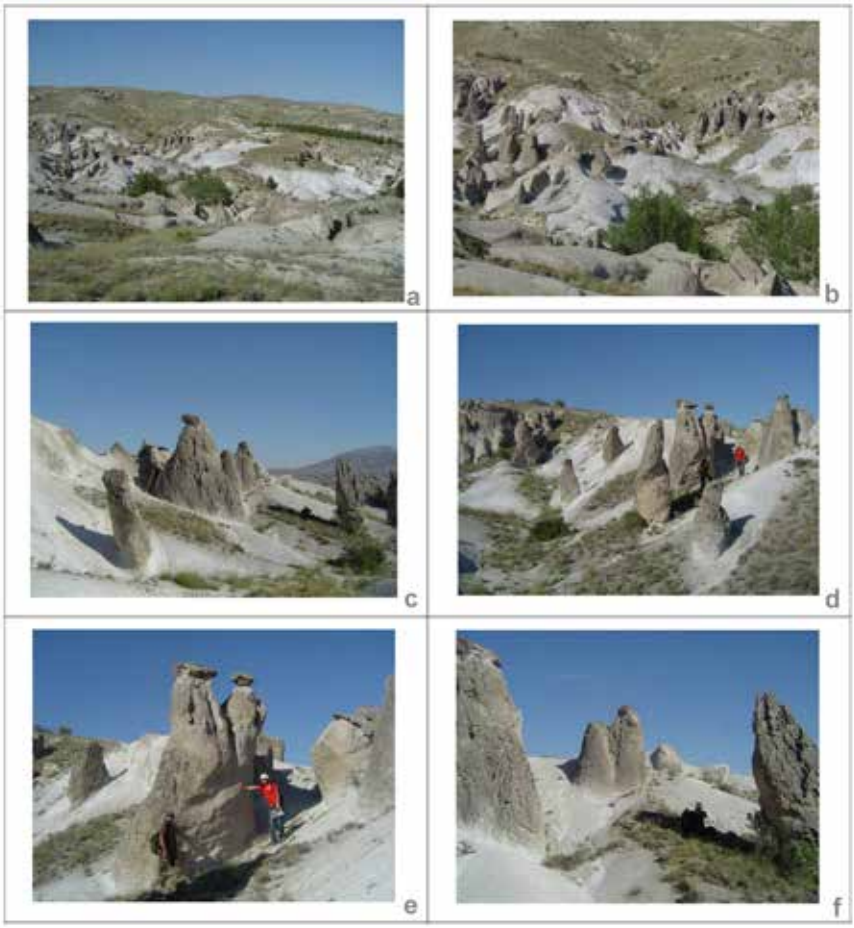
Şekil 10.a-h. *7. bölgeye ait peribacalarının görünümü*



Şekil 11.a-f. *7. bölgeye ait peribacalarının görünümü*

Bireysel peribacalarının yüksekliği 5 m'ye, genişlikleri ise 3 m.ye kadar varmaktadır. Litolojik özelliklere ve tabaka kalınlıklarına bağlı olarak büyük boyutlu peribacalarının olduğu alanlar arasında daha küçük boyutlu peribacaları seviyesi de bulunmaktadır.Kırıklar boyunca dolaşan sulardaki mineral sıvamaları nedeniyle bacalar uzaktan sarımsı kahve renkleri ile dikkati çekmektedir.Aynı seviyenin daha aşağısında vadi içinde ve yamaçta şapkalı görüntüleriyle dikkati çeken peribacaları yer almaktadır

(Şekil 12d, 12e).Yaklaşık 150 m genişliğinde ve 250-300 m uzunluğundaki bu alanda çok değişik şekillerde bireysel peribacaları bulunur. Dev soğansı ayrışmanın peribacaları üzerindeki etkisi bariz olarak izlenmektedir. Bireysel peribacalarının yükseklikleri 5 m ye genişlikleri ise 3 m.ye kadar varabilmektedir (Şekil 12e).Şapkalı bazı peribacalarının görüntüsü penguen şekline benzer (Şekil 12c, 12d).Bunların haricinde koni-huni, mantar şekilli, sütunsu ve küresel ayrışma ve kırıklar tarafından şekillendirilmiş değişik peribacaları da bulunmaktadır.



Şekil 12.a-d. *8. bölgeye ait peribacalarının görünümü*

2.4. Jeoturizm potansiyeli

Küçükmuhsine peribacaları, milyonlarca yıllık süreçler boyunca doğal aşındırıcı ajanların etkisiyle oluşan ve nadir gözlenen jeolojik yapılardır. Konya'nın batısında gözlenen Küçükmuhsine peribacaları ilk kez bu çalışmada doğal jeolojik anıt olarak tanıtılmıştır. Bu peribacaları, mahallenin girişinden 2 km önce görülmeye başlanmaktadır. Bir vadinin içeri-

sine ve yamaçlarına kurulmuş olan mahalleye girince sağ ve sol yamaçlarda peribacaları daha yoğun bir şekilde gözlenmektedir(Şekil 4a-4f, Şekil 13a). Bu bölgede peribacalarıyla iç içe evler ve peribacalarında açılmış mağaralar dikkat çekmektedir(Şekil 4g, 4h, Şekil 13b-13d).Bu mağaralar halk tarafından hayvan barınağı, soğutma ve depolama amaçlı kullanılmaktadır. Ayrıca bazıları, bu mağaraların bir kısmının eski mezar olarak kullanıldığını düşünmektedir. Bu anlamda tarihi bir dokuya da sahip olan mahalle, peribacalarıyla ve bu yapılar içerisine oyulmuş tarihi mağaralarıyla görülmeye değer turistik bir mekan değeri taşımaktadır. Mahalle, halıcılık ve dokumalarıyla da ünlüdür. Mahallenin içerisinden akan dere, köprüler, eski evler ve etrafındaki söğüt ağaçları da ayrı bir görsel değer katmaktadır.

Milyonlarca yıllık uzun bir süreç boyunca doğal yollarla oluşmuş olması, bu yapıların değerini daha da artırmaktadır. Eğer bu doğal yapılar tahrip edilirse tekrar eski haline dönmesi veya yok edilirse yeniden oluşturulması mümkün olmadığından, mutlaka korunması gerekmektedir.

Konya şehir merkezine yaklaşık 25 km uzaklıkta olması ve asfalt yollardan kolaylıkla ulaşılabilmesi de turizm için pozitif faktörlerdendir. Konya şehir merkezinden itibaren D330 karayolunda ilerlerken 20 km sonra Derbent yoluna dönülmekte ve Derbent yolunda ise 4 km sonra sağa dönülerek mahalleye ulaşılabilmektedir (Şekil 1). Peribacalarının bulunduğu alana giderken Altın Apa Baraj bölgesi ve mesire alanlarından geçilmektedir(Şekil 13e). Böylece bitki örtüsünün yeşil rengi, barajın ve derenin sularının mavi rengi, peribacalarının eşsiz görüntüsüyle bileşerek görülmeye değer muhteşem bir görsellik oluşturmaktadır.

Zaten yoğun ziyaretçi çeken bölgede bulunan peribacalarının da varlığı bu çalışma ile ortaya konulmuştur ve bu doğal jeolojik oluşumlar, bölgeye daha fazla ziyaretçi çekebilecek güce sahiptir. Görsel doğa harikası olan bu jeolojik yapılar, jeoturizm açısından önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu nedenle, söz konusu bu potansiyelin bir an önce tanıtılması ve doğa anıt alanı olarak jeoturizmin hizmetine sunulması gerekmektedir. Bu durum, yörenin kültürel ve ekonomik açıdan gelişimine de önemli katkılarda bulunacaktır.

Peribacaların yer aldığı bölge doğal yapısından dolayı, doğa yürüyüşü (trekking) ve çadır kampı yapmak için de uygun bir alandır. Böylece bu yöre peribacaları, ormanlık alanları, bağları, eski evleri (Şekil 13f) bahçeleri, dereleri, köprüleri, mağaraları, kaya evleri, kaya mezarları, halıları ve dokumaları ile fotoğraf tutkunları için ilginç, eğlenceli ve göz alıcı kadrajlar sunmaktadır(Şekil 6d, 9f, 10f,12e, 13g,13h).

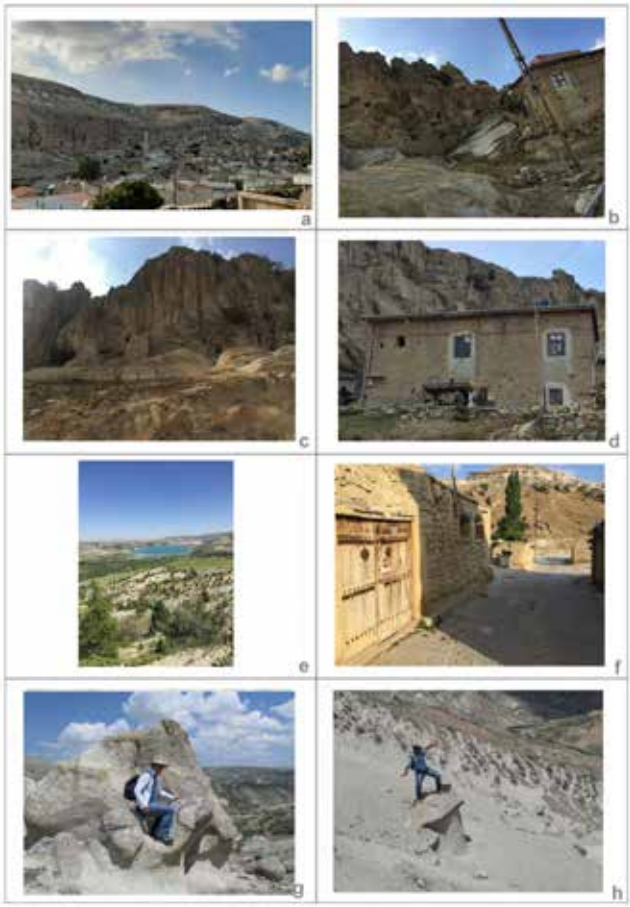
Yöreye düzenlenecek kültür ve turizm turları, yerli ve yabancı turistler için ilgi çekici bir alternatif olacaktır. Yürüyüş yollarının veya taş/

ahşap merdivenlerin yapılması ise, özellikle mahallenin kuzeyindeki peribacalarının mostralarına kolayca ulaşılıp yakından görülmesini sağlayabilecektir.

3. SONUÇLAR

Konya'nın batısında gözlenen Küçükmuhsine peribacaları ilk kez bu çalışmada doğal jeolojik anıt olarak tanıtılmıştır. Küçükmuhsine Peribacalarının oluşumu ve şekillenmesinde hem erozyona karşı farklı direnç gösteren seviyelerin varlığı, hem de farklı yönlerde ve farklı mekanizmalarla gelişmiş kırık takımları etkindir.

Görsel doğa harikası olan Küçükmuhsine peribacaları, jeoturizm açısından önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu nedenle, söz konusu potansiyelin bir an önce değerlendirilmesi, tanıtılması ve anıt alanı olarak jeoturizmin hizmetine sunulması, yörenin kültürel ve ekonomik açıdan gelişimine önemli katkıda bulunacaktır. Bu bölge, görülmeye değer muhteşem yerlerden biridir. Konya merkezinden kolayca ulaşılabilen bu bölgenin düzenlenecek seyahat turları ile yerli veya yabancı turistler tarafından görülmesi sağlanabilir. Yürüme yolları, taş merdivenler veya sürüş yollarının yapılması, bu yapılara kolayca ulaşılmasını sağlayabilir.



Şekil 13.a. *Mahallenin içerisine kurulduğu vadinin bir yamacındaki peribacalarının görünümü*, **b-d.** *peribacalarıyla iç içe evler ve peribacalarında açılmış mağaralar,* **e.** *Peribacalarının bulunduğu alana yakınındaki Altın Apa Baraj bölgesi* **f.** *mahalle içerisindeki eski evle***r g.h.** *hayal gücüne bağlı eğlenceli peribacaları*

KAYNAKLAR

Ekinci, D., Doğaner, S., 2012, Jeomorfoturizm Açısından Simav (Yeniköy) Peribacaları. UJES 2012, III. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu, Hatay

Eren, Y., 1993, Konya kuzeybatısında Bozdağlar masifinin otokton ve örtü birimlerinin stratigrafisi: Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, c. 36, s. 7-23.

Eren, Y., 1996, Sille-Tatköy (Bozdağlar masifi-Konya) kuzeyinde Alpin öncesi bindirmeler: 49. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildirileri, Ankara, s. 163-169.

Eren, Y., 2003, Konya Bölgesinin Depremselliği, Türkiye Petrol Jeologları Derneği (Özel sayı), 5, 11;112.

Göğer, E. ve Kıral, K., 1969, Kızılören dolayının jeolojisi, M.T.A Rapor No: 5204, (yayınlanmamış).

İmamoğlu, A., 2019, 3. Bölüm: Peribacaları, ed: Uysal, A., İçen, H., Kapadokya Araştırmaları, Pegem Akademi, 45-70. Doi: 10.14527/ 9786056991608

Kalkan E. , Alacalı M. 2017. Jeolojik Mirasa Katkı: Narman Peri Bacaları. Uluslararası Katılımlı 70. Türkiye Jeoloji Kurultayı Kültürel Jeoloji ve jeolojik Miras, 10 - 14 Nisan 2017, s.250-251

Koçan, N., 2011. Kızılcahamam-Çamlıdere Bölgesi'nde (Ankara) Jeolojik Mirasın Korunması. Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech. 1(4): 63-68.

Özcan, A., Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., Şentürk, K., Uysal, S. ve Işık, A., 1990, Konya-Kadınhanı-Ilgın dolayının temel jeolojisi: M.T.A. Rapor No:9535 (yayınlanmamış).

Özdemir, M.A., 2019. Afyonkarahisar (Seydiler) Peribacaları Jeomorfositi Ve Turizm Potansiyeli, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi Cilt: 12 Sayı: 64.

Parlar, Ş., 2019, Chapter 32: Geotourism Potential of Çiğil Red Fairy Chimneys (Ilgın, Konya), In: Academic Studies on Natural and Health Sciences, ISBN: 978-605-7809-xxx, Ed. Mehmet Dalkılıç, Gece Akademi, Ankara, pp.458-466.

Sarıkaya, M.A., Çiner, A., Zreda, M., 2015. Fairy chimney erosion rates on Cappadocia ignimbrites, Turkey: Insights from cosmogenic nuclides. Geomorphology, 234: 182-191, https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.12.039

Bölüm 19

ALTINAPA STROMATOLİT VE ONKOLİTLERİNİN (KONYA) OLUŞUMU, TİPLERİ VE JEOTURİZM POTANSİYELİ

Şeyda PARLAR[1]
Yaşar EREN[2]

1 Dr. Öğr. Üyesi, Konya Teknik Üniv., Müh. ve Doğa bilimleri Fak., Jeoloji Müh. Böl., sparlar@ktun.edu.tr
2 Prof. Dr., Konya Teknik Üniv., Müh. ve Doğa bilimleri Fak., Jeoloji Müh. Böl., yeren@ktun.edu.tr

1.GİRİŞ

Stromatolitler, fotosentetik bakterilerin baskın olduğu mikrobiyal toplulukların sediment yakalama, bağlama ve / veya çökeltme aktiviteleri ile üretilen taşlaşmış laminalı organo-sedimanter çökeltilerdir (Reid, 2011). Kalkowsky (1908), Almanya'nın Harz Dağları'nda biyolojik kökenli olduğunu öne sürdüğü fosil kayıtlarında bir dizi katmanlı kayaç keşfetmiştir. Kalkowsky, bu yapılara, katmanlı anlamına gelen Yunanca "stroma" ve taş anlamına gelen "lithos" kelimesinden "stromatolitler" adını vermiştir (Suosaari ve diğ. 2019). Stromatolitler, yaygın olarak, tatlı su, deniz ve evaporitik ortamlarda sediment su ara yüzünde gelişen, genellikle dom veya kolon şeklinde tabakalı, taşlaşmış, otojenik mikrobiyal yapılar olarak kabul edilir. Stromatolitler, katmanlı abiyojenik çökeltiler içeren veya içermeyen makroskopik olarak katmanlı otojenik mikrobiyal çökeltilerdir. Stromatolitler bu nedenle mikrobiyal ve hibrit türleri içerir; domlar ve kolonlar oluşturabilirler, ancak aynı zamanda yaygın olarak tabaka benzeri kütleler olarak da ortaya çıkarlar (Riding,2011).

Mikrobiyal karbonatlar, bentik mikrobiyal topluluklar tarafından üretilen karbonat birikintileri olarak tanımlanır. Bentik mikrobiyal karbonatların oluşumuna katılan ana organizma grupları bakteriler, siyanobakteriler ve alglerdir. Mikrobiyal karbonatların oluşumunda üç ana süreç vardır: (I) tortul parçacıkların yakalanması; (2) organik dokunun biyomineralizasyonu; (3) minerallerin organizmalar ve tortular üzerinde yüzeysel çökeltilmesi (Riding ,1991).

Bentik mikrobiyal karbonat çökellerinin başlıca kategorileri şunlardır:

I. Stromatolit, laminalı mikrobiyal çökeller:

a) Aglütinant stromatolit

(i) ince taneli, iyi laminalı

(ii) kaba taneli, kaba laminalı

b) Tufa stromatolit

c) İskeletsel stromatolit

d) Su üstü stromatoliti

2. Dendrolit, dendritik mikrobiyal çökeller:

3. Trombolit, pıhtılaşmış mikrobiyal çökeller

4. Traverten, dendritik makrofabrikli tabakalı mikrobiyal çökeller

5. Kriptik mikrobiyal karbonatlar: mikritik, pıhtılaşmış, peloidal veya sparitik mikrofabriklerden oluşan mikrobiyal çökeller (Riding ,1991).

Yerküre'nin en yaşlı fosili olarak tanımlanan Stromatolitler, ilk kez 3.45 milyar yıl önce Arkeen döneminde oluşmuş, Proterozoyik (2.5 milyar-550 milyon yıl) döneminde miktarca çoğalmış ve Fanerozoik (yaklaşık 541 milyon yıl) döneminde ise azalma göstermişlerdir (Pratt, 1982; Dupraz ve ark., 2009; Petryshyn ve ark., 2012; 2016; Balcı ve ark., 2018). Stromatolitler, metabolik aktivitelerin bir yan ürünü olarak kalsiyum karbonatı çökelten siyanobakteriler tarafından oluşturulur, böylece katmanlı birikimler oluşturur (Reid ve diğ, 2000; Dupraz ve diğ, 2009; Rishworth ve diğ, 2017).

Onkoidler (veya onkolitler; Palmer ve Wilson 1990), genellikle biyojenik veya abiyojenik bir çekirdeği (çekirdek) saran laminalı bir mikritik korteksten (zardan) oluşan, genel olarak küresel nodüller şeklindeki biosedimenter yapılardır (Zatoń ve diğ., 2012). Onkolitler (Logan et al., 1961) veya onkoidler (Peryt, 1983, p.) genellikle iyi tanımlanmış konsantrik mikrit laminasyonları ile çevrelenmiş bir çekirdeğe sahip bir kaplanmış tane tipi olarak kabul edilir (Jones ve Goodbody, 1985).

Onkolitler, birbirini izleyen alg katmanları ve silt veya kil sedimentleri ile kaplı bir çekirdekten oluşur. Bir kum tanesi veya fosil gibi bir çekirdek alglerle kaplandığında, sediment içine gömüldüğünde, sediment ile kaplandığında, çıkarıldığında, tekrar yosunla kaplandığında, gömüldüğünde, art arda birçok bölüm için sediment ile kaplandığında oluşurlar (https://snr.unl.edu/data/geologysoils/fossils/nebrinvertAlgae.aspx)

Konya bölgesi gerek litolojik, gerekse yapısal açıdan jeolojik miras olarak tanımlanabilecek ve jeoturizm potansiyeli kapsamında değerlendirilebilecek çok sayıda alan barındırmaktadır. Konya'nın yaklaşık 20 km batısında bulunan stromatolit ve onkolitlerin yaygın olarak gözlendiği Altınapa Baraj alanı, bunun güzel bir örneğidir (Şekil 1). Bu çalışmanın amacı; bu doğa güzelliğini tanıtmak, jeolojik özelliklerini açıklamak ve jeoturizm potansiyeli açısından önemini vurgulamaktır.

Şekil 1. *Çalışma alanının yer bulduru haritası*

2. BULGULAR

2.1. Jeoloji

Yörede temeli, Mezosoyik yaşlı kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı ve çörtlü kireçtaşı oluşturmaktadır. Bu topluluk üzerine, Miyosen-Pliyosen yaşlı ve birbirleriyle yanal düşey geçişler sunan karasal alüvyal kompleks çökelleri, gölsel çökeller ve volkanoklastikler açılı uyumsuzlukla gelmektedir. Tüm bu kayaçları uyumsuz olarak örten Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yörenin en genç birimidir (Göğer ve Kıral, 1969; Özcan ve diğ., 1990; Eren, 1993, 1996 ve 2003) (Şekil 2).

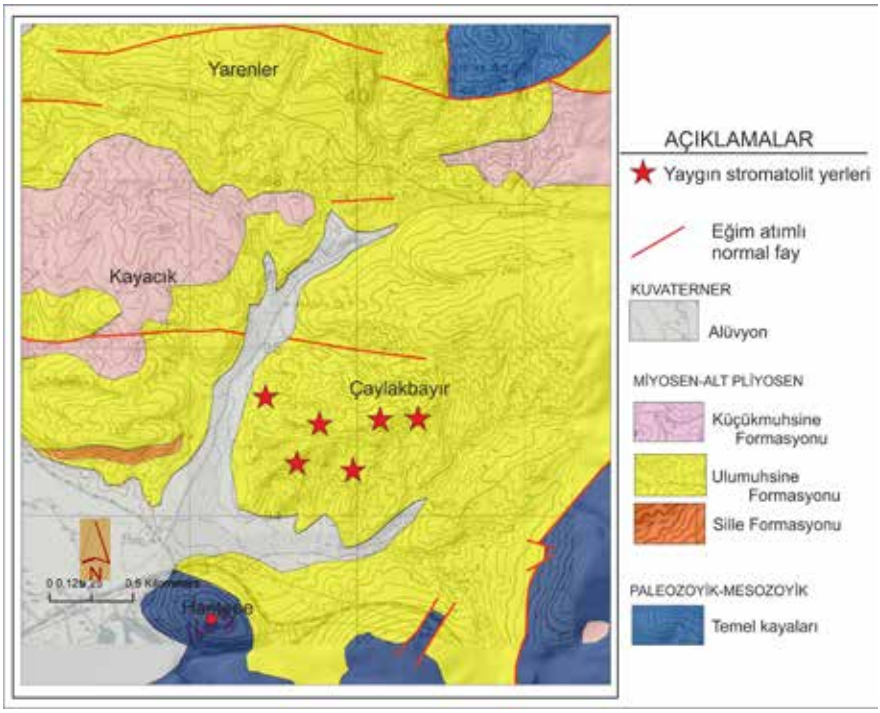
Temele ait kayaçlar inceleme alanının kuzeydoğusunda ve güneyinde genellikle eğim atımlı normal faylarla yüzlek vermektedir (Şekil 2). İnceleme alanının kuzeydoğusunda Triyas-Jura yaşlı koyu gri-siyah renkli yer yer breşik dolomitler temeli oluşturur. İnceleme alanının güneyinde ise

Jura-Kretase yaşlı gri-krem renkli yer yer çörtlü kireçtaşları ve dolomitik kireçtaşları temel kayaçları şeklinde gözlenir. İnceleme alanının en yaygın kayaç topluluğunu ise Dilekçi Grubu'na ait sedimanter ve volkanoklastik kayaçlar oluşturur.

Miyosen-Pliyosen yaşlı Dilekçi Grubu, yaşlıdan gence doğru Sille, Ulumuhsine ve Küçükmuhsine formasyonlarını kapsamaktadır. Temel üzerinde açılı uyumsuz olarak yer alan ve Ulumuhsine Formasyonu ile yanal düşey geçişler sunan Sille formasyonuna inceleme alanının güneybatısında Hantepe kuzeyinde 1 km uzunluğunda bir mercek şeklinde rastlanılır (Şekil 2). Birim açık kahve, kırmızı ve morumsu renkli çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşur. Üst Miyosen- Alt Pliyosen Ulumuhsine formasyonu inceleme alanının en yaygın kayaçlarını oluşturmakta ve faylarla sınırlı çöküntüler (grabenler) içinde yüzlek vermektedir. Formasyon kireçtaşı, onkolitli kireçtaşı, stromatolitik kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn, çamurtaşı, kiltaşı, kumtaşı, ve çakıltaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Organosedimanter yapı özelliğindeki stromatolit ve onkolitler, gölsel Ulumuhsine formasyonu içerisinde yaygın ve yoğun olarak gelişmiştir. Kirli beyaz, gri ve krem renkli kireçtaşlarının tabaka kalınlıkları 20 cm ile 1 m arasındadır. Beyaz, gri ve sarı renkli çamurtaşları inceleme alanında birimin litolojileri arasında farklı kalınlıklarda yer alır. Çakıltaşları ve kumtaşları ise formasyonu oluşturan diğer birimler arasında mercek ve kanallar şeklinde gözlenir ve uzaktan sarımsı-kahve renkleri ile dikkati çekerler. Bu birimin üzerine yanal ve düşey geçişli olarak gelen Küçükmuhsine Formasyonu, genelde açık gri, yer yer beyaz-sarı renk tonlarıyla dikkati çeker. Birimin litolojilerini, tüf, tüfit, volkanik breş ve yer yer aglomeralar oluşturur. Genelde tabakalı olan birimin tabakalarının kalınlığı, lamina boyutu ile kalın tabaka arasında değişir. Yer yer masif görünümlüdür.

Yörenin en genç birimlerini ise inceleme alanının güneybatısında Dolay deresi ve yan kollarında gözlenen Güncel alüvyonlar oluşturur (Şekil 2) Yörede bulunan her türlü birimin kırıntılarını kapsayan alüvyonlar, tutturulmamış kil, kum, çakıl ve çamur çökellerinden ibarettir.

İnceleme alanında, değişik uzunlukta D-B ve K-G gidişli iki normal fay takımı bulunmaktadır. Genelde temel kayaçları ile Dilekçi grubuna ait kayaçların sınırlarında bulunurlar (Şekil 2). Bunlardan en önemlisi inceleme alanının kuzeyinden geçen Tatköy fayıdır (Eren, 2003). Fayların boyu 3 km'ye kadar varabilmektedir.



Şekil 2. *Çalışma alanının ve yakın çevresinin jeoloji haritası*

2.2. Stromatolit ve onkolitlerin oluşumu, yayılımı ve özellikleri

Konya ili sınırları içerisinde yer alan Altınapa stromatolitleri ve onkolitleri organo-sedimanter yapılara güzel bir örnektir. Bu yapılar ilk kez bu çalışmada doğal jeolojik anıt olarak tanıtılmıştır.

Stromatolit ve onkolitler, Altın Apa Barajı'nın çevresinde farklı alanlarda yüzlekler veren gölsel Ulumuhsine formasyonu içerisinde yaygın ve yoğun olarak gelişmiştir. Üst Miyosen-Alt Pliyosen Ulumuhsine formasyonu, kireçtaşı, onkolitli kireçtaşı, stromatolitik kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn, çamurtaşı, kiltaşı, kumtaşı, ve çakıltaşı ardalanmasından oluşmaktadır (Şekil 3a,3b). Birim içindeki bazı kireçtaşları tümüyle stromatolit ve onkolitlerden oluşmaktadır. Ayrıca birimin çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı ardalanması şeklindeki kesimlerinde de stromatolit ve onkolitler gözlenmektedir.

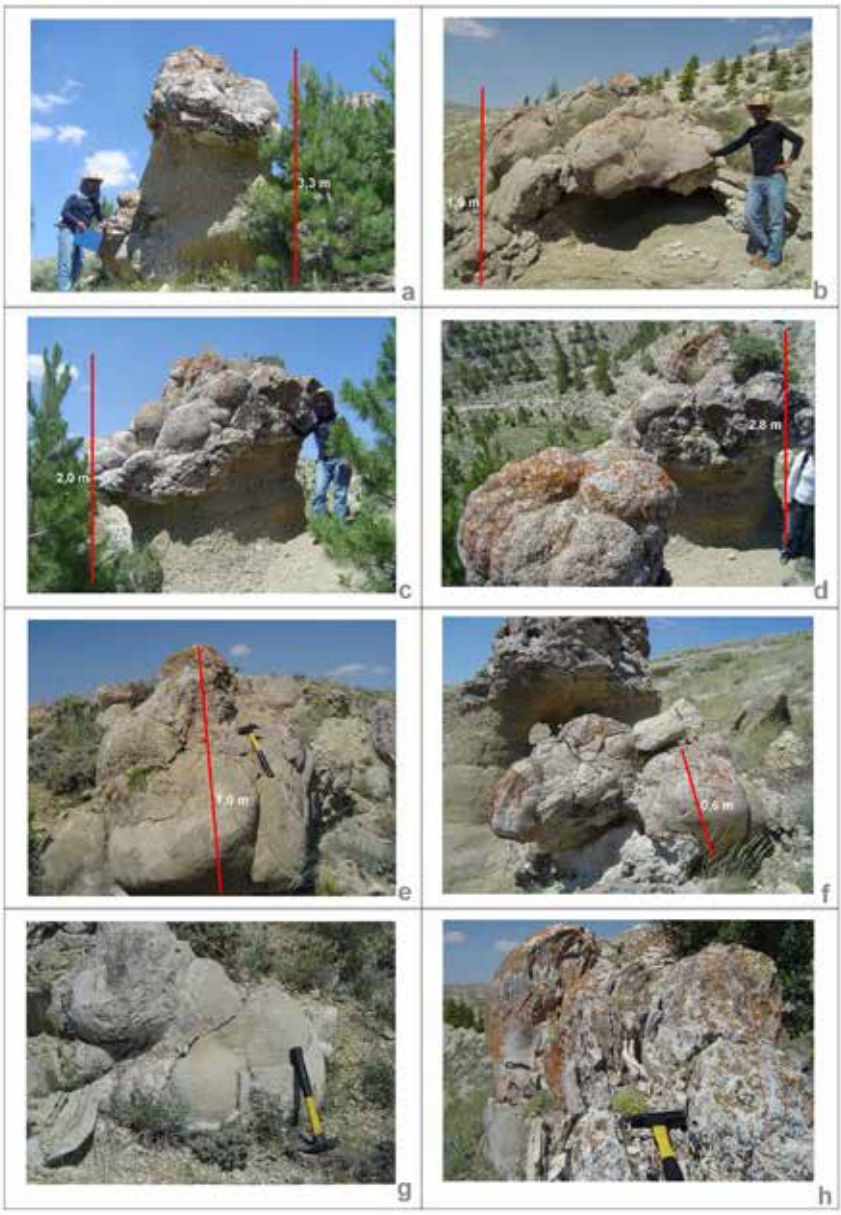
Jeolojik miras açısından önemli görülen söz konusu alan, Altınapa Baraj gövdesinin (Şekil 3c, 3d) yaklaşık 1 km kuzeydoğusundaki Çaylakbayır mevkisinin batısında bulunmakta ve yaklaşık 1 km^2 lik bir alanı alanı (Şekil 3d) kapsamaktadır. Buradaki stromatolit-onkolitler kırıntılı kayaçlar içerisinde gelişmiştir.

Bölgede laminalı mikrobiyal çökellerden stromatolitler ve bir merkez etrafındaki konsantrik sarılımlara sahip küresel iskeletsel stromatolitler-

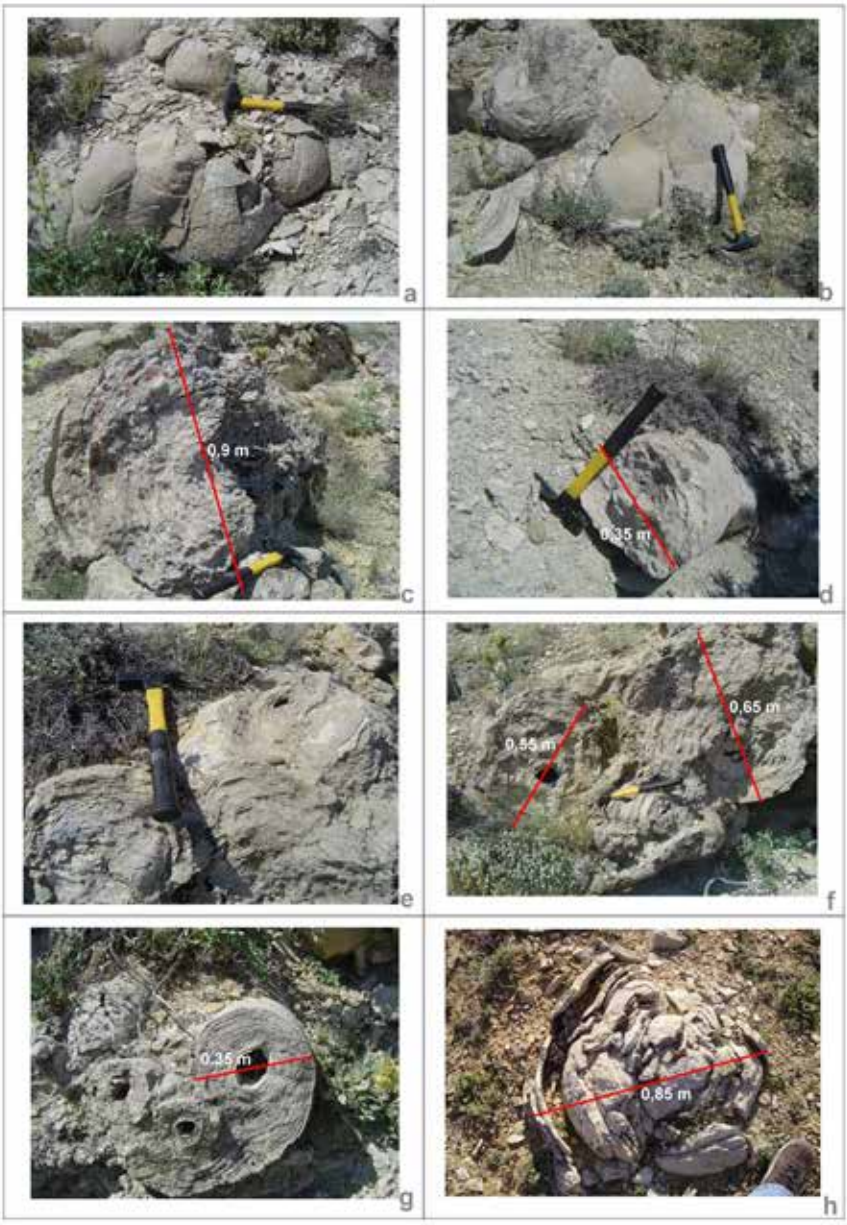
den, kaplanmış tane tiplerinden biri olan onkolitler gözlenmektedir. Göl ortamında oluşmuş olan bu yapılar, bazen kırıntılı kayaçlar üzerinde kütleler şeklinde mantar ve değişik görünümlü yapılar oluşturmaktadır (Şekil 4a-4d). Bazen de onlarca metre uzunluğunda dom şekilli ve konsantrik sarılımlı kütleler şeklinde bulunmaktadır(Şekil 4e-4h). Stromatolitlerin aşınan kesimlerinde laminalar açıkça görülebilmektedir (Şekil 4h, 5c).

Şekil 3 a-b. *Altın Apa stromatolit ve onkolitlerinin içerisinde yer aldığı Üst Miyosen- Alt Pliyosen yaşlı Ulumuhsine formasyonu arazi görünümü* **c.** *Altınapa Barajı'nın* **d.** *yaklaşık 1 km kuzeydoğusundaki Çaylakbayır mevkisinin yeri*

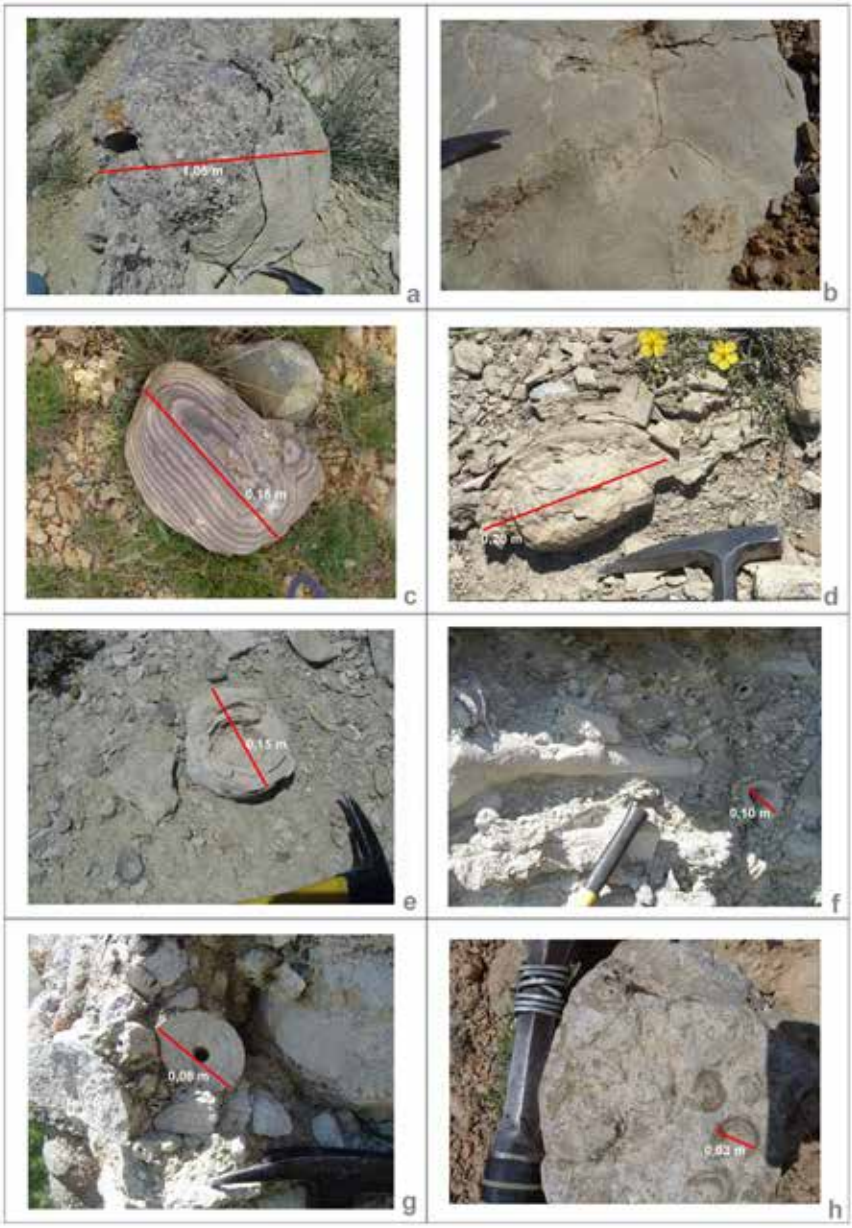
Stromatolit tiplerinden dom şekilli (Şekil 5a-5b), kolon şekilli (Şekil 5c-5d, 6d-6g), dallanmış (Şekil 5e- 5g) ve onkolitik tipleri (Şekil 5h, 6a, 6h) yörede gözlenmiştir. Onkolitlerin bazılarında konsantrik sarılımlar oldukça belirgindir (Şekil 6b-6c). Onkolitlerin çapları ise çapları 2 cm ile 85 cm arasında değişmektedir (Şekil 6f, Şekil 7a-7d).



Şekil 4 a-d. *mantar görünümlü stromatolitler* **e-h.** *dom şekilli ve konsantrik sarılımlı kütleler şeklinde stromatolitler*



Şekil 5 a-b. *Dom şekilli stromatolitler* **c-d.** *Kolon şekilli stromatolitler* **e-g.** *Dallanmış stromatolitler* **h.** *onkolitler*



Şekil 6a. *Onkolit* **b-c.** *Konsantrik sarılımların görünümü* **d-g.** *Kolon şekilli stromatolitler* **e-g.** *Dallanmış stromatolitler* **h.** *onkolitik kireçtaşı*

Şekil 7 a-d.*Farklı boyutlarda onkolit ve stromatolitler*

2.3. Jeoturizm potansiyeli

Altınapa stromatolitleri ve onkolitleri, milyonlarca yıl önce bir göl ortamında oluşmuş ve günümüze kadar korunabilmiş nadir gözlenen organosedimanter yapılardandır. Konya'nın batısında gözlenen Altınapa stromatolitleri ve onkolitleri ilk kez bu çalışmada jeolojik miras olarak tanıtılmıştır. Bu stromatolit-onkolitler, Altınapa Barajı'nın kuzeydoğusundaki Çaylakbayır mevkisinin batısında yaklaşık 1 km^2 lik alan içerisinde yaygın olarak gözlenmektedir (Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3d).

Milyonlarca yıllık uzun bir süreç boyunca doğal yollarla oluşmuş olması, bu yapıların değerini daha da artırmaktadır. Eğer bu doğal yapılar tahrip edilirse tekrar eski haline dönmesi veya yok edilirse yeniden oluşturulması mümkün olmadığından, mutlaka korunması gerekmektedir. Yol güzergâhına ve kum ocakları olarak işletilen alanlara yakın olan bu oluşumlar tahrip olmakta olup, gelecekte tamamen yok olabilme riski taşımaktadır. Bu nedenle, söz konusu alanın korunarak bir jeolojik miras alanı olarak değerlendirilmesi jeoturizm açısından da önemlidir. Hem muhteşem bir görselliğe sahip olduğundan hem de nadir organosediman-

ter yapılardan olduğundan, Altınapa stromatolitleri ve onkolitleri bölgesi, görsel olarak ilginç, güzel ve görülmeye değer jeolojik miraslardan biridir. Bu görkemli jeolojik anıt, jeoturizmin hizmetine sunulmalı ve daha çok insan görmelidir.

Konya şehir merkezine yaklaşık 20 km uzaklıkta olması ve asfalt yollardan kolaylıkla ulaşılabilmesi de turizm için pozitif faktörlerdendir. Konya şehir merkezinden itibaren D330 karayolunda ilerlerken 20 km sonra Derbent yoluna dönülmekte ve Derbent yolunda ise yaklaşık 1 km sonra bu yapıların yaygın olduğu Çaylakbayır mevkiisine ulaşılabilmektedir (Şekil 1). Bitki örtüsünün yeşil rengi, barajın ve derenin sularının mavi rengi (Şekil 8a, 8b) stromatolit ve onkolitlerin ilginç görüntüleriyle bileşerek görülmeye değer muhteşem bir görsellik oluşturmaktadır.

Yoğun ziyaretçi çeken Altın Apa Baraj bölgesinde stromatolit ve onkolitlerin varlığı bu çalışma ile ortaya konulmuştur ve bu doğal jeolojik oluşumlar, bölgeye daha fazla ziyaretçi çekebilecek güce sahiptir. Görsel doğa harikası olan bu jeolojik yapılar, jeoturizm açısından önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu nedenle, söz konusu bu potansiyelin bir an önce tanıtılması ve doğa anıt alanı olarak jeoturizmin hizmetine sunulması gerekmektedir. Bu durum, yörenin kültürel ve ekonomik açıdan gelişimine de önemli katkılarda bulunacaktır.

Stromatolit ve onkolitlerin yer aldığı bölge doğal yapısından dolayı, meraklıları için bir açık bir doğa müzesi olacağından, doğa yürüyüşü ve çadır kampı yapmak için de uygun bir alandır. Ayrıca yöredeki volkanoklastik kayaçlar içinde yine bir doğal anıt olan Küçükmuhsine peribacaları da bulunmaktadır. Ormanlık alanları, dereleri, bağları, bahçeleri ile birlikte stromatolit ve onkolitler ilginç ve göz alıcı kadrajlar sunmaktadır (Şekil 8c).

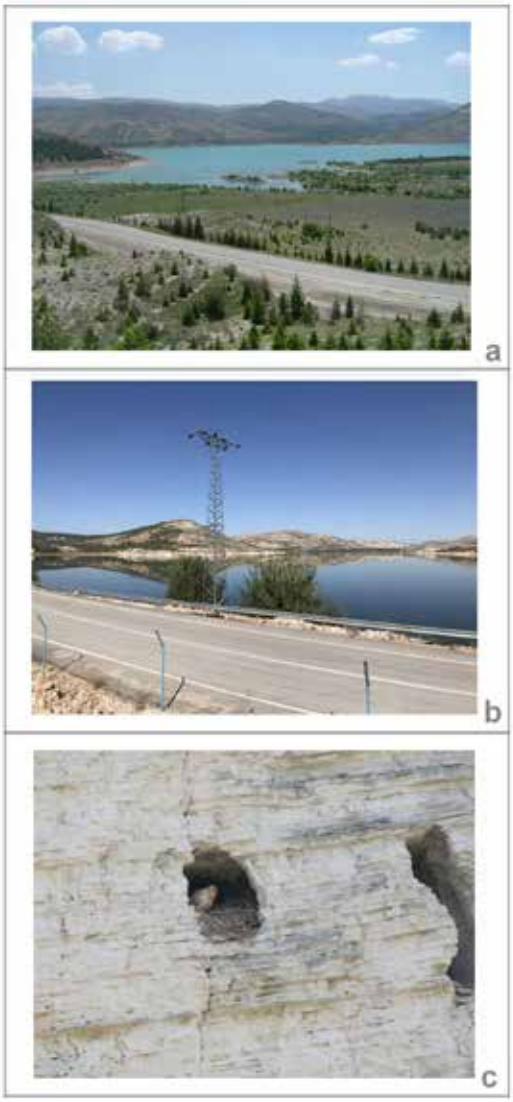
Konya şehir merkezine oldukça yakın olan bu yöreye düzenlenecek kültür ve turizm turları, hem yerli hem yabancı turistlerin tercih edebileceği bir alternatif olacaktır. Bu yapılara kolay ulaşabilmek amacıyla, yürüyüş yolları veya taş/ahşap merdivenler yapılabilir.

3. SONUÇLAR

Konya'nın batısında gözlenen Altınapa stromatolit ve onkolitleri ilk kez bu çalışmada doğal jeolojik anıt olarak tanıtılmıştır. Göl ortamında alglerin oluşturduğu bu organosedimanter yapıların dom şekilli, kolon şekilli ve dallanmış tipleri yörede gözlenmektedir.

Görsel doğa harikası olan Altınapa stromatolit ve onkolitleri, jeoturizm açısından önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu nedenle, söz konusu potansiyelin bir an önce değerlendirilmesi, tanıtılması ve anıt alanı olarak jeoturizmin hizmetine sunulması, yörenin kültürel ve ekonomik

açıdan gelişimine önemli katkıda bulunacaktır. Bu bölge, görülmeye değer muhteşem yerlerden biridir. Konya merkezinden kolayca ulaşılabilen bu bölgenin düzenlenecek seyahat turları ile yerli veya yabancı turistler tarafından görülmesi sağlanabilir. Yürüme yolları, taş merdivenler veya sürüş yollarının yapılması, bu yapılara kolayca ulaşılmasını sağlayabilir.



Şekil 8 a-b. *Yeşil ve mavinin iç içe olduğu Altın Apa Baraj bölgesi* **c.** *Stromatolit ve onkolitlerin içinde yer aldığı Ulumuhsine formasyonuna ait kayaçlar içerinde bir kuş yuvası*

KAYNAKLAR

Balcı, N., Demirel, C., Kurt, M.A., 2018, Salda Gölünün Jeomikrobiyolojisi ve Güncel Stromatolit Oluşumunda Mikrobiyal Etkiler, Yerbilimleri, 39 (1): 19-40.

Dupraz, C., Reid, R.P., Braissant, O., Decho, A.W., Norman, R.S., and Visscher, P.T., 2009, Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats. Earth-Science Reviews, 96: 141–162.

Eren, Y., 1993, Konya kuzeybatısında Bozdağlar masifinin otokton ve örtü birimlerinin stratigrafisi: Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, c. 36, s. 7-23.

Eren, Y., 1996, Sille-Tatköy (Bozdağlar masifi-Konya) kuzeyinde Alpin öncesi bindirmeler: 49. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildirileri, Ankara, s. 163-169.

Eren, Y., 2003, Konya Bölgesinin Depremselliği, Türkiye Petrol Jeologları Derneği (Özel sayı), 5, 11;112.

https://snr.unl.edu/data/geologysoils/fossils/nebrinvertAlgae.aspx

Göğer, E., Kıral, K., 1969, Kızılören dolayının jeolojisi, M.T.A Rapor No: 5204, (yayınlanmamış).

Jones, B., Goodbody, Q. H., 1985, Oncolites From A Shallow Lagoon, Grand Cayman Island. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 33 (2): 254–260. https://doi.org/10.35767/gscpgbull.33.2.254

Logan, B.W., 1961, Cryptozoon and associate stromatolites from the Recent, Shark Bay, Western Australia. Journal of Geology, 69: 517–533.

Özcan, A., Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., Şentürk, K., Uysal, S. ve Işık, A., 1990, Konya-Kadınhanı-Ilgın dolayının temel jeolojisi. M.T.A. Rapor No: 9535 (yayınlanmamış).

Palmer, T.J., Wilson M.A., 1990. Growth of ferruginous oncoliths in the Bajocian (Middle Jurassic) of Europe. Terra Nova, 2: 142–147

Peryt, T.M., 1983, Classification of Coated Grains. In: Peryt T.M. (eds) Coated Grains. Springer, xiii + 655 pp. Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-68869-0_1

Petryshyn, V.A., Corsetti, F.A., Berelson, W.M., Beaumont, W., Lund, S.P., 2012, Stromatolite lamination frequency, Walker Lake, implications for stromatolites as biosignatures. Geology, 40: 499–502.

Petryshyn, V.A.,Corsetti, F.A., Frantz, C.M., Lund, S.P., Berelson, W.M., 2016. Magnetic susceptibility as a biosignature in stromatolites. Earth and Planetary Science Letters, 437: 66–75

Pratt, B.R., 1982. Stromatolite decline — a reconsideration. Geology, 10: 512–515

Reid, R. P.,Visscher, P. T., Decho, A. W., Stolz, J.F., Bebout, B. M., Dupraz, C.,-Macintyre, I. G., Paerl, H. W., Pinckney, J. L., Prufert-Bebout, L., Step-

pe,T. F., Des Marais, D. J., 2000. The role of microbes in accretion, lamination and early lithification of modern marine stromatolites. Nature, 406: 989–992, https://doi.org/10.1038/35023158.

Reid, R.P., 2011. Stromatolites. In: Hopley D. (eds) Encyclopedia of Modern Coral Reefs. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2639-2_152

Riding, R.,1991. Classification of Microbial Carbonates. In: Riding R. (eds) Calcareous Algae and Stromatolites. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-52335-9_2

Riding, R., 2011. The Nature of Stromatolites: 3,500 Million Years of History and a Century of Research. In: Advances in Stromatolite Geobiology. Lecture Notes in Earth Sciences, vol 131. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-10415-2_3

Rishworth, G., Perissinotto, R., Bird, M., 2017. Non-reliance of metazoans on stromatolite-forming microbial mats as a food resource. Sci Rep 7, 42614. https://doi.org/10.1038/srep42614.

Suosaari, E.P., Reid, R.P., Andres, M.S., 2019. Stromatolites, so what?! A tribute to Robert N. Ginsburg. The Depositional Record, Special Issue: Celebration of the Career of Robert Nathan Ginsburg, 5 (3): 486-497. https://doi.org/10.1002/dep2.72

Zatoń, M., Kremer, B., Marynowski, L., Wilson, M.A., Krawczyński , W., 2012. Middle Jurassic (Bathonian) encrusted oncoids from the Polish Jura, southern Poland. Facies 58: 57–77. https://doi.org/10.1007/s10347-011-0273-1

Bölüm 20

BETONARME KOLON- KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNDE DENEYSEL ÖLÇÜM VE HESAPLAMA YÖNTEMLERİ İÇİN ÖRNEK BİR ÇALIŞMA

Alper BÜYÜKKARAGÖZ[1]
Abdüssamet ARSLAN[2]

1 Doç. Dr. Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
2 Prof. Dr., Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

1.Giriş

Türkiye büyük deprem kuşaklarından biri olan Alp deprem kuşağında bulunmaktadır. Ülke topraklarının büyük bir bölümünü oluşturan Karadeniz, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Ege, İç Anadolu Bölgesinin bir kısmı ve Marmara bölgelerini kapsayan kuşakta bulunan yapılar önemli deprem riski altında bulunmaktadır. Son 25 yılda yıkıcı ve ölümcül olan Erzincan (1992), Dinar (1995), Gölcük (1999) ve Van (2011) depremlerinde 25 000 den fazla insan hayatını kaybetmiş ve bu depremler sonucunda büyük maddi hasarlar oluşmuştur.

Bu acı tablo, ülkemizde ağırlıklı olarak konut ve barınma amaçlı kullanılan betonarme tipi yapıların büyük çoğunluğunun yeterli mühendislik hizmeti almadan, kalitesiz ve yanlış malzeme kullanılılarak üretilmesinden kaynaklanmaktadır.

Deprem kuvvetleri etkisi altındaki betonarme ve depreme dayanıklılıkları yetersiz oldukları düşünülen yapıların güçlendirilmesi ve hasar görmüş olanların ise onarılması konusunda literatürde çeşitli çalışmalar yapılmış ve olumlu sonuçlara ulaşılmıştır (Higazy vd., 1996, Febres ve Wight, 2001, Stehle vd., 2001, Hellesland ve Green, 1972). Bu çalışmalardan bazılarının detayları aşağıda verilmiştir.

Betonarme yapılarda taşıyıcı sistem bir bütün olarak düşünüldüğünde kolon-kiriş birleşim bölgesi ve bu bölgenin depreme karşı dayanımı son derece önemlidir. Türkiye'de ve Dünya'da meydana gelmiş olan büyük depremler sonucunda oluşan ani göçme sebeplerinden en önemlisi olarak kolon-kiriş birleşim bölgesinde meydana gelen kesme hasarları gösterilebilir. Bu davranışın sebepleri olarak birleşim bölgesindeki etriye yetersizlikleri, çeşitli boyutlandırma hataları, yetersiz ve hatalı malzeme kullanımı gösterilebilir.

Betonarme yapılar açısından deprem kuvvetlerine karşı yapı sünek davranmalı, gelen deprem kuvvetlerini başarılı bir şekilde sönümleyebilmelidir. Betonarme yapılarda ani göçmeye sebep olan gevrek davranış istenmeyen bir durumdur. Yaygın anlayışın aksine deprem mühendisliği açısından büyük depremlerde istenen, betonarme bir yapının hasar görmemesi değil, ani göçmemesidir. Betonarme yapılarda geniş kullanım alanları yaratmak gibi çeşitli sebeplerden dolayı kolonlar kirişlerden daha zayıf yapılmakta ve ayrıca kirişlerin döşeme ile birlikte yapılması sonucu tasarlanandan daha yüksek taşıma güçlü olması neticesinde çerçeve hasarı daha çok kolonlarda olmaktadır. Bunun sonucunda kolonlarda oluşan kesme hasarları nedeniyle gevrek ve ani kırılmalar meydana gelir (Şekil 1)

2. Amaç ve Kapsam

2.1. Amaç

Son yıllarda araştırmacılar tarafından betonarme yapılarda kolon-kiriş birleşim bölgesinin (düğüm noktası) incelenmesi hakkında yapılan çalışmalar önem kazanmaya başlamıştır. Özellikle son dönemde meydana gelen yıkıcı depremler incelendiğinde yapıların büyük oranda göçme nedeni olarak düğüm noktası detaylarındaki yetersizlikler gösterilebilir.

Deprem kuvvetine maruz yapılarda amaç, yapının deprem kuvvetlerine karşı sünek davranmasını sağlamak ve yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinden dolayı oluşacak enerjinin yapının hasar görmesi sayesinde tüketilmesini sağlamaktır. Ancak oluşacak bu hasar yapının toptan göçmesine sebep olmamalıdır. Birleşim bölgesinde meydana gelen bir dayanım veya rijitlik kaybı, çerçevede büyük yanal ötelenmelere, ikinci mertebe etkilerinin doğmasına ve sistemin tamamen göçmesine neden olabilir.

Şekil 1. *Gölcük depreminde kolon kiriş birleşimi hasarı sonucu yıkılmış bir bina*

Bu nedenlerle, birleşim bölgelerinde donatı detaylarında gerekli hassasiyetin gösterilmesi ve detayların yönetmeliklere uygun olacak şekilde oluşturulması yapının depreme dayanımı açısından son derece önemlidir. Birleşim bölgesinde yetersiz detaylara sahip olan çerçeve sistemlerinin depreme karşı istenilen performansa ulaşabilmesi açısından çeşitli güçlendirme yöntemleri uygulanmaktadır.

Yaygın olarak uygulanan güçlendirme yöntemlerinde zayıf kolonu güçlendirmek için kolon kesit alanı büyütülmekte ve dolayısıyla depreme karşı bir dayanım sağlanmaktadır. Ancak bu yöntemde projedeki çoğunlukla kısıtlı olan kullanım alanları iyice sınırlandırılmaktadır. Mevcut projelerde kullanım alanına göre kolon kesitlerini büyütme imkanı her zaman olamamakta ve kolonlar kirişlere göre daha zayıf kesite sahip olabilmek-

tedir. TS 500 standardında (TS 500, 2000:5) ve 2018 Bina Deprem Yönetmeliğinde (Bina Deprem Yönetmeliği, 2018) kolonların kirişlerden daha fazla moment taşıma kapasitesine sahip olması istenir. Zayıf kolon- güçlü kiriş birleşim oluşumuna izin verilmez. Bu çalışmanın temel amacı, daha önce yapılmış bir çalışma örnek alınarak (Büyükkaragöz, 2007), deneysel olarak betonarme kolon-kiriş birleşimi açısından kullanılan malzemeleri ve miktarlarını tanıtmak, deneysel hesapların elde edildiği formülleri ve hesaplama yöntemlerini sunmak ve kısmen de elde edilmiş olan sonuçlara değinmektir.

2.2. Kapsam

Örnek deneysel çalışmada (Büyükkaragöz, 2007) toplam 15 adet deney elemanı, deprem etkilerine benzer tekrarlanan tersinir yükler altında test edilmiştir ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Deneysel çalışmada üç temel değişken incelenmiştir. Bu değişkenler farklı beton dayanımları, kullanılan kesme çivilerinin başlık genişliği ve aralıklarının farklı olmasıdır. Bu çalışmada ağırlıklı olarak deneylerin nasıl yapıldığı, kullanılan malzemeler, ölçüm ve hesaplama yöntemleri ve elde edilen bazı sonuçlardan bahsedilecektir.

3. Konu Hakkındaki Çalışmalar

Kolon-kiriş birleşim bölgesi ve zayıf kolonlar için yapılan ilk çalışmalarda kolonlara sabit eksantrisite altında yükleme yapılmış, onarılmış betonarme kolonların yük taşıma kapasitesi ve deformasyonları incelenmiştir. Daha sonra tekdüze ve tersinir deprem yüklerine maruz bırakılmış kolonlara onarım ve güçlendirme teknikleriyle iyileştirmeler yapılmış, yük taşıma kapasiteleri, rijitlikleri, deformasyon yapabilirlikleri, kayma dayanımları, süneklikleri gibi çeşitli parametrelerdeki değişimler incelenmiştir (Jamaluddin,ve Jassin, 2001, Ghobarah ve Said, 2001, Roberts ve Dogan, 1998, Gulkan, 1977, Zaid vd., 1999). Bu çalışmaların bazılarının detayları aşağıda verilmiştir.

Febres ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, yarı statik yinelenir yükleme altındaki üç adet orta, geniş kolon-kiriş döşeme birleşimi test edilmiştir. Kiriş genişliğinin kolon genişliğine oranına özel olarak dikkat edilerek betonarme düğümlerin yanal yüklere karşı davranışını kontrol eden tasarım değişkenleri belirlenmiştir (Febres ve Wight, 2001).

Hellesland ve Green'in çalışmasında sabit eksantrisite altında yükleme yapılmış, onarılmış betonarme kolonların yük tasıma kapasitesi ve deformasyonları incelenmiştir. Dikdörtgen kesite sahip deney elemanları, dört ay boyunca devamlı sabit eksenel yüke tabi tutulmuştur. Sonraki aşamada tersinir yükleme de uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, onarılmış kolonların yük taşıma kapasitelerinin, tekdüze ve tersinir yüklemeye tabi tutulmuş bir döküm kontrol elemanlarının kapasitelerinden

yaklaşık %20 daha az olduğu gözlemlenmiştir. Onarılmış kolon ile bir döküm kolon karşılaştırıldığında, onarılmış elemanın rijitliği, bir döküm eleman kapasitesinin %90'ına ulaşmıştır (Hellesland ve Green, 1972).

Ghobarah ve Said'in yaptığı araştırmada gelişmiş kompozit malzemeler kullanılarak, betonarme kolon-kiriş birleşimleri için etkili iyileştirme şemaları geliştirilmiştir. Çok sayıda betonarme kolon-kiriş birleşimi üretilmiştir. Birleşimler, deprem öncesi imalat standartları kullanılarak sünek olmayacak şekilde tasarlanmıştır. Kontrol numuneleri kiriş ucundan yinelenir tekrarlı yüklere maruz bırakıldıklarında birleşimlerde kesme göçmeleri oluşmuştur. Birleşimlerin kesme dayanımını artırmak için, değişik lif ile sararak iyileştirme şemaları uygulanmıştır. Denenen iyileştirme teknikleri, birleşim kesme dayanımını artırma ve kesme göçmesi modunu geciktirme açısından başarılı olmuştur (Ghobarah ve Said, 2001)

Gülkan'ın çalışmasında onarılmış betonarme kiriş-kolon birleşimlerinin elastik olmayan sonuçları araştırılmıştır. Onarım öncesi ve sonrası kiriş-kolon birleşimleri tersinir yükler altında incelenmiştir. Tüm elemanlar artı seklinde dökülmüştür. Bu araştırmada incelenen toplam beş eleman yüksek bir bina çerçevesinin iç kısmındaki birleşimlerinin birer modelidir. Elemanlar sismik etkiyi simüle etmesi için tersinir yüklemeye tabi tutulmuştur. Burada uygulanan onarım tekniği mantolamadır. Mantolama uygulamasında, boyuna donatı ve etriyeler mevcut donatıya kaynaklanarak eklenmiştir. Yeni donatı ağı oluşturduktan sonra mevcut çekirdeğin üstüne bir kabuk oluşturacak şekilde beton dökülmüştür. Onarım tekniği hasar görmüş betonarme kolonun dayanımını artırmak konusunda etkili olmuştur. Gülkan'ın deneylerinde onarılarak mantolanmış kolonun hasar görmemiş ilk hali ile benzer davranış gösterdiği saptanmıştır (Gulkan, 1977).

Zaid ve arkadaşlarının çalışmasında iki yarı ölçekli kolon-kiriş birleşiminden oluşan deney elemanı deprem etkilerine benzer tersinir tekrarlanan yük etkisi altında test edilmiştir. Her iki deney elemanı da düğümde kesmeden göçecek şekilde donatılandırılmıştır. Kullanılan yeni bir sistem sayesinde bir deney elemanı diğer deney elemanına göre 28% daha fazla yanal ötelenme rijitliğine ulaşmıştır. Yeni kompozit detay sayesinde sadece kat kesme kapasitesi arttırılmamış, aynı zamanda düğüm deformasyonu da azaltılmıştır. Ayrıca göçme modu düğümde kesme olarak değil kirişte eğilme şeklinde gerçekleşmiştir (Zaid vd., 1999).

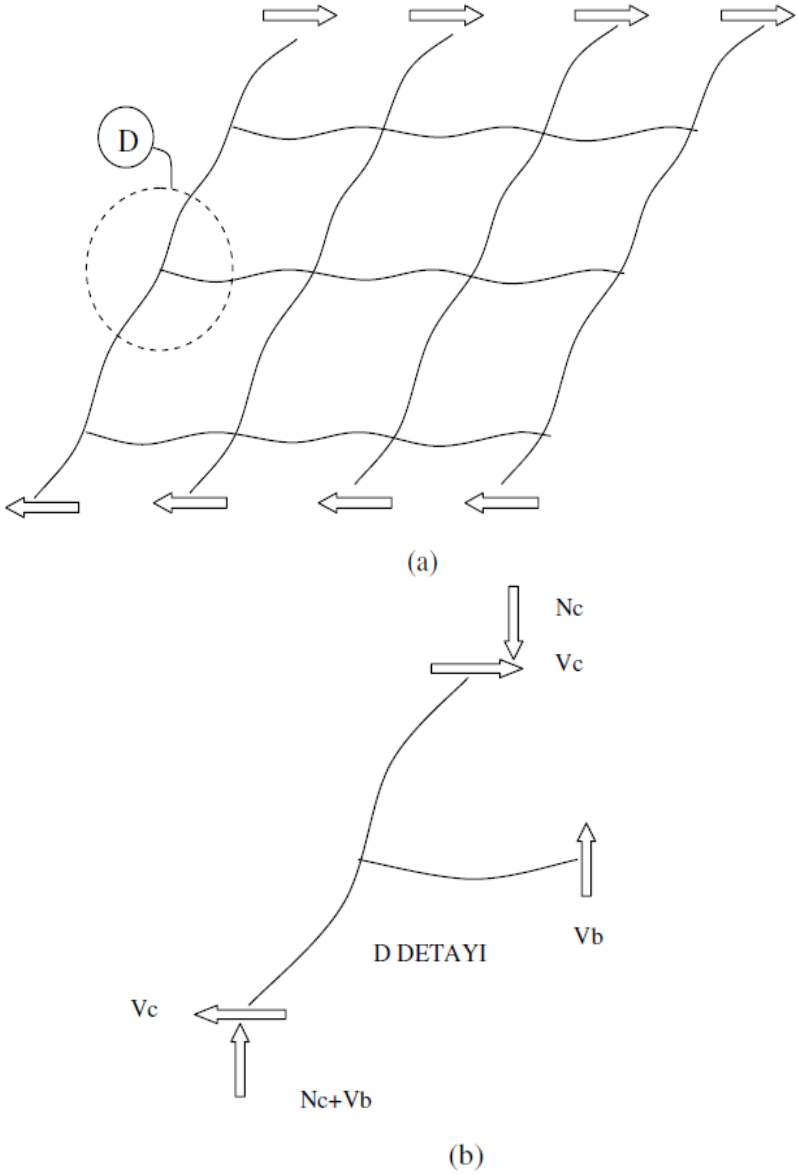
Kesme çivilerinin, çift cidarlı sandviç panel yöntemi kullanılan kirişlerde uygulanması ile ilgili çalışmalar da mevcuttur (Büyükkaragöz, 2000).

4. Örnek Deneysel Çalışma

4.1. Deney Düzeneği

Örnek olarak verilen deneysel çalışmada çelik levha ve üzerine kaynatılmış kesme çivilerinden oluşan kompozit malzeme üretim esnasında, birleşim bölgesi ve zayıf kesitli kolona uygulanmıştır.

Deney elemanlarına deprem yüklerini benzeştiren tersinir tekrarlı yük etkitilmiştir. Deney elemanları, kolon ve kirişlerden oluşan sıradan bir çerçevenin deprem yükleri altında deforme olmuş şekli düşünülerek hazırlanmıştır. Böyle bir çerçevenin abartılmış deformasyon diyagramı Şekil 2a'da gösterilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı gibi deprem yükleri etkiyen çerçevede moment sıfır noktaları yaklaşık olarak kolon ve kirişlerin ortalarında oluşmakta ve düğümlerin moment sıfır noktalarına kadar olan kısmı benzer davranış sergilemektedir (Aykaç, 2000). Bu nedenlerden dolayı çerçeve davranışını temsil edebilmesi ve yük uygulanabilirliği sebebiyle deney elemanlarının oluşturduğu model, bir dış düğümün moment sıfır noktaları arasında kalan parçanın çıkartılmasıyla oluşturulmuştur (Şekil 2). Deney elemanlarının boyut ve sayıları, laboratuvar koşullarıyla beraber uygulanacak değişkenler de göz önünde bulundurularak toplam 15 adet olarak belirlenmiştir. Deney elemanları betonarme olarak üretilmiş ve boyutları 1/1 ölçeğinde hazırlanmıştır. Referans deney elemanlarında göçmenin birleşimde (düğüm bölgesi) oluşması için kirişin toplam taşıma gücü momentinin, kolonun her iki yönündeki toplam taşıma gücü momentinden büyük olması sağlanmış ve zayıf kolon-güçlü kiriş birleşimi oluşturulmuştur. Diğer deney elemanlarında kullanılan kesme çivili levhalar zayıf kolon-güçlü kiriş birleşimine uygulanmış ve etriye aralıkları daha da seyrekleştirilmiştir.

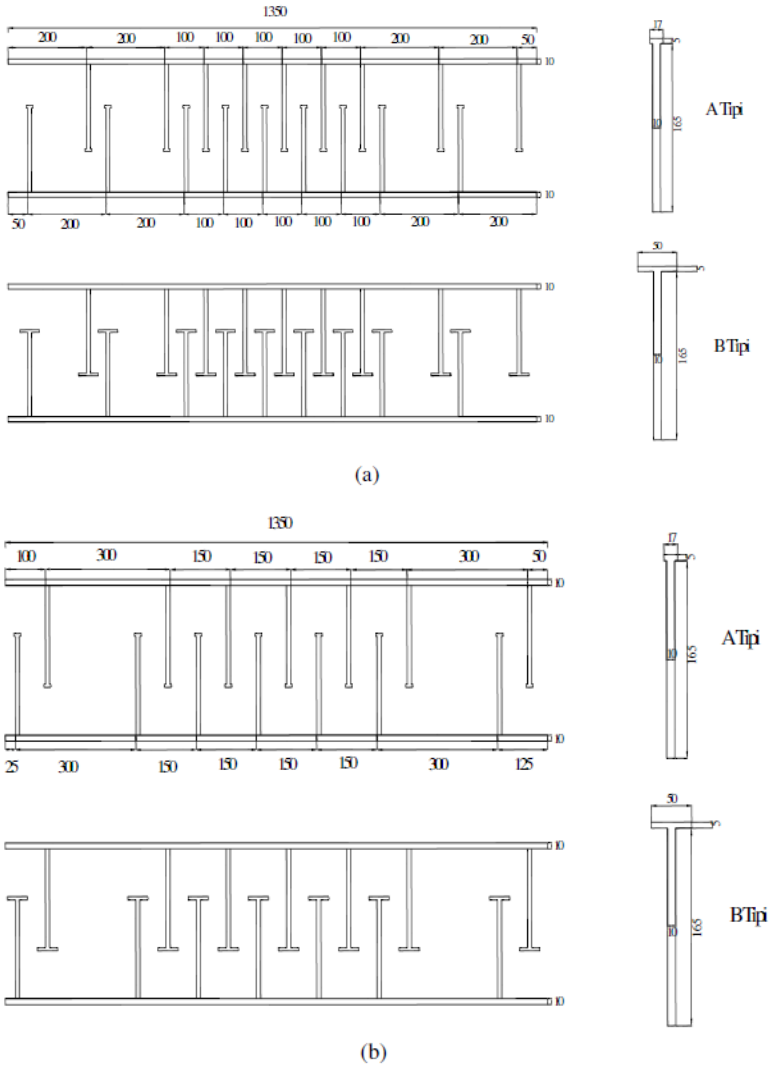


Şekil 2. *Deney elemanı için örnek alınan çerçeve dış düğüm detayları*
a-) Deprem yükleri etkisindeki çerçevenin gerçek deformasyonu
b-) Çerçeve dış düğüm serbest cisim diyagramı

4.2. Deney Elemanları Detayları

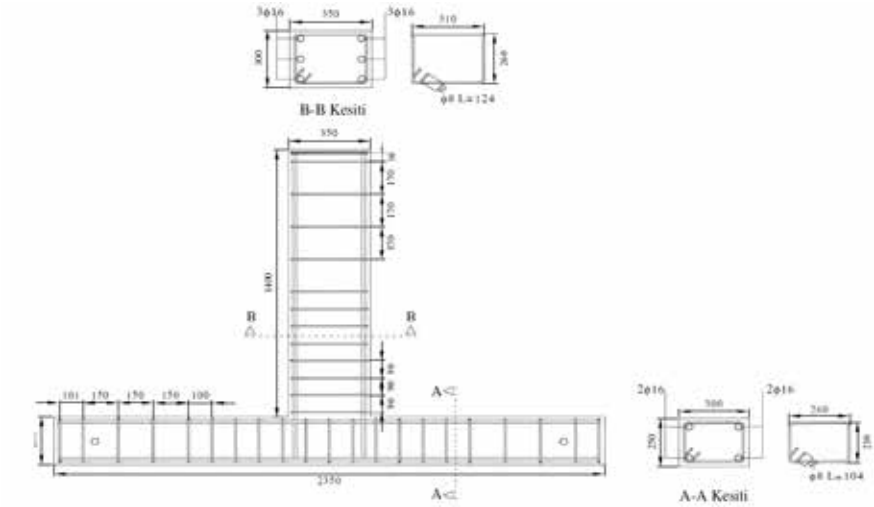
Deney elemanları beton dayanımlarına göre A, B ve C grubu olarak üçe ayrılmıştır. Her bir grupta 5 adet olmak üzere toplam 15 adet deney

elemanı üretilmiştir. A, B ve C grubu elemanlarının beton dayanımları sırasıyla yaklaşık 14 MPa, 20 MPa ve 30 MPa olacak şekilde üretilmiştir. Deney elemanlarında kullanılan kesme çivileri de kendi içlerinde A tipi ve B tipi olarak iki gruba ayrılmıştır. A tipi deney elemanlarının kesme çivisi başlık genişliği 17 mm iken B tipi deney elemanlarının kesme çivisi başlık genişliği 50 mm'dir. Gövde genişlikleri 10 mm'dir. Kesme çivisi aralıkları seyrek ve sık olacak şekilde uygulanmıştır. Kesme çivili levhaların detayları Şekil 3'de verilmiştir.

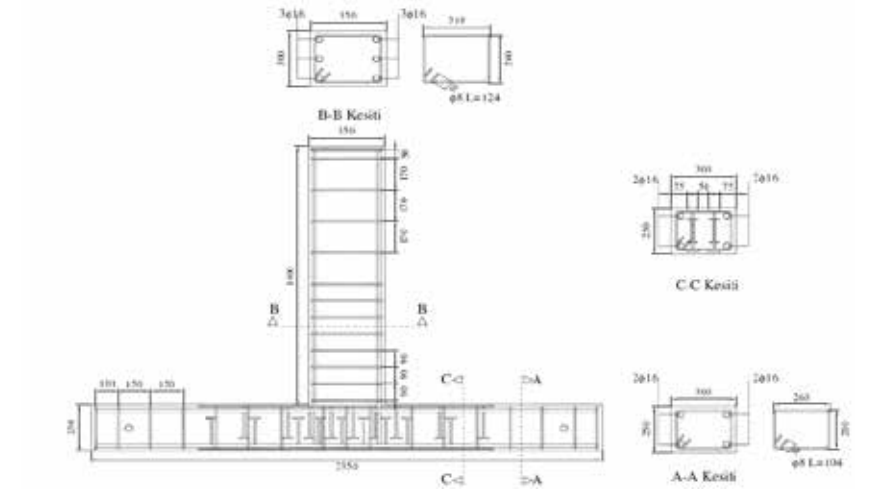


Şekil 3. *Birleşim bölgesine uygulanan kesme çivili levha detayları*
a) Sık aralıklı uygulama
b-) Seyrek aralıklı uygulama

Üretilen deney elemanları deney düzeneğine kolonlar yatay doğrultuda kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Deneye uygulanan yük kiriş ucundan yatay yönde tersinir tekrarlanır yük şeklinde uygulanmıştır. Deney elemanları için referans ve kesme çivili levha uygulanmış örnek donatı detayları Şekil 4-5'de verilmiştir. Şekil 6'da kesme çivili levha uygulanmış donatı kafesi görülmektedir. Tablo 1'de ise deney elemanlarında kullanılan kesme çivili levha detayları ve beton sınıfları verilmiştir.



Şekil 4. *Referans deney elemanı*



Şekil 5. *A tipi kesme çivili levha uygulanmış deney elemanı*

Şekil 6. *Üretim sonundaki donatı kafesi görünümü*

Deney elemanlarının özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Tablo 1. *Deney elemanlarının levha ve çivi detayları*

Deney elemanları	Kesme çivisi toplam boyu	Kesme çivisi gövde boyu	Kesme çivisi başlık kalınlığı	Kesme çivisi baslık genişliği	Üst kesme çivileri arası mesafe	Alt kesme çivileri arası mesafe	Beton Sınıfı
AR	-	-	-	-	-	-	C14
A1	170	165	5	17	100	100	C14
A2	170	165	5	50	100	100	C14
A3	170	165	5	17	150	150	C14
A4	170	165	5	50	150	150	C14
BR	-	-	-	-	-	-	C20
B1	170	165	5	17	100	100	C20
B2	170	165	5	50	100	100	C20
B3	170	165	5	17	150	150	C20
B4	170	165	5	50	150	150	C20
CR	-	-	-	-	-	-	C30
C1	170	165	5	17	100	100	C30
C2	170	165	5	50	100	100	C30
C3	170	165	5	17	150	150	C30
C4	170	165	5	50	150	150	C30

4.3. Üretimde Kullanılan Malzemeler

4.3.1. Donatı

Deneylerde 420 ve 504 MPa akma ve 778 ve 664 MPa kopma dayanımlarına sahip sırasıyla 8 ve 16 mm çaplarında nervürlü donatılar kullanılmıştır. Akma ve kopma deneylerini test etmek için her donatıdan üçer adet seçilerek çekme deneyleri yapılmıştır.

4.3.2. Kesme Çivisi ve Çelik Levha

Kullanılan kesme çivilerinin çapı 10 mm'dir. Çelik çekme testlerinden 473 MPa ve 729 MPa değerlerinde akma ve kopma dayanım sonuçları elde edilmiştir. Çelik levha olarak 10x50 mm boyutlarında 495 ve 736 MPa akma ve kopma dayanımına sahip çelik levhalar kullanılmıştır. Üretilen kesme çivileri levhalara kaynatılarak sabitlenmiştir.

4.3.3. Beton

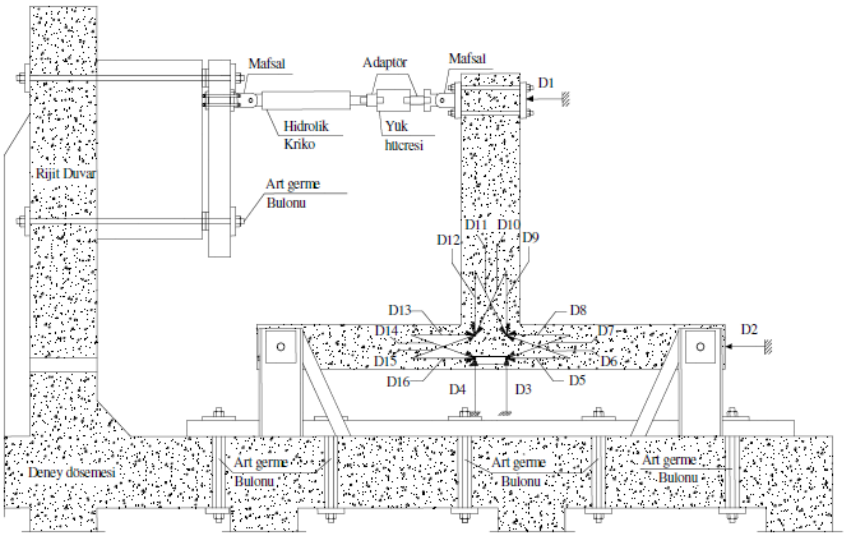
Deney elemanlarında A, B ve C grubu olmak üzere toplam üç farklı tipte beton kullanılmıştır. Sırasıyla 14, 20 ve 30 MPa basınç dayanımlarına sahip beton üretmek için kullanılan karışımları, karışım ağırlıklarını ve karışım ağırlık oranlarını gösteren Tablo 2 aşağıda verilmiştir.

Tablo 2. *Beton sınıfları ve karışım detayları*

C14		
	Ağırlık (kg)	Ağırlıkça oranı (%)
Çimento	285	12
Çakıl (7-20)	1040	44.16
Kum (0-7)	830	35.24
Su	200	8.6
Toplam	2355	100
C20		
	Ağırlık (kg)	Ağırlıkça oranı (%)
Çimento	345	14.65
Çakıl (7-20)	1040	44.16
Kum (0-7)	780	33.12
Su	190	8.07
Toplam	2355	100
C30		
	Ağırlık (kg)	Ağırlıkça oranı (%)
Çimento	410	17.4
Çakıl (7-20)	1040	44.16
Kum (0-7)	720	30.57
Su	185	7.87
Toplam	2355	100

4.4. Deney Yükleme ve Ölçüm Detayları

Deneyler Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır. Deney elemanlarının yerleştirildiği betonarme platform 400 mm kalınlığında ve 800 mm aralılarla deliklerin bulunduğu rijit bir platformdur. Deney elemanları rijit platforma konulmadan önce özel olarak yaptırılmış çelik test düzeneği platforma deliklerden art germe bulonlarıyla bağlanmıştır. Deney elemanları da çelik test düzeneğine kolon sol ve sağ uçlarından mesnetlerek sabitlenmiştir. Rijit duvar ile deney elemanları arasına yükleme yapabilmek için bir yükleme düzeneği yerleştirilmiştir. Deney elemanının üzerine yükleme düzeneği bağlanmış ve ölçüm alabilmek amacıyla her deney elemanı üzerine 16 adet LVDT olarak adlandırılan hassas deplasman ölçüm aletleri yerleştirilmiştir. Deney yükleme düzeneğine yükleme yapılmasını sağlayan 1000 kN basma ve 500 kN çekme kapasiteli hidrolik kriko ve ölçümlerin bilgisayar ortamına aktarılmasını sağlayan 300 kN kapasiteli yük hücresi yerleştirilmiştir. Şekil 7'de yükleme ve ölçüm düzeneği verilmiştir.



Şekil 7. *Yükleme ve ölçüm düzeneği*

Betonarme kolon kiriş birleşimlerinde deprem etkilerini benzeştiren tekrarlanır tersinir yükleme için bu deney düzeneği ve deney elemanları bir örnek olarak verilmiştir. Ancak farklı detaylara sahip kolon kiriş birleşimlerinde ölçüm ve hesaplama detayları hemen hemen benzerdir. Bu kısımdan sonra ölçüm ve hesaplamaların nasıl yapıldığı detayları ile verilecektir.

Deneyler esnasında çeşitli doğrultulardaki deplasman ölçümleri için, 0.0001 mm'ye kadar olan deplasman değişimlerini elektronik olarak ölçebilen ve bunları bir data toplayıcı vasıtasıyla bilgisayara aktarabilen LVDT olarak adlandırılan elektronik deplasman ölçme aletleri kullanılmıştır.

Bilgisayarda deney sırasında deplasman ve yük değerlerini grafik olarak ekrana yansıtabilen ve istenilen yüke karşı gelen deplasmanı görmemizi sağlayan bir yazılım kullanılmıştır. Deneylerde her deney elemanı için toplam 16 adet LVDT kullanılmış ve her LVDT ye 'D' ile başlayan ve sonunda LVDT numarası bulunan bir ad verilmiştir. Rijit ötelenmeyi, rijit düğüm dönmesini ve konsol uç deplasmanını ölçen D1, D2, D3, D4 LVDT'leri deney elemanının dışına mesnetlenmişlerdir. Diğer LVDT'ler ise deney elemanına sabitlenmiş olan ölçüm çubuklarına bağlanmıştır. Deney elemanında plastik mafsallaşmanın olabileceği bölgeler olan kiriş (düğüm noktası üst) ve kolonun sol ve sağ bölgelerinden ölçümler alınmıştır. Bütün deney elemanlarında ölçümler aynı bölgelerden alınmıştır. Deneylerde kullanılan LVDT'lerin hangi amaçla kullanıldığı aşağıda verilmiştir.

D1 : Kiriş uç deplasman

D2 : Rijit yatay ötelenme

D3 ve D4 : Rijit düğüm dönmesi

D5 ve D8 : Birleşim sağ bölge eğrilik hesabı

D6 ve D7 : Birleşim sağ bölge kayma deformasyonları hesabı

D9 ve D12 : Birleşim üst bölge eğrilik hesabı

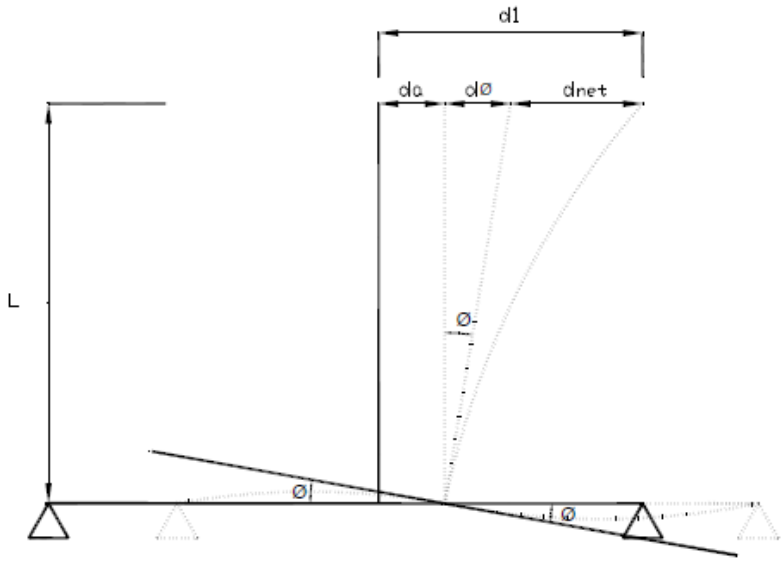
D10 ve D11 : Birleşim üst bölge kayma deformasyonları hesabı

D13 ve D16 : Birleşim sol bölge eğrilik hesabı

D14 ve D15 : Birleşim sol bölge kayma deformasyonları hesabı

4.4.1 Kiriş Uç Net Deplasman Hesabı

Kirişlerde yatay net deplasman ölçümleri için D1 LVDT'si kullanılmıştır. Deney elemanı ve ölçüm düzeneğinden de anlaşıldığı üzere kolonların rijitliği sonsuz olmadığından, yük altında kolon-kiriş birleşiminde rijit dönmeler meydana gelecektir. Ayrıca kolon mesnetlerindeki olası boşluklardan dolayı deney elemanı yatay yönde az da olsa rijit ötelenme yapacaktır. D1 LVDT'sinden yapılan ölçümlerde bu iki deplasman olduğundan bizi asıl ilgilendiren kirişin kayma ve eğilme deformasyonlarının toplamından oluşan net deplasmandır. Şekil 8'de deney elemanında yükleme sırasında oluşan deformasyonlar verilmiştir.



Şekil 8. *Deney elemanında oluşan deformasyonlar*

Ø : Düğüm dönme açısı

d1 : D1 LVDT'sinden ölçülen deplasman

da : Rijit yatay ötelenme

$d_{Ø}$: Düğüm dönmesi sonucu yatay doğrultuda oluşan deplasman

d_{net} : Kiriş ucunun yatay yöndeki net deplasmanı

L : Kolon ekseni ile D1 LVDT'si arası mesafe

Şekil 8'den de anlaşıldığı üzere kiriş ucundaki net deplasman, d1 deplasmanından, da ve $d_{Ø}$ deplasmanlarının toplamının çıkarılmasından elde edilmiştir. Net deplasman hesabı için aşağıda verilmiş olan denklemler kullanılmıştır. LVDT uçlarından içeriye pozitif, dışarıya doğru negatif ölçümler alınmış ve işaretleriyle beraber denklemlerde kullanılmıştır.

$$Da = d_2 \quad (1)$$

$$d_{Ø} = \frac{d4-d3}{c} L \quad (2)$$

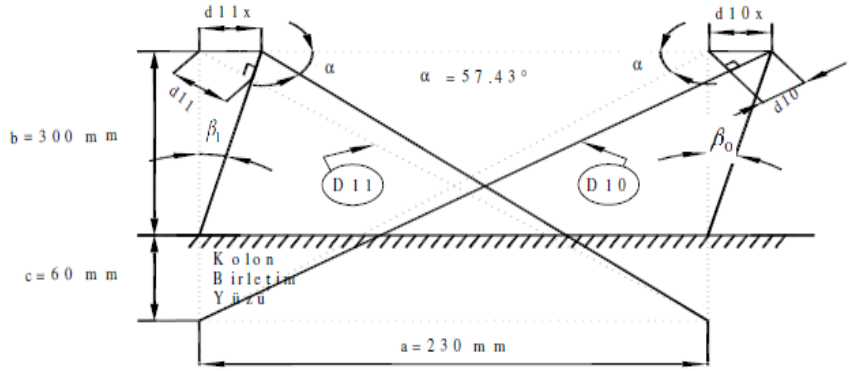
$$d_{net} = d1 - da - d_{Ø} \quad (3)$$

d1,d2,d3,d4 = D1, D2, D3 ve D4 adlı LVDT'lerden ölçülmüş olan deplasmanlar

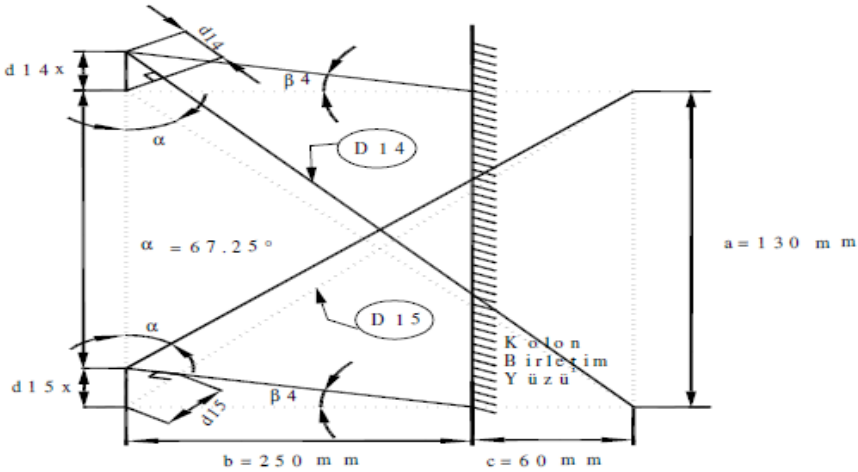
c = D3 ve D4 LVDT eksenleri arası dik uzaklık (230 mm)

4.4.2. Kayma Deformasyonları Hesabı

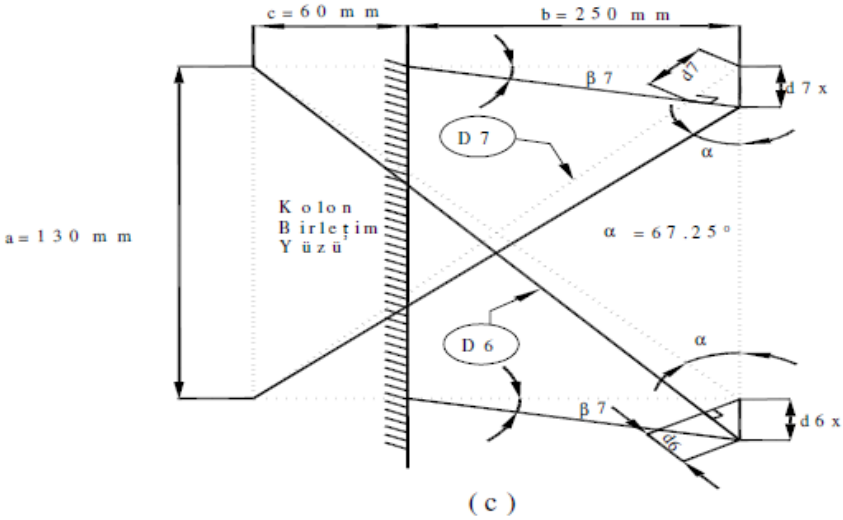
Deney elemanlarında kolon ve kiriş üzerinden kayma deformasyonu ölçümleri alınmıştır. Her bölge için kayma açıları ve kayma deplasmanları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Kesme kuvvetinin, kirişe uygulanan yüke eşit olduğu açıktır. Kolon ve kiriş üzerindeki deplasmanların yükleme öncesi ve yükleme sonrası halleri Şekil 9'da şematik olarak verilmiştir. Şekil 9'daki deformasyon durumlarına göre kayma deplasmanları için gerekli formüller çıkarılarak aşağıda verilmiştir.



(a)



(b)



Şekil 9. *Deney elemanı kayma deformasyonu*

a-) Birleşim üst bölge

b-) Birleşim sol bölge

c-) Birleşim sağ bölge

Birleşim Üst Bölge

$$\alpha = \mathrm{Arctg}\left(\frac{b+c}{a}\right) \tag{4}$$

$$d11x = \frac{d11}{\cos\alpha} \tag{5}$$

$$d10x = -\frac{d10}{\cos\alpha} \tag{6}$$

$$d1x = \frac{d11x + d10x}{2} \tag{7}$$

$$ß1 = \frac{d11x}{b} \tag{8}$$

$$ß0 = \frac{d10x}{b} \tag{9}$$

$$ß = ßort = \frac{ß0 + ß1}{2} \tag{10}$$

α, a, b : Şekil 9'da verilmiştir.

d11x : d11'in yatay izdüşümü

d10x : d10'ın yataydaki izdüşümü

d1x: Ortalama yatay kayma deformasyonu

ß1, ß0 : Kayma açıları

ß : Ortalama kayma açısı

Birleşim Sol Bölge

$$\alpha = \mathrm{Arctg}\left(\frac{b+c}{a}\right) \tag{11}$$

$$d15x = \frac{d15}{\cos\alpha} \tag{12}$$

$$d14x = -\frac{d14}{\cos\alpha} \tag{13}$$

$$d1x = \frac{d15x + d14x}{2} \tag{14}$$

$$ß5 = \frac{d15x}{b} \tag{15}$$

$$ß4 = \frac{d14x}{b} \tag{16}$$

$$ß = ßort = \frac{ß4 + ß5}{2} \tag{17}$$

α, a, b : Şekil 9'da verilmiştir.

d15x : d15'in yatay izdüşümü

d14x : d14'ün yataydaki izdüşümü

d1x: Ortalama yatay kayma deformasyonu

ß4, ß5 : Kayma açıları

ß : Ortalama kayma açısı

Birleşim Sağ Bölge

$$\alpha = \mathrm{Arctg}\left(\frac{b+c}{a}\right) \tag{18}$$

$$d7x = \frac{d7}{\cos\alpha} \tag{19}$$

$$d6x = -\frac{d6}{\cos\alpha} \tag{20}$$

$$dx = \frac{d7x + d6x}{2} \tag{21}$$

$$ß7 = \frac{d7x}{b} \tag{22}$$

$$ß6 = \frac{d6x}{b} \tag{23}$$

$$ß = ßort = \frac{ß6 + ß7}{2} \tag{24}$$

α, a, b : Şekil 9'da verilmiştir.

d7x : d7'nin yatay izdüşümü

d6x : d6'nın yataydaki izdüşümü

dx : Ortalama yatay kayma deformasyonu

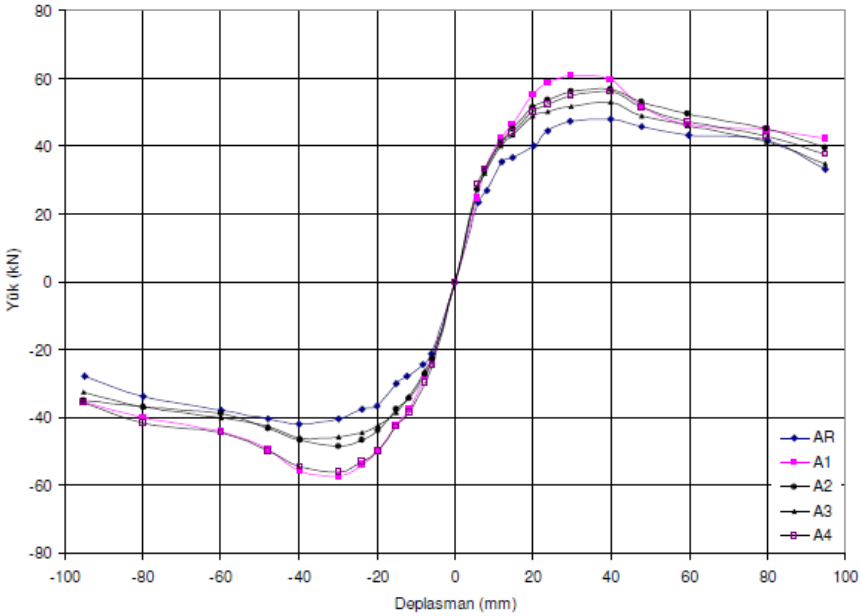
ß6, ß7 : Kayma açıları

ß : Ortalama kayma açısı

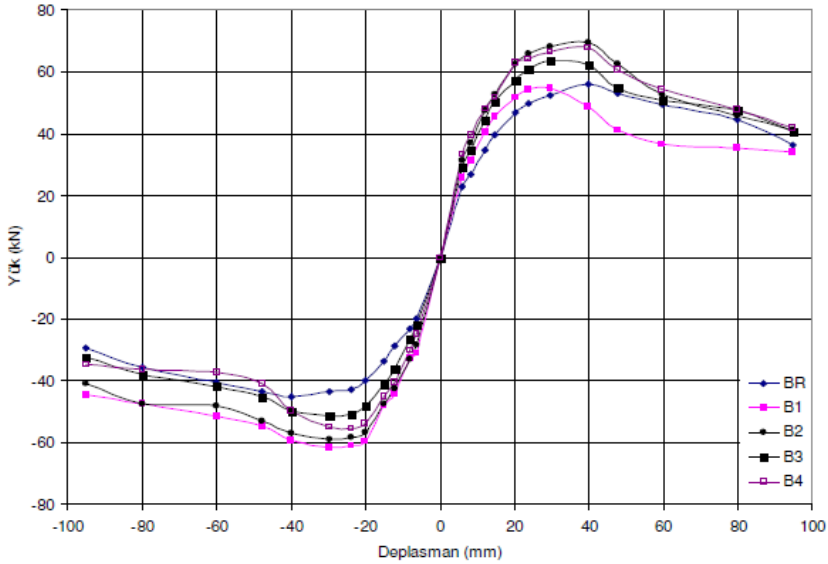
5. Deney Sonuçları

5.1. Yük-Deplasman Diyagramları

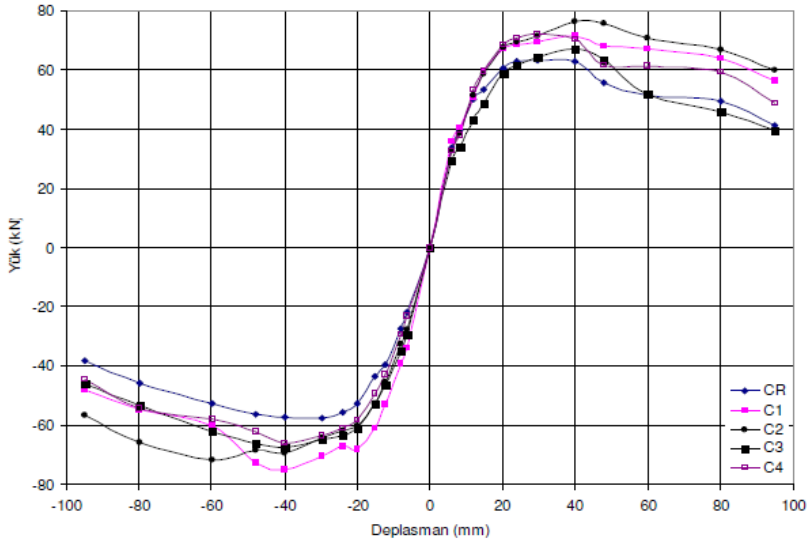
Kiriş uçlarından elde edilen net deplasman hesaplarına göre elde edilmiş olan yük-deplasman diyagramları Şekil 10-12'de verilmiştir. Elde edilmiş olan bu diyagramlar deney elemanlarının olası bir depremdeki davranışları açısından oldukça önemlidir. Bu eğrilerin altında kalan alanlar enerji tüketim değerlerini ve yatay deplasmanların fazla olması da sünek davranış açısından çok önemlidir. Betonarme elemanların olası bir depremde sünek davranması ve enerji tüketim değerlerinin fazla olması beklenen ve istenen bir durumdur.



Şekil 10. *A grubu deney elemanlarının yük-deplasman diyagramları (zarf eğrileri)*



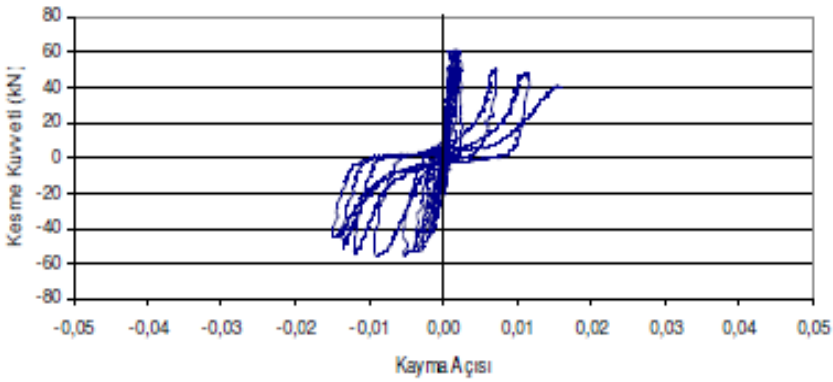
Şekil 11. *B grubu deney elemanlarının yük-deplasman diyagramları (zarf eğrileri)*



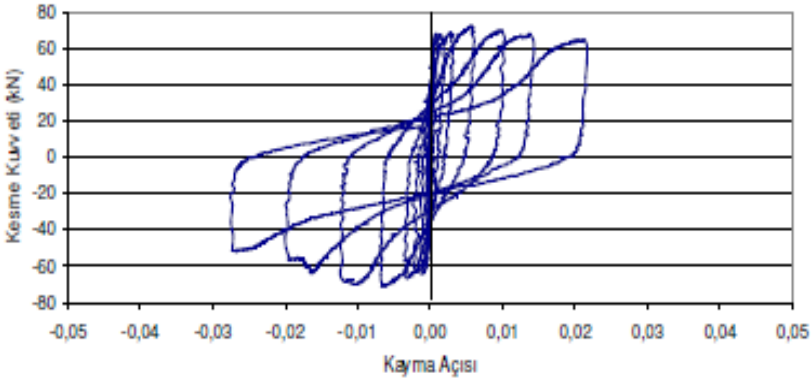
Şekil 12. *C grubu deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri*

5.2. Yük-Kayma Açısı Diyagramları

Betonarme yapıların düğüm bölgesinde meydana gelen kesme hasarları nedeni ile ani göçmesinin istenmeyen bir durum olduğu ve bunun önlenmesi gerektiğinden daha önce bahsedilmişti. Düğüm bölgesindeki plastik mafsal dediğimiz hasar oluşumunun sünek davranış gösteren kiriş üzerinde yani deney elemanlarında kirişin üstte kaldığı düşünüldüğünde birleşim üst bölgesinde oluşması istenir. Bu açıdan yük-kayma açısı diyagramları bize hasarın hangi bölgede oluştuğuna dair önemli veriler vermektedir. Elde edilen diyagram sayısı çok fazla olduğundan burada davranış değişimini çok net gösteren, sadece C grubundan CR (referans deney elemanı) ve C2 deney elemanlarından elde edilmiş olan diyagramlar Şekil 13 ve Şekil 14'de verilmiştir.



Şekil 13. *CR deney elemanı birleşim üst bölge yük-kayma açısı diyagramı*



Şekil 14. *C2 deney elemanı birleşim üst bölge yük-kayma açısı diyagramı*

Deneyler sonucunda yük-deplasman ve yük-kayma açısı diyagramları verilmiş olan CR ve C2 deney elemanlarının deney sonu görünümleri Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir.

Şekil 15. *CR deney elemanı deney sonu görünümü*

Şekil 16. *C2 deney elemanı deney sonu görünümü*

6.Sonuçlar ve Değerlendirme

Betonarme binalardaki düğüm noktalarının deprem etkisi altındaki davranışları ve oluşabilecek hasarları laboratuvar ortamında deneysel çalışmalarla görebilmek çok önemlidir. Oluşabilecek hasarlara karşı deneysel çalışmalar neticesinde önlem alınabilmekte, mevcut standart ve yönetmeliklerin geliştirilmesine katkı sunulmaktadır. Laboratuvar ortamındaki deneylerin doğru yorumlanabilmesi ve doğru sonuçların elde edilebilmesi açısından deney sisteminin kurulumu ve hesaplama yöntemleri oluşturulması son derece önemlidir. Deney sisteminin kurulumu ve hesaplamaların hangi formüller ve şemalar üzerinden nasıl hesaplanacağını gösteren bu çalışmada elde edilen sonuçların irdelenebilmesi amacıyla, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapılmış olan deneysel bir çalışma örnek alınmıştır. Deneysel sonuçların ve düğüm bölgesinin irdelenmesi açısından son derece önemli olan yük-deplasman ve yük-kayma deformasyonu hesaplamalarından elde edilmiş bazı grafikler önceki bölümde verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar irdelenecek olursa yük-deplasman grafikleri incelendiğinde A grubu deney elemanlarında en büyük dayanımın A1, B gurubu deney elemanlarında B4 ve C grubu deney elemanlarında C2 deney elemanından elde edildiği görülmektedir. Grafiklerin altında kalan alandan elde edilen enerji tüketim değerleri açısından incelendiğinde yine A1, B4 ve C2 deney elemanlarının en büyük değerlere ulaştığını söylemek mümkündür. Yük- kayma açısı grafikleri ve Şekil 15 ve Şekil 16 incelendiğinde düğüm bölgesindeki hasar oluşumunun kesme çivili levha uygula-

masından sonra kiriş üzerine kaydığını görmek mümkündür. Yük-kayma açısı diyagramında CR ve C2 deney eleman sonuçlarına bakıldığında kesme kuvveti ve kayma açısı değerlerinin C2 deney elemanında daha fazla olduğu ve hasarın düğüm üst bölgesine kaydığı anlaşılmaktadır. Bu davranışı teyit eden deney sonu görünümleri ise Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir. Kırmızı yuvarlak halka ile CR ve C2 deney elemanlarındaki hasar bölgeleri işaretlenmiştir. CR deney elemanında kesme çatlak oluşumları neticesinde plastik mafsal düğüm bölgesinde oluşmuşken C2 deney elemanında ise plastik mafsal bölgesi kiriş üzerine kaymıştır.

Sonuç olarak, bu çalışmada verilmiş olan deney düzeneği oluşturulması, ölçüm ve hesaplama yöntemleri, formülleri ve grafiklerinin bundan sonraki benzer deneysel çalışmalarda deney düzeneği kurulması ve hesaplamaların doğru yapılması açısından rehber olacağı umulmaktadır.

KAYNAKLAR

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2018), *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Ankara.

Aykaç, S. (2000), *Onarılmış/güçlendirilmiş betonarme kirişlerin deprem davranışı*, Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Büyükkaragöz, A. (2000), *Çift cidarlı kompozit kirişlerin sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi ve optimum dizaynı*, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, Türkiye.

Büyükkaragöz A. (2007). *Deprem etkisi altındaki betonarme yapılarda zayıf kolon-güçlü kiriş birleşimleri için alternatif bir detay önerisi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Febres, C., Wight, J. (2001), Experimental study of reinforced concrete interior wide beam–column connections subjected to lateral loading, *ACI Structural Journal*, 98 (4), 572-582.

Ghobarah, A., Said, A. (2001), Seismic rehabilitation of beam-column joints using FRP laminates, *Journal of Earthquake Engineering*, 5 (1): 113-129.

Gulkan, P. (1977), The inelastic response of repaired reinforced concrete beam–column connections, *6th World Conference on Earthquake Engineering*, New Delhi.

Hellesland, J., Green, R. (1972), Tests of reinforced concrete columns**,** *ACI Journal Proceedings*, 69 (12): 770-774.

Higazy, M., Elnashai, S., Agbabian, S. (1996), Behaviour of beam-column connections under axial column tension, *Journal of Structural Engineering*, 122 (5), 511.

Jamaluddin, N., Jassin, A. (2001), Evaluation of locally - produced steel sections on the performance of steel – concrete beams, *Proceeding of NSF Workshop*, Kuala Lumpur.

Roberts, T.M., Dogan, O. (1998), Fatique of welded shear connections in steel concrete-steel sandwich beams, *Journal of Constructional Steel Research*, 45,(3), 301-320.

Stehle, J., Goldsworthy H., Mendis P. (2001), Reinforced concrete interior wide beam–column connecitons subjected to lateral earthquake loading, *ACI Structural Journal*, 98 (3): 270-279.

Türk Standartları Enstitüsü. (2000), *TS500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*, Ankara.

Zaid S., Shiohara H., Otani S. (1999), Test of a joint reinforcing detail improving joint capacity of R/C interior beam-column joint, *The 1st Japan Korea Seminer on Earthquake Engineering for Building Structures*, Seul National University, Seul, Korea.

Bölüm 21

ÜÇ BOYUTLU (3D) YAZICI TEKNOLOJİSİ VE UYGULAMA ALANLARI

Ali İhsan BAHÇEPINAR[1]
İbrahim AYDIN[2]

1 Öğr. Gör. Ali İhsan BAHÇEPINAR, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
2 Dr. Öğr. Üyesi İbrahim AYDIN, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

1. Giriş

Çağımızdaki en önemli teknolojik gelişmelerden biri olarak görülen 3D baskı teknolojisi, bilgisayar ortamında bulunan dijital dosyalardan (CAD) hızlı, kolay ve ucuz bir şekilde fiziksel modeller üretebilen bir teknolojidir (McMenamin ve ark.). İlk 3D yazıcı 1984 yılında Charles W. Hull tarafından tasarlanıp üretilmiştir. 3D yazıcıların kullanımı ilk yıllarında konsept modeller ve basit prototiplerin üretilmesi ile sınırlıydı. Günümüzde gelişen teknoloji ile daha kullanışlı hale gelmiş, nihai ürünleri pazara sunma süresini kısaltarak uzun vadede stratejik değer sağlar durumuna gelmiş ve birçok sektörde ilgi görmeye başlamıştır. 3D yazıcılar biyokimya ve sağlık, moda sektörü, endüstriyel uygulamalar, inşaat, mimari, gıda, eğitim, elektronik gibi birçok sektörde uygulama alanı bulmuştur (Pîrjan ve ark., Noorani).

Geleneksel üretim, genellikle taşlama, kaynaklama, dövme, kesme, yapıştırma, bükme ve montajın kombinasyonunu içeren bir yaklaşımdır. 3D yazıcı ise eklemeli bir yaklaşımı içermektedir (Kamran ve ark.). Yani geleneksel üretimde malzeme üzerinde talaş kaldırarak üretim yapılırken, 3D üretimde baskı katmanları üst üste eklenerek üretim yapılır (Mpofu ve ark.). 3D üretim teknolojisinde herhangi bir alet, ekipman veya geleneksel üretim yöntemleri kullanılmadığından uygun maliyette ürünler üretilebilmektedir. Karmaşık yapılı malzemeleri üretimi geleneksel yöntemlerle üretime göre daha kolay ve az maliyetlidir. 3D yazıcı ile üretim yapabilmek için bir tesis kurmak gerekmemektedir. Gerekli olan şey bilgisayar ve 3D yazıcıdır (Brans).

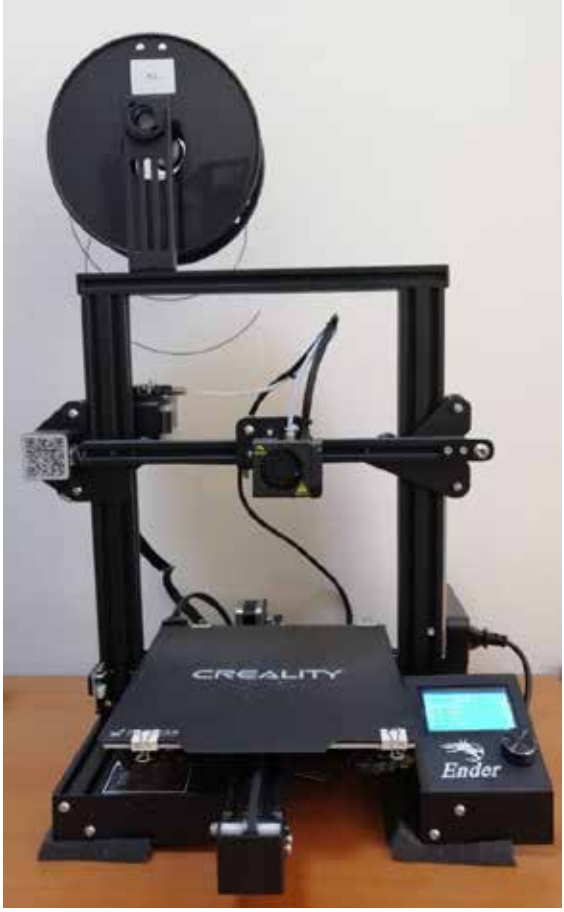
Bu çalışmada, 3D yazıcılar hakkında genel bilgiler vermek, 3D yazıcıların çalışma prensiplerini ve yazıcıyı oluşturan elemanlarının görevlerini, 3D üretim teknolojisinin avantajları, dezavantajları ve bu teknolojinin hangi sektörlerde uygulama alanı bulduğunu açıklamak amaçlanmıştır.

2. 3D Yazıcı ve Çalışma Prensibi

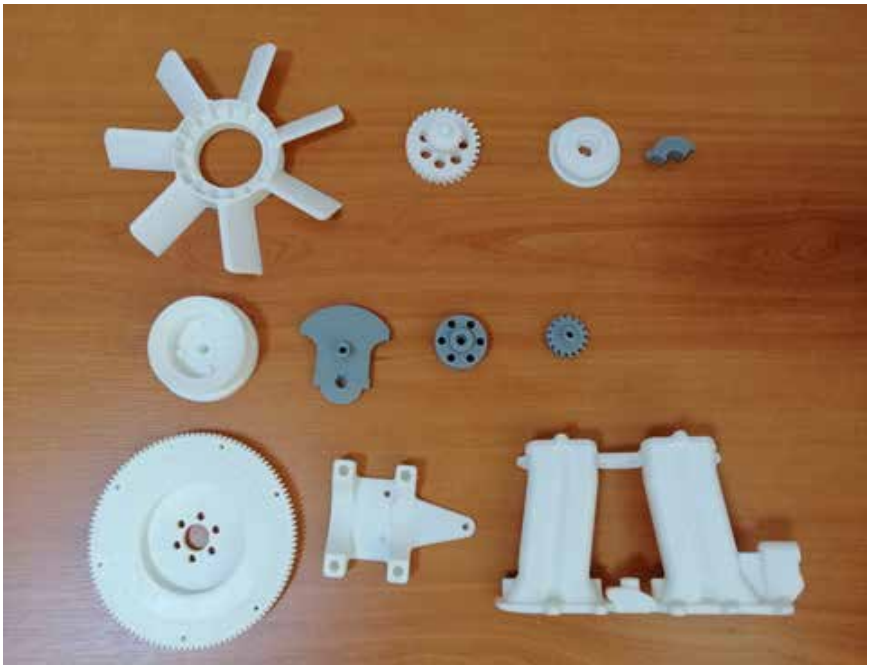
3D üretim, ilk olarak oluşturulmak istenen ürünün bilgisayar ortamında sanal tasarımı yapılması ile başlamaktadır. Bu sanal tasarım, AutoCAD, SolidWorks gibi CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) programı kullanılarak gerçekleştirilir. Ayrıca 3D tarayıcılar kullanılarak da model oluşturulabilmektedir. Bu tarayıcılar bir ürünün 3D dijital kopyasını oluşturur ve bunu 3D modelleme programına koyar (Mpofu ve ark).

CAD programı ile hazırlanan modelin 3D yazıcı tarafından anlaşılabilmesi için G koduna çevrilmesi gerekmektedir. Yani hazırlanan model binlerce yatay katmana bölünmelidir. Bu aşama ürünün kalitesini belirleyen en önemli aşamadır. Yatay katmanlara bölünen tasarım dosyası 3D yazıcıya yüklenir. G koduna çevirme aşamasında belirlenen parametrelere göre uzun sürede ya da kısa sürede parçanın üretimi tamamlanır (Mpofu

ve ark., Şahin ve ark.). Şekil 2.1'de standart bir 3D yazıcının görüntüsü belirtilmiştir. Şekil 2.1'de belirtilen 3D yazıcı kullanılarak üretilen bazı örnek parçalar Şekil 2.2'de belirtilmiştir.



Şekil 2.1. *3D Yazıcı*

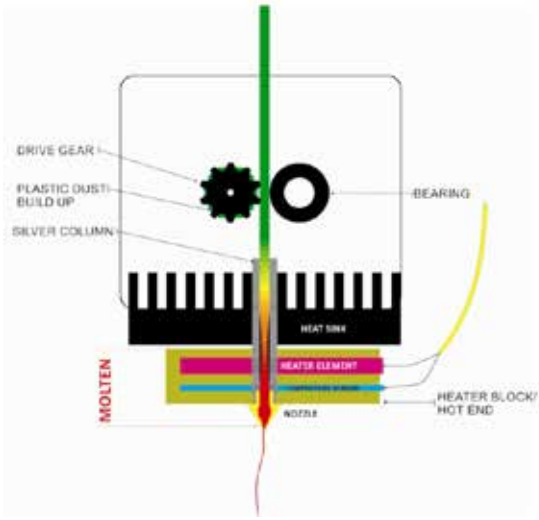


Şekil 2.2. *3D Yazıcı ile Üretilen Malzemeler*

Standart bir 3D yazıcı; sigma profil, rulmanlar, kaplinler, miller, kayış ve kasnaklar, somun ve civatalar, step motorlar, fanlar, termistör, yatak, ekstrüder, nozul, end stop, güç kaynağı, ana kart, LCD ekran ve filamentten oluşmaktadır.

Sigma profiller, 3D yazıcının dış iskeletini oluşturan metal profillerdir https://rasyonalist.org/).

Ekstrüder, 3D yazıcının en önemli parçası olarak kabul görülmektedir. Filamenti nozul yuvasına itmekle görevlidir. Tüm esktrüderler tüm filament türleri ile çalışmamaktadır. Örneğin PLA filamenti kullanılan bir ekstrüder, ABS filament ile çalışmamaktadır (https://www.makeshaper.com/). Ekstrüder, sıcak ve soğuk uçtan oluşmaktadır. Soğuk ucun görevi, filamenti sıcak uca yönlendirmektir. Soğuk uçta genellikle dişli çarkı yatağa karşı döndüren bir step motordan oluşmaktadır. Dişli çark ile yatak arasında bulunan filament, motorun çalışmasıyla beraber sıcak uca doğru sürülür. Baskıyı kontrol edebilmek için farklı tip dişli kombinasyonları kullanılabilir. Sıcak ucun görevi ise filamenti eritmektir. Geleneksel bir ekstrüderin şematik gösterimi Şekil 2.3' de belirtilmiştir (Abilgaziyev ve ark.).



Şekil 2.3. *Ekstrüder Şematik Gösterimi (Abilgaziyev ve ark.)*

Soğutma fanı, oluşturulan baskının kalitesini arttırmak ve şeklini korumak için ekstrüderden plastiğin üzerine soğuk hava üflemekle görevlidir. Isı emici fan ise, ısının ekstrüder tamburundan yukarı kaymasını engellemek için ısı emici hava üflemek ile görevlidir (https://www.makeshaper.com/).

LCD ekran, çoğu yazıcıda bulunan kullanıcılara yazdırma işlemi ile ilgili veriler hakkında bilgi veren elemandır (https://www.makeshaper.com/).

Yatak, ürünün üzerine yazıldığı tabladır. Kullanılan filament türüne göre ısıtmalı ya da ısıtmasız olarak kullanılabilir. PLA filament kullanılıyorsa ısıtmasız yatak, ABS filament kullanılıyor ise ısıtmalı yatak tercih edilir. Yatağın 4 köşesinde bulunan seviye ayarlaması vidaları ile yatak ideal konuma ayarlanır (https://www.makeshaper.com/).

Step motor, fırçasız senkronize bir DC motordur. Ekstrüderi, baskı yatağını ve yazıcı üzerindeki, diğer parçaları hareket ettirmek için kullanılır. Standart bir 3D yazıcıda en az 4 adet bulunmaktadır (https://www.makeshaper.com/).

Kayışlar ve mil, step motorların sağladığı hareketi taşımak ile görevlidir. Kayışlar üzerinde bulunan dişler step motora takılan dişli yuvasına oturtularak hareket sağlanır. X ve Y eksinindeki hareket kayış ile sağlanırken, Z eksenindeki hareket mil ile sağlanmaktadır (https://rasyonalist.org/).

Güç kaynağı, yazıcı içerisinde bulunan bileşenlere güç sağlamak amacıyla kullanılan dahili bir bileşendir. Alternatif akımı (AC) düşük voltajlı doğru akıma (DC) dönüştürerek çalışmaktadır (https://www.makes-

haper.com/).

Ana kart, 3D yazıcının beyni olarak nitelendirilir. Yazıcı içerisindeki işlevleri düzenlemek ve verileri yorumlamak için diğer elektronik bileşenlerle etkileşime giren mikroişlemci ve diğer devreleri içermektedir (https://www.makeshaper.com/).

Termistör, ekstrüderin sıcaklığı ölçen sensördür. Seramik veya polimer malzemeden üretilir (https://www.makeshaper.com/).

Nozul, erimiş filamentin dışarı çıkmasını sağlayan ince uçlu bir parçadır. Çeşitli boyutları olan nozullardan 0,4 mm olanı idealdir. Ancak ayrıntılı bir parça üretimi yapılacaksa daha küçük uçlu bir nozul, hızlı bir yazdırma işlemi gerçekleştirilecekse daha büyük bir nozul ucu tercih edilmektedir. Nozullar genellikle pirinç malzemeden imal edilir (https://www.makeshaper.com/, https://rasyonalist.org/).

Filament, ürünü oluşturan hammaddedir. Birçok türü bulunmaktadır. En çok kullanılan filament türleri PLA (polilaktik asit) ve ABS (akrilik bütadien stiren) dir (https://rasyonalist.org/). PLA filamentleri mekanik özellikler ve işleme kabiliyeti yüksek aynı zamanda yenilenebilir bir malzeme olduğundan daha çok tercih edilmektedir (Liu ve ark.).

End stop, X, Y ve Z eksenlerinin sonunda yer almaktadır. Yatak eksenlerin uç noktalarına yaklaştığında anahtarı kapatarak step motorların durmasını sağlamaktadır. (https://rasyonalist.org/)

Kaplin, miller arasındaki dönme hareketini aktaran ara elamandır. Z ekseni boyunca motor ile dişli mili bağlamak ile görevlidir. Rulman ise aralarında relatif dönme hareketi olan iki eleman arasındaki sürtünmeyi en aza indirmek ve yük aktarımını sağlamak için kullanılmaktadır (Alataş ve ark.).

3. 3D Yazıcı Avantajları ve Dezavantajları

3D üretim teknolojisi ile geleneksel üretim yöntemleri ile üretilemeyen karmaşık şekle sahip parçaların üretilmesi mümkündür. Üretilecek parçanın karmaşık bir şekle sahip olması üretim maliyetini sadece marjinal olarak arttırmaktadır. Geleneksel üretim yöntemlerinde kullanılan takımların kullanılmaması hem maliyet hem zaman açısından bir diğer avantajıdır. Topolojik optimizasyon ile ürünün ağırlık azaltımı sağlanır ve hafif bir tasarım elde edilir. Parçaları tek bir bileşen olarak oluşturarak montaj gereksinimini en aza indirebilir. Birçok işlem adımı ile üretilen ürünler yerine tek bir işlemle ürünlerin üretimini mümkündür (Duda ve ark.).

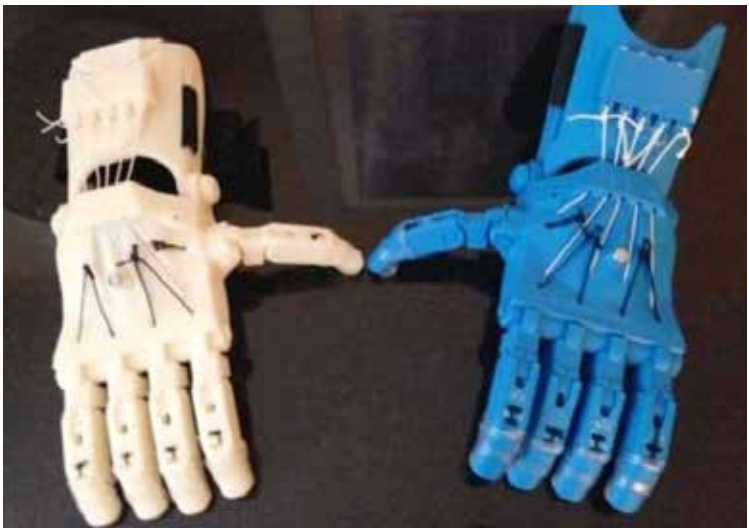
3D üretim teknolojisinin en büyük dezavantajı, üretilmek istenen ürünün boyutu 3D yazıcının hazne boyutları ile sınırlı olmasıdır. Diğer dezavantajları ise, üretilen ürünlerin yüzey kaliteleri ve boyutsal doğrulukları

düşük olabilmektedir. Buda ürünlerin sonradan ilave işlem görmesine neden olmaktadır. Ürünün prototipleme sürecinde kaynaklanan olumsuzluklar üretim hızını düşürmektedir. Ayrıca tasarım, uygulama ve işlem parametrelerinin ayarlanması için aşırı çaba gerekmektedir (Duda ve ark.). Basit yapılı malzemeleri üretme işlemi geleneksel yöntemler ile üretime göre biraz pahalı olabilmektedir. Bunun yanında malzeme maliyetleri nedeniyle 3D üretim her zaman en iyi seçim olmamaktadır (Pirjan ve ark.).

4. 3D Yazıcı Uygulama Alanları

3D yazıcılar, biyokimya ve sağlık, moda sektörü, endüstriyel uygulamalar, inşaat, mimari, gıda, eğitim ve elektronik gibi birçok sektörde uygulama alanı bulmuştur

Sağlık sektörü 3D yazıcıların aktif olarak kullanıldığı bir pazardır. Özellikle diş cerrahisi, protez kol ve bacaklar, işitme aygıtları imalatında 3D yazıcılar kullanılmaktadır. 3D yazıcı ile üretilmiş protez kol görüntüsü Şekil 2.4'de belirtilmiştir. İlaç sektöründe de 3D yazıcılar kullanılabilmektedir. 2 boyutlu hücre kültüründe test edilen ilaçların yerine 3 boyutlu yeni bir yapıda test edilebilecek ilaçların daha verimli sonuçlar verebileceği, aynı zamanda maliyet olarak da fayda sağlayacağı görüşü hakimdir (Çallı ve ark.).



Şekil.2.4. *3D Yazıcı ile Üretilen Protez Kol (https://www.amputee-coalition.org/)*

Endüstriyel uygulamalarda en çok havacılık ve otomotiv endüstrisinde ilgi çeken bir üretim yöntemidir. Havacılık endüstrisinde, uzayda astronotların ihtiyaç duydukları malzemeleri üretebilmeleri açısından yer çekimsiz ortamda üretim testleri yapılmaktadır. Uzay istasyonunun bakım ve onarımı esnasında ihtiyaç duyulan parçaları 3D yazıcı ile üretebilmek mümkün hale gelmiştir. Bu sayede ihtiyaç duyulan parçalar için

uzay istasyonuna gitmek gerekmeyecek ve yedek parçaların teslim süresi kısalacaktır. 3D yazıcıların oranım işlerinde yedek parça imalatında kullanılması ile birlikte araç içerisindeki yedek parça miktarı azaltılarak uzay aracındaki fazla ağırlıklar ortadan kaldırılır. Uzayda 3D yazıcı ile üretilen bir malzemenin görüntüsü Şekil 2.5' de belirtilmiştir. 3D yazıcının ilk uygulamaları otomotiv endüstirisinde gerçekleştirilmiştir. Prototipleme yapmak için sıkça tercih edilmektedir (Attaran).

Şekil. 2.5. *Uzayda 3D Yazıcı ile Parça Üretimi (https://madeinspace.us)*

Mimari uygulamalarda tercih edilen 3D yazıcı ile bir mimar tasarımını yaptığı binanın ölçekli bir modelini alabilmektedir. Bu tasarım üzerinden iyileştirmeler yapma imkânı sağladığından mimari planın gelişmesine destek olan bir uygulama olmaktadır. 3D yazıcıları inşaat sektöründe de tercih edilmektedir. 3D yazıcıların inşaat süresini, inşaattaki insan gücünü ve inşaat maliyeti düşüreceğinden ilgi görmektedir. İngiltere'de bir grup araştırmacı çimento harcının baskı yeteneğini göstermeyi başarmışlardır. Bu başarı, fakir ülkelerde düşük maliyetli konutlar sunmak için etkin bir yol görülmektedir. 3D yazıcı ile üretilen bir evin görüntüsü Şekil 2.6' da belirtilmiştir (Attaran).

Şekil.2.6. *3D Yazıcı ile Üretilen Ev (https://www.archdaily.com)*

Günümüzde insanların kişiye özgü gıda tasarımlarına ve butik üretime ilgilerinin artmasından dolayı 3D yazıcıların gıda sektöründe dikkat çekici bir konuma gelmiştir. 3D yazıcı ile üretim esnasında ürün kalitesini belirleyen renk, aroma, desen gibi özellikleri kolayca ayarlanabilmesi bu ilgiye destekleyen bir etmendir. Şekil 2.7' de 3D yazıcı ile üretilmiş çikolata örnekleri belirtilmiştir (Değerli ve ark.).

Şekil.2.7. *3D Yazıcı ile Üretilmiş Gıda Örnekleri (Değerli ve ark.)*

Yenilikleri yakından takip eden moda sektörü, 3D yazıcıları da bünyesine almıştır. Günümüzde günlük hayatta kullanılan takı, çanta, ayakkabı gibi ürünler 3D yazıcılar ile üretilebilmektedir. 3D yazıcılarda kullanılan ham maddeler, tekstil ürünlerinde kullanılan ham maddelere göre sert yapıda olması dezavantaj oluştursa da tasarımcılar sanatsal ve fonksiyonel kullanıma yönelik ürünler üretmektedir. 3D yazıcı ile üretilen ürünün görüntüsü Şekil 2.8'de belirtilmiştir (Yıldıran).

Şekil. 2.8. *3D Yazıcı ile Üretilmiş Tekstil Ürünleri (Yıldıran).*

Eğitim alanında 3D yazıcıların kullanılması, öğrencilerin 3 boyutlu düşünebilme yeteneklerini arttırması ve analitik düşünme ile mesleki, toplumsal ve zihinsel gelişimlerine katkı sağlamaktadır (Özsoy).

5. Sonuç

Bu çalışmada, öncelikle 3D yazıcılar hakkında genel bilgiler verilmiş, çalışma prensipleri ve yazıcıyı oluşturan elemanlarının görevleri açıklanmıştır. Ardından 3D üretim teknolojisinin avantajları, dezavantajları ve bu teknolojinin hangi sektörlerde uygulama alanı bulduğu örnekler ile açıklanmıştır.

Birçok sektörde uygulama alanı bulan 3D üretim teknolojisi sahip olduğu önemli avantajlar ve kişiye ya da mevcut duruma göre hızlı bir şekilde üretim yapabilme, ihtiyaç duyulan ürünleri dünyanın tüm noktasına anında gönderebilme özelliklerinden dolayı ilgi çekici bir konumda bulunmaktadır. Mevcut dezavantajlarının ortadan kalkmasıyla beraber 3D yazıcıların gelecekte daha fazla sektörde etkin olacağı aşikardır.

KAYNAKLAR

McMenamin, P.G., Quayle, M.R., Mchenry, C.R., Adams, J.W. (2014). The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology, *Anatomical Sciences Education*. 7, 479–486.

Pîrjan, A., Petroşanu, D.M. (2013). THE IMPACT OF 3D PRINTING TECHNOLOGY ON THE SOCIETY AND ECONOMY. *JOURNAL OF INFORMATION SYSTEMS & OPERATIONS MANAGEMENT*, 7(2), 360-370.

Noorani, R. (2017). 3D Printing: *Technology, Applications, and Selection*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.

Kamran, M. Saxena, A. (2016). A Comprehensive Study on 3D Printing Technology. *MIT International Journal of Mechanical Engineering*, 6(2), 63-69

Mpofu, T.P., Mawere, C., Mukosera, M. (2014). The Impact and Application of 3D Printing Technology. *International Journal of Science and Research (IJSR*), 3(6), 2148-2152.

Brans, K. (2013). 3D Printing, a Maturing Technology. *IFAC Proceedings,* 46, 468-472.

Şahin, K. Turan, B.O. (2018). ÜÇ BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ. *Strateji ve Sosyal Araştırma Dergisi*, 2(2), 97-116.

https://www.makeshaper.com/wpcontent/uploads/2016/06/MakeShaper_Anatomy-of-a-3D-Printer.pdf Erişim Tarihi: 22.09.2020

https://rasyonalist.org/yazi/3d-yazici-parcalari-malzemeleri-elemanlari/ Erişim Tarihi: 22.09.2020

Abilgaziyev, A., Kulzhan, T., Raissov, N., Ali, M.H., Ko, M.W.L., Mir-Nasiri, N. (2015). Design and Development of Multi-Nozzle Extrusion System for 3D Printer. *International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV),* 3-7.

Alataşi A.F., Kaynak, S. (2016). 3D Printer. Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Karabük.

Liu, W., Zhou, J., Ma, Y., Wang, J., Xu, J. (2017). Fabrication of PLA Filaments and its Printable Performance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 275.

Duda, T., Raghavan, V. (2016) 3D Metal Printing Technology. *Ifac- PapersOnLine*. 49(29), 103-110.

Pirjan, A., Petroşanu, D.M. (2013) THE IMPACT OF 3D PRINTING TECHNOLOGY ON THE SOCIETY AND ECONOMY. *JOURNAL OF INFORMATION SYSTEMS & OPERATIONS MANAGEMENT*. 7(2), 360-370.

Çallı, L., Taşkın, K. (2015). 3D Yazıcı Endüstrisinin Oluşturacağı Yeni Pazarlar ve Pazarlama Uygulamaları. *ICEB 2015*

https://www.amputee-coalition.org/3d-printed-prosthetics/ Erişim Tarihi: 25.09.2020

Attaran M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, 60(5), 677-688.

https://madeinspace.us/blog/2019/03/20/2019-3-28-additive-manufacturing-facility-3d-printing-the-future-in-space/ Erişim Tarihi: 25.09.2020

https://www.archdaily.com/946038/big-partners-up-with-3d-printing-robotics-company-icon Erişim Tarihi: 25.09.2020

Degerli, C., El, S.N. (2017). Üç Boyutlu (3D) Yazıcı Teknolojisi ile Gıda Üretimine Genel Bakış. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* , 5(6), 593-599.

Yıldıran, M. (2016). MODA GİYİM SEKTÖRÜNDE ÜÇ BOYUTLU YAZICILARLA TASARIM VE ÜRETİM. *Süleyman Demirel Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Hakemli Dergisi,* 17, 155-172.

Özsoy, K. (2019). Üç Boyutlu (3B) Baskı Teknolojisinin Eğitimde Uygulanabilirliği: Senirkent MYO Örneği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 111-123

Bölüm 22

5S İŞ YERİ ORGANİZASYONU

Ali İhsan BAHÇEPINAR[1]
İbrahim AYDIN[2]

1 Öğr. Gör. Ali İhsan BAHÇEPINAR, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
2 Dr. Öğr. Üyesi İbrahim AYDIN, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

1. GİRİŞ

5S, bir organizasyonda kalite ve üretimi artırmak için kullanılan bir tekniktir (Ho, S.H. ve ark., 1995). 5S Şekil 1.'de görüldüğü gibi ayıklama anlamına gelen Seiri, düzenleme anlamına gelen Seiton, temizlik anlamına gelen Seiso, standartlaşma anlamına gelen Seiketsu ve Sürdürme anlamına gelen Shitseku olmak üzere 5 japon kelimenin baş harflerini ifade etmektedir (Gupta, S. ve ark., 2015).

***Şekil 1**. 5S'nin Aşamaları*

5S ilk olarak Osada tarafından 1980'lerde ortaya çıkarılmıştır. Başta Japon firmaları olmak üzere birçok yabancı firmada yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Ho, S.H. ve ark, 1995). İlk olarak sanayi sektöründe kullanılan 5S, daha sonra ofis ortamlarında ve sağlık tesislerinde kullanılmaya başlanmıştır (Kanamori, S. ve ark., 2016).

5S sisteminin ilk aşaması, çalışılan ortamda hangi malzemelerin gerekli olup olmadığına karar vermektir. İkinci aşaması işlevsel olarak en çok kullanılan malzemeleri çalışma alanında en uygun ve güvenli yere yerleştirilmesidir. Üçüncü aşaması, çalışma ortamındaki kirliliğin temel nedenini belirlemek ve ortadan kaldırmak için gerekli çalışmaları yapmaktır. Dördüncü aşaması tüm ekibin fikir birliğine varması, yeni çalışma şartlarında uyum sağlamasıdır. Beşinci ve son aşamasıda kişilerin belirlenen standartlara uyması, çalışma alanının temizliğini ve düzeninin korumak için gerekli kişisel disipline sahip olması gelmektedir (Ghodrati, A. Ve ark., 2012).

2. 5S' nin Prensipleri

2.1. Seiri (Ayıklama):

Seiri, 5s sisteminin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Ayıklama anlamına gelmektedir. Bu aşamada çalışma ortamında kullanılmayan malzemeler kırmızı etiketleme yapılarak ayrılır. Çalışma esnasında nadir kullanılan eşyalar çalışma alanının dışarısında düzenli bir depolama alanına ayrılır. Hiç kullanılmayan malzemeler de tamamen imha edilir. Bu aşamanın en önemli faydalarında biri kullanılan makine ve teçhizatlardan arızalı olan ve hurdaya ayrılması gerekenlerin ortadan kaldırılması ile daha güvenli bir çalışma ortamı oluşturulmasıdır (Gupta, S. ve ark., 2015). Diğer faydaları ise, çalışma ortamında yerden tasarruf sağlanması, ihtiyaç duyulan malzemenin arama süresinin kısa olmasıdır (Randhawa,

J.S. ve ark., 2017). Şekil 2.1' de bir çalışma alanında, öncesinde dağınık ve karışık halde bulunan malzemelerden gereksiz olanlar ortadan kaldırılarak çalışma ortamında bir rahatlama sağlanmıştır (Titu, M.A. ve ark., 2010). Uluslararası Ticaret Merkezi'nin belirlediği 5S'nin ilk aşaması olan Seiri'nin hedefleri, metodu ve faydaları tablo 2.1'de belirtilmiştir.

Şekil 2.1. *Seiri-Depolama Sistemi (Titu, M.A. ve ark., 2010)*

Tablo 2.1. *Seiri (İnternational Trade Centre, 2012)*

HEDEF	METOD	FAYDA
Çalışma alanında kullanılan ve kullanılmayan malzemelerin ayırt edilmesi ve kullanılmayan malzemelerinin alandan uzaklaştırılmasıdır.	• İlk önce nelerin gerekli olup olmadığı belirlenmelidir. Gereksiz malzemeleri bulabilmek için sadece zeminler değil, raflar, depolar, dolaplar vb. kontrol edilmelidir. • Gereksiz tüm malzemelere kırmızı işaret konulur. Tüm kırmızı işaretli malzemeler ayrı bir yerde depolanır. • Son 1 yıl içerisinde kullanılmayan malzemeler atılmalıdır. Kullanım sıklığı 6-12 ay olan malzemeler iş istasyonu gibi mesafede depolanmalıdır. Kullanım sıklığı Ayda 1 olan malzemeler iş merkezinde, haftalık/günlük/saatlik kullanılan malzemeler ise iş istasyonunun yakınında depolanmalıdır	• Kullanışlı bir çalışma ortamı sağlanmış olur. • Aranan malzemelere kolay ve hızlı bir şekilde ulaşılması sağlanmış olur. • Gereksiz malzemeler envanteri azalır. • Düzenli bir iş akışı elde edilir.

2.2. Seiton (Düzenleme):

Seiton, 5s sisteminin ikinci aşamasını oluşturmaktadır. Düzenleme anlamına gelmektedir. Bu aşamada çalışma ortamında ihtiyaç duyulan bir

malzemeye ihtiyaç duyulduğu zaman en kolay nasıl erişilebilebilir bunu belirleyerek malzemelerin yerleşme düzeni tasarlanmalıdır (Sing, J. Ve ark., 2014). Yani bu aşamanın amacı malzemelerin düzenli bir şekilde depolanması ve çalışma alanının ekonomik olarak kullanımını sağlamaktır. Malzemelerin depolanma ve düzenlenme işlemleri yapılırken tüm malzemelere ayrı ayrı kim, ne, neden, nerede, ne zaman, nasıl gibi sorular sorularak malzemelerin gereklilik durumları belirlenmelidir. Malzemelerin gereklilik durumlarına göre konum kolaylıkları belirlenerek düzenleme işlemleri gerçekleştirilir (Randhawa, J.S. ve ark., 2017). Şekil 2.2' de bir çalışma ortamında dağınık halde yerleştirilmiş tüm malzemeler, yerleri tanımlanmış ve işaretlenmiş yerlere yerleştirilmiştir. Ayrıca farklı çalışma alanları da zeminde görülen sarı ve kırmızı renkler ile ayrılmıştır. Uluslararası Ticaret Merkezi'nin belirlediği 5S'nin ikinci aşaması olan Seiton'un hedefleri, metodu ve faydaları Tablo 2.2'de belirtilmiştir.

Şekil 2.2. *Seiton- Çalışma Alanı Düzeni (Titu, M.A. ve ark., 2010)*

Tablo 2.2. *Seiton (İnternational Trade Centre, 2012)*

HEDEF	METOD	FAYDA
Bu aşamadaki hedef, malzemelere kullanım esnasında kolay ulaşılacak şekilde düzenlenmesi, kolay bulunabilmesi için etikeletlenmeleri ve kullanım sonrası geri yerlerine konulmasının sağlanmasıdır.	• Tüm boş alanlar belirlenmeli, gerekiyorsa dolaplar, raflar vb. yeniden konumlandırılmalıdır. • Malzemelerin yerleşimi için en ideal yerler belirlenmelidir. • Tüm malzemer belirlenen yerlere yerleştirilmeli ve kolay bulunabilmesi için etiketleme ve yönlendirmeler kullanılmalıdır. • Biten stoklar alarm sistemleri kullanılarak belirlenmelidir. • Çalışma alanlarınının, yolların, giriş/çıkışların, güvenlik ekipmanlarının konumlarını gösteren zemin işaretleri kullanılmalıdır. • Su,gaz,buhar vb. boru hatları nın belirtilmesi için standart renk kodlamaları kullanılmalıdır. • Mesajlar ve uyarılar açık bir dille ve görseller kullanılarak hazırlanarak uygun bir yüksekliğe asılmalıdır.	• Malzemeler kullanılmak üzere bir yere taşındıktan sonra tekrar kolaylıkla eski yerine alınabilir. • Malzemeleri arama süresi kısalır. • Daha güvenli bir çalışma ortamı sağlanmış olur. • Daha az hata yapılmasını sağlar

2.3. Seiso (Temizleme)

Seiso, 5s sisteminin üçüncü aşamasını oluşturmaktadır. Temizlik anlamına gelmektedir. Çalışma alanının daha iyi ve güvenilir olabilmesi için günlük düzenli olarak temizlik yapılması gerekmektedir. Temizlik işlemi ile ortamda bulunan kir, toz, yağ gibi kalıntılar ortadan kaldırılır ve temiz bir çalışma ortamı yaratılmış olur (Randhawa, J.S. ve ark., 2017). Temiz bir çalışma ortamı çalışanların moralini yükselten bir faktördür. Morali yüksek olan çalışanlar kendini tamamen işe vererek iş veriminin artmasına katkıda bulunmaktadır. Tüm çalışanların temizlik işlemini bir sorumluluk olarak görmesi gerekmektedir (Gupta, S. ve ark., 2015). Günlük düzenli olarak yapılan temizlik ile kullanılan makinelerde olan yağ kaçakları gibi anormal durumlar hemen fark edilir. Bunun yanında kir, toz gibi maddeler makineye zarar veren ve ömrünü azaltan etmenlerdir. Makinelerin düzenli olarak temizlenmesi makinenin ömrünün uzamasını sağlar (Sing, J. Ve ark., 2014). Şekil 2.3'de bir çalışma ortamında kirli olan zemin ve duvarlar yıkanarak temizlemiştir. Kirli ve dağınık halde bulunan kontrol paneli yüzeyi temizlenmiş, kabloları yenilenmiştir. Malzemelerin bulunduğu raflar da temizlenmiştir. Uluslararası Ticaret Merkezi'nin belirlediği 5S'nin üçüncü aşaması olan Seiso'nun hedefleri, metodu ve faydaları Tablo 2.3'de belirtilmiştir

***Şekil 2.3**. Seiso- Çalışma Alanının Temizlenmesi (Titu, M.A. ve ark., 2010)*

***Tablo 2.3.** Seiso (İnternational Trade Centre, 2012)*

HEDEF	METOD	FAYDA
Çalışma alanını pis, kir, leke ve tozlardan arındırılmasıdır. Aynı zamanda ekipman ve tesislerin temizlik ve bakımlarını da içerir. Anormal durumların tespitine yardımcı olur. Yani ekipmanların temel bakımlarını da içerir.	• Çalışma bölgelerinde toplam alan bölünmeli ve bu alanlar için temizlik sorumluları tahsis edilmelidir. • Temizlik noktalarında ne tür temizlik yapılacağına ve yardım ile gerçekleşecek temizlik faliyetlerine karar verilmelidir. • Temizlik programları uygun yerlere asılmalıdır. • Temizlik esnasında arızalı durumlar tespit edilmeli ve problemler çözülmelidir. • Depo temizliğine yardım için temizlenek bölge bölümlere ayrılmalıdır.	• İşyerinde kirli olmaması kalite için önemli bir noktadır. • Ekipmanların arıza sıklığı azalır, kullanım süreleri uzar. • Kazalar önlenir. • Keyifli bir iş yeri ortamı oluşur.

2.4. Seiketsu (Standartlaşma)

Seiketsu, 5S sisteminin dördünü aşamasını oluşturmaktadır. Standartlaşma anlamına gelmektedir. İlk üç aşamayı oluşturan Seiri, Seiton ve Seiso da yapılan işlemlerin sürekliliğinin sağlanması için gerekli bir aşamadır. Bu üç aşamada yapılması gereken tüm işlemler için gerekli

standartlar oluşturulur. Herkesin bu standartlara uyması için de kontrol mekanizmasını oluşturmak gerekmektedir (Randhawa, J.S. ve ark., 2017). Hazırlanan standartlar çalışanlar tarafından açık ve kolay anlaşılır biçimde olmalıdır. Çalışanların bu standartlara kolay bir şekilde ulaşabilmesi açısından görünür yerlere asılması sağlanmalıdır (Lingareddy, H. ve ark., 2013). Uluslararası Ticaret Merkezi'nin belirlediği 5S'nin dördüncü aşaması olan Seiketsu'nun hedefleri, metodu ve faydaları tablo 2.4'de belirtilmiştir

***Tablo 2.4**. Seiketsu (İnternational Trade Centre, 2012)*

HEDEF	METOD	FAYDA
İlk 3 aşamadaki uygulamaların sistemli hale getirilmesini içerir. Düzen ve temizliğin sürdürülebilir olup olmadığını gösterir. Bu, yeni uygulamaları destekleyecek ve alışkanlığa götürecek bir çalışma yapısı geliştirmek demektedir. Amaç, şirketteki herkesin aynı prosedürü, malzeme isimlerini, zemin işaretlerini, şekilleri ve renklerin kullanımının garanti edilmesidir.	• Sınıflandırma için yazılı prosedürler ve rehberlik sıralanması ve düzen sağlanmalıdır. • Her bir bölüm için kontrol listesi yapılmalı ve çalışanlar eğitilmelidir. • Uygulamaların periyodik olarak değerlendirmeleri yapılmalıdır. • Hızlı harekete geçmek için görsel yöntemler kullanılmalıdır. Örneğin; o Aç/Kapa yönlü anahtarların etiketleri o Sıcaklık ve güvenlik etiketleri o Kabul/Red etiketleri o Çekmecelere şeffaf kapaklar konulması o Metal kapaklara kontrol pencelerei konulması o Acil çıkış, yangın söndürücü akipmanlar vb. gösteren işaretler kullanılması	• İş uygulamalarında tutarlılık oluşacaktır. • Tüm faliyetlerin basitleştirilmesi sağlanacaktır. • Daha iyi bir yönetim, iş verimini artıracaktır. • Hatalardan kaçınılabilecektir.

2.5. Shitsuke (Sürdürme)

Shitsuke, 5S sisteminin son aşamasını oluşturmaktadır. Sürdürme anlamına gelmektedir. Bu aşama ilk dört aşamanın tüm süreçlerini kapsayan çalışmaların bütünüdür. Tüm aşamalarda yapılması gereken uygulamaların çalışanlar tarafından alışkanlık haline getirilmesini sağlamak amacıyla uygulanan yöntemleri kapsamaktadır. Bu aşamada görev yöneticilere düşmektedir. Yöneticiler çeşitli eğitimler yaparak 5s'nin önemini çalışanlara anlatmalı ve çalışanların 5s bilgisi sürekli güncel tutulmalıdır (Sing, J. Ve ark., 2014). Çalışma alanlarında 5S'nin uygulanması için gerekli disiplin sağlanmalıdır. Çalışanları bu sisteme motive etmek için ödül sistemi olmalıdır. Belirli aralıklarla verilen sertifika ya da maddi bir kazanç çalışanlar için motivasyon kaynağı oluşturmaktadır (Gupta, S. ve ark., 2015).

Uluslararası Ticaret Merkezi'nin belirlediği 5S'nin son aşaması olan Shitsuke 'nin hedefleri, metodu ve faydaları Tablo 2.5'de belirtilmiştir.

***Tablo 2.5**. Shitsuke (İnternational Trade Centre, 2012)*

HEDEF	METOD	FAYDA
Shitsuke sürdürme anlamının yanında disiplin anlamınada gelmektedir. Buradaki amaç, düzenin sürdürülebilmesi için verilen taahhütlerin ve 5S'nin uygulanmasıdır. Buda, çalışanların sisteme olumlu yönde ilgi göstermelerini ve değişime karşı direncin aşılmasını gerektirir.	• "5S Afişleri", "5S Günü", "5S Haberleri" vb. farkındalıklar oluşturularak sistemin tanıtımı yapılmalıdır. Sağlıklı bir çalışma ortamı oluşturulmalıdır. Takım çalışmasının geliştirilmesi için çalışmalar yapılmalıdır. • İyi performansı olan çalışanlar ödüllendirilmelidir. • Liderlerle ve kaynaklar ile yönetim desteği sağlanmalıdır. • Sistemin uygulamalarının değerlendirilmesi ve denetiminin sağlanması için kurallar hazırlanmalıdır.	• Takım çalışmasının gelişmesi için yardımcı olur. • İşyerinde bulunan kurallara uyma alışkanlığı kazandırır. • Sağlıklı bir çalışma ortamı sağlar. • Sistemin gelişimi için veri sağlar.

3. 5S'nin Uygulama Zorlukları

5S'nin uygulanmasını engelleyen 3 temel faktörler, lider eksikliği, çalışanlarının sisteme dahil olamaması ve kötü iletişim hatlarıdır (Randhawa, J.S. ve ark., 2017). Genel olarak sistemin uygulama zorlukları şu şekilde sıralanmıştır (Randhawa, J.S. ve ark., 2017):

- Üst yönetimin 5S programının uygulanmasına isteksiz olması
- Firmada 5S uygulamasının amacının net olarak belirlenmemesi
- Çalışanların motivasyonlarının düşük olması ve 5S aşamaları hakkında yeterli bilgiye sahip olmamaları
- Çalışanlar arasındaki iletişim bozukluklar
- Yönetimin işyerinde iyileştirmeler yapabilmek için yeterli kaynak ayırmaması
- Çalışanların işleri ile daha çok meşgul olma algısı
- 5S uygulamasında PUKÖ uygulamasının eksikliği.

4. 5S'nin Faydaları

5S'nin faydaları iş güvenliği, kalite, moral, verimlilik ve makine performansı açısında şu şekilde sıralanmaktadır:

- İş Güvenliği: İş kazalarının önlenmesinde önemli bir yere sahiptir.
- Kalite: Üretim esnasında meydana gelen hata ve olumsuzlukların fark edilmesini sağlar. Buda üretimdeki kalite ve verimi arttırır.

- Moral: Çalışanların moral ve motivasyonunu artırır, düşünce sistemini geliştirir. Çalışanların iş yerlerine güvenleri ve çalışanlar arasındaki iletişimi arttırır.

- Verimlilik: Hem çalışma alanında tasarruf sağlanır hem de elektrik, kira gibi giderler düşürülür, ürün maliyetini düşürür, sarf malzeme israfı minimum düzeye iner, aranan malzemelere hızlı ve kolay ulaşılması sağlanır, toplam verimliliği yükseltir.

- Makine Performansı: Makinelerin temiz ve bakımlı olması arıza sıklığını azaltır. Arıza oluşmadan önce tespiti sağlanır. Bu sayede makinelerin tamiri kolay olur (Çakırkaya, M. Ve ark., 2016).

5. Sonuç

Sonuç olarak bu çalışmada 5S'nin prensipleri açıklanmış, uygulama zorlukları ve uygulamanın kuruluşlara faydalarından açıklanmıştır. Tüm aşamalar incelendiğinde 5S'nin uygulanmasının kuruluşlar için önemli faydalar sağlayacağı aşikardır. 5S yaklaşımı basit, kolay ve anlaşılır olması nedeniyle tüm sektörlerde rahatlıkla uygulanabilmektedir. Ancak 5S de başarıya ulaşabilmek için en önemli etken yönetimin katılımı ve desteğidir. Bunun yanına tüm çalışanların organizasyona takılımı ile başarıya ulaşılabilir. Çalışanlar arasındaki iletişim bozukluğu 5S de başarıya ulaşmak için bir engel oluşturmaktadır.

5S, kuruluşların sektörlerinde küresel düzeyde sürdürülebilir bir büyüme içerisinde bulunabilmesi için bir araçtır. Sadece temizlik olarak nitelendirmemek gerekir. Temizliğin yanında çalışma ortamında genel iyileştirmeler getirmektedir. 5S'yi kısa vadeli bir süreç olarak değil de uzun vadeli bir süreç olarak görülmelidir. Kuruluşlar hedeflerine ulaşabilmek için, 5S uygulaması için uygun mekanizma oluşturulması gerekmektedir.

5S de başarıya ulaşacak bir kuruluşta, verimlilikte önemli bir artış gözlenecektir. Çalışanları motivasyonu artacaktır. Bunların yanında 5s'nin iş güvenliği açısından önemli katkıları olacaktır.

KAYNAKÇA

Ho, S.H., Cicmil, S., Fung, C.K. (1995). The Japanese 5-S practice and TQM training. *Training for Quality*, 3(4), 19-24.

Gupta, S., Jain, S.K. (2015). An application of 5S concept to organize the workplace at a scientific instruments manufacturing company. *International Journal of Lean Six Sigma*, 6(1), 73-88.

Kanamori, S., Shibanuma, A., Jimba, M. (2016). Applicability of the 5S management method for quality improvement in health-care facilities: a review. *Tropical Medicine and Health*, 44(21).

Ghodrati, A., Zulkifli, N. (2012). A Review on 5S Implementation in Industrial and Business Organizations. *IOSR Journal of Business and Management*, 5(3), 11-13.

Randhawa, J.S., Ahuja, I.S. (2017). 5S – a quality improvement tool for sustainable performance: literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 34(3), 334-361.

Titu, M.A., Oprean, C., Grecu, D. (2010). Applying the Kaizen Method and the 5S Technique in the Activity of Post-Sale Services in the Knowledge-Based Organization. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, 3, 17-19.

İnternational Trade Centre, (2012). "5S: Good Housekeeping Techniques For Enhancing Productivity, Quality And Safety At The Workplace", Export Quality Bulletin, No: 89

Sing, J., Rastogi, V., Sharma, R. (2014). Implementation of 5S practices: A review. *Uncertain Supply Chain Management*, 2, 155-162.

Lingareddy, H., Reddy, G.S., Jagadeshwar, K. (2013). 5S AS A TOOL AND STRATEGY FOR IMPROVISING THE WORK PLACE. *International Journal of Advanced Engineering Technology,* 4, 28-30.

Çakırkaya, M., Acar, Ö.E. (2016). 5S TEKNİĞİ AŞAMALARI VE MAKARNA SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari BilimlerDergisi*, 30(4), 845-868.

Bölüm 23

SEZGİSEL BİLGİ TEMELLİ ÇOK KRİTERLİ KARAR DESTEK SİSTEMİ

Fulya ASLAY[1]

1 Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye Dr. Öğr. Üyesi Corresponding author, E-Posta Adresi: faslay@erzincan.edu.tr

GİRİŞ

Günümüzde insanlar her alanda her an çeşitli birçok karar vermek durumundadır. Bu kararlar; kimi zaman yürürken hangi yolun tercih edileceği kadar basit olabilmekteyken, kimi zaman büyük holdingleri alma-satma kararları kadar karmaşık ve önemli kararlar olabilmektedir. Kararlar bazen rutin, kuralları belirlenmiş ve yapısal kararlar iken, bazen de özel şartlar altında alınması gereken, karar almak için gerekli tüm enformasyona sahip olunmadığı ve sonuçlarının tam olarak kestirilemediği yapısal olmayan kararlar olabilmektedir (Laudon & Laudon, 2012).

Hangi boyutta ve hangi şartlarda olursa olsun karar vericinin, karar vermek için sistematik bir yaklaşım sergilemesi daha isabetli bir karar alınmasına yardımcı olur. Karar vermek için çeşitli modeller bulunmasına rağmen; temelde anlama, tasarım, seçim ve uygulamayı içeren dört aşamadan oluşmaktadır. Anlama; problem veya fırsatı görme ile mümkün olduğunca kaliteli enformasyon toplama işlemidir. Tasarım; problem veya fırsat için olası çözüm veya değerlendirme alternatiflerinin araştırılması ve kurgulanmasıdır. Seçim; önceki aşamada belirlenmiş alternatifler arasından, olası tüm kriterler açısından değerlendirme yaparak en fazla yarar sağlayacak alternatifin belirlenmesidir. Uygulama ise; seçilen alternatifin problem veya fırsata uygulanması ve nasıl sonuçlandığının gözlemlenmesidir (Simon, 1960).

Bir insanın karar vermesi, beyninde gerçekleşen karmaşık birçok sürecin sonucu gerçekleşen bir olgudur. İnsanlar, beynindeki 100 milyar civarındaki nöron vasıtasıyla karar verir. Beyindeki karar verme, son aşama olan uygulamadan hemen önceki seçim işlemidir. Kararın bu aşamaya gelmesi için insan çevresindeki bir çok uyarıcıdan gelen enformasyonları alır ve kararlar bu enformasyonlara göre verilir (Haykin, 1999) . Gerçekte bir karar verilmesi; sadece o andaki uyarıcıların etkisi ile değil, doğduğundan beri tüm hayatı boyunca öğrendikleri ile birlikte o andaki uyarıcılarının etkilerinin toplamı sonucu karar verilir. Böylece insanın karar vermesi, bugünün elektronik cihazları ile gerçekleştirilen karar verme sistemleri veya karar destek sistemlerinden çok daha fazlasını barındırır. Özellikle yapay zeka tabanlı karar destek sistemlerinde ulaşılmaya çalışılan; insan düşünce tarzına daha yakın çalışabilecek karar destek sistemleri, bugünün ve yakın geleceğin önemli araştırma alanlarıdır.

İnsan kararları ile makine kararları arasındaki en önemli fark mantık farklılığıdır. Makinalar ikili sistem olarak adlandırılan boolean mantığı ile çalışmaktadır. Yani, bir durum bir makine için “doğru veya yanlış”, “0 veya 1” veya “siyah veya beyaz” dır. Bu durum Aristo’dan beri gelen mantık anlayışı iken; Zadeh (1965)’in ileri sürdüğü bulanık mantık ile birlikte yeni bir devir başlamıştır. Bu mantığa göre bir durum aynı zamanda “hem doğru hem yanlış” , “hem 0 hem 1” veya “hem siyah hem

beyaz" olabilmektedir. Bu mantık; klasik küme tanımlamasındaki "üye" veya "üye değil" yerine, her bir elemanın bulanık üyelikle farklı aidiyet derecesine sahip olduğu dereceli üyeliği birlikte getirmiştir. Böylece insan bakış açısındaki özellikle linguistik ifadelerin makinelere anlatılması ve öğretilmesi mümkün hale gelmiştir. Bu bakımdan, artık makineler, sıcak, soğuk, uzun, kısa, uzak, yakın gibi kavramları işleyebilecek hale gelmişlerdir (Kasabov,1998).

Bununla birlikte makineler, hala insan değerlendirmesinden uzak değerlendirmeler yapmaktadırlar. Bunun, bu çalışmada vurgulanmak ve çözümlenmek istenen en önemli nedeni, makineler hala kendisine söyleneni tam olarak yapmak zorundadırlar. Yani o andaki uyarıcılara tam olarak riayet etmek durumundadır. Makineler; uyarıcıların doğası hakkında enformasyon veya bilgi sahibi olmadığı için sadece uyarıcılara uymaktadırlar. Yaptıkları yanlış olmamakla birlikte, eksiktir. İnsanın uyarıcıları değerlendirirken sadece uyarıcılara göre davranmayıp, uyarıcıların doğal ilişkilerini de değerlendirmesi özelliği, makine karar süreçlerini bir ileri aşamaya geçirecektir.

Bu çalışmada makinelerin karar verirken; uyarıcının doğal ilişkilerini de değerlendirmesini de içeren ve çok kriterli bir karar verme işlemi için geliştirilmiş hibrit bir yöntem sunulmaktadır. Bu kapsamda önerilen yöntem sayısal bir örnek üzerinde uygulanarak detaylıca sunulmuştur.

KARAR DESTEK SİSTEMİNE ÖN ENFORMASYONUN GÖMÜLMESİ

Çok kriterli karar verme probleminde genel işlem basamakları aşağıda verilmiştir (Ribeiro, 1996; Chen ve Klein,1997) ;

1. Kriterler belirlenir
2. Kriterlerin ağırlıkları belirlenir
3. Alternatiflerin kriterleri karşılama dereceleri tespit edilir
4. Her bir alternatif için kriterlerin ağırlıklarına göre bir performans değeri (skor) hesaplanır
5. Performans değerleri sıralanır

Bu bölümde ilk olarak kati kriterler ile değerlendirme ve ardından bulanık kriterler ile değerlendirme hususları anlatılarak; ön enformasyonun bulanık kriterlere sahip karar destek sistemlerinde uygulanması anlatılacaktır.

CRISP KRİTERLERİ İLE DEĞERLENDİRME

İlk aşamada m adet kriter tespit edilir. 2. aşamada bu kriterler için karar verici tarafından ağırlıklar belirlenir. Bu şekilde aşağıdaki gibi bir ağırlık vektörü elde edilir (Tzeng & Huang, 2011:275) .

$$w_i = [w_1, w_2, \dots, w_m] \quad (1)$$

Bu vektörün elemanları karar vermek için kullanılan kriterlerin ağırlıklarını nümerik olarak temsil etmektedir. 3. aşamada değerlendirilmek istenen alternatiflerin, her bir kriteri karşılama derecesi çeşitli yöntemlerle elde edilir. c alternatiflerin sayısı olmak üzere; her bir alternatifin m adet kriteri karşılama derecesini gösterir $\boldsymbol{A}$ matrisi

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{c1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{1m} & \cdots & a_{cm} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad (2)$$

şeklindedir. 4.aşamada her bir alternatifin Eşitlik 3'e göre skorunun hesaplanması Eşitlik 4'de verilmiş genel skor vektörüne ulaşılır.

$$s_i = w_1 a_{11} + w_2 a_{12} + \cdots + w_m a_{1m} = \sum_{n=1}^{m} w_n a_{1n}$$

$$S = \begin{bmatrix} \sum_{n=1}^{m} w_n a_{1n} \\ \sum_{n=1}^{m} w_n a_{2n} \\ \vdots \\ \sum_{n=1}^{m} w_n a_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_c \end{bmatrix} \quad (4)$$

Son aşamada problem doğasına göre S vektörü, büyükten-küçüğe veya küçükten-büyüğe sıralanarak, alternatiflerin skorları düzenli olarak elde edilmiş olur.

FUZZY KRİTERLERİ İLE DEĞERLENDİRME

İlk aşamada yine m adet kriter tespit edilir. 2. aşamada bu kriterler için karar verici tarafından ağırlıklar *bulanık olarak* belirlenir. Bu şekilde aşağıdaki gibi bir ağırlık vektörü elde edilir (Tzeng & Huang, 2011:275).

$$fw_i = [fw_1, fw_2, \dots, fw_m] \quad (5)$$

Bu vektörün elemanları kati değerleri ifade eden nümerik elemanlardan oluşabildiği gibi, bulanık linguistic değerleri içeren parametrelerden de oluşabilmektedir. Linguistik değerlerin parametreleri üyelik fonksiyonlarını tanımlayan nümerik değerlerdir ve üyelik fonksiyonunun tipine göre değişiklik gösterir. Literatürde çok sayıda üyelik fonksiyonu tipi bulunmakla birlikte; triangle, trapezoidal, gauss, sigmoid, z, pi, s ve bell tipi üyelik fonksiyonları en çok kullanılan üyelik fonksiyonu tipleridir.

Vektördeki her bir eleman farklı tip bir üyelik fonksiyonu ile temsil edilebilir. Bu kapsamda bir kriter için üçgen tipi bir üyelik fonksiyonu tanımlanmış ise; vektördeki o eleman $fw = [fw_a, fw_b, fw_c]$ şeklinde tanımlanır ve a; üçgenin minimum üyeliği ifade eden sol alt sınırı, b; mak-

simum üyeliği temsil eden orta (simetrik üçgen için) noktasını ve c_i üçgenin minimum üyeliğini ifade eden sağ alt sınırını temsil eder.

3. aşamada değerlendirilmek istenen alternatiflerin, her bir kriteri karşılama derecesi çeşitli yöntemlerle elde edilir. c alternatiflerin sayısı olmak üzere; her bir alternatifin m adet kriteri karşılama derecesini kati veya bulanık üyelik fonksiyonlarını gösterir bulanık $\boldsymbol{FA}$ matrisi

$$\boldsymbol{FA} = \begin{bmatrix} fa_{11} & \cdots & fa_{c1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ fa_{1m} & \cdots & fa_{cm} \end{bmatrix} \tag{6}$$

şeklindedir. 4.aşamada her bir alternatifin Eşitlik 7'e göre skorunun hesaplanması Eşitlik 8'de verilmiş genel skor vektörüne ulaşılır.

$$fs_i = fw_1 fa_{11} + fw_2 fa_{12} + \cdots + fw_m fa_{1m} = \sum_{n=1}^{m} fw_n fa_{1n} \tag{7}$$

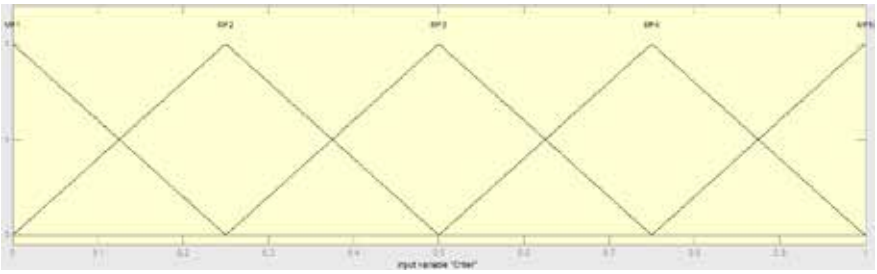
$$FS = \begin{bmatrix} \sum_{n=1}^{m} fw_n fa_{1n} \\ \sum_{n=1}^{m} fw_n fa_{2n} \\ \vdots \\ \sum_{n=1}^{m} fw_n fa_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} fs_1 \\ fs_2 \\ \vdots \\ fs_c \end{bmatrix} \tag{8}$$

Eşitlik 7'deki skor hesaplaması bulanık üyelik fonksiyonlarını ifade etmektedir.

Son aşamada problem doğasına göre S vektörü, ya önce durulaştırma yapılarak, ya da bulanık sıralama tekniklerinden biri kullanılarak düzenli bir şekilde sıralanır (Klir &Yuan, 1995) .

BULANIK KRİTERLERE ÖN ENFORMASYONUN GÖMÜLMESİ

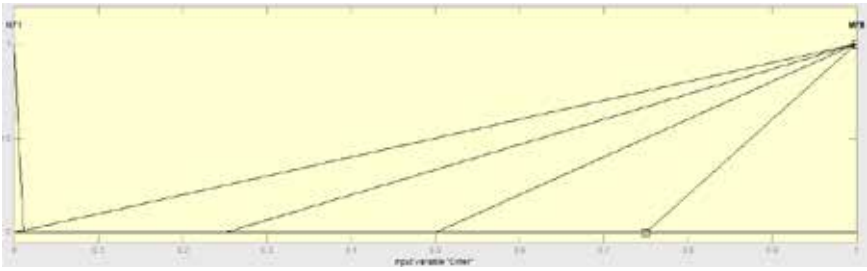
Bulanık kriterlere ön enformasyonun gömülmesi; problemin doğasına bağlı olarak bulanık kriterlerin tercih edilmesinde uygulanabilecek bir eklentidir. Şekil 1'de görüldüğü gibi üçgen üyelik fonksiyonlarından oluşturulmuş bir bulanık linguistik tanımlama skalası göz önüne alalım.



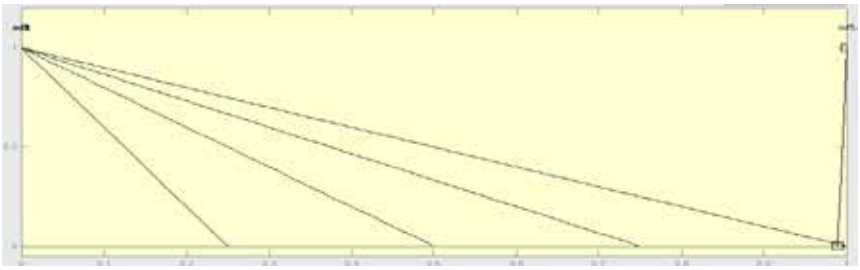
Şekil 1. Standart bulanık üyelik fonksiyonu tanımlamaları

Tanımlanmış kriter için, karar vericinin istediği kriter MF3 ise; bulanık hesaplamalar yazılmış kurallara göre $MF3(a,b,c)$ noktalarına göre yapılacaktır. Bununla birlikte, problemin doğasına bağlı olarak MF4 ve MF5'in temsil ettiği linguistik ifadeler karar vericinin istediği kritere göre sağlanmasını daha da tercih ettiği özellikler ise bu durum uzman sistemde ya göz ardı edilecek ya da fazladan kurallar yazılacaktır.

Bunun çözümü için "en az" ve "en fazla" tanımları yukarıda örneği verilmiş bulanık tanımlamaya Şekil 2'de ki gibi eklenir.



(a)



(b)

Şekil 2. a) "En Az" ifadesinin üyelik fonksiyonlarına uygulanması b) "En fazla" ifadesinin üyelik fonksiyonlarına uygulanması

Şekil 2a'da görülen "en az" tanımı ile birlikte üyelik fonksiyonlarının tanım sayısal değerleri şu şekilde değişmektedir.

En solda bulunan MF1 üyelik fonksiyonu için $_{MF1}, b_{MF1}, c_{MF1}) = (0,0,0+\epsilon)$ şeklini alarak, neredeyse kati bir üyelik fonksiyonuna dönüşmektedir. Burada ϵ; 0^+ olmak üzere oldukça küçük bir değerdir.

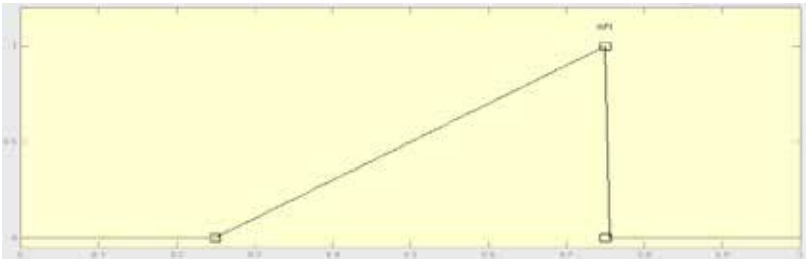
Diğer üyelik fonksiyonları (MF2-MF5) için ise üyelik sınırları $(a_{MFx}, b_{MFx}, c_{MFx}) = (a_{MFx} - \epsilon, 1, 1)$ şeklini almaktadır. Bu şekilde standart tanımlamadaki bir MF fonksiyonu yerine, en az MF ifadesi değerlendirmeye alınıp, ona karşılık bulanık üyelik fonksiyonu hesaplamalara katılmaktadır.

Bu üyelik fonksiyonlarının kullanımı ile; eğer karar verici "En az MF2" isterse yatık ilk çizgi, "En az MF3" isterse yatık ikinci çizgiye üyelik fonksiyonu olarak alınır.

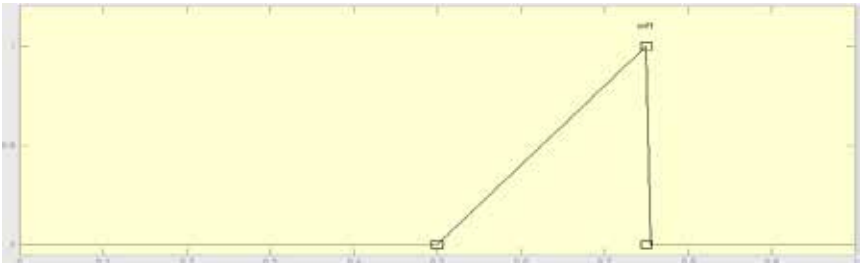
Şekil 2b'de ise "en fazla" tanımının üyelik fonksiyonlarına uygulanması görülmektedir.

Bu sefer en sağdaki MF fonksiyonu için sınırlar $(a_{MF5}, b_{MF5}, c_{MF5}) = (1-\epsilon, 1,1)$ ve diğer üyelik fonksiyonları $(a_{MFx}, b_{MFx}, c_{MFx}) = (0,0, c_{MFx}+\epsilon)$ haline dönüşmektedir. Bu üyelik fonksiyonlarının kullanımı ile; eğer karar verici "En fazla MF1" isterse yatık ilk çizgi, "En az MF4" isterse yatık son çizgiye üyelik fonksiyonu olarak alınır.

Aynı mantıkla "en az ... ve en fazla ..." haline getirilmesi Şekil 3'de görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3. a) "En Az MF2 En Fazla MF4" ifadesinin üyelik fonksiyonlarına uygulanması b) "En Az MF3 En Fazla MF4" ifadesinin üyelik fonksiyonlarına uygulanması

Şekil 3a'da görülen "en az MF2 en fazla MF4" tanımı ile birlikte üyelik fonksiyonlarının tanım sayısal değerleri şu şekilde değişmektedir.

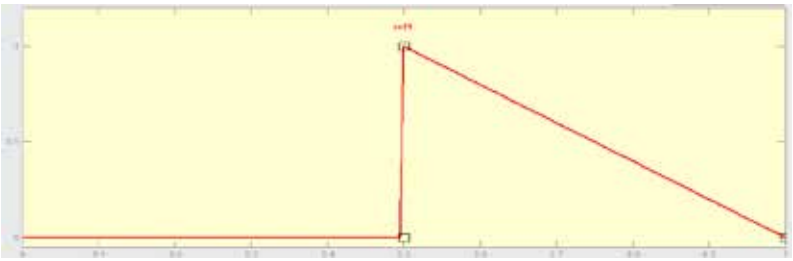
MF2 için üyelik sınırları $(a_{MF2}, b_{MF2}, c_{MF2}) = (a_{MF2}-\epsilon, b_{MF4}, b_{MF4})$ şeklini almaktadır. Bu şekilde "en az MF2 ve en fazla MF4" ifadesi değerlendirmeye alınıp, ona karşılık bulanık üyelik fonksiyonu hesaplamalara katılmaktadır.

İstenmeyen diğer üyelik fonksiyonları (MF1, MF3,MF4,MF5) için $(a_{MFx}, b_{MFx}, c_{MFx}) = (0,0,0)$ şeklini alarak, 0 fonksiyonuna dönüşmektedir.

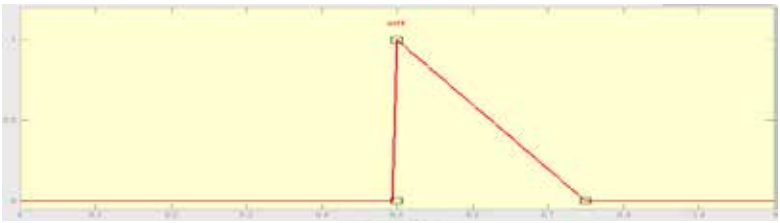
Şekil 3b'da görülen "en az MF3 en fazla MF4" tanımı ile birlikte üyelik fonksiyonlarının tanım sayısal değerleri şu şekilde değişmektedir.

MF3 için üyelik sınırları $(a_{MF3}, b_{MF3}, c_{MF3}) = (a_{MF3} - \epsilon, c_{MF4}, b_{MF4})$ şeklini almaktadır. Bu şekilde "en az MF3 ve en fazla MF4" ifadesi değerlendirmeye alınıp, ona karşılık bulanık üyelik fonksiyonu hesaplamalara katılmaktadır.

İstenmeyen diğer üyelik fonksiyonları (MF1, MF2,MF4,MF5) için $(a_{MFx}, b_{MFx}, c_{MFx}) = (0,0,0)$ şeklini alarak, 0 fonksiyonuna dönüşmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4. a)"En fazla MF5 En az MF3" ifadesinin üyelik fonksiyonlarına uygulanması b) "En fazla MF3 En az MF2" ifadesinin üyelik fonksiyonlarına uygulanması

Şekil 4a'da görülen "en fazla MF5 en az MF3" tanımı ile birlikte üyelik fonksiyonlarının tanım sayısal değerleri şu şekilde değişmektedir.

MF5 için üyelik sınırları $(a_{MF5}, b_{MF5}, c_{MF5}) = (b_{MF3}, b_{MF3}, c_{MF5} - \epsilon)$ şeklini almaktadır. Bu şekilde "en fazla MF5 ve en az MF1" ifadesi değerlendirmeye alınıp, ona karşılık bulanık üyelik fonksiyonu hesaplamalara katılmaktadır.

İstenmeyen diğer üyelik fonksiyonları (MF1-MF4) için $(a_{MFx}, b_{MFx}, c_{MFx}) = (0,0,0)$ şeklini alarak, 0 fonksiyonuna dönüşmektedir.

Şekil 4b'de görülen "en fazla MF3 en az MF2" tanımı ile birlikte üyelik fonksiyonlarının tanım sayısal değerleri şu şekilde değişmektedir.

MF3 için üyelik sınırları $(a_{MF3}, b_{MF3}, c_{MF3}) = (c_{MF1}, c_{MF1}, c_{MF3} + \epsilon)$ şeklini almaktadır. Bu şekilde "en fazla MF3 ve en az MF1" ifadesi değerlendirmeye alınıp, ona karşılık bulanık üyelik fonksiyonu hesaplamalara katılmaktadır.

İstenmeyen diğer üyelik fonksiyonları (MF1, MF2,MF4,MF5) için $(a_{MFx}, b_{MFx}, c_{MFx}) = (0,0,0)$ şeklini alarak, 0 fonksiyonuna dönüşmektedir.

"En az X en fazla Y" ile "En fazla X en az Y" ifadesinin farkı; ilkinde "en fazla" en iyi iken, ikincisinde "en az" en iyidir.

SAYISAL ÖRNEK

Sportif hizmetler sunan bir işletmeye Tablo 1'de gösterildiği gibi, crips ve fuzzy kriterlere göre spor faaliyetlerini yürütmek üzere bir spor eğitmeni alımı yapılacaktır. Tablo 2'de bu kriterler ölçütünde işveren tarafından belirlenen, başvuran eğitmenlerde olması istenen crisp ve fuzzy özellikler gösterilmektedir. Buna göre Tablo 3'de verilen iş başvurusu yapan birçok aday arasından iş pozisyonuna en uygun kişiyi belirleyelim.

Tablo 1. İş için Aranan Kriterler

Kriterler	Veri Tipi
1. Cinsiyet	Binary (Erkek, Kadın)
2. Yaş	Sezgisel Fuzzy (Çok Genç, Genç, Orta, Yaşlı, Çok Yaşlı)
3. Eğitim Seviyesi	Kategorik (Lise, Ön Lisans, Lisans, Yüksek Lisans, Doktora)
4. Medeni Durum	Binary (Bekar, Evli)
5. Uzmanlık Alanı	Kategorik (Fitness, Plates, Zumba, Yoga, Kickboks)
6. Vücut Kitle Endeksi	Geleneksel Fuzzy (Zayıf, Normal, Fazla Kilolu, Şişman)
7. Deneme Seansı Durumu	Sezgisel Fuzzy Kategorik (Çok Kötü, Kötü, Orta, İyi, Çok İyi)

Tablo 2: Mevcut İş Pozisyonunda İstenen Özellikler

Kriteler	Cinsiyet	Yaş	Eğitim Seviyesi	Medeni Durum	Uzmanlık Alanı Sertifika	Vücut Kitle Endeksi	Deneme Seansı Durumu
İstenen Özellikler	Kadın	En fazla genç	Lisans	Farketmez	En az 1 tane	Normal	En az İyi

Belirtilen iş pozisyonu için değerlendirme şu şekilde yapılacaktır.

✓ Cinsiyeti "Kadın" istenmektedir. Bu durumda başvuran kişilerden cinsiyeti erkek olanlar 0 puan, kadın olanlar ise 1 puan alacaklardır.

✓ Yaşı "En Fazla Genç" istenmektedir. Bu durumda çok genç ya da genç sınıfında olan yaşı en az 20 en fazla 44 olan kişiler yaşlarına göre sezgisel bulanık derecelendirme ile en fazla 1 puan alacaklardır.

✓ Eğitim seviyesi "Lisans" istenmektedir. Bu durumda başvuran kişilerden Lisans eğitimi seviyesi dışında olanlar 0 puan, Lisans eğitimine sahip olanlar ise 1 puan alacaklardır.

✓ Medeni Durum "Farketmez" denilmektedir. Bu durumda başvuran kişilerin medeni durumu önemli olmadığından bu kriter değerlendirmeye katılmayacaktır ve adaylar buradan puan alamayacaklardır.

✓ Uzmanlık Alanı "En az 1 tane" istenmektedir. Burada Fitness, Plates, Zumba, Yoga, Kickboks gibi uzmanlık alanlarına ait sertifikalardan en az bir tanesine sahip olunması istenmektedir. Bu durumda hiç sertifikası olmayanlara 0 puan sertifikası olanlara ise sahip oldukları sertifika başına 1'er puan verilecektir. Bu durumda birden fazla sertifikaya sahip olmak avantaj sağlamaktadır.

✓ Vücut Kitle Endeksi "Normal" istenmektedir. Burada başvuran adayların boylarının metre cinsinden karesi alınarak, adayların kilolarının bu çarpıma bölünmesiyle elde edilen sonuca göre normal olması gerekmektedir. 18,5 ve 24,9 arasında değer alabilen normal sınıfına göre adaylar geleneksel fuzzy derecelendirmesine göre en fazla 1 puan alabileceklerdir.

✓ Deneme Seansı Durumu "En Az İyi" istenmektedir. Burada başvuran adaylara bir deneme seansı olarak sınav uygulanarak performanslarına göre çok kötü, kötü ve orta performans gösteren adaylar 0 puan, iyi ve çok iyi performans gösteren adaylar performans durumlarına göre sezgisel bulanık olarak derecelendirilerek en fazla 1 puan alabileceklerdir.

Tablo3. Başvuran Adayların Bilgileri

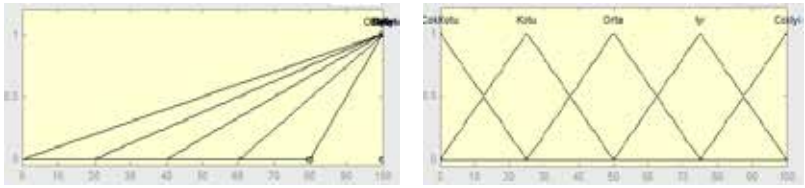
ADAY BİLGİLERİ								
Kişi	Cinsiyet	Yaş	Eğitim Seviyesi	Medeni Durum	Uzmanlık Alanı Sertifika Sayısı	Kilo (kg)	Boy (cm)	Deneme Seansı Durumu
A1	Kadın	22	Lise	Bekar	2	55	165	58
A2	Kadın	28	Lisans	Bekar	1	52	158	65
A3	Kadın	36	Lisans	Evli	3	48	160	80
A4	Erkek	32	Lisans	Evli	0	54	178	85
A5	Erkek	24	Lise	Bekar	1	60	185	40
A6	Kadın	38	Lisans	Evli	2	57	152	95
A7	Kadın	30	Lise	Bekar	1	68	175	75
A8	Kadın	23	Lise	Bekar	3	54	168	62
A9	Erkek	45	Lisans	Evli	0	53	182	48
A10	Kadın	33	Lisans	Bekar	2	56	165	80

Tablo 4. Adayların Puan Değerlendirmesi

ADAY PUAN DEĞERLERİ								
Kişi	Cinsiyet	Yaş	Eğitim Seviyesi	Medeni Durum	Uzmanlık Alanı	Vücut Kitle Endeksi	Deneme Seansı Durumu	PUAN
A1	1	0,917	0	-	2	0,262	0	0
A2	1	0,667	1	-	1	0,358	0,125	0,029
A3	1	0,333	1	-	3	0,038	0,500	0,018
A4	0	0,500	1	-	0	0	0,625	0
A5	0	0,833	0	-	1	0	0	0
A6	1	0,250	1	-	2	0,051	0,875	0,022
A7	1	0,583	0	-	1	0,430	0,375	0
A8	1	0,875	0	-	3	0,097	0,050	0
A9	0	0	1	-	0	0	0	0
A10	1	0,458	1	-	2	0,318	0,500	0,145

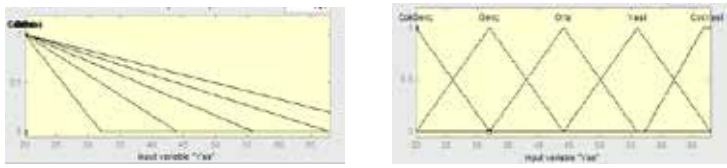
Değerlendirme sonucunda sadece A2, A3, A6 ve A10 nolu adaylar istenen kriterlere uygun olup geri kalan 6 aday crisp isteklerden dolayı elenmiştir. En iyi aday seçimi, kriterleri sağlayan 4 aday arasından yapılacaktır. Burada tüm kriterlerden alınan puanlar çarpılarak adayın sonuç puanı oluşmaktadır. A10 nolu aday en başarılı bulunmuştur.

Değerlendirmede kullanılan deneme seansı sınavı kriterinin sezgisel temelli "En az" ve "En çok" bulanık üyelik fonksiyonları ile normal bulanık üyelik fonksiyonları Şekil 5'de, yaş kriterinin sezgisel temelli "En az" ve "En çok" bulanık üyelik fonksiyonları ile normal bulanık üyelik fonksiyonları ise Şekil 6'da gösterilmektedir.



a) *b)*

Şekil 5. a) Deneme Seansı Durumu (En az iyi derece) b) Deneme Seansı Normal MF



a) *b)*

Şekil 6. a) Yaş (En Fazla Genç) b) Yaş (Normal MF)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada klasik bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerine göre, insan düşünce tarzına daha yakın bir karar destek sistemi önerilmiştir. Bu yöntem ile klasik bulanık uzman sistemlerdeki karar vericinin tek bir özelliğin sağlanması istemesi veya çok özelliğin farklı ağırlıklarda istenmesi durumları yerine, karar vericinin istemiş olduğu bir isteği sağlayacak doğal olan "en fazla", "en az" dilsel ifadelerini de karar tercihlerinde belirtebilmeleri mümkün olmuştur. Geliştirilen bu hibrit yöntemin kullanılması karar destek sistemlerinde, karar verirken sadece anlık uyarıcıların kullanımının yanında doğal bağlantıların kullanımını da sunmaktadır. Bu kapsamda önerilen yöntemin uygulanabilirliğini ve geçerliliğini gösterebilmek için bir vaka çalışması yapılmıştır. Buna göre bir işletme için başvuran birçok spor eğitmeni arasından işletmenin tercihlerine en uygun adayın belirlenmesi sağlanmıştır. Uygulama sonuçları incelendiğinde, uygulanan yöntemin insan sezgisine bire bir uyduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

Chen,C. ve Klein, C.M. (1997) “An efficient approach to solving fuzzy MADM problems”, Fuzzy Sets and Systems, 88, ss.51 67.

Haykin,S., Neural networks: a comprehensive foundation (2nd ed.) Prentice Hall, New Jersey (1999)

Kasabov, Nikola K. 1998., Foundations of Neural Networks, Fuzzy Sytems and Knowledge Engineering. A Brodford Book, The MIT Press, Cambridge, Massachusets. London, England.

Klir, George J. & Yuan, B. (1995). Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, Theory and Appliacitions, Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey.

Laudon, K.C., & Laudon, J.P. (2012). “Management Information Systems” Managing the Dijital Firm (12th ed.). ISBN-13: 978-0-13-214285-4.

Ribeiro, R.A. (1996) “Fuzzy multiple attribute decision making: A review and new preference elicitation techniques”, Fuzzy Sets and Systems, 78,ss.155 181.

Simon, H. A. The New Science of Management Decision. NewYork: Harper & Row (1960).

Tzeng, Gwo-Hshiung & Huang, Jih-Jeng, 2011. Multiple Attribute Decision Making, Methods and Applications, Chapman and Hall/CRC Press 2011

Zadeh, L.A. (1965), “Fuzzy Sets”, Information and Control.

Bölüm 24

TEKSTİL SEKTÖRÜNDE GERİ DÖNÜŞÜM PROSESLERİ

Mihriban KALKANCI[1]

1 Doç. Dr. Pamukkale Üniversitesi, Denizli Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Denizli, Türkiye. mkalkanci@pau.edu.tr

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir bir yaşam için tekstil ve hazır giyim sektöründe tasarım, üretim, geri dönüşüm ve atık değerlendirme süreçlerinde yeni stratejiler ön plana çıkmıştır. Bu çalışmada; pamuk, yün gibi doğal lifler ve poliester, poliamid gibi sentetik liflerden üretilmiş kumaş ya da tekstil yarı mamullerinin geri dönüşüm aşamaları incelenmiştir. Doğal ve sentetik liflerin geri dönüşüm olanakları birbirinden farklıdır. Karışım ipliklerde/kumaşlarda geri dönüşüm işlemleri geri dönüşüm iplik üreticilerini zorlamaktadır.

Tekstil telef ve atıkları sistemli bir şekilde toplanıp değerlendirilmeye alındığı takdirde tekstil geri kazanım sanayisi uygulanabilir ve varlığını sürdürebilir bir endüstridir [1]. Eskiyip çöpe atılan tekstil ürünlerinin, yakılarak, çürümeye bırakılarak, depolanarak veya başka bir şekilde yok edilirken çevreye ve insanlara zarar vermemesi gerekir. Bu alanda en önemli çözüm recyling'dir [2]. Yani eskiyen tekstil ürünlerinin liflerinin tekrar kullanılmasıdır [3]. Üretim sırasında kullanılan hammadde, makine parkı, enerji çeşitleri ve maliyetleri, süreçlerde ortaya çıkan çevresel etkileşimler ve ürünlerin geri dönüşüm potansiyelleri aynı olmadığından tekstil ürünlerinde geri dönüşüm konusunun tek bir başlık altında değerlendirilmesi oldukça zordur [4].

Tekstil atıklarından liflerin geri kazanılması ve ileride konvasiyonel tekstil işlemlerinde kullanılabilmesi için, atıkların liflerine açılması ve ayrılması gerekmektedir. İplik açma bileşenlerinin dahil edildiği kumaş parçalama makineleri, liflerin açılmasını sağlamaktadır. Parçalama işlemi sonrasında lif bileşenlerinin ayrılması, karışım haldeki atıklardan değerli liflerin kazanılmasındaki en önemli adımdır [5] İpliğin son kullanım amacına bağlı olarak lifler birleşik halde kalabilir. Ardından taraklama işlemi ile lifler temizlenip karıştırılarak, sonraki dokuma veya örme işlemleri için eğrilmeye hazır hale getirilir [6].

Tekstil sektöründeki büyük üretim miktarlarının sonucu olarak Türkiye'de her yıl yaklaşık olarak bir milyon ton civarında tekstil atığının ortaya çıktığı görülmektedir. Bu geri kazanım tamamıyla gerçekleştirilebilirse; elde edilecek geri dönüştürülen pamuk miktarı ülke kütlü pamuk üretiminin %17'sini karşılayacaktır [7].

Geri dönüşüm büyük oranda iplikçilikte gerçekleşmekte olup özellikle ring iplikçilik sistemine göre daha kısa liflerin kullanıldığı open-end rotor iplikçilik sisteminde geri dönüştürülmüş lifler büyük bir oranda kullanılmaktadır [8]. Ancak tekstil üretim sürecinin son safhası olan konfeksiyon aşamasında ortaya çıkan atıklar, kumaş top başı ve sonu kumaş parçaları (toplam kumaşın yaklaşık %15'i), pastal kesiminde oluşan kırpıntılar ve hatalı kumaş parçalarıdır [9]. Bir ring işletmesinde karde iplik

üretimi aşamasında ortaya çıkan telef miktarı yaklaşık %5,5-10,5, penye iplik üretiminde yaklaşık %12, kumaş üretimi ve konfeksiyon aşamalarında ise bu oran %23'lere kadar çıkmaktadır [10]. Konfeksiyon ve iplik üretimi sırasındaki atıklar değerlendirildiğinde ciddi bir hammadde kazanımı elde edilebilmektedir.

Tekstil atıkları genel olarak iki şekilde sınıflandırılabilir:

a.) Elyaf işlemeden kaynaklanan veya tekstil üretimi sırasında meydana gelen tüketici öncesi tekstil atığı veya endüstriyel atıklar

b.) Tüketici sonrası tekstil atıkları, tüketicilerin istemedikleri herhangi bir tekstil veya ev tekstili ürünlerinden oluşur. Bu atığın bir kısmı ikinci bir kullanım için genellikle yeniden satış / geri dönüşüm şeklinde veya yakılmak üzere toplanır.

Özellikle lif karışımları (örneğin polyester / pamuk), boyama şekli ve geri kazanılan tekstildeki her türlü aksesuar, tekstilden tekstile geri dönüşümü çok karmaşık ve maliyetli hale getirmektedir.

Tekstil atıklarının geri kazanımı yöntemleri genel olarak aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir[11].

A) Mekaniksel yöntemler

B) Termo-mekaniksel yöntemler

C) Kimyasal yöntemler

D) Enerji elde etme

E) Diğer yöntemler

Mekaniksel yöntemle atıklar, iplik, kumaş ve dokusuz yüzeylerin üretiminde kullanılabilecek lifli forma getirilirken, termo-mekaniksel yöntemde, yeniden eritilerek granül haline getirilmekte ve elde edilen granüller plastiklerin ve liflerin üretiminde kullanılmaktadır.

Mekanik geri dönüşüm, esas olarak malzemeyi neredeyse lifli bir forma dönüştürmek için parçalama esasına dayanmaktadır. Bu işlem sayesinde lif mukavemetini kaybedebilmekte ve bu nedenle işlenmemiş lifle karıştırılması gerekmektedir (özellikle pamuk ve yün liflerinde). Bu işlem uzun yıllardır kullanılmaktadır.

Kimyasal yöntemde ise, özellikle sentetik esaslı atıklar, genellikle kimyasal depolimerizasyon yöntemleri ile hammaddeye veya ara ürüne kadar geri döndürülmekte ve elde edilen ürünler, tekstil bitim maddeleri, lifler, doymamış reçineler gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Kimyasal geri dönüşüm, istenen hammaddeyi elde etmek için kimyasal bir dizi işlem içermektedir. Daha değerli bir ürünün geri kazanılmasına izin vermektedir ve günümüzde geri dönüşüm endüstrisi bu tür bir geri dönüşüm

üzerinde aktif olarak çalışıyor olsa da, teknolojik veya ekonomik olarak henüz olgunlaşmamıştır. Tablo 1, geri dönüşüm türlerinin tipik işlem girdilerini ve çıktılarını özetlemektedir.

Tablo 1. Tekstillerin Mekanik ve Kimyasal Geri Dönüşümü [26,27].

	Mekanik Yöntem	Kimyasal Yöntem
Proses	Aşağı dönüşüm Yüksek Değerli Geri Dönüşüm	Yüksek Değerli Geri Dönüşüm
Girdi	Bitkisel esaslı Hayvansal esaslı Petrol esaslı	Bitkisel esaslı Petrol esaslı
Çıktı	Non-woven yüzey Yeni iplik	Yeni iplik

Geri dönüşüm teknolojileri 4 gruba ayrılabilir[12]:

Birincil geri dönüşüm bir ürünün orijinal haline geri dönüştürülmesidir; ikincil geri dönüşüm, atığın, orijinal halinden farklı bir uygulama alanına sahip olabilen ve daha düşük fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerde yeni bir ürüne dönüştürülmesidir; üçüncül geri dönüşüm, atığın piroliz, gazlaştırma ve hidroliz yoluyla basit kimyasallara veya yakıtlara dönüştürülmesidir; dördüncül geri dönüşüm ise katı atıkların yakılması ile oluşan ısıdan yararlanılmasıdır

Buna göre; birincil yaklaşım, atıkla eşit değerde ürünler üretmek için endüstriyel hurdaları kullanmaktır. Günümüzde "geri dönüştürülmüş elyaftan yapılmış" olarak satılan hemen hemen tüm tekstil ürünleri, birincil yaklaşıma göre endüstriyel hurdalardan üretilmektedir [28].

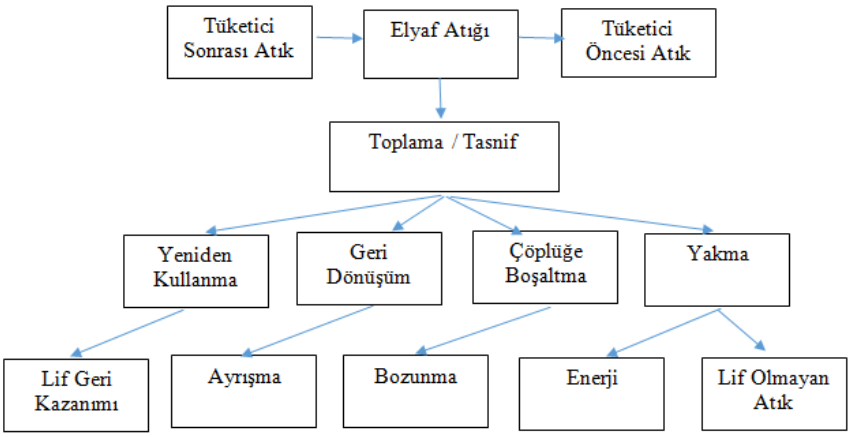
İkincil yaklaşım, tüketici sonrası ürünlerin mekanik olarak işlenmesidir. Polyester ve naylon gibi eritilip yeniden ekstrüde edilebilen termoplastik polimerler için mekanik geri dönüşüm mümkündür. Ham atık madde ile eşit değerde bir polimer elde etmek için, atık kontaminasyonu çok düşük olmalıdır. Bu yaklaşım, örneğin geri dönüştürülmüş PET şişelerden yünlü giysi yapımında kullanılır. Mekanik geri dönüşüm, taranabilen ve yeni iplikler halinde eğrilebilen pamuk ve yün için de geçerlidir [28].

Üçüncül yaklaşım, polimerlerin tamamen veya kısmen depolimerize edildiği kimyasal geri dönüşümdür. Monomerler veya oligomerler daha sonra yeni polimerler üretmek için besleme stoğu olarak kullanılabilir. Japon şirketi Teijin, bu alandaki öncülerden biridir ve polyester tekstil elyaflarının dimetil tereftalata depolimerizasyon ve ardından tekstil elyaflarına

yeniden polimerizasyon yoluyla geri dönüştürülmesi için bir kapalı döngü sistemi geliştirmiştir [28].

Dörtlü yaklaşım, lifin enerji içeriğini geri kazanmayı amaçlayan enerji geri kazanımıdır. Günümüzde üretilen ısının yakılması ve kullanılması en etkili yöntemdir [28].

Bu dört yaklaşımın yer aldığı bir süreç şeması Şekil 1'de verilmektedir [13].



Şekil 1. Tekstil atıklarının geri dönüşüm olanakları [13].

Şekil 1'e göre tekstil atıkları tüketici öncesi (veya sanayi sonrası) atıklarını ve tüketici sonrası atıklarını içermektedir. Tüketici öncesi atık, tekstil ürünlerinin endüstriyel ve ticari olarak işlenmesinden veya giysi imalatından kaynaklanan malzemeleri (hurda, fazla stok, hasarlı veya kusurlu malzemeler, numuneler) kapsamaktadır. Tüketici sonrası atık ise; geri çağrılan envanter, tüketici tarafından iade edilen veya atılan ürünler gibi ürünlerin son kullanımını içerir.

Tekstil atıkları, hem üretim aşamaları sırasında hem de tüketim aşamasında oluşmaktadır. Üretim birimleri bu katı atıkların bir kısmını geri dönüşüm için hurdacılara satmakta, bir kısmını da çöpe atmakta veya yakmaktadırlar. Şekil 2'de tekstil üretim atıklarından başlayan ve son ürüne kadar olan ara aşamalar örnekler ile verilmiştir.

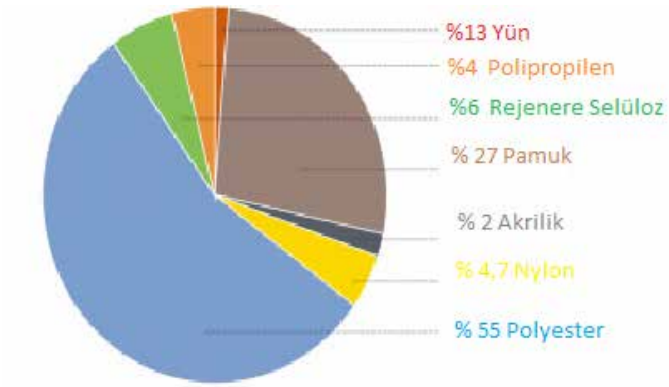
a. Tekstil üretim atıkları

b. Atıkların açılması

c. Ara ürün örnekleri *d. Bitmiş ürün örnekleri*

Şekil 2. Tekstil atıklarından ürün elde edilmesi ve bitmiş ürün örnekleri [11].

Küresel elyaf pazarına polyester ve pamuk (% 82) olmak üzere iki elyaf hakimdir. Sentetik liflerin, özellikle de polyesterin kullanımı artmaya devam etmektedir. Polyester şu anda küresel elyaf kullanımının yarısından fazlasını temsil etmektedir (Şekil 3):



Şekil 3. Tüm elyafların 2015 yılı küresel tüketim oranı [24].

Küresel tüketim oranlarına göre, Polyester, naylon, pamuk ve yünün tekstil elyafı geri dönüşümü, genel olarak elyaftan elyafa (f2f) geri dönü-

şümü ve elyaf karışımı geri dönüşümü teknolojilerinin özeti (ticari ölçekte geliştirilen veya gösterilen mekanik ve kimyasal geri dönüşüm seçenekleri) Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Polyester, Naylon, Pamuk ve Yün için Mevcut Geri Dönüşüm Seçeneklerinin Genel Özeti [26, 27].

Elyaf	Mekanik Geri Dönüşüm		Minimum Elyaf Giriş Oranı %	Kimyasal Geri Dönüşüm		Minimum Elyaf Giriş Oranı %
Polyester	Kapalı döngü	✓	100 (f2f-liften life)	Kapalı döngü	✓ Ticari ölçekte çeşitli karışımlar	70-80 /100 (çeşitli polycotton karışım oranları)
	Diğer uygulamalar (açık döngü ya da aşağı dönüşüm)	✓	Ticari ölçekte çeşitli karışımlar (sanayii sonrası)			
Nylon	Kapalı döngü Nispeten düşük hacimli	✓	100 (f2f-liften life) Aynı tip olmalı (naylon 6 ya da naylon 6,6)	Kapalı döngü	✓ Sadece Naylon 6 için ticari ölçekte çeşitli karışımlar	100
	Diğer uygulamalar (açık döngü ya da aşağı dönüşüm)	✓	Ticari ölçekte çeşitli karışımlar (sanayii sonrası)			
Pamuk	Kapalı döngü	✓	100 (f2f-liften life)	Kapalı döngü	✓ Rejenere selüloz ve % 100 geri dönüştürülmüş olmayan pamuklu ürün)	100 (çeşitli polycotton karışım oranları)
	Diğer uygulamalar (açık döngü ya da aşağı dönüşüm)	✓	Ticari ölçekte çeşitli karışımlar (sanayii sonrası)			
Yün	Kapalı döngü	✓	>80 (f2f-liften life)	Kapalı döngü	X	X
	Diğer uygulamalar (açık döngü ya da aşağı dönüşüm)	✓	30-100 arası Ticari ölçekte çeşitli karışımlar (uygulamaya bağlı)			

2. DOĞAL ELYAFLARDA GERİ DÖNÜŞÜM PROSESLERİ

Tüketici öncesi ve sonrası doğal lifli atıklar, yeniden ipliklere ve ardından kumaş haline dönüştürülebilmektedir. Tekstil atıklarından liflerin geri kazanılması ve ileride konvasiyonel tekstil işlemlerinde kullanılabilmesi için, atıkların liflerine açılması ve ayrılması gerekmektedir. İplik açma bileşenlerinin dahil edildiği kumaş parçalama makineleri, liflerin açılmasını sağlamaktadır. Parçalama işlemi sonrasında lif bileşenlerinin ayrılması, karışım haldeki atıklardan değerli liflerin kazanılmasındaki en önemli adımdır [13].

2.1. Pamuk

Pamuk, pamuk bitkisinden elde edilen doğal bir elyaftır. Pamuk, insan yetiştiriciliği altındaki en eski liflerden biridir ve arkeolojik alanlardan elde edilen 7.000 yıldan daha eski pamuk izleri vardır. Pamuk da günümüzde var olan en çok kullanılan doğal elyaflardan biridir ve her sınıftan ve milletten tüketiciler pamuğu çeşitli uygulamalarda giyer ve kullanır. İster yeni dünya pamuğu, ister daha uzun, daha yumuşak elyaflı, ister daha kısa ve daha kalın eski dünya çeşitleri olsun, dünya çapında binlerce dönümlük pamuk üretimine ayrılmıştır. Pamuk lifinin geri dönüşümü önce bu malzemenin diğer atıklardan ayrılmasıyla gerçekleşir. Ayrıştırma işleminden sonra seçilen pamuk lifi hidrolik pres kullanılarak paketlenir. Son olarak, pamuk lifi balyası daha sonra ikincil hammadde olarak depolanır. Yün lifi için de aynı tip prosedür uygulanabilir.

Pamuk ipliği üretimi sırasında iplik hazırlama ve eğirme kısmında; brizör telefi, şapka telefi, cer pnömofil telefi, cer şerit telefi, fitil pnömofil telefi, fitil telefi, ring pnömofil telefi gibi atıklar ortaya çıkar. İplik aktarma işleminde ortaya çıkan teleflerin tamamı üstübü telefidir. Bu atıkların dışında iplik üretim sürecinde oluşan diğer atık çeşidi klima tozudur. İşletme içindeki emiş ünitelerinin filtrelerinde biriken tozlar klima tozu telefi olarak toplanmaktadır [9]. Pamuk iplik hazırlık kısmında oluşan teleflerin bir kısmı geri kazanılabilmekte ve elde edilen lifler, rotor iplik makinelerinde, vatka, döşemelik ve dokusuz yüzey imalatında kullanılabilmektedir. Pamuk iplik fabrika atıkları; işlenerek tekrar iplik ve elyaf haline, atık kumaşlar ise yeniden pamuk haline getirilebilmektedir. Kağıt yapımı, dolgu malzemesi, yalıtım malzemesi, yeni ip üretiminde de tekstil atıkları kullanılabilmektedir [14].

Pamuktan elde edilen çekirdek atığı yağ üretiminde ve küspe olarak özellikle tavuk yemi olarak, çekirdek üzerinde kalan kısa lif– linterler de rejenere lif üretiminde hammadde olarak ya da kâğıt para yapımında kullanılmaktadır. Çırçırdan atık olarak gelen fire temizleme işleminden geçirilerek her 5 kg'ından yaklaşık 1 kg pamuk elyafı elde edilebilecek şekilde ayıklanmaktadır. Atık içinde bulunan kabuk ve yaprak kırpıntıları ile çekirdek kabukları yem yapımında kullanılarak hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir [9, 15].

Pamuğun mekanik geri dönüşümü en köklü geri dönüşüm sürecidir, ancak yine de hacim olarak sadece küçük bir yüzdeyi temsil etmektedir. Geri dönüşüm işlemi, telefi renge göre ayırmak ve ardından yeni ipliklere dönüştürülmeden önce parçalamaktan oluşur.

Pamuğun kimyasal geri dönüşümü ise, halihazırda laboratuar düzeyindedir. Pamuk tüketici sonrası atık giysilerden alınır, moleküler bir seviyede çözündürülerek viskon ve lyocell ürünleri yapmak için çözünen bir hamur haline getirilir[25].

2.2. Yün

Yün, çeşitli tekstillerde dokunmuş veya örülmüş olarak bulunabilir. Yün, yüksek derecede aleve dayanıklıdır ve bu nedenle şilteler ve kilimler için sıklıkla kullanılır. Aynı zamanda oldukça dayanıklıdır, ıslakken% 50'ye, kuruyken% 30'a kadar esneyebilir. Buna ek olarak, yün, kullanıcıya ıslak veya ıslak hissetmemesi için nemi lifin çekirdeğine çekerek mükemmel nem emme özelliklerine sahiptir.

Yün lifinin mekanik geri dönüşüm sürecinde, girdi malzemesi esas olarak tüketici öncesi yün atığıdır. Yün ticari olarak en az 200 yıldır geri dönüştürülmektedir. Atıkları renge göre ayırmaktan ve ardından yeni ürünler yapmak için giysiyi lifli hale geri çevirmekten ibarettir.

Yün liflerin elde edilmesinde hayvanın postu üzerindeki yünler tefrikçi tarafından sınıflandırılarak lif oluşuna uygun olmayan kalitedeki lifler ayrılarak atık oluştur ayrıca iplik üretimi sırasında, pamuk ipliği üretiminde olduğu gibi üretim basamaklarının her birinde atık oluşmaktadır. Yün liflerinin elde edilmesi sırasında oluşan atıklar keçe yapımında değerlendirilir. Ayrıca iplik üretimi sırasında da telef oluşur. Oluşan telefler daha sonra iplik yapımında ya da keçe üretiminde kullanılarak geri kazandırılmaktadır. Yünün yağından kozmetik sanayinde yararlanılır [15].

2.3. İpek

İpek özellikle yüksek kaliteli tekstil mamulleri için kullanılan çok değerli bir hayvansal liftir. İpek üretiminde kozanın işlenmesi sırasında filament iplik olarak çekilemeyen atıklar ortaya çıkmakta ve deşe ipek olarak adlandırılan bu atıklar önemli miktarlara ulaşmaktadır. Deşe ipeklerin sınıflandırırsak; Koza atıkları (koza pamuğu, hatalı kozalar, çifte koza, çipez koza, delik koza, şekilsiz koza, ezik kozalar), çekim atıkları (Kamçıbaşı, kaynamış, tava dibi), iplik atıkları (bunlar ipek iplik yapımıyla ilgili çeşitli aşamalarda temizlik ve düğüm atıklarından oluşur) [16]. İpek üretiminde oluşan deşe ipeğinin önemli bir kısmından dikiş ipliği yapımında, geri kalanından da kumaş üretiminde ve halıcılıkta yararlanılır.

3. SENTETİK ELYAFLARDA GERİ DÖNÜŞÜM PROSESLERİ

3.1. Polyester

Polyester atık kumaş ve polipropilen çuval atıklarının kompozit yapılarda değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır [17]. Cam, po-

lipropilen ve akrilik lifleri ve tekstillerin hepsi betonun, sıvaların ve diğer inşaat malzemelerinin çatlamasını önlemede kullanılmaktadır. Betonların kuvvetlendirilmesi, kopma ve eğilme mukavemetlerinin artırılması amacıyla lif kullanmak artık tüm inşaat sektöründe yaygın olarak başvurulan bir yöntemdir [18]. Sentetik lif üretim atıkları, üretimin herhangi bir aşamasında istenmeden ortaya çıkan ve bir işlem görmeden yeniden kullanılamayan maddelerdir. Sentetik lif üretimi sırasında oluşan atık miktarı yaklaşık olarak %3-7 civarındadır. Sentetik lif üretimi sırasında ortaya çıkan atıkların nedenleri; üretim parametrelerinin değişmesi, makine ve işçi hatası, hammadde hataları, teknolojik yetersizlikler ve enerji dalgalanmaları gibi sebeplerden biridir [19]. Şekil 4'te polyester atıklarından elde edilmiş ürün örnekleri görülmektedir.

Polietilen tereftalat (PET), yaklaşık% 95'i PET şişe geri dönüşümünden gelir. Geri dönüştürülmüş polyester, tüm işlenmemiş polyester üretiminin yaklaşık % 7'sini temsil etmektedir[25].

Geri dönüşüm ile sentetik lifli tekstil atıklarından iplik elde edilmesi, mekanik veya kimyasal geri dönüşüm yöntemleri ile mümkün olabilmektedir. Bu teknolojiler, plastik şişelerin lif haline geri dönüştürülmesinde kullanılan metotlara dayanmaktadır [13, 20]. Poliester esaslı malzemelerde, geri dönüşüm giysinin küçük parçalara kesilmesiyle başlar. Parça kumaşlar granüle edilerek poliester cipsleri haline getirilir. Bu cipsler eritilerek yeni filament lifler çekilir ve yeni poliester kumaşlar üretilir. Plastik PET kaplar ise, tür ve renge göre sınıflandırılır. Daha sonra etiketler çıkarılır ve şişe yıkanır, ezilir ve cipsler halinde kesilir. Cipsler kurutulur ve 220 derece sıcaklıkta dönen bir düzeden gönderilir. Daha sonra bir kanala girer ve diğer tarafta ince uzun iplikler olarak ortaya çıkar ve bunlar daha sonra ipliklere dönüştürülür [13, 21, 25].

Polyesterin kimyasal olarak geri dönüşümünde ise; materyal önce monomer adı verilen bir baz kimyasal moleküle depolimerize edilir. Daha sonra çiplere ekstrüde edilmeden önce, kimyasal katkı maddeleri (tipik olarak mathanoliz, glikosiz veya hidroliz) yardımıyla yeniden polimerize edilir[25].

Kullanılmış giysi atıklarından iyi durumdakiler ikinci el giysi olarak, daha kötü durumdakiler 3. Dünya ülkelerine yardım olarak, iyi durumda olmayanlar ise mekanik yöntemlerle geri kazanım ile değerlendirilmektedir[15,22].

Kullanım dışı kalan ürünler değişik yöntemlerle geri kazanım merkezlerine ulaştırılması durumunda, geri kazanım sürecinin içerisine dâhil edilmektedir. Geri kazanım merkezlerine getirilen tekstil atıkları mevcut sağlamlık, renk ve malzeme bileşenlerine göre ayrıştırılmaktadırlar. Daha sonra iyi durumda olanlar belli temizlik işleminden sonra ihtiyacı

olanların kullanımına sunulabilmektedir. Ayrıştırılma işleminden sonra ürünlerin bir bölümü ısınma amaçlı olarak yakılmakta, geri kalan atıklar ise elyaf olarak açılmak üzere ilgili sürece yönlendirilmektedirler [4,15].

a) PET şişeler ve polyester (PET) iplik üretim atıkları

b) Atıklardan elde edilen granüller ve granüllerin eritilmesiyle üretilen polyester iplikler

Şekil 4. Polyester atıklarından elde edilmiş ürün örnekleri [11].

3.2. Naylon / Poliamid

Geri dönüştürülmüş naylon, geri dönüştürülmüş polyesterle aynı faydalara sahiptir. Geri dönüştürülmüş naylonun üretiminde, saf naylondan çok daha az kaynak (su, enerji ve fosil yakıt dahil) kullanır. Geri dönüştürülmüş naylon genellikle tüketici öncesi kumaş atıklarından yapılır, ancak endüstriyel balık ağları gibi tüketici sonrası malzemelerden de elde edilebilmektedir.

Lif olarak farklı naylon türleri mevcut olduğu için özellikle mekanik geri dönüşüm sürecinde, girdinin homojen (aynı naylon türü tekstil ürünleri) atık malzeme olması gerekmektedir. Naylon temizlenir ve daha sonra, bir sonraki kullanım için pelet haline getirilir.

Kimyasal geri dönüşüm prosesinde ise; polimer kimyasal olarak polimerize olur ve monomer bileşenlerine ayrılır. Daha sonra yeni bir iplik yapmak için yeniden polimerize edilir[25].

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Fiyat ve çevreye sağladığı olumlu etkilerden dolayı geri dönüşüm ham maddeden iplik üretiminin önemi günümüzde giderek artmaktadır. Ancak geri dönüşüm iplikçiliğine kalite standardizasyonun getirilmelidir. Daha kaliteli ve yüksek verimde geri dönüşüm ipliğinin nasıl üretilebileceği konusunda araştırmalara daha fazla yer verilmelidir.

Günümüzde sosyal sorumluluk projeleri çerçevesinde H&M, Levi Strauss & Company, Adidas, Nike, Timberland gibi birçok üretici firma ürünlerinde geri dönüştürülmüş malzemeler kullanmaktadır. Dünya çapında polyester, naylon ve pamuk gibi hammaddelerden geri dönüşüm iplik ve kumaş üreten farklı firmalar (Repreve®-Unifi, Produced by Unifi, Repreve®, Ecocircle® - Tenjin, Econyl®- Aquafil) yeni ürünler geliştirmekte, geri dönüşüm iplik ve kumaşların kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Ülkemizde de Türkiye'nin önemli tekstil merkezlerinden Uşak'ta, tekstil atıklarından toprak, traktör, su, boya ve hiçbir kimyasal madde kullanmadan hazır renkli pamuk ve iplik elde edilmektedir. İkinci kalite iplikler, orijinalinin üçte biri fiyatına satılmaktadır.Türkiye'nin ve dünyanın çeşitli yerlerinden toplandıktan sonra Uşak'a getirilen konfeksiyon atıkları, kentteki firmalarda önce renk renk ayrıldıktan sonra kesim işlemi uygulanmaktadır. Daha sonra şifanoz makinasıyla pamuk haline getirilen atıkların bir kısmıyla keçe yapılarak otomobil sanayi, yatak yapımı gibi birçok noktada kullanılırken, iplik haline getirilenlerden ise ev tekstil ürünleri, perde, kıyafet, koltuk kılıfı üretilmektedir. Bir yandan geri dönüşümle bu atıklar tekrar ekonomiye kazandırılırken, diğer yandan toprak, traktör, su, boya ve hiç bir kimyasal madde kullanmadan hazır renkli pamuk elde edilmektedir [23].

Tekstil kullanım atıklarının büyük kısmı geri kazanılabilen atıklardır. Tekstil atıklarının geri kazanılmasına yönelik etkin önlemler uygulayan kuruluşlar desteklenmeli, tekstil sanayi kuruluşlarının işbirliği içinde geri kazanım ve atık bertaraf tesisleri inşa etmeleri sağlanmalı, bunun için cezai yaptırım uygulama veya vergi indirimi gibi özendirici düzenlemeler yapma yoluna gidilmelidir.

Tekstil üretim sürecinde oluşan atıkların geri kazanılmasından ziyade atık miktarının azaltılması için verimliliği arttırıcı çalışmalar yapılmalıdır. Tekstil sanayinde atık üretiminin azaltılmasına yönelik proses ve teknolojilerin uygulanması, çevre dostu ileri teknolojilerden yararlanılması, teknolojik alt yapının yenilenmesi ile maliyetlerin azaltılması, kalitenin ve verimliliğin arttırılması sağlanabileceği gibi atık miktarını da azaltacağı unutulmamalıdır.

Farklı lif karışımlarında ve karışım oranlarında geri dönüşüm liflerinden üretilen ipliklerden yapılan kumaşların çeşitli mekanik ve fiziksel özelliklerinin tespit edilmesi ve bu konuda iyileştirmelerin yapılması gelecek çalışmalara konu olarak önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Hawley, J.M., 2008, "Economic Impact of Textile Recycling", http://krex.kstate.edu/dspace/bitstream/2097/1228/1/EconImpactHawley2008.pdf (Accessed June 15, 2018.)
2. Chen, H., Burns, L.D., "Environmental Analysis of Textile Products", Clothing and Textile Research Journal, 24, 3, 248-26, 2006.
3. Bayraktar, T., "Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe Ekoloji ve Ekolojik Etiketler", İTKİB AR&GE ve Mevzuat Şubesi, 2005.
4. Güngör, A., Palamutçu, S., İkiz, Y., "Pamuklu Tekstiller ve Çevre: Bir Bornozun Yaşam Döngü Değerlendirmesi", Tekstil ve Konfeksiyon, 3, 197-205, 2009.
5. Lu, J.J., Hamouda, H., (2014), Current Status of Fiber Waste Recycling and its Future, Advanced Materials Research, 878, 122-131. 28
6. Eryuruk, S.H., (2012), Greening of the Textile and Clothing Industry, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 20, 6A(95), 22-27.
7. Altun, Ş., "Tekstil Üretim ve Kullanım Atıklarının, Geri Kazanımı, Çevresel ve Ekonomik Etkileri", Uşak Ticaret ve Sanayi Odası Raporu, 26 syf, 2016.
8. A.A. Merati, M. Okamura, Producing medium count yarns from recycled fibers with friction spinning. Text. Res. J. 74(7) (2004) 640-645.
9. Güngör, A., Palamutçu, S., İkiz, Y., "Pamuklu Tekstiller ve Çevre: Bir Bornozun Yaşam Döngü Değerlendirmesi", Tekstil ve Konfeksiyon, 3, 197-205, 2009.
10. Ş. Altun, Türkiye'deki Tekstil ve Hazır Giyim Atıklarının ve Geri Kazanım İmkanlarının Genel Profilinin Çıkarılması, Proje No: 109Y008, (2010).
11. Ş. Altun Tekstil Geri Kazanım Sektörü Raporu, Uşak TSO, 2014.
12. Wang, Y., Wu, H.C., Li, V.C., (2000), Concrete Reinforcement with Recycled Fibers, Journal of Materials in Civil Engineering, 12, 4, 314-319.
13. Eser, B., Çelik, P., Çay,A., Akgümüş, D., (2016): Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Geri Dönüşüm Olanakları, Tekstil ve Mühendis, 23: 101, 43-60.
14. Lüy, E., Varınca, K. B., Kemirtlek, A., (2007), Katı Atık Geri Kazanım Çalısmaları: İstanbul Örnegi, TÜRKAY 2007 - AB Sürecinde Türkiye'de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu, 28-31 Mayıs, İstanbul.
15. Yavaşcaoğlu, A., (2012), Tekstil Katı Atıkları, Katı Atık Oluşumunun Azaltılmasi ve Geri Kazanımı, Mesleki Bilimler Dergisi, 1(2): 137 – 148.

16. Altun, Ş., Ulcay, Y., (1999), Klasik Tekstil Üretimi Sırasında Ortaya Çıkan Atıklar, Nedenleri Ve Geri Kazanım Yöntemlerine Genel Bir Bakış ,Tekstil Maraton Dergisi, Syf: 48-64 .

17. Aral, N., Berkalp, Ö., B., Bakkal, M., Sandıkoğlu, T., G.,(2009), Atık Kumaş Takvyeli Polmer Matrisli Kompoztlerin Darbe Ve Çekme Davranışlarının İncelenmesi, Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi, Sayı:2, Syf:139-14.

18. Kozak, M., (2010), Tekstil Atıkların Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Alanlarının Arastırılması, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 6, No: 1, Syf: 62-70 .

19. Altun, Ş., (1999), Poliester Lif Üretim Atıklarından Granül Eldesi için Ekstruder Dizaynı ve Elde Edilen Granül Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Bursa.

20. Hagoort, S., (2013), Evaluating the Impact of Closed Loop Supply Chains on Nike's Environmental Performance and Costs, MSc Thesis, Operations Management and Logistics, Eindhoven University of Technology, Eindhoven.

21. Eryuruk, S.H., (2012), Greening of the Textile and Clothing Industry, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 20, 6A(95), 22-27.

22. Altun, Ş., (2011), Tekstil Üretim Süreçlerinde Çevresel Etkiler ve Atık Geri Kazanımı, Lisansüstü Ders Notları, Uludağ Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Bursa.

23. http://www.milliyet.com.tr/turkiye-nin-tekstil-atigi-usak-ta-iplige-usak-yerelhaber-2339877/ 16 Ekim 2017.

24. Textile Exchange Preferred Fibre Materials Market Report, 2016.

25. Rengel A., Recycled Textile Fibres and Textile Recycling, Commissioned by the Federal Office for the Environment (FOEN) December 2017.

26. GreenBlue Institute, "Chemical Recycling - Making Fiber-to-Fiber Recycling a Reality for Polyester Textiles," Patagonia and Steelcase, 2017.

27. Katherine Le,Textile Recycling Technologies, Colouring and Finishing Methods UBC Sustainability Scholar, 2018.

28. Peterson A., Towards Recycling of Textile Fibers Separation and Characterization of Textile Fibers and Blends, Master's thesis in Materials Chemistry and Nanotechnology, Department of Chemistry and Chemical Engineering Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden 2015.

Bölüm 25

FAY KAYAÇLARININ TARİHLENDİRİLMESİ

Elif AKGÜN[1]

1 Dr. Elif AKGÜN, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü

1.GİRİŞ

Kayaçlarda meydana gelen deformasyonlar aşınma, buzul hareketleri, metamorfik, volkanik ve tektonik faaliyetlerin etkisiyle meydana gelmektedir. Tektonik faaliyetler sonucu kayaçlardaki en yoğun deformasyonlar faylar tarafından oluşmaktadır. Tektonik hareketlerden etkilenen zonlarda, faylanma sırasında kayaçlar ezilme, ufalanma, parçalanma ve kırılma gibi fiziksel olarak değişime uğrarlar. Bu sürece bazı zamanlar sıcaklık, basınç ve derinliğin etkisiyle kimyasal değişimler de eşlik etmektedir. Faylanmanın etkisindeki köken kayaçlar geçirdiği fiziksel ve kimyasal değişimle, fay kayaçlarına dönüşürler. Fay kayaçları, bazı faylanma gelişimlerinde kırıkların arasında ilerleyen sıcak suların bu zonlarda cevherleşme oluşturması açısından ekonomik anlamda büyük önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra; faylanmış zonlar eski depremlerin geliştiği, tektonik ve sismolojik çalışmalar için önem taşıyan kilit noktalardır. Bu alanlarda faylanmanın etkisi ile gelişmiş kayaçlardan elde edilecek yaş verileri tektonizmanın zamanı hakkında bize çok önemli kaynak oluşturmaktadır. Fay zonu boyunca gelişmiş kayaçlar, toprak seviyeleri bizim tektonik olayları tarihlendirmemiz açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle paleosismoloji çalışmalarında toprak seviyelerinden elde edilen yaş verileri tarihsel depremlerin tekrarlanma aralığının hesaplanmasını sağlamaktadır. Bu çalışma faylanmaya bağlı gelişmiş süreçleri, fay zonlarını, fay kayaçlarını ve bu kayaçlar üzerinde uygulanabilecek yaş tayinlerini derlemeyi amaçlamaktadır.

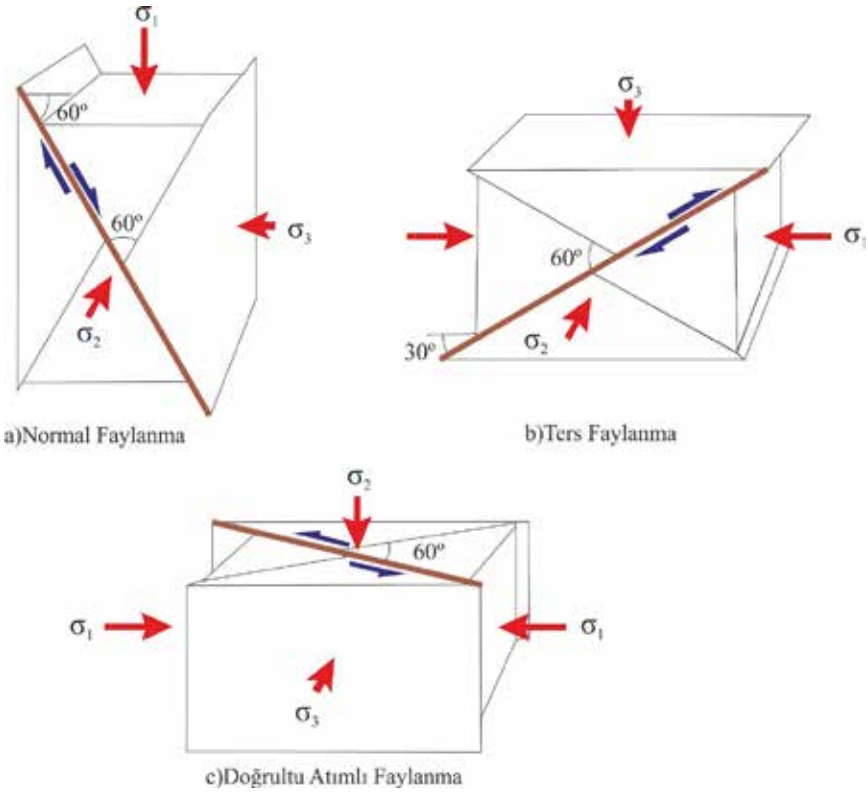
2.FAYLAR

2.1. Faylanma Türleri ile Gerilmeler Arasındaki İlişki

Çeşitli nedenlerle yerkabuğunda meydana gelen gerilmeler kayaçlarda farklı deformasyonlara neden olmaktadır. Kayaçlara etkiyen bu kuvvet ve gerilmeler kayacın dayanımını aştığında farklı deformasyon mekanizmalarına bağlı olarak, çeşitli fay oluşumları meydana gelmektedir. Faylar, kayaçlarda ve deformasyonla ilişkili yer değiştiminin geliştiği dar bir fiziksel süreksizliği temsil etmektedir (Fossen, 2020). Asal gerilme kuvvetlerinin ($\sigma 1 > \sigma 2, > \sigma 3$) deformasyon elipsoidindeki yatay ve düşey konumlarına göre üç farklı deformasyon ve buna bağlı üç farklı fay mekanizması meydana gelmektedir. Asal gerilme kuvvetlerinden σ_1 en büyük gerilme kuvvetini, σ_2 ortaç gerilme kuvvetini ve σ_3 en küçük gerilme kuvvetini simgelemektedir.

En büyük asal gerilme kuvveti (σ_1) düşey, ortaç (σ_2) ve en küçük asal gerilme kuvvetinin (σ_3) yatay konumda bulunması sonucu genişlemeli bir deformasyon meydana gelmektedir (Şekil 1a). Asal gerilme kuvvetlerinin bu konumu yatayda çekme gerilmesine yol açmaktadır. Bu deformasyon mekanizması sonucu normal faylar oluşmaktadır. En küçük asal geril-

me kuvveti (σ_3) düşey, ortaç (σ_2) ve en büyük asal gerilme kuvveti (σ_1) ise yatay konumdayken sıkışmalı bir gerilme oluşmaktadır (Şekil 1b). Bu deformasyonda, asal gerilme kuvvetlerinin konumları yatayda sıkışma meydana getirerek; ters fayların ya da bindirme faylarının oluşumuna yol açmaktadır. Son olarak ortaç gerilme kuvvetinin (σ_2) düşey, en büyük (σ_1) ve en küçük asal gerilme kuvvetinin (σ_3) yatay konumda bulunması sonucu ise doğrultu atımlı bir tektonizmanın gelişimine sebep olmaktadır (Şekil 1c). En büyük ve en küçük asal gerilmelerin yatay konumda bulunması, yatayda bir yönde sıkışmalı deformasyonun gelişimine ve bu yöne dik yönde gerilmeli bir deformasyonun gelişimine neden olmaktadır. Bu yüzden doğrultu atımlı fayların oluşumu ile sonuçlanan bu deformasyon mekanizmasında, hem sıkışmalı hem de genişlemeli tektonik yapı oluşumları görülmektedir.



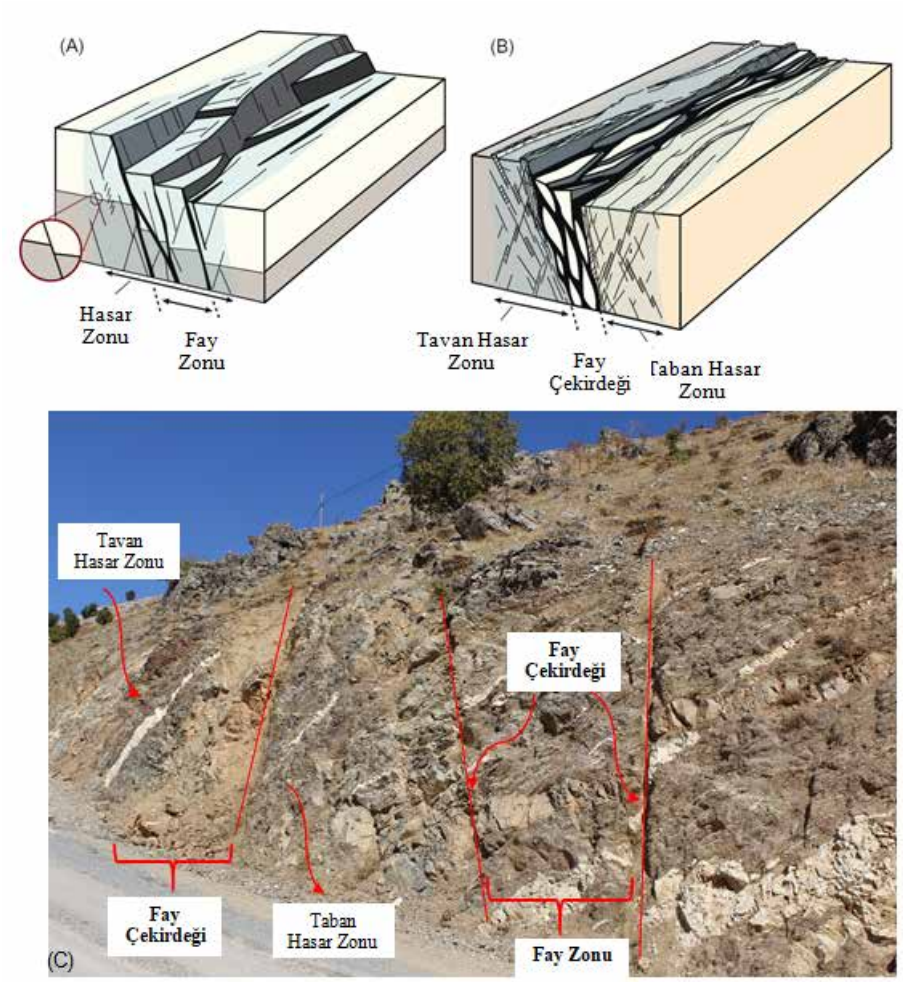
Şekil 1. *Asal gerilme kuvvetlerinin farklı fay mekanizmalarındaki durumu (Fossen, 2010).*

Faylarda kayma hareketinin geliştiği düzleme fay düzlemi veya fay aynası denir. Fay düzleminin üst kısmında kalan bloğa tavan bloğu, alt kısmında kalan bloğa ise taban bloğu adı verilir. Fay düzleminin her iki yanındaki bloklar, bu düzleme sürtünerek ve değişik doğrultularda kayarak birbirlerine nazaran yer değiştirirler. Faylanmanın türü bu bloklardaki

yer değişimine göre saptanır. Fay blokları aşınmaya bağlı olarak görülmediğinde, fay düzlemi üzerindeki belirteçler bize fayın kinematiği hakkında önemli bilgiler verir. Bloklar görülmesi durumunda dahi, fayın hareket mekanizması (kinematiği) için fay düzlemi üzerindeki kinematik göstergeler incelenmelidir. Fay düzlemleri üzerindeki belirteçler fayın hareketini ve türünü kavramamızda ne kadar önemliyse, bu hareket sırasında köken kayaçtan türeyerek oluşan fay kayaçları da hareketin yaşını belirlemek açısından oldukça önemlidir. Bu kayaçların gelişimi ve özellikleri için fay zonu süreçlerinden ve fay kayaçları için önerilen sınıflamalardan bahsedilecektir.

2.2. Fay Zonu Süreçleri ve Fay Kayaçları

Faylar genelde çok belirgin düzlem veya yüzey boyunca gelişen hareketler ile temsil edilirler. Deformasyonun yoğun olduğu kesimlerde bir fay yerine birbirine paralel, yarı paralel gelişen veya birbirlerini kesen fay parçalarından oluşan fay zonları meydana gelebilir (Şekil 2A). Fay zonları son derecede dinamik sistemlerdir ve doğal olarak sıvı basıncı ve akışında döngüsel değişiklikler gösterir (Sibson vd, 1988). Fay zonları farklı yapısal özelliklerden oluşan deformasyon zonlarıdır. Bu zonlar, yer değiştirmenin çoğunu barındıran ve kataklastik malzeme, çentik (Chester ve Logan, 1986; Faulkner vd., 2011) veya fay kili (Clausen vd., 2003) ile karakterize edilen yüksek deformasyon zonundan oluşur. Bu yüksek deformasyona uğramış fay kayaçları aynı zamanda "**fay çekirdeği**" olarak tanımlanır (Şekil 2B) ve sismik veya asismik olabilen ana kaymanın odak noktasıdır (Shipton vd., 2006). Fay çekirdeği içinde, köken kayaç dokusunu kaybederek parçalanır ve fay kayaçlarına dönüşür. Bu, köken kayaç dokusunu deforme ve yok eden, kesilmiş, ezilmiş veya breşleşmiş çok çeşitli malzemeleri kapsar (Sibson, 1977). Mukavemeti zayıf olan kayaçlarda ise net bir kırık gelişmeden ötelenme ve deformasyon gelişerek, makaslama zonları oluşur. Derinlik ve dolayısıyla metamorfizma derecesi arttıkça makaslama zonu genişliyor.



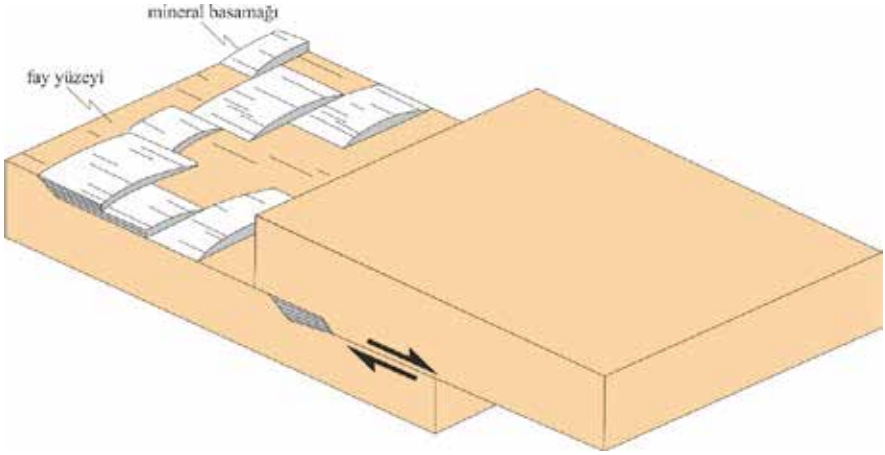
Şekil 2. *Fay zonları ve farklı unsurların şematik ve arazi görünümleri.* **(A)** *İki ya da daha fazla dar yüksek deformasyon zonu üzerinde lokal kayma (Siyah çizgi kayma düzlemi ya da fay çekirdeğini göstermektedir),* **(B)** *düşük deformasyonlu hasar zonunun çevrelediği merkezde kalın bir fay çekirdek gösteren yüksek yer değiştirme fayı (Fossen, 2020),* **(C)** *Adıyaman civarında fay çekirdeklerini gözlemlediğimiz faylanmış bir mostra görünümü.*

Fay boyunca toplam kayma miktarı ile fay kayacının kalınlığı arasında doğrusal bir ilişki söz konusudur (Robertson, 1983; Scholz, 1987). Şekil 2C'de fotoğrafın sol tarafındaki yer değişimi daha fazla olduğu için kalın bir fay çekirdeği gelişimi meydana gelmiştir. Sağ tarafta ise daha küçük yer değişimlerinin olduğu fay zonunu görmekteyiz. Hasar zonu fay kayacını çevrelemektedir. Hasar zonları genellikle kırık ya da deformasyon kuşağı (Fossen vd., 2007) olarak ifade edilen, fayla ilişkili tüm deformasyonları

içeren alan olarak tanımlanır (Vermilye ve Scholz, 1998). Hasar zonunun genişliği, bir fayın tavanı ve tabanına göre genellikle asimetriktir. Bu asimetri, fayın tavan ve taban bloğunda gelişen farklı gerilme koşulları ile bağdaştırılmaktadır (Knott vd., 1996). Hasar zonunun asimetrisi, doğrultu atımlı faylar için de gözlemlenmiştir (Brandes ve Tanner, 2020).

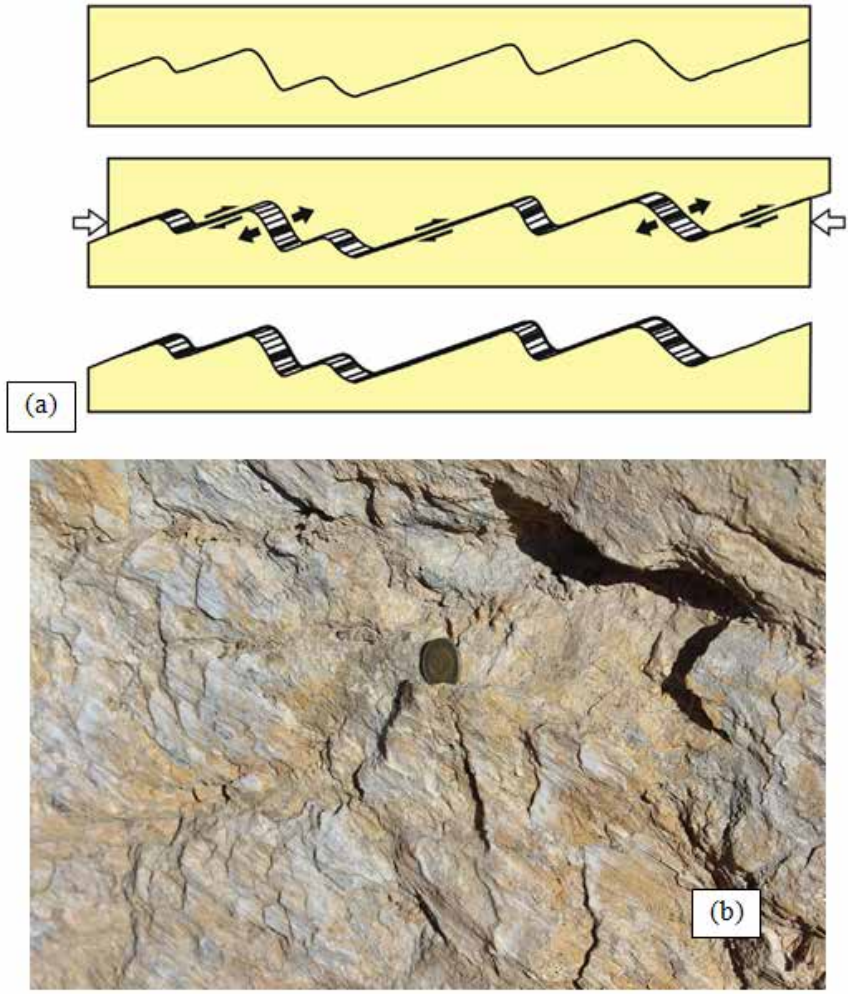
Kırılgan bir fay zonu, önceden var olan veya yeni gelişmekte olan ikincil makaslama veya genişleme kırıklarının aşamalı olarak birleşmesiyle oluşur. Hasar zonu, fayın gelişimi sırasında biriken tüm deformasyonların olduğu son aşamayı temsil eder ve sonuç olarak, fayın gelişimi boyunca fay ucunda geçici olarak oluşan işlem zonundan ayrılması gerekir. Fay gelişimi sırasında, işlem zonu hasar zonu haline gelir (Fossen, 2010). Hasar zonu altere malzeme (Schulz ve Evans, 1998) içerebilir veya bir alterasyon halesi ile belirlenebilir. Sonuç olarak, çeşitli çalışmalar hasar zonlarını sıvı akış modellerine dahil etmiştir (Cacace vd., 2013; Romano vd., 2017). Tüm fay zonlarının hidrolik özellikleri büyük ölçüde litolojiye, deformasyon bantlarının veya kırıklarının varlığına, fay zonunun gelişimine ve derinliğe bağlıdır. Bu nedenle, fay zonlarının yapısal jeolojik karakteri, hidrolik özelliklerin belirlenmesi açısından önemlidir. Böyle bir yapısal karakterizasyon, tüm ölçeklerdeki akış simülasyon modellerinin temelidir (Choi vd., 2016). Faylardaki hasar zonları, yeraltı sıvı akışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Kırılma yoğunluğu ve yarıklar, yeraltı sıvı akışı için kontrol faktörü olup, yarıklar en büyük etkiye sahiptir. Karbonat kayalardaki genişlemeli fay hareketlerinde oluşan açılma çatlakları en etkili akışkan kanallardır (Kim ve Sanderson, 2010).

Bir diğer önemli kinematik gösterge olan mineral basamaklarında, mineral tipi ana kayaya veya fay boyunca akan sıvılara bağlıdır. Tipik mineraller arasında kuvars, kalsit, serpantinit, pirit, klorit ve turmalin bulunur. Genellikle mineral basamağı kayganlaşır, böylece kayganlığın üzerinde büyüdüğü çatlaklar bir yönde pozitif kayma hissini belirlemeyi mümkün kılar (Şekil 3). Fay üzerinde devam eden hareket, genellikle mineralize yüzeyin parlatılmasına neden olabilir. Kayma vektörüne paralel büyüyen mineral basamakları hareketin yönünü saptamada ne kadar önemli bir rol oynuyorsa, hareketin yaşının saptanmasında da bir o kadar öneme sahiptir.



Şekil 3. *Fay oluşumu sırasında gelişen kayma düzlemi ve üzerinde gelişmiş mineral basamaklarının şematik görünümü (Brandes ve Tanner, 2020).*

Fay düzlemi üzerinde kayma ile ilişkili olarak bazı yapılar meydana gelir. Bunların en önemlileri fay çizikleri ve fay kertikleridir. Fay yüzeyi veya ana kayma yüzeyi, fay hareketinin çoğunun üzerinde yoğunlaştığı yüzeydir (veya dar yüksek deformasyon bölgesi). Bu yüzey genellikle mineral basamaklarının büyümesinden kaynaklanan kayma yüzeyi ile karakterize edilir. Kayma yüzeyi veya kayma çizikleri (kaygan - parlak), fayların yüzeyinde ve aslında, makaslama yer değişimini barındıran herhangi bir yüzeyde çizgisel mineral büyümesi veya mekanik aşınmalardır (Şekil 4 a&b).



Şekil 4. *(a) Fay boyunca gelişen sarsıntıların mineral liflerin büyümesine yol açtığı kaygan yüzey evrimi. (Brandes ve Tanner, 2020), (b) Adıyaman/Sürgü civarında faylanmaya bağlı gelişmiş kayma yüzeyi ve üzerinde gelişmiş mineral başmaklarının düzlem görünümü.*

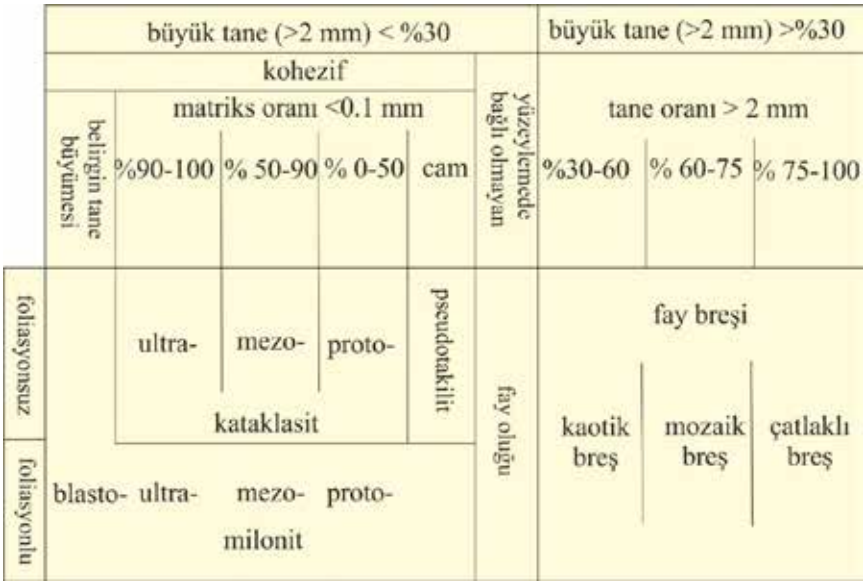
Faylarda gelişen kırılma ve blokların birbirleri üzerinde sürtünerek yer değiştirmesi, fay düzlemi veya fay zonundaki kayaçların parçalanıp ufalanmasına yol açar. Fay zonu boyunca kayaçların kırılıp, parçalanması ve breş oluşumu, buralarda yeraltı sularının veya çeşitli kimyasal solüsyonların hareketi için son derece elverişli bir ortam hazırlar. İçerisinde çeşitli maddeleri erimiş olarak bulunduran yeraltı suları bu çatlak ve kırıklar içerisinde dolaşırken, zamanla içerdiği kimyasal maddeler kristal haline dönüşerek, breş zonundaki boşlukları doldurur. Böylece kırıklı, çatlaklı ve breşik fay

zonları, zamanla çeşitli mineral yoğunlaşmalarına sahip olur. En çok rastlanan mineralizasyon, kuvars oluşumu ile meydana gelen silisleşmedir. Bu olay sadece kuvars oluşumu için değil, diğer minerallerin çökelmesi için de geçerlidir. Bazı fay zonlarındaki mineralizasyonda ekonomik değere sahip önemli cevherleşmelerin geliştiği de görülür. Fayın çekirdeği, "atımın çoğunun barındırıldığı fayın yapısal, litolojik ve morfolojik kısmı" olarak tanımlanmıştır. Birçok fay veya fay zonunun iç anatomisi, bir merkezi fay çekirdeği ve onu saran hasar zonunun basit iki yönlü sınıflandırmasına uyar. Bir fay çekirdeği, hem protolit litolojisine hem de hidrotermal alterasyon derecesine bağlı olarak (Caine vd., 1996) yüksek deformasyonlu malzemelerden (Mitchell ve Faulkner, 2009) oluşabilir. Bunlar; pekişmemiş kil bakımından zengin oyukları veya jeokimyasal olarak değiştirilmiş breşleri ve kataklasitleri içerir (Caine vd., 1996). Doğası, ilgili kayalara bağlıdır; şeyl kolayca bir kil ezik zonu oluştururken, kireçtaşı, kumtaşı ve magmatik kayaçlar tipik olarak farklı türlerde kataklasitler ve breşler geliştirir. Sığ kabuk seviyelerinde yeniden aktifleşmeye maruz kalan büyük faylar, daha büyük derinlikte fay hareketleri sırasında oluşan daha bağlı bir kataklasit dış çekirdek içinde bağlı olmayan malzemenin merkez çekirdeğini gösterebilir. Blokların değişken şekilde deforme olmuş mercekleri, fay çekirdeğinin ayrılmaz bir parçasını oluşturabilir veya belirli bir boyutun üzerinde olduğunda, bir fayın ayrı bir mimari öğesi olarak düşünülebilir (Fossen, 2020).

Yer değiştirmenin çoğunluğunun fay çekirdeği içindeki malzeme tarafından barındırıldığı düşünüldüğünde (Sibson, 1977), çoğu tane boyutunda bir azalma ve buna bağlı geçirgenlik ve gözeneklilik gösterir. Bu tür fay kayaçlarının dokusal özelliklerine dayalı bir sınıflama şeması Higgins (1971) ile Sibson (1977) tarafından geliştirilmiş olup; bu sınıflamalar Killick (2003) ile Woodcock ve Mort (2008) tarafından revize edilmiştir. Woodcock ve Mort (2008) tarafından yeniden düzenlenen sınıflamada fay breşinin tanımı tane boyuna dayalıdır (Şekil 5). Fay breşleri 2 mm'den daha büyük boyuta sahip %30'dan daha fazla tane içerirken, fay olukları tam tersine bağlı olmayan ve 2 mm'den daha büyük boyutta %30'dan daha az tane içermektedir (Woodcock ve Mort, 2008). Fay breşleri ve fay olukları 10-15 km derinlik üzerinde oluşmaktadır (Sibson, 1986 a;b).Woodcock ve Mort (2008) tarafından önerilen sınıflamada kataklasitler ve milonitler yalnızca milonitlerde gelişen foliasyonun varlığı ile ayırt edilmektedir. Ayrıca kataklasitler ve milonitler matriks oranına göre alt sınıflara ayrılmıştır. Proto-kataklasitler ve proto-milonitler %0-50 arasında matrikse sahip olup, 0.1 mm'den daha küçük tane boyuna sahiptir. Artan matriks içeriğine göre mezo- kataklasitler /mezo-milonit (%50-90 matriks) ve ultra- kataklasitler /ultra-milonit (% 90-100 matriks) olarak isimlendirilir (Woodcock ve Mort, 2008).

Psödotakilitler ise, ana kayma yüzeyinde oluşan camsı veya çok ince taneli bir malzemedir. Sadece kayma yüzeyi boyunca değil, damarlarda

da oluşurlar ve fay düzlemi parçalarının kapanımlarını içerebilirler (Maddock, 1983; Trouw vd., 2010). Psödotakilitler tipik olarak koyu renkli ve camsı görünümdedir. Adını bazaltik cam takilitine benzediği için almıştır. Ayrıca camsı bu kayaç, söndürme dokularına sahip kristaller içerebilir. Psödotakilitler ayrıca sıkışmalı yapılarının metamorfik kayalarında da bulunur. Bunun nedeni, yaygın görüşün sismik bir olayla ilişkili olan hızlı fay hareketi gibi hızlı sürtünmeli kaymaya neden olduğudur (Sibson, 1975).



Şekil 5. *Fay kayaçlarının tane boyutuna göre sınıflaması (Woodcock ve Mort, 2008; Brandes ve Tanner, 2020'den düzenlenmiştir).*

3. Fay Kayaçlarında Uygulanabilecek Yaş Tayini Yöntemleri

Fayın karakteri ve kinematik davranışının saptanmasında olduğu kadar, faylanmanın meydana geldiği zamanın bilinmesi de büyük önem taşımaktadır. Tektonik çalışmaların temelini oluşturan fayların hangi zamanda geliştiğini saptamak, özellikle paleostres çalışmalarında fazları belirmede oldukça değerlidir. Bundan dolayı özellikle arazi çalışmalarında sin-sedimanter faylar olarak tanımladığımız, sedimantasyon dönemi ile eş zamanlı oluşmuş faylar kinematik çalışmaların anahtar parçalarıdır (Şekil 6). Birimin yaşı bize bu faylarında aktif olduğu zamanı ifade etmektedir.

Şekil 6. *Paleostres analizlerinde kronolojik anlamda büyük önem taşıyan sinsedimanter fayların mostra görünümü.*

Sismik aktivitelerin yani fay oluşumlarının yaşının belirlendiği bir diğer çalışma disiplini ise paleosismoloji çalışmalarıdır. Aktif tektonik gözlemlere ve tarihsel deprem verilerine dayalı olarak belirlenen alanda açılan hendekler boyunca eski fay oluşumları tespit edilmektedir. Bu sismik olayları birbirinden ayıran özellikle eski toprak seviyeleri yani paleosoller tarihsel depremlerin zamanını saptamada kullanılır.

Aktif tektonikte bir diğer çalışma özellikle çok genç yaş veren alüvyonlar, taraçalar ve fay terasları gibi genç oluşumlardır. Bu tür çalışmalarda arazide morfolojik gözlemler dikkatle yapılarak, bu genç çökellerin fay tarafından etkilenip (kesilip, ötelenip, yükselmesi gibi ilişkiler) etkilenmediğinin belirlenmesi fayın aktivitesi ve yaşını belirlemede oldukça faydalıdır. Taraça ve fay terasları eski su seviyelerini bize göstermektedir (Şekil 7). Bu taraça ve fay teraslarının bazıları su seviyesi değişimleri ile oluşamayacak kadar günümüz su seviyesinden oldukça yüksekte bulunmaktadır. Fay oluşumuna bağlı olduğu tespit edilen bu genç seviyelerin yaşı faylanmanın taban yaşını belirlememizi sağlamaktadır. Kısacası fay etkilediği bu genç birimlerin yaşından daha gençtir.

Şekil 7. *Deformasyonun zamanını belirlemede oldukça önemli olan fay terasları ve kolüvyal birikintilerin mostra görünümü.*

Fay kayaçları da fay oluşumu sırasında köken kayaçlardan yeniden türeyerek meydana gelmektedir. Bazen küçük bir mineral basamağının gelişimi meydana gelirken, deformasyonun artan şiddeti haritalanacak boyutlarda milonit ve kataklasit zonlarının gelişimine yol açmaktadır. Bu anlamda fay kayaçları, doğrudan faylanmaya bağlı gelişmiş olduğu için uygun yaş yöntemini kullanarak sağlıklı yaş verisi alabileceğimiz materyallerdir. Özellikle fay kayaçlarının jeokimyasal içeriğinin iyi analiz edilmesi, doğru yaş tayini yönteminin kullanılması için önemli bir işlem basamağıdır. Yaş verisi tespit edebilmek için çeşitli tarihlendirme yöntemleri bulunmaktadır. Göreceli yaş belirleme ve belli bir zamanı gösteren karakteristik fosillere dayalı yapılan yaş belirleme yöntemlerinin yanı sıra; günümüzde analitik yaş metotları yaygın olarak kullanılmaktadır. Radyometrik ve radyometrik olmayan bu analitik yöntemler fay kayacının jeokimyasal özelliklerine göre uygulanır.

Radyometrik yaş tayinleri (U-Th-Pb,^{40}Ar-^{39}Ar, K-Ar, ^{14}C, Rb-Sr yöntemleri) elementlerin yarılanma ömrüne dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada karar verilecek yöntemler hem fay kayacının jeokimyasına uygun seçilmeli hem de kullanılacak yöntemin hangi yaş aralığı kapsadığına dikkat edilmelidir. Mesela yarı ömürleri çok kısa olduğu için U-Th-Pb bozunma serisinin birçok üyesi Pleyistosen olaylarının yaşlandırılmasında kullanılmaz (Faure, 1986). Ancak U serisi yaş tayini yöntemi özellikle Kuvaterner yaşlı sedimanlar, karbonat, silis ve fosil kalıntılar

(mercan) için güvenilir olarak kullanılmaktadır. Uranyum serisi, mağara çökellerinin tarihlendirilmesinde en sık kullanılan yöntemdir. Bu yöntem ile mağara çökellerinde birkaç bin yıldan 350 bin yıla kadar tarihlendirme yapılabilmektedir. ^{40}Ar-^{39}Ar yöntemi ile sadece jeolojik materyalin yaşı değil aynı zamanda termal geçmişini de ortaya koymak için kullanılır (Faure, 1986). Bu yöntemin uygulanacağı örnek günümüzden en az 10000 yıl öncesine ait olmalıdır. Hornblend, muskovit, biyotit, sanidin, anortoklaz, mikroklin, plajiyoklaz, adularya, ortoklaz ve K evaporitler gibi mineraller ile sleytler, su içermeyen volkanik camlar ve bazaltlar gibi kayaçlara uygulanır. Uygun mineral ve kayaçların bulunduğu genç tektonik olayların tarihlendirilmesinde kullanılabilecek bir yöntemdir. ^{14}C yöntemi özellikle paleosismoloji çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. ^{14}C'ün yarılanma ömrü 5600 yıl gibi çok kısa bir süre olduğu için, 50000 yıldan daha yaşlı kayaç ve fosillerde yaş saptaması bakımından iyi sonuç vermemektedir. Molluska kabukları, biyojenik veya inorganik olarak çabuk oluşmuş kireçtaşları ($CaCO_3$), kemik, diş, ağaç-bitki kalıntıları, kabuk, mercan gibi çok çeşitli materyaller üzerinde bu yöntem uygulanabilir.

Radyometrik olmayan yaş tayinleri (termolüminesans [TL] yöntemi, elektron spin rezonans [ESR] yöntemi, optik uyarımlı lüminesans [OSL] yöntemi) elektronlardan çıkan enerji ölçümlerine dayanmaktadır. Termolüminesans yöntemi kayaca ıs verilerek elektronlarda depolanan radyoaktif enerjinin açığa çıkmasını sağlayan bir yöntemdir. Sedimanter (sedimanlardaki kuvarslar kullanılarak) ve volkanik kayaçlar için çoğunlukla kullanılan bir yöntemdir. Buzul bölgelerde oluşmuş ve o bölgeleri kapsayan depozitler (özellikle los yatakları), silt yatakları, kumullar ve kum örtüleri, volkanik kül ve cam, kolüvyal ve alüvyal materyaller, delta ve göl kıyı çökelleri, arkeolojik yapılar, mağara çökelleri (Debenham ve Aitken, 1984), mercanlar ile turba ve bataklık çökellerinin tarihlendirilmesinde kullanışlı bir yöntemdir.

Optik uyarımlı lüminesans (OSL) yöntemi, termolüminesans yöntemi ile oldukça yakın bir yöntemdir. Aradaki fark örnek alımı ve tayinde ısı yerine ışık kullanılarak enerjinin salınmasını sağlamaktır. OSL sinyalleri ışığa aşırı derecede duyarlıdır. Örnekler toplanırken bu önemli bir durumdur. Örnekler herhangi bir ışığa maruz kalmamış olmalıdır. Kuvaterner'e ait örnekler için uygulanan bir yöntemdir. Volkanik ürünler ve sedimanlar için kullanılır. Sedimanter kayaç içindeki kuvars ve feldispatlara uygulanır. Yaş tayini yaklaşık -/+ %10 hata payı ile yapılabilir (Rink,1997). Yine genç tektonik hareketleri saptayabilmek için uygun bir yaş yöntemidir. Menderes masifindeki Kuvaterner deformasyon hızını saptamak için Kuvaterner depolanmaları olan akarsu taraçaları ve alüvyal fanlara OSL yöntemi uygulanmıştır. Aktif fayların etkisi ile yükselen taraçaların yüzeylerinden deformasyon zamanı tespit edilmiştir (Özpolat vd., 2020).

Elektrik spin rezonans (ESR) yöntemi bir lüminesans tekniği değildir; fakat lüminesans teknikleri ile aynı prensibi paylaşır. Termolüminesans yöntemi kadar hassas olmamasına karşı, farklı olarak kemik, deniz kabukları (örneğin molluskalar, foraminiferler, mercanlar) ve dişler üzerinde uygulanabilmektedir (Çetin vd., 1994). Volkanik materyallerdeki kuvars, ESR yöntemi ile Kuvaterner volkanlarının yaş tayini için kullanılmaktadır. Bunların dışında sedimanlar ve mağara çökelleri içinde bu yöntem kullanılmaktadır. Fay aktivitesini değerlendirmek için fay oluğundaki killerin kuvars tanelerine elektron spin rezonansı (ESR) tarihlemesi uygulanmıştır. ESR yöntemi, orijinal olarak, fay hareketi sırasında kuvars taneciklerinde ESR sinyallerinin tamamen sıfırlanmasına dayanmaktadır (Ikeya vd., 1982; Miki ve Ikeya, 1982; Fukuchi, 1995).

Özellikle son zamanlarda yaygın olarak kullanılan Uzaydan yeryüzüne ulaşan kozmik radyasyonun (nötron ve müon akısının) atmosfer ve kayaçları oluşturan mineral atomları ile etkileşmesi sonucu duraylı ve radyoaktif nüklidler (çekirdek) oluşturdukları bilinmektedir (Davis ve Schaffer, 1955; Lal, 1988). Çeşitli atomların kozmik kökenli parçacıkların doğal bombardımanı sonucunda oluşan ^{3}He, ^{10}Be, ^{14}C, ^{21}Ne, ^{26}Al ve ^{36}Cl gibi izotopların kayaçtaki miktarı, parçacık bombardıman süresi ile orantılı olmaktadır. Bombardıman ile oluşan izotop miktarının düşük olması nedeniyle, söz konusu miktarın ölçülmesi ancak, günümüzde dünyada sınırlı sayıda bulunan, hızlandırıcılı kütle spektrometrelerinde yapılabilmektedir. Anılan ölçümlerle, Pliyosen'den (>2.65 my) (Ivy-Ochs vd., 1995) günümüze (Ballantyne vd., 1998; Vand der Woerd vd., 1998) kadar uzanan zaman aralığında kayaçların yüzeylenme süresi güvenilir olarak ve düşük hata payı ile belirlenebilmektedir (Çiner, 2003). Bu yöntemin en sık kullanıldığı alan buzulların aşındırdığı yüzeyler ile morenler içindeki blokların yüzeylenme zamanlarının belirlenmesine bağlı olarak buzulların ilerleme evrelerinin saptanmasıdır (Phillips vd., 1990; Zreda vd., 1994, 1999; Zreda ve Phillips, 1995; Steig vd., 1998, Çiner, 2003; Çiner vd.; 2017; 2019; Sarıkaya vd., 2017). Ayrıca bu kozmojenik yaş tayini Ecemiş fayının ana kolu boyunca normal fayların jeokronolojisini ortaya çıkarmak için alüvyal fan yüzeylerine ve moloz fan yüzeylerine uygulanmıştır (Yıldırım vd.,2016).

Fayların ne zaman aktif olduğunu ve deformasyon süreçlerinin zamanını belirlemek aktif tektonik için büyük önem taşımaktadır. Özellikle Pliyo-Kuvaterner yaşlı genç olayların zamanlarının belirlenmesi deprem risklerinin değerlendirilmesine büyük fayda sağlamaktadır. Sadece cevherleşme zonu olarak değil aynı zamanda tektonik olayların zamanlarının hesaplanabilmesi için, fay kayaçlarında bu yöntemlerin uygulama teknikleri geliştirilmeli ve yaygın olarak uygulanmalıdır.

KAYNAKLAR

Ballantyne, C., Stone, J.O.H. and Fifield, L.K., 1998. Cosmogenic Cl-36 dating of postglacial landsliding at The Storr, Isle of Skye, Scotland. The Holocene, 8 (3), 347-351.

Brandes, C., Tanner, D.C., 2020. Fault mechanics and earthquakes. Understanding Faults, 12, 11-80.

Cacace, M., Blocher, G., Watanabe, N., Moeck, I., Borsing, N., Scheck-Wenderoth, M., Kolditz, O., Huenges, E., 2013. Modelling of fractured carbonate reservoirs: outline of a novel technique via a case study from the Molasse Basin, southern Bavaria, Germany. Environ. Earth Sci., 70, 3585-3602.

Caine, J.S., Evans, J.P., Forster, C.B., 1996. Fault zone architecture and permeability structure. Geology 24/11, 1025-1028.

Chester, F.M., Logan, J.M., 1986. Implications for mechanical properties of brittle faults from observations of the Punchbowl fault zone, California. Pure Appl. Geophys. 124, 79-106.

Choi, J.-H., Edwards, P., Ko, K., Kim, Y.-S., 2016. Definition and classification of fault damage zones: a review and new methodological approach. Earth Sci. Rev. 152, 70-87.

Clausen, J.A., Gabrielsen, R.H., Johnsen, E., Korstgard, J.A., 2003. Fault architecture and clay smear distribution. Examples from field studies and drained ring-shear experiments. Norw. J. Geol. 83, 131-146.

Çetin, O., Özer, A. M., Wiesert, A. 1994. "ESR Dating of Tooth Enamel from Karain Excavation (Antalya, Turkey)", Quaternary Science Reviews 13, 661-669.

Çiner, A. 2003. Turkish Glaciers and Glacial Deposits. In: Quaternary Glaciations in Europe. J. Ehlers (ed.)., Elsevier Pub.

Çiner, A., Sarıkaya, M.A., Yıldırım, C. 2017. Misleading old age on a young landform? The dilemma of cosmogenic inheritance in surface exposure dating: Moraines vs. rock glaciers. Quat Geochronol 42:76-88.

Çiner, A., Stepišnik, U,, Sarıkaya, M.A., Žebre, M., Yıldırım, C. 2019. Last Glacial Maximum and Younger Dryas piedmont glaciations in Blidinje, the Dinaric Mountains (Bosnia and Herzegovina); insights from 36Cl cosmogenic dating. Mediterr Geosci Rev 1(1):25-43.

Davis, R.J. and Schaeffer, O.A., 1955. Chlorine-36 in nature. Annals New York Academy of Science, 62, 105-122.

Debenham, N.C and Aitken , M.J., 1984. Thermoluminescence dating of stalagmitic calcite, Archaeometry, 26, 155-170pp

Faulkner, D.R., Mitchell, T.M., Jensen, E., Cembrano, J., 2011. Scaling of fault damage zones with displacement and the implications for fault growth processes. J. Geophys. Res. 116, B05403.

Faure, G. 1986. Principles of Isotope Geology. John Wiley & Sons, New York.

Fossen, H., 2010, Structural Geology: Cambridge University Press, C. 16, 311-329.

Fossen, H., 2020, Fault classification, fault growth, and displacements: Regionlal Geology And Tectonics, C. 8, 119-147.

Fossen, H., Schultz, R.A., Shipton, Z.K., Mair, K., 2007. Deformation bands in sandstone a review. J. Geol. Soc. 164, 755-769.

Fukuchi, T., 1995. Direct ESR dating of fault gouge using clay minerals and the assessment of fault activity. Engineerin Geol., 43, 201-211.

Higgins, M.W., 1971. Cataclastic rocks. In: Geological Survey Professional Paper, vol. 687. United States Government Printing Office, Washington, 97 p.

lkeya, M., Miki, T. and Tanaka, K., 1982. Dating of a fault by ESR on intrafault materials. Science, 215: 1392-1393.

Ivy-Ochs, S., Schlüchter, C., Kubik, P.W., Dittrich-Hannen, B. and Beer, J., 1995. Minimum ^{10}Be exposure ages of early Pliocene for the Table Mountain Plateau and the Sirius Group at Mount Fleming. Dry Valleys, Antarctica. Geology, 23, 1007-1010.

Killick, A.M., 2003. Fault rock classification: an aid to structural interpretation in mine and exploration geology. S. Afr. J. Geol. 106, 395-402.

Kim, Y.-S., Sanderson, D.J., 2010. Inferred fluid flow through fault damage zones based on the observation of stalactites in carbonate caves. J. Struct. Geol. 32, 1305-1316.

Knott, S.D., Beach, A., Brockbank, P.J., Brown, J.L., McCallum, J.E., Welbon, A.I., 1996. Spatial and mechanical controls on normal fault populations. J. Struct. Geol. 18, 359-372.

Lal, D., 1988. In situ produced cosmogenic isotopes in terrestrial rocks. Annual Review of Earth and Planetery Sciences, 16, 355-388.

Maddock, R.H., 1983. Melt origin of fault-generated pseudotachylites demonstrated by textures. Geology 11 (6), 105-108.

Miki, T. and Ikeya, M., 1982. Physical basis of a fault dating with ESR. Naturwissenschaften, 69: 390-391.

Mitchell, T.M. and Faulkner, D.R. 2009. The nature and origin of off-fault damage surrounding strike-slip fault zones with a wide range of displacements: A field study from the Atacama fault system, northern Chile. Journal of Structural Geology, 31, 802-816.

Özpolat, E., Yıldırım, C., Görüm, T. 2020. The Quaternary landforms of the Büyük Menderes Graben System: the southern Menderes Massif, western Anatolia, Turkey. Journal of Maps, 16-2.

Phillips, F.M., Zreda, M., Smith, S.S., Elmore, D., Kubik, P.W. and Sharma, P., 1990. Cosmogenic chlorine-36 chronology for glacial deposits at Bloody Canyon, Eastern Sierra Nevada. Science, 248, 1529-1532.

Rink, W. J. 1997. Electron Spin Resonance (ESR) Dating and ESR applications in Quaternary science and archaeometry. Radiation Measurements, 27: 975-1025.

Robertson, E.C., 1983. Relationship of fault displacement to gouge and breccia thickness. Am.Inst. Min. Eng. Trans. 274, 1426-1432.

Romano, V., De'Haven Hyman, J., Karra, S., Valocchi, A.J., Battaglia, M., Bigi, S., 2017. Numerical modeling of fluid flow in a fault zone: a case study from Majella Mountain (Italy). Energy Procedia 125, 556-560.

Sarıkaya, M.A., Çiner, A., Yıldırım, C. 2017. Cosmogenic 36 Cl glacial chronologies of the Late Quaternary glaciers on Mount Geyikdağ in the Eastern Mediterranean.Quaternary Geology, 39.

Scholz, C.H., 1987. Wear and gouge formation in brittle faulting. Geology 15, 493-495.

Schulz, S.E., Evans, J.P., 1998. Spatial variability in microscopic deformation and composition of the Punchbowl Fault, southern California: implications for mechanisms, fluid-rock interaction, and fault morphology. Tectonophysics 295, 223-244.

Shipton, Z.K., Soden, A.M., Kirkpatrick, J.D., Bright, A.M., Lunn, R.L., 2006. How thick is a fault? Fault displacement-thickness scaling revisited. Earthquakes: radiated energy and the physics of faulting. Geophys. Monogr. Ser. 170, 193-198.

Sibson, R.H., 1975. Generation of pseudotachylyte by ancient seismic faulting. Geophys. J. R. Astron. Soc. 43, 775-794.

Sibson, R.H., 1977. Fault rocks and fault mechanisms. J. Geol. Soc. Lond. 133, 191-213.

Sibson, R.H., 1986a. Brecciation processes in fault zones: inferences from earthquake rupturing. Pure Appl. Geophys. 124 (1-2), 159-175.

Sibson, R.H., 1986b. Earthquakes and rock deformation in crustal fault zones. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 14, 149-175.

Sibson, R.H., 1988. Earthquake faulting as a structural process. J. Struct. Geol. 11, 1-14.

Steig, E.J., Wolfe, A.P. and Miller, G.H., 1998. Wisconcinian refugia and the glacial history of eastern Baffin island, Arctic Canada: Coupled evidence from cosmogenic isotopes and lake sediments. Geology, 26, 835-838.

Trouw, R.A.J., Passchier, C.W., Wiersma, D.J., 2010. Atlas of Mylonites and Related Microstructures. Springer-Verlag, Berlin, Germany, ISBN 978-3-642-03607-1, 322 p.

Vand der Woerd, J., Ryerson, F.J., Tapponier, P., Gaudemer, Y., Finkel, R., Meriaux, A.S., Caffee, M., Guaguand, Z. and Quanlu, H., 1998. Holocene left-slip rate determined by cosmogenic surface dating on the Xidatan segment of the Kunlun fault (Qinghai, China). Geology, 26 (8), 695-698.

Vermilye, J.M., Scholz, C.H., 1998. The process zone: a microstructural view of fault growth. J. Geophys. Res. 103 (B6), 12223-12237.

Woodcock, N.H., Mort, K., 2008. Classification of fault breccias and related fault rocks. Geol. Mag. 145, 435-440.

Yıldırım, C., Sarıkaya, M.A., Çiner, A. 2016. Late Pleistocene intraplate extension of the Central Anatolian Plateau, Turkey: Inferences from cosmogenic exposure dating of alluvial fan, landslide and moraine surfaces along the Ecemiş Fault Zone: Normal Faulting in the Ecemiş Fault zone. Tectonics, 35-6.

Zreda, M., Phillips, F.M. and Elmore, D., 1994. Cosmogenic ^{36}Cl accumulation in unstable landforms. Simulations and measurements on eroding moraines. Water Resources Research, 30 (11), 3127-3136. rocks. Earth and Planetary Science Letters, 105, 94-109.

Zreda, M. and Phillips, F. M. 1995. Insights into alpine moraine development from cosmogenic ^{36}Cl buildup dating, Geomorphology, 14 (2), 149-156.

Zreda, M., England, J., Phillips, F.M., Elmore, D. and Sharma, P., 1999. Unblocking of the Nares Strait by Greenland and Ellesmere ice-sheet retreat 10 000 years ago. Nature, 398, 139-142.

Bölüm 26

DERİ VE DERİ MAMULLERİ KARAKTERİZASYONUNDA KULLANILAN GELİŞMİŞ TEKNİKLER

Meruyert KAYGUSUZ[1]
Nuray Olcay IŞIK[2]

1 Doç. Dr., Pamukkale Üniversitesi, Denizli Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Denizli, TÜRKİYE, meruyertk@pau.edu.tr
2 Dr. Öğr. Üyesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Meslek Yüksekokulu, Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Bölümü, Çorlu, Tekirdağ, TÜRKİYE, nry.isik@gmail.com

GİRİŞ

Mamul deri çeşidi büyük ölçüde ham deri şekline, kalınlığına ve özellikle de tabaklama türü ile alt işlentilerine göre değişmektedir. Tüm derilerin ortak özelliği, kolajen liflerinin birbirlerine üç boyutta sarılmış ve ağ gibi dolanmış liflerden olmasıdır. Deri bu özel dokusu sayesinde esneklik, yumuşaklık ve mukavemet gibi mükemmel yapı gösterir. Derinin diğer bir özelliği ise büyük oranda su çekebilme özelliğidir ve çekilen suyun büyük oranı deri liflerine kimyasal olarak bağlanmakta, ancak doygunluk durumunda fazla su lifler arasında serbest kalmakta ve yumuşaklık ortaya çıkmaktadır (Covington, 2009). Böylece deri, giysi ve ayakkabı için uygun bir materyal niteliğindedir. Öte yandan esneme özelliği nedeniyle istenen form verilebilmekte ve bu formunu uzun süre muhafaza edebilmektedir. Derinin bilinen en iyi özelliklerinden biri de ısı izolasyonudur. Kolajen lif demetleri arasındaki kapalı hava boşlukları sayesinde deri iyi bir izolasyon maddesi olabilmektedir. Bunların dışında işlenmesi sırasında gerek yaş işlemlerde gerekse finisaj işlemlerinde çeşitli varyasyonlarla deriye başka özellikler de kazandırılabilir (Sarkar, 1996). Finisajlı bitmiş derilerde de kalite ve değer farklılıkları söz konusudur. Deri işlemede kullanılan teknoloji düzeyleri, makine ve kimyasallar bu farklılıklardan sayılır. Ancak asıl önemli olan fark ham maddenin karakterinden kaynaklanmaktadır.

Mamul olarak üretilmiş ve kullanıma sunulan deri çeşitlerinin belirlenmesi, ham derinin ortaya konması, yapısının belirlenmesi, hangi işlemlere tabi tutulduğu, işlemlerde kullanılan kimyasalların belirlenmesi, mamul derinin içerdiği maddelerin belirlenmesi, yasaklı maddelerin mamul deride olup olmadığının belirlenmesi, kalite kontrol anlamında mamulün istenilen özellikleri taşıyıp taşımadığının belirlenmesi gibi amaçlarla deri ve deri mamullerine birtakım ileri analiz teknikleri uygulanmaktadır. Bu teknikler, başta arkeolojik ve işlenmiş deriler olmak üzere (Edwards et al., 2001; Larsen, 2002; Odlyha et al., 2003; Bicchieri et al, 2011; Chudzik, 2019), son teknolojik gelişmeler örneğin, plazma, iyon implantasyon, çeşitli nano kaplamalar ile işlem gören derilerin karakterize edilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi amacıyla da kullanılmaktadır (Kaygusuz et al., 2020; Aslan et al., 2015). Bu yöntemlerde ekonomiklik, materyale tahribat vermeme, hızlı ve doğru sonuçlar elde etme gibi faktörler önem teşkil etmektedir.

ANALİTİK ARAŞTIRMAYLA SAĞLANAN BİLGİLER

Son yıllarda, analitik tekniklerin sayısı, klasik kimyasal ve fiziksel analiz kapsamı genişletilerek önemli ölçüde artmıştır. Genellikle, derinin kimyasal bileşimi ve morfoloji ile ilgili analitik verilerden, üretim teknolojileri ve tekniklerinin karakterizasyonu, ayrıca, söz konusu derilerin üretim tarihi, ait olduğu hayvan ve üretildiği coğrafik bölge ile ilişkin bilgiler net bir şekilde ortaya konulabilmektedir. Belgeleme, belli bir tarihsel

dönemde kullanılan pigment tanımlanmasından ya da belirli bir sanatsal tekniğin belirlenmesiyle ilgili analitik verilere göre yapılabilmektedir. Analitik veriler, özellikle tarihi derilerin korunma durumunun yanı sıra onun bozunma mekanizmaları ve nedenlerinin tespit edilmesi için gereklidir. Analitik veriler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir (Doménech-Carbó et al., 2009):

(A) Morfolojik bilgiler. Teknik inceleme, derinin boyutu, şekli ve üretim yöntemi gibi hasar mevcudiyeti ile ilgili bilgileri de sağlar. Derinin incelenmesi, yüzeyinin belirli bir kısmı ya da bir kesit olarak hazırlanan bir mikro örneğe göre yapılabilir.

(B) Fiziksel bilgiler. Derinin mekanik davranışını yaygın olarak belirleyen özellikleri arasında, yoğunluk, Young modülü, kopma mukavemeti, basınç dayanımı ve bükülme dayanımı yer almaktadır. Diğer fiziksel özellikler ise derinin gözenekli yapısı ile ilgili olanlardır – yani su buharı geçirgenliği, su emme ve geçirme katsayısı.

(C) Kimyasal bilgiler. Kalitatif ve kantitatif kimyasal bilgiler kullanılan analitik tekniğe göre çok farklı olabilir. Element bileşimi bir olağan veri türüdür. Fonksiyonel gruplar veya tam moleküler yapısının, hücre parametrelerin tanınması dâhil olmak üzere yapısal bilgiler de temin edilebilir. Kalorimetrik veriler termoanalitik tekniklerle edinilebilir. Kromatografik yöntemlerde, organik bağlayıcıların nitel tanımlanması için proteinlerdeki amino asitler, kuru yağlardaki yağ asitleri, ya da monosakkaritler gibi orijinal polimerik malzemelerden belirlenebilir. Bazen, özellikle de arkeolojik eserlerin temizlenmesi ve onarımında sağlamlaştırılmasının (konsolidasyonunun) kontrol edilmesinde, katı ile dengede bulunan çözeltilerin pH'sı, iletkenliği, ya da iyonik türlerinin konsantrasyonu gibi özelliklerinin belirlenmesi de ilgi konusu olabilir. Kimyasal ve morfolojik bilgiler, uygun algılama sistemi vasıtasıyla örnek alanlarının veya kısımlarının taranmasıyla toplanabilir. Sonra da örneğin incelenen bölgesinin bileşim haritalanması elde edilir. Laboratuvarda yapılan yaşlandırma çalışmaları, derinin kısa, orta ve uzun vadeli aralıklardaki davranışını açıklayan teorik modellerin teyidi için yararlıdır. Bu tür çalışmalarda, (oksidasyon, redüksiyon, polimerizasyon, hidrasyon, dehidratasyon, dehidrojenasyon, vb. bir nedenle) oluşan bozunma ürünleri, hedef bileşiklerdir. Üç boyutlu (3D) diyagramlar, farklı zamanlarda elde edilen spektrum ya da diğer karakteristik eğrilerinden oluşturulabilir.

(***D) Biyolojik bilgiler.*** Biyolojik çalışmalar, (mantar, yosun, bakteri veya mikroorganizmaların yanı sıra, böcekler, bitkiler, vb...) saldıran türlerin tanımlanmasına, onların metabolik aktivite sonucu oluşan ürünlere veya onların deri ile etkileşimi sonucu ortaya çıkan bozunma ürünlerine odaklanmaktadır. Mikroorganizmaların tanımlanması ve çeşit (tür) miktarlarının belirlenmesi ön çalışmaların görevlerindendir. Bunu takiben,

metabolik aktivite sonucu olan reaksiyon yolları, enstrümantal teknikler aracılığıyla sağlanan verilerden ortaya konulur. Derinin, biyolojik aktiviteden ötürü meydana gelen morfolojik ve kimyasal değişimleri yukarıda açıklanan yöntemlere göre tespit edilir (Doménech-Carbó et al., 2009).

DERİ ve DERİ MAMULLERİ KARAKTERİZASYONUNDA KULLANILAN TEKNİKLER

Deri ve deri mamullerinin yapısı, morfolojisi ve kimyasal bileşimine ilişkin bilgi veren çeşitli bilimsel yöntemler mevcuttur. Deri ve deri mamullerin karakterizasyonu, genellikle, derinin küçük bir kısmının madde bileşiminin klasik analitik prosedürler veya enstrümental yöntemler ile belirlendiği noktasal analiz ile birleştirilmektedir. Tarihi deriler ise örneklerin benzersiz ve eşsiz olmalarından dolayı, tahribatsız ya da en azından mikro tahrip edici analize tabi tutulmaktadır. Bununla birlikte, bir çok enstrümental teknik örneğin kısmi veya tam tahribatını gerektirir. Böylece, ilgili prosedüre bağlı olarak, analiz tahrip edici ya da tahribatsız olarak kabul edilebilir ve malzemenin yüzeyine uygulanır. Kullanılan enstrümental tekniğe bağlı olarak, ölçümler doğrudan bir numunenin üzerinde yapılabilir ve elde edilen veriler panoramik veya sıralı olabilir.

Morfoloji ile İlgili Bilgi Sağlayan Analizler

Derinin, topolojik, morfolojik ve dokusal bilgilerini sağlayan enstrümental yöntemlerin çoğu mikroskopik tekniklerine dayanmaktadır. Işık mikroskobun (LM), teknik incelemelerde öncül olmasına rağmen, elektron mikroskobu ve atomik kuvvet mikroskobu gibi diğer mikroskopik teknikler daha da geliştirilmiş olup, ışık mikroskobu ile yaşanan problemlerin üstesinden gelinmiştir. Derinin morfolojik karakterizasyonunda uygulanan yöntemler ve teknikler incelenerek çok sık kullanılanlar ortaya çıkarılmıştır.

Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu ışık yerine elektronların kullanıldığı bir mikroskoptur. Taramalı elektron mikroskobunda numune üzerine gönderilen elektron demeti numune ile etkileşime girerek değişik sinyaller oluşturur. Bu sinyaller (ikincil elektronlar, geri yansıyan elektronlar, X-ışınları v.b.). Bir örnek parçasının yüzeyini ya da içini elektronlar yardımı ile gösteren büyüteçlere elektron mikroskobu denir. SEM, çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibiyle çalışır. 5X-300.000X arası büyütme kapasitesine sahiptir. Elektron kaynağı tungsten filamenttir. Yüzey mikro yapıyı görüntüleyerek tanecik boyutu ve farklı kristollagrafik fazları dedekte etme kabiliyetine sahiptir. Uygun dedektörlerle toplanarak görüntü elde edilmesinin yanında element analizi bilgisi de sağlanabilmektedir.

SEM cihazı tarihi derilerde hasar ve bozunma derecesinin belirlen-

mesinde (Larsen, 2003; Della Gatta et al., 2005; Badea et al., 2008), mamul derilerde mikro yapıdaki değişimin deri gözenekleri, rengi ve parlaklığın değerlendirilmesinde, farklı nano kaplama ve plazma uygulanan derilerde ise hem yüzey özellikleri hem de kesitlerde katman oluşumunun belirlenmesinde kullanılmaktadır (Lkhagvajav et al., 2015; Kaygusuz et al., 2018). Kesit incelemesinde lif dokusu, incelik, uzunluk, hacim ve karmaşıklık bakımından farklılık göstermektedir. Ayırt edici cilt yapısı ve hayvan türlerine göre değişen lif dokusu doğal derilerin mamul hale gelmesinde önemli unsurlardır (Harmancıoğlu, 1998). SEM ile cilt yapısı incelenerek derinin hangi hayvana ait olduğu teşhisi yapılabilmektedir (Mirghani et al., 2012; Jawahar et al., 2016).

Atomik kuvvet mikroskobu (AFM)

Atomik kuvvet mikroskobu, yüzey görüntüleme ve moleküler düzeyde yüzey görüntüleme amacıyla kullanılan ve yakın geçmişte gelişen bir görüntüleme tekniğidir. Mikroskop olarak en önemli avantajı, özel bir hazırlama işlemi uygulamadan örneklerin doğrudan ve hemen her ortamda görüntülenmesidir. Bu özellikleri nedeniyle derilerin nanometre boyutlarında yüzey özelliklerinin incelenmesi amacıyla gittikçe yaygınlaşan bir uygulama yöntemidir.

AFM'nin elektron mikroskobuna göre çeşitli avantajları göze çarpar; elektron mikroskobunda iki boyutlu bir gösterim bulunurken AFM gerçek üç-boyutlu bir yüzey profili çıkarabilir. AFM kullanılırken numune görüntüleri için numuneye zarar verecek ya da şeklini değiştirecek özel ekipmanlara (metal/karbon) ihtiyaç duyulmaz. Elektron mikroskobu düzgün bir çalışma için maliyeti yüksek bir vakuma ihtiyaç duyarken AFM havada ya da sulu bir ortamda rahatlıkla görevini yapabilmektedir. 5 - 15 nm aralığında çalışılarak yüksek çözünürlük sağlamaktadır.

AFM parşömen derilerdeki bozunma tespiti için kullanılmış ve deri kolajeninin, mikron altı ölçekte karakteristik bir sarmal lifsi yapı sergilediği gözlemlenmiştir. Kolajenin düzenli yapısındaki lif şişmesi, yüzey kırışıklığı ve jelatinleşmesinin belirli alanlarında değişiklikler göstermesi tarihi derilerin bozunması şeklinde yorumlanmış ve AFM cihazının deri yüzeyi durumu hakkında tahribatsız bir şekilde bilgi sağladığı bildirilmiştir (Bartoletti et al., 2017).

Plazma işlemi gören deriler AFM ile incelendiğinde N_2 gazı ile aktivasyonunun kolajen liflerini sıkılaştırdığı, O_2 ile aktivasyon yapılan derilerde ise liflerin daha gevşek bir yapıda olduğu, hem gazlarla plazma aktivasyonu hem de HMDSO ile plazma kaplaması uygulanan deri üzerinde oluşturulan filmlerin homojen bir görünüme sahip olduğu ve kolajen liflerini kapladığı gözlemlenmiştir (Koizhaiganova et al., 2017).

Transmisyon elektron mikroskobu (TEM)

Geçirimli elektron mikroskobunda, ince bir katı numune (200 nm den küçük) yüksek monoenerjili elektronlarla bombardımana tutulur. Bu elektronlar enerji seviyelerine bağlı olarak numuneden geçerler veya kırınıma uğrarlar. Kırınıma uğrayan elektronlar difraksiyon paterni oluşturarak malzemenin atomik yapısı hakkında bilgi verirler. Numuneden geçen elektronlar ise malzeme içindeki atomları ile etkileşime bağlı olarak hem atomik yapı hem de malzeme kusurları hakkında bilgi verirler. TEM yüksek elektron ışını saçan bir katod ve düzenleyici bir manyetik lensten oluşur. Kısmen iletilen elektron ışınları çok ince olan katı numunenin (50–200 nm) iç yapısı ile ilgili bilgiler verir. Daha sonra seri halindeki manyetik lenslerle CCD (yüklü-çift cihaz) kamerasına benzer florasan ekran, fotografik ekran ya da hassas sensörlere çarpana kadar büyütülür ve son olarak da bir monitör ya da bilgisayarda görüntülenir.

Genel olarak TEM daha çok deri üzerine uygulanan nano kompozit veya nano partikül içeren kaplamaların değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Pan et al., 2017; Serge et al., 2019). TEM cihazı parşömen derilerin kolajen yapısındaki değişimleri gözlemlemek için de kullanılmıştır (Puchinger et al., 2003.)

Enerji dağılım spektroskopisi (EDS)

Malzeme içindeki atomlar yüksek enerjili radyasyonla iyonize edildiklerinde karakteristik x-ışını oluştururlar. Bir EDS sistemi yüksek enerjili bir radyasyon kaynağı (genellikle elektronlar), numune, katı hal dedektörü (Si-Li) ve sinyal işleme ünitelerinden oluşur. Dedektör tarafından algılanan x-ışınları sinyal haline dönüştürülerek belirli şiddetlere sahip piklerden oluşan x-ışını enerji histogramı haline dönüştürülür. Bu x-ışını histogramı ile malzemedeki her bir elementin tipi ve miktarı belirlenebilir. EDS spektrometreleri genellikle elektron kolonuna sahip cihazlara bağlanmış şekilde bulunurlar.

Parşömen deriler, üretim süreçlerine bağlı olarak Al, Si, Mg, K vb. gibi mineraller ve bileşiklerini içerebilir. Günümüzde farklı ülkelerde çeşitli parşömen üretim yöntemleri mevcuttur. EDS cihazı ile tarihi parşömenlerin üretiminde kullanılan bazı kimyasallar konusunda bilgi alınabilir (Bicchieri et al., 2011; Bicchieri et al., 2019). Ayrıca EDS cihazı ile farklı tabaklama, finisaj yöntemleri ve nano malzemeler ile işlenen derilerin mineral içeriğinin belirlendiği gibi plazma ile işlem görmüş derilerin de element analizleri yapılabilmektedir (Koizhaiganova et al., 2016; Koizhaiganova et al., 2017; Kaygusuz et al., 2018).

X-ışınlı Analiz Yöntemleri ile Sağlanan Bilgiler

X-ışını kırınımı spektroskopisi (XRD)

X-ışınları kırınımı spektroskopisi yani X-ray diffraction (XRD) spektroskopisi olarak da bilinen yöntem isminden anlaşılacağı üzere ultraviyole ışından daha kuvvetli fakat gamma ışınından daha zayıf enerjili x-ışını kullanılarak yapılan analizi temel alır. Bu aletler ile yapılan karakterizasyonda örnek türüne göre değişik uygulamalar görülmektedir. Ayrıca dedektör ve ışın doğası da önemli etkenlerdir. Çalışma prensibi olarak örneğe X-Işını göndererek kırılma ve dağılma verileri toplanması söylenebilir. Kristal yapısına göre ışını farklı açılarda ve şiddette kıran örneklerin çok hassas biçimde analizleri yapılabilmektedir. XRD'yi çok kullanışlı hale getiren faktör kristal yapılarında parmak izi hassaslığında veri toplayabilmesi ve bu verilerin güvenilir olmasıdır.

X-ışını difraksiyonunda, dalga boyu 0,5Å – 2Å aralığında olan x-ışınları numune üzerine gönderilir, kristalin fazlardan Bragg kanununa göre kırınıma uğrayan x-ışınları bir patern oluşturur. Bu difraksiyon paternleri ile kristalin malzemenin fazları, yapısal özellikleri (boyut ve oryantasyonları) ve konsantrasyon profili belirlenebilir.

XRD tekniği parşömenin bozunması (Kennedy and Wess, 2005) ve X-ışını mikro tomografiye maruz kaldıktan sonra parşömen numunelerinde kolajende değişiklik olduğuna dair herhangi bir kanıtın olup olmadığını araştırmak için kullanılmıştır (Patten et al., 2013). Farklı konsantrasyonlarda kromla tabaklanmış sığır derisi kolajen liflerinin yapısal özellikleri ve krom iyonu konsantrasyonunun kolajen lifler üzerindeki etkisi XRD ile incelenmiştir. Gözlemler, kolajendeki moleküler düzenlemenin tabaklama işleminde kullanılan krom iyonlarının konsantrasyonuna bağlı olduğunu göstermiştir (Maxwell et al., 2006). Ayrıca XRD analizi zeolit, hidroksiapatit, bentonit, montmorillonit gibi minerallerin katılımı ile hazırlanan deri işleme maddelerinin karakterizasyonunda kullanılmaktadır (Yılmaz et al., 2009; Koizhaiganova et al., 2016a).

X-ışını floresan spektroskopisi (XRF)

Enerji dağılımı X-ışını floresans analizi (XRF), sıvı, katı, toz her çeşit numunede elementel analiz yapmak için kullanılan tahribatsız analitik tekniklerden biridir. Bu yöntemin başlıca avantajları kısa analiz süresi, duyarlılık, kullanım kolaylığı, hasarsız inceleme yöntemi olması ve düşük fiyatlı ekipmanlarla gerçekleştirilebilmesidir. X-ışınlarına maruz kalan malzemelerin atomları iyonize olurlar. İyonize olan atomlar bir veya daha fazla sayıda elektron kaybederler. Yüksek enerjili X-ışınları atomların daha içteki yörüngelerinden elektronların koparılmasını sağlayabilir. İç yörüngeden elektron yitirilmesi bu yörüngede bir boşluk oluşmasına ve üst yörüngelerdeki elektronların bu boşluğu doldurmasına neden olmak-

tadır. Bu durumda iki yörünge arasındaki enerji farkına karşılık gelecek şekilde foton biçiminde enerji açığa çıkar. Bu ışıma malzemede bulunan atomların karakteristik enerjisine sahip radyasyon biçiminde gerçekleşir. Bu enerjilerin tespit edilmesi ile malzeme nicel ve nitel olarak karakterize edilir. Numune üzerine gönderilen X-ışını ile oluşan floresan X-ışınları kristal spektrometre ile analiz edilerek farklı açılardan gelen pik şiddetlerine bağlı olarak malzeme elementleri ve konsantrasyonları belirlenir.

Tarihi parşömen (Manso et al., 2007) ve kitap kaplamasında derilerin içerdiği mineral elementler bileşimi tayini X-ışını floresansı (XRF) ile analiz edilmiştir. XRF spektrumlarından elde edilen sonuçlara göre, derilerde işlenme yönteminden kaynaklı Ca, K, S, Cu, Pb, Zn ve Fe elementler tespit edilmiştir. İncil figürlerini temsil eden baskılı deri kapaklarla süslenmiş örneklerin XRF sonuçlarına göre, altın ve gümüş elementlerinin dekorasyon için kullanıldığı ortaya çıkmıştır (Vornicu et al., 2015). XRF, renkli derinin temel bileşimini ve deride alüminyum varlığını araştırmak için kullanılmıştır. Çalışmada, incelenen deri örneklerin renklendirme tekniklerinin tane katmanının dolgusuna bağlı olduğunu, derinin renklendirilmesinde kırmızı bir toprak pigment kullanıldığı ortaya çıkmıştır (Elnaggar et al., 2017). Diğer bir çalışmada XRF analiz sonucunda tarihi derilerin Ca, Al ve Fe gibi bazı elementler içerdiği ve bu elementlerin kıl giderme, kireç giderme ve tabaklama işlemlerinden gelebileceği belirtilmiştir (Luo et al., 2011).

Küçük açılı X-ışını saçılması (SAXS)

Nanoskopik ölçekli yapı analizlerinde kullanılan küçük açılı X-ışını saçılma (SAXS) yönteminde, incelenecek olan örnek üzerine düşürülen ve küçük açıda saçılmaya uğrayan X-ışının şiddeti, saçılma açısının bir fonksiyonu olan, saçılma vektörünün büyüklüğüne göre elde edilir. Elde edilen bu verilerden de yapı ile ilgili bilgilere ulaşılmaktadır. Saçılma olayı, örneği oluşturan yapıdaki elektronlar ile gerçekleştirilmektedir. Bu yüzden, bu yöntem, elektron yoğunluğu farkının algılanabilmesi temeline dayanmaktadır.

SAXS yöntemi birkaç angströmdan (Å), yaklaşık 100 nanometreye (nm) kadar uzanan büyüklükte, homojen olmayan (yani farklı elektron yoğunluklarına sahip nano oluşumların içerdiği) elektron yoğunluklarına duyarlıdır. Elektron yoğunluk farkları, çoklu fazlar içeren malzemelerde, pozitif olabildiği gibi negatif değerlere de sahip olabilmektedir. Yani yoğun nano parçacıklar içeren yapıların yanında daha az yoğunluğa sahip, gözenekli yapılar da bu yöntem ile incelenebilmektedir. Bu nedenle, her iki tür elektron yoğunluk farkı ve dağılımı gösterebilen polimer malzemeler için SAXS analizleri çok daha yaygın biçimde yapılmaya başlanmıştır. Bu yöntemle, katı, toz, sıvı, jel ve de yoğun gaz gibi farklı formlardaki örneklerin yanı sıra, biyolojik dokular üzerinde de ayrıntılı incelenebilmektedir (Kaya, 2019).

Son teknolojik gelişmeler, SAXS ölçümlerinin hem bir numunenin büyük kısmı hem de bir numunenin derinliği boyunca nanoskopik analizine izin vermektedir. Parşömen örneklerinin küçük açılı X-ışını saçılması (SAXS) analizi, kolajenin moleküler yapısında bozulmaya eşlik eden değişiklikleri ortaya çıkarmıştır. SAXS desenleri, parşömen içindeki kalsitin varlığını ortaya çıkarmıştır ki bu, ya tebeşirle yüzey işleminden ya da söndürülmüş kirecin içine daldırılarak üretim işleminden kaynaklanabilmektedir (Kennedy et al., 2004).

SAXS cihazı kullanılarak çekme sonrası sığır ve koyun derisinin yapısı, genel deri işleme ve yağlama proseslerinde kolajen yapısındaki değişiklikler araştırılmıştır (Basil-Jones et al., 2011; Sizeland et al., 2015; Zhang et al., 2018; Sizeland et al., 2015a). Ayrıca, kolajen lifleri ve çapraz bağlayıcıların yapısı ile ilgili detaylara ulaşmak için bu yöntemden yararlanılmıştır (Zhang et al., 2019). X-ışını saçılması, deri matriksindeki fibriler kolajenin, eksenel periyodiklik, fibril çapı, kimyasal fiksasyon, hidrasyon ve fibriler oryantasyon dahil yapısal özelliklerini araştırmak için kullanılabilir. Derinin görünüm, tutum, mukavemet, hidrotermal stabilite ve çürümeye karşı direnci gibi temel özellikleri bu parametrelerle yakından bağlantılıdır ve bu nedenle deri çalışmalarında son zamanlarda önem kazanmıştır (Buchanan et al., 2019). Derinin hem finisaj hem de plazma işlemi ile modifikasyonundan sonra önce deri yüzeyinde ve ardından kolajen liflerinde meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır (Kaygusuz et al., 2020).

Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Malzeme içindeki kimyasal olarak bağlı yapıların titreşimsel hareketleri kızılötesi elektromanyetik bantta frekanslara sahiptir. Kızılötesi deneylerde radyasyon demetinin şiddeti (ışık frekansının birer fonksiyonu olarak) numune etkileşimi öncesi (I_0) ve sonrası (I) ölçülür. Frekansa karşılık I/I_0 diyagramı kızılötesi spektrumu verir.

FTIR, Matematiksel Fourier Dönüşümü metodu ile bir frekans dizisinden oluşan kırmızı ötesi sinyalini frekanslarına ayıran ve her birini şiddeti ile gösteren işlem sonucunda ölçüm yapar. Organik ve inorganik bileşiklerin her ikisinde de karakter tanımlanması için kullanılabilir. Bu teknik, çeşitli kızılötesi ışık dalga boylarının absorbsiyonunu materyalin yapısı itibariyle ölçme amaçlı ele alır. Bu kızılötesi absorbsiyon bantları spesifik moleküler bileşikleri ve yapılarını tanımlar. Avantaj olarak X-ışınlarının yetersiz olduğu araya giren sistemlere uygulanabilirliği ve dökümlü sistemlere karşı olan esnekliği gösterilebilir.

FTIR cihazı deri işlem süreci boyunca kolajende meydana gelen kimyasal değişimlerin ortaya konulması için uzun zamandan beri kullanılmaktadır. FTIR, parşömen deriler için tahribatsız hızlı bir tarama testi

sağlamaktadır. Tarihi parşömen incelendiğinde, kalsiyum karbonat ve diğer inorganik maddelerin varlığı kolaylıkla tespit edilebilmiştir (Odlyha et al., 2009). Parşömen derilerde zamanla yapısal bozulmanın meydana gelmesi kolajenin jelatinleşmesini ve rastgele sarmal içeriğinin sarmal olana kıyasla yaşlanmayla arttığını gösteren Amid I ve II bantlarının analizinden de ortaya çıkmıştır (Boyatzis et al., 2016).

Tabaklanmış derinin karakterizasyonu için çeşitli analitik teknikler geliştirilmiştir. FTIR'nin önemli bir analiz aracı olarak gücü, hayvan postları ve deri gibi karmaşık biyomalzemelerdeki yapı ve yapısal değişiklikleri inceleme yeteneğinde yatmaktadır (Bajza et al, 1997). Deri proteininin yanı sıra krom tabaklanmış derinin spektroskopik karakterizasyonu FTIR ile gerçekleştirilmiş ve kromun aktif kolajen bölgelerine nasıl bağlanabileceği belirlenmiştir (Nashy et al., 2012). En yaygın bitkisel tabaklama materyalleri (kondanse, hidrolize ve gallotanenler) FTIR ile incelenmiş ve üç farklı kimyasal tanen sınıfının spesifik titreşim bantları tespit edilmiştir (Falcão and Araújo, 2013). Ayrıca, bazı çalışmalarda deri finisaj veya bitirme işlemlerinin (reçine, mum/yağ veya cilt düzeltme) doğru şekilde tanımlanmasını sağlamak (Cantero et al., 2009) ve deri kaplama işleminin karakterizasyonu için kızılötesi spektroskopinin potansiyeli değerlendirilmiştir (Kaygusuz et al., 2018a). Son zamanlarda FTIR-ATR, kolajenin karakteristik özelliklerini kullanarak %30 derinin deri benzeri malzemeden ayırt edilmesinde kullanılmıştır (Narayanan and Sreeram, 2019).

Raman spektroskopisi

Raman spektroskopisi, dalga sayısının bir fonksiyonu olarak kristalin malzemedeki moleküler titreşimlerin uyarılması ile inelastik ışın saçılımının sonucudur. Bu yöntemde molekül ile etkileşen ışığın dalga boyuna göre saçılan ışığın dalga boyunda oluşan farklar ölçülür. Bu farklar Raman kayması olarak adlandırılır. Işın kaynağı olarak sürekli bir gaz lazeri kullanılır.

Raman spektroskopisi yöntemi ile daha çok nitel analiz yapılır. Bu amaçla izlenen yol. infrared spektrumlarının yorumunda izlenen yola benzer. Bir molekülün Raman ve infrared spektrumlarının birlikte değerlendirilmesi ile nitel analiz daha kolaylaşır.

Moleküllerin yapısında bulunan -C=C-: -C≡C-, -N=N-. -S-S-, -C-O-C- türü titreşimler ile halkalı bileşiklerde gözlenen halka daralması-halka genişlemesi titreşimi oldukça şiddetli Raman hatlarının gözlenmesine yol açar. Böylece infrared spektrumunda şiddeti az olan bu bantlar Raman yöntemi ile rahatça ölçülebilir.

Raman Spektroskopisi, deri tabaklanması ve tüm işlemlerde kullanılan inorganik maddelerin tespitinde ve miktarlarının belirlenmesinde kullanılabilmektedir. Deri işlemede kullanılan ve belli bir miktarın üze-

rinde olması istenmeyen ve atığa geçebilen maddelerin varlığının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biridir (Kolomaznik et al., 2012). Bunun yanında özellikle arkeolojik derilerde, derilere uygulanan boyaların ve pigmentlerin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır (Burgio et al., 2008). Deri üzerinde uygulanacak nanokompozit çalışmalarında da Raman spektroskopisinden yararlanılan analizler mevcuttur (Kaygusuz, 2019).

Radyokarbon Tarihleme Yöntemi

Arkeolojik kazılarda ele geçen buluntuların bir kısmı, içinde karbon elementi bulunan çeşitli organik buluntulardır. Karbon içeren organik buluntularda eser olarak bulunan radyoaktif 14C (radyokarbon) izotopunun yoğunluğu ya da radyoaktivitesi ölçülerek söz konusu buluntular ve bu buluntuların ele geçtiği tabakalar ve kontekstler tarihlenebilir. Radyokarbon tarihleme yöntemi, bulunduğu 1950 yılından günümüze, yaklaşık son 50 bin yılda yeryüzünde meydana gelen arkeolojik, paleobotanik ve yerbilimsel olayların mutlak tarihlenmesi için kullanılan ana yöntem durumuna gelmiştir. Arkeolojik kazılarda ele geçen ve karbon içeren her organik buluntu radyokarbon yöntemiyle tarihlenebilir. Tarihlenmek üzere toplanan buluntulara örnek adı verilir. Tarihlenecek örnekler olarak ağaç parçaları, odun kömürü, kurumuş bitkiler, tahıl taneleri, dokuma parçaları, deri, hayvan kabukları, kemik, yemek artıkları sayılabilir.

Uzaydan atmosferin üst tabakalarına gelen kozmik ışınların her yönden eşit miktarda geldiği gözlenir. Bu nedenle 14C izotopunun oluşma hızı ile canlılardaki yoğunluğunun eski zamanlardan günümüze aynı olması beklenir ve böyle olduğu varsayılır. Fakat 14C hemen parçalanmaya başlar ve atmosferde bir denge derişimine erişir: 1 g karbon için 1 dakikada 15.3 parçalanmadır. 14C karbondioksidin yapısına girer ve fotosentez ile bitkilerin ve dolayısıyla hayvanların yapısına girer. Bitki ve hayvanlar canlıyken yapılarında 14C denge derişiminde bulunur. Fakat öldükten sonra dışarıdan karbon alınması duracağından zamanla 14C miktarı azalır. 5730 yıl geçtiğinde ise yarı yarıya azalmış olur.

"Dead Sea Scrolls" ismiyle bilinen dinsel yazıtların orijinal belgeler olduğunu Karbon 14 yöntemi ile kanıtlaması Prof. Willard Frank Libby'e Nobel ödülünü kazandırmıştır. 1948 yılında Kudüs dolaylarında bir mağara içinde bulunan, rulo şeklinde sarılmış deri şeritlerin M.Ö. 2. yüzyıla ait olduklarını saptamıştır. Deri üzerinde okunan dini yazılar İncil'in günümüze kadar tahrif olmadan geldiğinin kanıtı sayılmıştır (Anonim, 2020).

SONUÇ

Bu çalışmada, karakterizasyonda kullanılan yöntemler genel olarak anlatılmış ve tarihi deriler ve parşömen başta olmak üzere, mamul derilerin karakterizasyonunda uygulanan analizler ile ilgili her tekniğe ilişkin

birkaç örnek vermek suretiyle teknikler tanıtılmıştır. Ayrıntılı bir karakterizasyon için, olası ve mevcut araştırma yöntemi ile tüm bilgileri toplamak çok önemli ve yararlıdır. Analitik teknikler ve özellikle son zamanlarda yaygın kullanılan elektroanalitik teknikler yeni ve daha özel bilgiler sağlamaktadır. Bu özellikler, gelişmiş analitik teknikleri uygun bir konuma getirmekte ve onların deri karakterizasyonunda yeni ve güçlü bir analitik araç olarak kullanılmasında umut verici bir gelecek vaad etmektedir.

Deri ve deri mamullerinde yapılan rutin analizlere paralel ve destekleyici olarak kullanılan ileri analiz teknikleri her geçen gün artmakta ve analiz sonuçları daha da güvenilir hale gelmektedir. Araştırmacılar çalışmalarında farklı materyallere uygulanan ileri analiz yöntemlerini derilere de uygulamakta ve çoğunlukla bu teknikler derilerde de doğru sonuçlar vermektedir. Önemli olan şey araştırmacıların sabrı ve araştırmaya istekli olmalarıdır. Bütün bunlar göz önüne alındığında ileri analiz tekniklerinin kullanımı deri ile ilgili bilinmeyen bırakmamakta, bu durum deri mühendislerine ve deri kullanıcılarına bir çok avantaj sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

Anonim, 2020. (https://www.turkcebilgi.com/karbon-14_yas_tayini) Erişim tarihi 19.09.2020.

Aslan, A., Öztarhan, A., Açıkel, S.M., Oks, E.M., Nikolayev, A.G. (2015). Properties of Metal and Metal-Gas Hybrid Ion Implanted Chrome-tanned Leather Surfaces, *J. Soc. Leather Technol. Chem*., 99(5), 209-215.

Badea E., Miu L., Budrugeac P., Giurginca M., Mašic A., Badea N., Della Gatta G. 2008. Study of Deterioration of Historical Parchments by Various Thermal Analysis Techniques Complemented by SEM, FTIR, UV–VIS–NIR and Unilateral NMR Investıgatıons*, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 91(1), 17-27.

Bajza, Z., Posaric, J., Sugnetic, N. (1997). Application of FT-IR infrared spectroscopy to the study of structural changes of leather during tannery processing. *J. Soc. Leather Technol. Chem*., 81, 219-223.

Bartoletti, A., Odlyha, M., Hudziak, S., Mühlen Axelsson, K., de Groot, J., Bozec, L. (2017). Visibilia ex invisibilibus: Seeing at the nanoscale for improved preservation of parchment. *Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring* 59(5), 265-272.

Basil-Jones, M. M., Edmonds, R. L., Cooper, S. M., Haverkamp, R. G. (2011). Collagen Fibril Orientation in Ovine and Bovine Leather Affects Strength: A Small Angle X-ray Scattering (SAXS) Study. *J. Agric. Food Chem*. 59(18), 9972-9979.

Bicchieri, M., Monti, M., Piantanida, G., Pinzari, F., Sodo, A. (2011). Non-Destructive Spectroscopic Characterization of Parchment Documents, *Vibrational Spectroscopy* 55, 267-272.

Bicchieri, M., Biocca, P., Colaizzi, P., Pinzari F. (2019). Microscopic observations of paper and parchment: the archaeology of small objects. *Herit Sci*, 7, 47, 1-12.

Boyatzis, S.C., Velivasaki, G., Malea, E. (2016). A study of the deterioration of aged parchment marked with laboratory iron gall inks using FTIR-ATR spectroscopy and micro hot table. *Herit Sci*, 4, 13, 1-17.

Buchanan, J. K., Zhang, Y., Holmes, G., Covington, A. D., Prabakar, S. (2019). Role of X-ray Scattering Techniques in Understanding the Collagen Structure of Leather. *Chemistry Select*, 4, 14091-14102.

Burgio, L., Clark, R. J. H., Muralha, V. S. F., Stanley, T. (2008). Pigment Analysis by Raman Microscopy of The Non- Figurative Illumination in 16th- to 18th- century Islamic Manuscripts, *Journal of Raman Spectroscopy*, 39, 10, 1482-1493.

Cantero, R., Riba, J. R., Canals, T., Izquierdo, L. L., Iturriaga H. (2009). Characterization of Leather Finishing by IR Spectroscopy and Canonical Variate Analysis. *J. Soc. Leather Technol. Chem*., 93, 12-17.

Chudzik, S. (2019). Quality inspection of natural leather using non-destructive testing technique, *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, 1-19.

Covington, A.D. (2009). *Tanning Chemistry: The Science of Leather*, Cambridge, UK, p.384.

Della Gatta, G., Badea, E., Ceccarelli, R., Usacheva, T., Mašic, A., Coluccia, S. (2005). Assessment of Damage in Old Parchments by DSC and SEM, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 82, 637-649.

Doménech-Carbó, A., Doménech-Carbó, M.T., Costa, V. (2009). Application of Instrumental Methods in the Analysis of Historic, Artistic and Archaeological Objects, *Electrochemical Methods in Archaeometry, Conservation and Restoration Monographs in Electrochemistry*, 1-32.

Edwards, H.G.M., Farwell, D.W., Newton, E.M., Perez, F.R., Villar, S.J. (2001). Application of FT-Raman spectroscopy to the characterisation of parchment and vellum, I; novel information for paleographic and historiated manuscript studies. *Spectrochimica Acta A*, 57: 1223-1234.

Elnaggar, A., Leona, M., Nevin, A., Heywood, A. (2017). The Characterization of Vegetable Tannins and Colouring Agents in Ancient Egyptian Leather from the Collection of the Metropolitan Museum of Art. *Archaeometry,* 59 (1), 133-147.

Falcão, L., Araújo, M.E.M. (2013). Tannins characterization in historic leathers by complementary analyticaltechniques ATR-FTIR, UV-Vis and chemical tests, *Journal of Cultural Heritage,* 14, 499-508.

Harmancıoğlu, M. (1998). *Deri Kimyası*. E.Ü. Ziraat Fakültesi Ofset Atölyesi, Bornova, İzmir.

Jawahar, M., Vani, K., Chandra Babu, N. K. (2016). Leather Species Identification Based on Surface Morphological Characteristics using Image Analysis Technique. *J Am Leather Chem Assoc.*, 111, 308-314.

Kaya, P. (2019). Kozmetik Endüstrisinde Kullanılan Bazı Polimerlerin Nano Ölçekli Yapı Özellik İlişkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kaygusuz, M., Meyer, M., Junghans, F., Aslan, A. (2018). Modification of Leather Surface with Atmospheric Pressure Plasma and Nanofinishing, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 57(4), 260-268.

Kaygusuz, M., Işik, N. O., Meyer, M., Aslan, A. (2018a). Leather Surface Refinement with Application of the TiO_2-SiO_2-GLYMO Nanocomposite and Lacquer Coating. *J. Soc. Leather Technol. Chem.*, 102, 234-240.

Kaygusuz, M. (2019). Sol-Gel Synthesis of TiO_2-SiO_2-GLYMO Nanocomposite, *Romanian Journal of Materials*, 49(2), 179-184.

Kaygusuz, M., İde, S., Karaarslan, D. (2020). Nanoscopic investigation on TiO_2-SiO_2-GLYMO nanocomposite coated and plasma treated leathers, *Polymer Plastics Technology and Materials*, 59(9), 1-9.

Kennedy, C. J., Hiller, J. C., Lammie, D., Drakopoulos, M., Vest, M., Cooper, M., Adderley, W. P., Wess, T. J. (2004). Microfocus X-ray diffraction of historical parchment reveals variations in structural features through parchment cross-sections, *Nano Letters*, 4, 1373-1380.

Kennedy, C. J., Wess, T. J. (2005). Parchment Degradation Analyzed by X-Ray Diffraction, Bio- and Material Cultures at Qumran, 215-228, COST Action G8 working group meeting held in Jerusalem, Israel on 22-23 May 2005.

Koizhaiganova Kaygusuz, M., Lkhagvajav, N., Yaşa, İ., Çelik, E. (2016). Antimicrobial Nano-Ag-TiO_2 Coating for Lining Leather, *Romanian Biotechnological Letters*, 21(5), 11866-11874.

Koizhaiganova, M., Yaşa, İ., Gülümser, G. (2016a). Characterization and Antimicrobial Activity of Silver Doped Hydroxyapatite Obtained by The Microwave Method, *Materials Science Medžiagotyra*, 22(3), 403-408.

Koizhaiganova, M., Meyer, M., Junghans, F., Aslan, A. (2017). Surface Activation and Coating on Leather by DBD Plasma on Leather at Atmospheric Pressure, *J. Soc. Leather Technol. Chem.*, 101(2), 86-93.

Kolomaznik, K., Barinova, M., Vaskova, H. (2012). Chromium VI Issue in Leather Waste - A Technology for The Processing of Used Leather Goods and Potential of Raman Spectroscopy in Chromium Traces Detection, *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation*, 6(5), 447-455.

Larsen, R. (2002). *Microanalysis of parchment*. (1st ed. by R. Larsen), Archetype, London, UK.

Larsen, R. (2003). Improved Damage Assessment of Parchment, IDAP: micro and non-destructive analysis and diagnosis for proper storage and treatment, Proceedings of the 5th EC Conference. Cultural Heritage Research: A Pan-European Challenge, Cracow, Poland, 2003.

Lkhagvajav, N., Koizhaiganova, M., Yaşa, I., Çelik, E., Sarı, Ö. (2015). Characterization and antimicrobial performance of nano silver coatings on leather materials, *Brazilian Journal of Microbiology*, 46(1), 41-48.

Luo, W., Si, Y., Wang, H.-M., Qin, Y., Huang, F.-C., and Wang, C.-S. (2011). Leather material found on a 6th B.C. Chinese bronze sword: a technical study. *Spectrochimica Acta*. Part A, Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 79, 1630-1633.

Manso, M., Costa, M., Carvalho, M. L. (2007). From papyrus to paper: Elemental characterization by X-ray fluorescence spectrometry, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* A 580, 732-734.

Maxwell, C.A. Smiechowski, K., Zarlok, J., Sionkowska, A., Wess, T.J. (2006). X-ray studies of a collagen material for leather production treated with chromium salt. *J Am Leather Chem Assoc.*, 101(1), 9-17.

Mirghani, M. E .S., Salleh, H. M., Che Man, Y. B., Jaswi, I. (2012). Rapid Authentication of Leather and Leather Products, *Advances in Natural and Applied Sciences*, 6(5), 651-659.

Narayanan, P., Sreeram, K. J. (2019). Is Screening of Genuine Leather Possible? XXXV. Congress of IULTCS, 25-28 June, Dresden, Germany.

Nashy, E.H., Osman, O.A., Mahmoud, A.A., Ibrahim, M. (2012). Molecular spectroscopic study for suggested mechanism of chrome tanned leather. *Spectrochimica acta*. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy, 88, 171-6.

Odlyha, M., Cohen, N. S., Foster, G. M., Aliev, A., Verdonck, E., Grandy, D. (2003). Dynamic mechanical analysis (DMA), 13c solid state nmr and micro-thermomechanical studies of historical parchment. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 71(3): 939-951.

Odlyha, M., Theodorakopoulos, C., de Groot, J., Bozec, L., Horton, M. (2009). Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy (ATR/FTIR) and Scanning Probe Microscopy of Parchment, *e-Preservatıon Science*, 6, 138-144.

Pan, H., Li, G.-L., Liu, R. Q., Wang, S.X., Wang, X.D. (2017). Preparation, characterization and application of dispersible and spherical NanoSiO_2@Copolymer nanocomposite in leather tanning, *Appl. Surf. Sci*., 426, 376-385.

Patten, K., Gonzalez, L., Kennedy, C., Mills D., Davis, G., Wess, T. (2013). Is there evidence for change to collagen within parchment samples after exposure to an X-ray dose during high contrast X-ray microtomography? A multi technique investigation. *Herit Sci*, 1, 22, 1-9.

Puchinger, L., Leichtfreid, D., Stachelberger H. (2003). Evaluation of Old Parchment Collagen with the Help of Transmission Electron Microscopy. In: Microanalysis of Parchment. London: Archetype Publications, 9-12.

Sarkar, K. T. (1996). *Modern Practice in Retanning, Dyeing and Finishing of Leather*: A Companion to Theory and Practice of Leather Manufacture. New York, Shoe Trade Publishing.

Serge, E.J., Alla, J.P., Bélibi, P.D., Mbadcam, K.J., Fathima, N.N. (2019). Clay/polymer nanocomposites as filler materials for leather. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117837, 1-9.

Sizeland, K. H., Edmonds, R. L., Basil-Jones, M. M., Kirby, N., Hawley, A., Mudie, S., Haverkamp, R. G. (2015). Changes to Collagen Structure during Leather Processing. *J. Agric. Food. Chem.*, 63(9), 2499-2505.

Sizeland, K. H., Wells, H. C., Norris, G. E., Edmonds, R. L., Kirby, N., Hawley, A., Mudie, S., Haverkamp, R. G. (2015a). Collagen D-spacing and the Effect of Fat Liquor Addition. J. *Am. Leather Chem. Assoc.*, 110, 66-71.

Vornicu, N., Deselnicu, V., Bibire, C., Ivanov, D., Doroftei, F. (2015). Analytical Techniques Used for the Characterization and Authentification of Six An-

cient Religious Manuscripts (XVIII–XIX Centuries). *Microscopy Research and Technique*, 78, 70-84.

Yilmaz, O., Chiriac, A. P., Cheaburu, C. N., Nita, L. E., Gülümser, G., Duraccio, D., Cimmino, S., Vasile, C. (2009). Nanocomposites Based On Montmorilionite/Acrylic Copolymer for Aqueous Coating of Soft Surfaces. *Solid State Phenomena*, 151, 129-134.

Zhang, Y., Ingham, B., Cheong, S., Ariotti, N., D. Tilley, R., Naffa, R., Holmes, G., Clarke, D. J., Prabakar, S. (2018). Real-time synchrotron small-angle X-ray scattering studies of collagen structure during leather processing. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 57 (1), 63-69.

Zhang, Y., Snow, T., Smith, A. J., Holmes, G., Prabakar, S. (2019). A guide to high-efficiency chromium (III)-collagen cross-linking: Synchrotron SAXS and DSC study. *Int J Bio Mac,* 126, 123-129.

Bölüm 27

İNCE FİLM KAPLAMALAR VE UYGULAMA ALANLARI

Canser GÜL[1]

Sevda ALBAYRAK[2]

1 Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 45100, Manisa/Türkiye, canser.gul@cbu.edu.tr

2 Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 06500, Ankara/Türkiye, sevdatas@gazi.edu.tr

1. GİRİŞ

İnce film kaplamalar; boyutları genelde 1 μm'nin altında olan, günümüz ilerleyen teknolojisinin gerekliliklerinden biridir [1]. İlerleyen teknoloji ve çalışma alanlarının eskiye göre daha kapsamlı olması beraberinde yeni teknoloji arayışlarını getirmiş ve birçok alanda ince filmlere ihtiyaç duyulmuştur. Son 10 yılın gözde araştırma konularından biri olan ince film kaplamalar katı, sıvı veya gaz formda biriktirmeyi içeren çok farklı yöntemler kullanılarak uygulanabilmektedir [1, 2]. Elektrik-elektronik uygulamalarından [3, 4], sensör [4-8], enerji ve depolama konularına [9-12] ve hatta biyomalzeme uygulamalarında [13-15] ve ilaç salınım sistemlerinde [15, 16] yaygın kullanım alanına sahiptir.

İnce film kaplamaların özellikleri kaplama metoduna, kullanılan altlık ve kaplama malzemesine, kaplama atmosferine ve ortam şartlarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. İnce film kullanım yerine göre yöntem ve malzemeler belirlenip kaplama uygulaması buna göre yapılmalıdır [1] İnce film içinde katkılı bulunan nano parçacıklar, kaplamaların mevcut optik, mekanik ve elektriksek özelliklerinde çok ciddi artışların olmasını sağlamaktadır [17]. Günümüzde tek bir malzemenin kullanımının yeterli olmadığı, birkaç malzeme veya ekipman kullanılarak daha fazla işi daha kısa sürede veya daha az enerji kullanarak yapma ihtiyacı mevcuttur. Daha hafif arabalar üretebilmek [18] için veya arabanın çizilmesini önlemek ve koruyucu bir tabaka oluşturabilmek için [19], araç koltuk veya döşemelerin leke tutmaması veya kendini temizleme özelliğine sahip olabilmesi için [20] kullanılabilir. Süperiletken malzeme uygulamaları [21] ve daha çok depolama kabiliyeti olan güneş enerjisi hücreleri kullanılabilir ve böylece doğanın bize sağladığı imkanlar daha verimli kullanılabilir [22]. İşte tüm bu hedeflere ulaşabilmek için günümüz çalışmaları nanomalzemeler, nano katkılı yeni nesil malzemeler ve çoğunlukla nano boyutlarda olan ince film kaplamalar üzerine yönelmiş durumdadır [23].

2. İNCE FİLM KAPLAMA YÖNTEMLERİ

Kimyasal ve fiziksel buhar biriktirme (CVD ve PVD) buhar biriktirme tekniklerinde başta gelir [1] ve özellikle karmaşık şekilli malzemelerin ince film kaplanmasında CVD yönteminin üstünlükleri fazladır. Metal ve metal-oksit ince film kaplamalar için rahatlıkla kullanılabilen yöntemlerdir. Dezavantaj olarak ise kaplama süresinin göreceli olarak uzun olması ve maliyetli olması söylenebilir [24-28].

Sıvı buhar biriktirme teknikleri arasında sol-jel, kimyasal banyo ve elektrokimyasal yöntemler, günümüzde en çok kullanılan tekniklerdir [1]. Biyomalzeme, sensör, depolama ve elektrik alanlarında ise sol-jel yöntemi farklı katkı malzemelerinin katılmasına imkan sağladığı ve parametrelerin çeşitlendirilebilmesi avantajları nedeni ile en çok tercih edilen yön-

temlerdendir. Bunun yanı sıra kimyasalların maliyetli olması, kurutma, sinterleme ve yaşlandırma gibi ara basamaklarının uzun olması gibi dezavantajlara sahiptir [29-31].

Katı fazda biriktirme yöntemi ise mekanik aşındırma ve devitrifikasyon olarak iki ana grupta toplanabilir. Özellikle nano yapılı ve amorf parçacıkların üretimine imkan sağlayan devitrifikasyon yöntemi ve iri taneli yapıların aşındırılması ile nanoyapıda malzeme üretimine imkan sağlayan mekanik alaşımlama yöntemleri katı fazda ince film biriktirmek için kullanılabilir [1, 32, 33].

2.1. Buhar Fazda büyütme

Buhar biriktirme olarak da bilinen bu yöntem başlıca kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemlerini içerir.

CVD bir atmosferik basınçta çalışan atmosferik basınçlı kimyasal buhar biriktirme (APCVD) veya daha düşük basınçta çalışan düşük basınçlı kimyasal buhar biriktirme (LPCVD) olarak ikiye ayrılır. Düşük basınçta kaplama işlemi gerçekleştirildiğinde daha kaliteli ve daha az empüriteli kaplamalar elde edilir. Farklı işlemlerin daha kolay uygulanabilmesini sağlayabilmek için küçük farklılıklar içeren CVD kaplama metotları uygulanabilmektedir. Örneğim CVD yöntemi daha çok homoepitaksiyel büyütmeler için kullanıma uygunken yine bir buhar fazda büyütme yöntemi olan MOCVD heteroepitaksiyel büyütmeler için geliştirilmiştir [25,26].

PVD yönteminde ise ince film halinde kaplama oluşturulmak istenen yapı, öncelikle buharlaşma sıcaklığına kadar ısıtılır ve soğuk olan altlık üzerinde bu buhar faz oluşturulur. Oluşan buhar, daha soğuk olan altlığa doğru yani düşük sıcaklık bölgesine doğru taşınır ve burada yoğunlaşır. Bu işlem empürite miktarını engellemek ve istenmeyen reaksiyonları önlemek için asal bir gaz ortamında gerçekleştirilebilir. Kaplama malzemesini buharlaştırmak için kullanılan farklı yöntemler kullanılabilir. İndüksiyon, ark, elektron bombardımanı ve lazer ile buharlaştırma bu yöntemlerden bazılarıdır. Buharlaştırma tekniklerinin yanı sıra fiziksel buhar biriktirme yöntemi ile kaplama yapılabilmesi için sıçratma teknikleri de kullanılabilmektedir. Manyetik, diyot, triyot ve iyon demeti sıçratma yöntemleri başlıca sıçratma yöntemleridir [27,28].

2.2. Sıvı Fazda büyütme

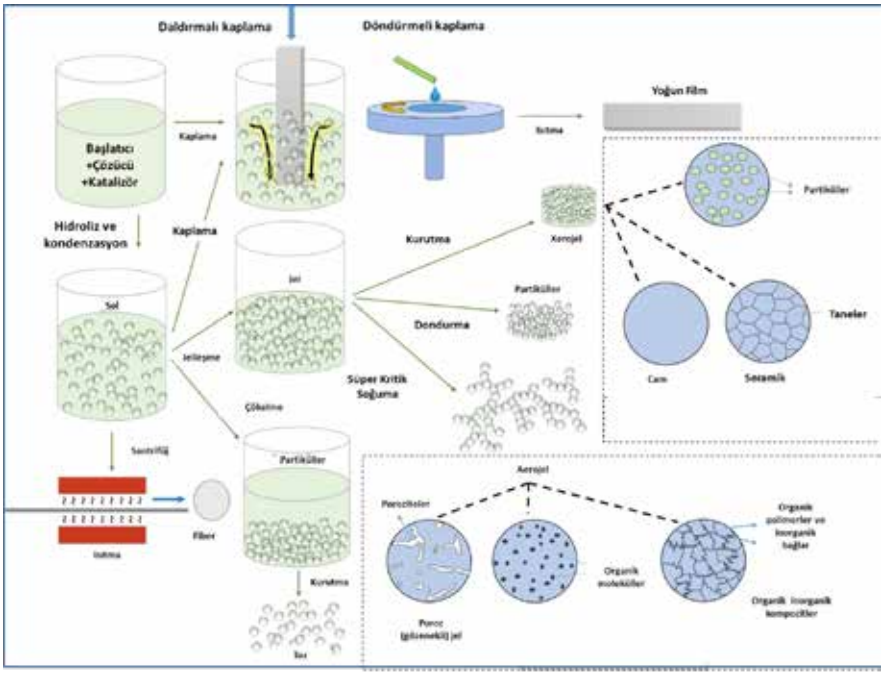
Sıvı fazda büyütme yöntemlerinin başında sol-jel yöntemi, kimyasal banyo yöntemi ve elektrokimyasal yöntem gelmektedir [29-31].

2.2.1. Sol-Jel Yöntemi

Sol-jel yöntemi başlatıcı, çözücü ve aktifleştirici bileşenler içerecek şekilde hazırlanan ve sıvı fazda bulunan bir çözeltinin (sol), çözeltideki su ile birlikte hidroliz ve polimerizasyon reaksiyonlarının gerçekleşmesi

neticesinde katı faza geçiş yapması (jel) aşamalarını içerir. Bu yöntem, kimyasal tepkime ile gerçekleştiği için son derece saf ürünlerin üğretimine olanak sağlayan avantajlı bir yöntemdir. Bu yöntem kullanılarak farklı şekillerde tozlar, ince film kaplamalar, seramik ve camlar üretilebilir. Hazırlanan çözelti farklı yoğunluklarda iken malzemeler üzerine kaplanabilir. Kaplama işlemleri döndürmeli kaplama (spin coating), daldırmalı kaplama (dip coating) veya püskürtmeli kaplama (spray coating) yöntemlerinden biri ile uygulanabilir [29,30].

Sol-jel prosesi aşamaları **Şekil 1**'de gösterilmiştir [29]. Burada da görüldüğü gibi sıvı fazda biriktirme yöntemi ile gözeneksiz dense film yapılar, buharlaşma sonucu oluşan xerojel yapılar veya süper kritik soğuma sonucu elde edilebilen aerojel ve toz yapılar mevcuttur. Xerojel yapılar seramik ve cam yapıların ve aerojel yapılar ise poroz jel ve organik moleküller ve organik ve inorganik kompozitlerin öncüsü şeklindedir. Ayrıca santrifüj işlemi sonrası uygulanan kurutma işlemi ile fiber üretimi de bu yöntem ile mümkündür [29-31].



Şekil 1. *Sol-jel kaplama üretim aşamalarının şematik gösterimi [29].*

2.2.2. Kimyasal Banyo Yöntemi

El yöntemine benzer şekilde kimyasal reaksiyona dayalı bir yöntemdir. Kaplama yapılması planlanan bileşenleri içerecek şekilde hazırlanan çözelti içerisine kaplama yapılacak malzemenin dadıılması onucu bu malzeme yüzeyinde ince bir film oluşur. Sol-jel yönteminde kaplamalara etki-

yen çözelti pH ve sıcaklık değerleri, çözelti yoğunluğu, asit/baz katalizör kullanımı ve miktarları, kurutma süresi, kurutma hızı ve kurutma atmosferi ve benzer şekilde sinterleme şartlarının hepsinden etkilenir [29,30].

2.2.3. Elektroliz yöntemi

Potansiyel kontrollü bir sistemde kaplama yapılması istenen iyonları içerecek şekilde hazırlanan bir solüsyonun içine anot ve katot yerleştirilir. Karşıt elektrot olarak Pt veya grafit, çalışma elektrodu olarak kullanılan kaplama yapılması planlanan altlık ve Ag/AgCl referans elektrot içeren üç elektrotlu standart sistem ile de gerçekleştirilebilir. Akım sistemden geçirildiğinde altlık üzerinde bu iyonların biriktirilmesini hedefler. Birikme işleminin başlangıcından sonuna doğru sistem içerisinde azalan bir derişim mevcuttur. Derişimin azalması durumunda akım sabit tutularak potansiyel arttırılır ve birikimin devam etmesi sağlanır [1, 29].

2.3. Katı Fazda Büyütme

Katı fazda büyütme yöntemi mekanik aşındırma ve devitrifikasyon olarak iki ana grupta toplanabilir. Mekanik aşındırma yöntemi, nanotozların kırılması ve tekrar birleşmesi prensibine dayanır. Metallerde ve karışmaz alaşımlarda film oluşturabilmek için bu yöntem kullanılabilmektedir. Özellikle nano yapılı ve amorf parçacıkların üretimine imkan sağlayan diğer bir yöntem ise devitrifikasyon yöntemidir.Bu yöntemde iri taneli yapıların aşındırılması ile nanoyapıda malzeme üretimine imkan sağlayan mekanik alaşımlama yöntemleri katı fazda ince film biriktirmek için kullanılabilir [1, 32, 33].

3. İNCE FİLM TÜRLERİ

Günümüzde ince filmler gelişen teknolojinin de etkisi ile çok farklı yöntemler kullanılarak farklı malzeme yüzeylerine farklı kalınlıklarda uygulanabilmektedir. Kullanılacak olan yöntem; altlık malzemesinin türüne, kaplamadan beklenen özelliklere, kaplanacak malzeme türüne, maliyete, altlık malzemenin dayanabileceği sıcaklığa ve istenen kaplama kalitesine göre değişmektedir [1, 10, 24]. İnce film kaplamalar opto-elektronik, ekran, yarı iletken ve medikal alanlarda olmak üzere farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bu alanlarda kullanılan ince film kaplama türleri başlıca aşağıdaki gruplar altında toplanabilir [34].

-Yüksek yansıtma kaplamaları (High reflectivity)

-Yansıtma önleyici (Antireflective) kaplamalar

-Hem yüksek yansıtma hem yansıtma önleyici kaplamalar

-Şeffaf iletken oksit kaplamalar (Transparent conductive oxide)

-Elmas benzeri karbon kaplamalar (diamond-like carbon)

-Biyouyumlu sert kaplamalar

3.1. Yüksek yansıtma ve yansıtma önleyici kaplamalar

Bazı kaplama türleri, bir optiğin ışıkla etkileşim şeklini değiştirmek için tasarlanmıştır ki bu türler yüksek yansıtma özelliğine sahip olanlar ve yansıtmayıcı kaplamalar olarak iki ana gruba ayrılabilir. Bu kaplama tabakaları gelen ışık dalgalarıyla farklı şekillerde etkileşir, ancak her ikisi de optik, lazer ve görüntüleme uygulamaları için belirli performans gereksinimlerini karşılamak için kullanılır.

Yansıtma önleyici kaplamalar, yüzeyde meydana gelen yansımaları azaltmak veya tamamen önlemek için ışık iletimini artırır. Gözlük takıldığında ortaya çıkan yansıma ve parlamayı azaltmak, kamera lenslerinde yansıyan ışık efektlerini ortadan kaldırmak ve güneş panellerine gelen ışınları absorb ederek güneş pillerinin toplama verimliliğini artırmak gibi çok az yansıtma gerektiren veya hiç gerektirmeyen lensler ve ekranlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yüksek yansıtma kaplamaları, yüksek yüzey yansıması sağlamak için iletimi azaltan aynalardır. Bu kaplama türleri, belirli bir dalga boyu aralığındaki ışığın çoğunu veya tamamını yansıtır ve bir lazerdeki çıktı aynası gibi belirli bir uygulama için "doğru" miktarda iletim sağlamak üzere belirlenebilir.

Hem yansıtmayıcı hem de yüksek yansıtma özelliğine sahip kaplamalar ise ihtiyaç duyulan performans özelliklerine ve lazer türüne bağlı olarak lazer uygulamalarında kullanılabilir. Diyot lazer üzerine biriktirmek için iyon destekli biriktirme, püskürtme veya iyon ışını biriktirme yöntemlerinde kullanılabilir [34, 35].

3.2. Şeffaf iletken oksit kaplamalar

Şeffaf iletken oksit, elektronikte kullanılan bir tür inorganik şeffaf iletken filmdir. Bu kaplamaları öncelikle opto-elektronik ve teşhir alanında kullanılır. Bu tür ince filmler elektriksel olarak iletken ve şeffaftır, bu da onu fotovoltaiklerde, LCD'lerde, OLED'lerde ve dokunmatik ekranlarda kullanıma uygun hale getirir [34].

Şeffaf iletken oksit kaplamalar için yaygın uygulamalar şunları içerir:

- Sıvı kristal ekranlar (LCD'ler)
- Plazma Ekranlar
- Elektronik mürekkep uygulamaları
- LED'ler
- Organik LED'ler

- Dokunmatik ekranlar
- Güneş Pilleri / Fotovoltaik
- Isıtmalı ön camlar ve aynalar
- Sensör kaplamaları
- Gerinim ölçerler

İndiyum kalay oksit (ITO), yüksek geçirgenliğe ve düşük dirence ve yüksek elektriksel iletkenliğe sahip bir şeffaf iletken oksit kaplama türüdür. elektriksel iletken ve optik geçirgen bir ince film kaplama çeşitidir. Güneş pillerinde, elektrokromik camlarda, LCD ekranlarda, OLED displaylerde ve ısı bariyerleri olarak kullanılmaktadır [34].

3.3. Elmas benzeri karbon kaplamalar

Elmas benzeri karbon (DLC) kaplamalar, elmaslar için tipik olan aynı faydalı özelliklerin çoğunu sağlar: sertlik, kimyasal ve çizilme direnci ve kayganlık. Aynı zamanda yüksek termal iletkenliğe ve elektriksel dirence sahiptirler ve çoğunlukla son kullanım cihazının veya ürünün dayanıklılığını ve ömrünü artırmak için kullanılırlar.

DLC kaplamalar başlıca aşağıdaki uygulamalar için kullanılabilir:

- Mikroelektronik
- Tıbbi cihazlar
- Otomotiv bileşenleri
- Görüntüler
- Sensörler
- Esnek yarı iletkenler

PE-CVD (plazma ile geliştirilmiş kimyasal buhar biriktirme), DLC kaplamaların biriktirilmesi için bir yöntemdir. Temel avantajları, yüksek biriktirme oranları, düşük alt tabaka sıcaklığı ve oldukça uyumlu ince filmlerdir [34].

3.4. Biyouyumlu sert kaplamalar

Bu tür kaplamalar, implante edilmiş cihazları korumak ve bu kritik ve hassas pazarda sağlık sonuçlarını iyileştirmek için öncelikle tıbbi alanda kullanılmaktadır. Vücut içinde veya dışında kullanılacak insan sağlığı ile ilişkilendirilebilen tüm malzemeler biyomalzeme olarak adlandırılır. Vücut içinde kullanılan bir malzemenin, vücut kimyasalları ile temas ettiğinde bozunmadan kalabilmesi, bir miktar bozulma gerçekleşse bile bu bozulmanın insan vücudu için toksik veya alerjen olmaması gerekmektedir [13,14,34]. Bu durum biyouyumluluk olarak adlandırılmaktadır. Vücudun

farklı bölgeleri farklı pH değerlerinde ve farklı iyon konsantrasyonlarında bulunmaktadır. Bazı bölgeler mide asidi gibi çok kuvvetli asitler ile temas altındayken bazı kısımlar farklı hormon ve enzimler ile karşı karşıya kalabilir. Bu nedenle üretilen biyomalzemelerin kullanım alanlarına göre özelliklere sahip olması beklenir. Özellikle kırık veya hasarlı doku uygulamalarında, zarar görmüş dokuyu desteklemek ve iyileşme aşamasına yardımcı olmak amaçları ile veya bu hasar gören doku veya organın yerini almak amaçları ile insan vücuduna implante edilmiş bir biyomalzeme olabilir. Özellikle bu biyomalzemelerin, implantasyon sırasında hem dokuların hem de implantın zarar görmemesi için sert ve aşınmaya karşı dayanıma sahip olması beklenir. Benzer şekilde vücut içinde bütünlüğünü koruyabilmeli ve vücut sıvıları ile temas halinde iken korozyona karşı dayanıklı olmalıdır [13,14].

Biyouyumlu kaplamalar diğer uygulamaların yanı sıra yapay uzuvlarda ve eklemlerde, biyosensörlerde ve kalp implantlarında kullanılır. İnsan vücudunu ve dokusunu kontaminasyondan koruduğu gibi, cihazı proteinlere, glikoza ve hücre yapışmasına maruz kalmaktan korur. Bunu yaparken implant ve benzeri cihazların dayanıklılığını arttırırlar [34].

Başlıca kullanılan biyouyumlu kaplama örnekleri aşağıda verilmiştir:

- Titanyum nitrür (TiN)

- Titanyum alüminyum nitrür (TiAlN / AlTiN)

- Krom nitrür (CrN)

-Titanyum di oksit (TiO_2)

- Titanyum karbon nitrür (TiCN)

İnce film biriktirme için, magnetron püskürtme, aşınma direnci ve renk kodlaması için 3D medikal implantlar üzerinde uyumlu biyouyumlu sert kaplamalar için kullanılabilir. Ya PE-CVD ya da magnetron püskürtme, film özelliği gereksinimlerine bağlı olarak TiN kaplamalar için tercih edilen biriktirme yöntemleri olabilir [34].

4. İNCE FİLM UYGULAMA ALANLARI

4.1. Elektrik ve depolama alanında kullanım - yarı-iletken çalışmaları

Optoelektronik uygulamalarda [34], güneş pili uygulamalarında kullanılmak üzere yapılan yarı-iletken ince film kaplama uygulamaları [35], transistör uygulamaları [36-38], elektrik alanında [3], yarı iletken ince filmlerin kullanımı mevcuttur.

İnce filmler için kaplamalar yüksek foton soğurma katsayısına sahip olmaları durumunda soğurucu/yansıtmayıcı özelliklerinden dolayı

kullanılmaktadır. Peksöz (2016), CdTe yarıiletken ince film kaplamaların güneş pili uygulamaları için üretimi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Elektrodeposizyon yöntemi kullanarak ürettiği kaplamalar ile olumlu sonuçlar elde etmiş ve optik bant aralığı değeri açısından güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren güneş pillerinde ana soğurucu materyal olarak kullanılabileceğini göstermiştir [35].

He ve diğerleri (2019), yarı iletken organik film transistörleri üzerine yaptıkları çalışmada, poliakrilat polimer katkısının ilave edilmesinden dolayı, genişlemiş tane genişliğinin ve artan film kapsamının bir sonucu olarak tane sınırlarındaki azalmış kristal hatalı yönelim, daha az kusur ile performansta büyük bir artış elde etmiştirler [36].

Cerdeira ve diğerleri (2019), yaptıkları çalışmada, oluşturdukları amorf oksit ince film kaplama tabakaları ile yarı iletkenlik özellikleri incelemiş olup, ürettikleri kaplamaların elektriksel davranışlarını incelemişlerdir. Kapasitans özelliklerini ve uyguladıkları farklı voltajlar karşısında kaplamaların verdikleri tepkileri değerlendiren araştırmacılar, sundukları model ile drenaj / kaynak arasındaki örtüşme kapasitansının ve drenaj voltajının artmasıyla kanal kapasitansının azaldığını gözlemlemiştir [37].

Hussein ve Yazdani (2019) güneş hücrelerinde kullanılmak üzere yaptıkları çalışmada, sol-jel yöntemi ile $Cu_2(Zn_{1-x}Bi_x)SnS_4$ nanokristaller üretmiş, kullandıkları farklı bizmut oranları ile enerji depolama kapasitesindeki ve bant aralıklarındaki değişimleri incelemişlerdir. Filmlerin optik özelliklerini karakterize ettikleri bu çalışmada yüksek reaktif indeksleri, kısa bant aralıklarına sahip bu kaplamalar ile günümüz güneş hücreleri ile kıyaslandığında kapasitesi daha yüksek olan ve daha yüksek potansiyele sahip ince film kaplamaları elde ettiklerini vurgulamışlardır [38].

4.2. Sensör uygulamaları

Fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal olacak şekilde sınıflandırabileceğimiz farklı türlerde sensörler mevcuttur. İnce filmlerin en çok kullanıldığı sensör uygulamaları ise kimyasal, optik ve biyokimyasal sensör uygulamalarıdır [39].

Afsal, (2019) yaptığı çalışmada Ga_2O_3 nanotellerin ince film metal oksit yarı iletken ve gaz sensör uygulamalarında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu çalışmada Ga_2O_3'ün, farklı metal oksit biriktirmeleri ile farklı çalışmalarda değerlendirdiğini ve aslında farklı yöntemler kullanılarak uygulanan bu uygulamaların çoğunda düşük maliyet ile ve ortamın çok düşük konsantrasyonlarda bile gaz içermesi durumunda algılama özelliklerini kuvvetlendirdiği ve başarılı sonuçlar elde edildiğini vurgulamıştır [4].

Gaz sensörü, bir konsantrasyonu sinyale çevirebilen kimyasal sensörlere verilen genel addır [40]. Hidrojen, amonyum, nitrojen dioksit gibi gaz-

ların algılanmasını sağlayan farklı uygulamalar mevcuttur. Patil ve diğerlerinin (2020) yaptıkları çalışmada, Zn_2SnO_4 kullanılarak gaz sprey yöntemi ile ince film kaplamalar üretmişlerdir. NO_2 gaz sensörü olarak kullanılmak üzere geliştirdikleri bu kaplamaların 200 C çalışma sıcaklığında 8 ppm hassasiyetine sahip ve tepki süresi 3 ile 8 saniye arasında değişen sensörler üretebilmişlerdir [41]. Thai ve diğerleri (2020), hidrojen ve amonyum gazlarının Pt/SnO_2 ince film kaplamaları ile gözlemlenmesi ve sınıflandırılması üzerine bir çalışma yürütmüş ve ürettikleri ince film kaplamaların karakterizasyonlarını gerçekleştirmişlerdir. DC sıçratma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen kaplamalarda 2, 5, 10 ve 20 nm kalınlıklarda ürettikleri kaplamalar arasından NH_3 gazı için 250-350 C aralığında ve H_2 gazı için ise 200-250 C arasında tespit edilebilme performansı göstermiştir. CO, LPG ve CH_4 gazları arasında bu gazları seçebilme performansının da yüksek olduğu saptanmıştır [42]. Zn, Sn ve Pt metalleri dışında, Cu, Pd, W, Au, Ga ve Ti metalleri kullanılarak oluşturulan metal oksit kaplamaların gaz sensörü olarak kullanımına yönelik farklı çalışmalar da mevcuttur [4, 43-47].

Kim ve diğerleri (2019), Thunyakontirakun ve diğerleri (2019), Murillo ve diğerleri (2019) ve Carneiro ve diğerleri (2020) de yaptıkları çalışmalarda ince filmleri biyosensör uygulamalarında kullanmışlardır [39, 47-49].

Thunyakontirakun ve diğerleri (2019), yaptıkları çalışmada oda sıcaklığında glikoz tespiti için poli(pirol-3-karboksilik asit)/grafen oksit kompozit ince film kaplamalar yapmışlardır. Bu kaplamaları hazırladıkları çözelti içinde elektrokimyasal olarak kaplamış ve karakterize etmişlerdir. Farklı oranlarda kullandıkları grafen oksit tabakası için 1 ile 20 mM glikoz içerikli sistemde 5 saniyelik bir tespit süresinde 0.05 mM saptama limitine sahip kaplamalar üretebildiklerini vurgulamışlardır. [48].

Murillo ve diğerleri (2019) ise akustik biyosensörler üzerine bir çalışma yapmış ve ürettikleri AlN ince filmler ile göğüs kanseri hücrelerinin tespitini sağlamaya çalışmışlardır. Manyetik sıçratma yöntemi kullanarak farklı N_2 konsantrasyonuna sahip ortamlarda yapılan ince film kaplamalar üzerinde farklı analizler yapmış ve 304L paslanmaz çelik altlıklar üzerine yaptıkları kaplamaların biyofonksiyonelleştirilme konusunda başarılı olduğunu ve ileriki çalışmaları ile biyosensör olarak kullanımı gerçek ortam şartlarında deneyip daha gerçekçi sonuçlara ulaşabileceklerini vurgulamışlardır [49]. Bu uygulamaların dışında örneğin kan analizlerinde kullanılmak üzere geliştirilen enzim sensörleri [50], pH sensörü [15, 16, 51] veya optik biyosensör uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilen farklı ince film uygulamaları da mevcuttur [39, 52].

4.3. Biyomalzeme alanında ince film kullanımı

Titanyum, magnezyum ve biyomalzeme olarak kullanılan diğer metalik malzemeler vücut içinde kullanıldığında, insan vücudu içinde bulunan farklı

pH değerlerine ve iyon konsantrasyonlarına sahip ortamlarda korozyona uğrayabilir ve vücuda iyon salınımı yapabilirler [13, 14, 53-61]. Bu iyon salınımları ise vücutta belirli bir miktarın üzerinde bulunması durumunda toksik alerjen etkilere neden olabilen ve hatta Alzheimer gibi ciddi hastalıkların vücutta oluşmasına neden olabilen Ni ve Al, gibi iyonlar olabilir [61]. Al elementinin vücuda salınması durumunda genotoksisite ve nörodejeneratif hastalıklara neden olabildiği ve V elementinin sitotoksik ve kanserojen olabileceğini gösteren çalışmalar literatürde mevcuttur [62-64]. Bu salınımların engellenebilmesi veya en azından insan ömrünü ciddi şekilde etkilemeyecek kadar yavaşlatılabilmesi için uygulanan koruyucu kaplamalar mevcuttur [13, 14, 53-64]. Bu ince filmler, gerek korozyon [53, 54, 60], gerekse aşınma dayanımı [54, 55] bakımından biyomalzemelere birçok avantaj sağlar, koruyucu özellik kazandırmak için [56], MR uyumluluğunu arttırmak için [57], biyouyumluluğu arttırmak [58] veya antibakteriyel özellik kazandırmak [59] için yapılan ince film kaplamalar mevcuttur. Cotolan ve ark. [65] korozyon direnci sağlamak ve bakteriyel yapışmayı azaltmak için bir çalışma gerçekleştirmiş ve elde ettikleri homojen yapıda kaplamaların titanyum yüzeylerinde insan vücudundaki korozif saldırılara karşı koruma sağladığını bildirmişlerdir. Koruyucu kaplama uygulamaları sadece titanyum ve alaşımları üzerine değil, Mg alaşımları üzerine de uygulanmakta ve hafifliği ile ön plana çıkan fakat çok düşük olan korozyon dayanımı nedeni ile uygulamalarda halen aktif bir şekilde kullanılamayan Mg alaşımlarının geliştirilmesi, korozyon dayanımlarının arttırılması amaçları ile de uygulanan kaplamalar mevcuttur [66-69].

5. SONUÇ

Yapılan çalışmada ince film kaplama türleri ve güncel ince film kaplama uygulamaları incelenmiştir. Gelişmiş nanoyapılı ve nanokatkılı malzemelerin üretimini ve kullanımını kapsayan yeni gelişmeler ince film kaplamalar ve bu kaplama türlerinin geliştirilmesi ile ilişkilendirilebilir.

Depolama ve enerji konularında gelişmelerin sağlanabilmesi, mevcut kapasitelerin arttırılabilmesi ve daha verimli çalışabilen cihazların elde edilebilmesi için öncelikle ince film kaplama teknolojileri ve ince film kaplanmış malzemeler geliştirilmelidir.

Biyomalzeme ve sensör uygulamalarında da ince filmler ile ilgili son yıllarda ciddi çalışmalar yapılmakta ve olumlu sonuçlar elde edilebilmektedir. İnsan yaşamının daha kaliteli ve sağlıklı olabilmesi için, hastalıkların tanı ve tespitinde kullanılmak üzere geliştirilen birçok malzeme ince film kaplamaları içermektedir.

Malzeme alanındaki gelişmeler ile, yapılan disiplinler arası çalışmalar ve teknolojik gelişmelerin yakın takibi ile ince film kaplama alanı hızla ilerleyen büyüyen ve gelişen bir alandır. Hayatımızı kolaylaştıracak ve yeni teknolojilerin gelişimini de pozitif etkileyecek bu alanda, yapılan kaplamaların özelliklerini geliştirmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

[1] Sönmezoğlu, S., Koç, M., Akın, S., İnce Film Üretim Teknikleri, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28(5), 389-401, 2012.

[2] Fu, Y.Q. ve diğerleri, Advances in piezoelectric thin films for acoustic biosensors, acoustofluidics and lab-on-chip applications, Progress in Materials Science, 89, 31-31, 2017. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2017.04.006

[3] Okorn, B. ve diğerleri, Surface morphology evolution during electric field assisted dissolution of thin metal films, Thin Solid Filmc, 685, 402-407, 2019. https://doi.org/10.1016/j.tsf.2019.06.037

[4] Afsal, A., β-Ga2O3 nanowires and thin films for metal oxide semiconductor gas sensors: Sensing mechanisms and performance enhancement strategies, Journal of Materiomics, 5(4), 542-557, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jmat.2019.08.003

[5] Kerroum, I., Hydrogen effect on density and Young's modulus of thin films in acoustic sensors, Sensors and Actuators B: Chemical, 223, 520-526, 2016. https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.09.130

[6] Kumar, P. ve diğerleri, Hybrid porous thin films: Opportunities and challenges for sensing applications, Biosensors and Bioelectronics, 104, 120-137, 2018. https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.01.006

[7] Guerin, J., Aguir, K., Bendahan, M., Modeling of the conduction in a WO3 thin film as ozone sensor, Sensors and Actuators B: Chemical, 119(1), 327-334, 2006. https://doi.org/10.1016/j.snb.2005.12.005

[8] Ali, W.R. ve Prasad, M., Piezoelectric MEMS based acoustic sensors: A review, Sensors and Actuators A: Physical, 301, 111756, 2020. https://doi.org/10.1016/j.sna.2019.111756

[9] Hassanien, A.S., Sharma, I., Akl, A.A., Physical and optical properties of a-Ge-Sb-Se-Te bulk and film samples: Refractive index and its association with electronic polarizability of thermally evaporated a-Ge15-xSbx-Se50Te35 thin-films, 531, 119853, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2019.119853

[10] Elsheikh, A.H. ve arkadaşları, Thin film technology for solar steam generation: A new dawn, Solar Energy, 177, 561-575, 2019. https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.11.058

[11] Rai, R.C., Hinz, Pascolini, M., Sun, F., Zeng, H., Electronic excitations and optical properties of YbFe2O4 thin films, Thin Solid Films, 673, 57-61, 2019. https://doi.org/10.1016/j.tsf.2019.01.035

[12] Yu, M. ve Feng, X., Thin-Film Electrode-Based Supercapacitors, Joule, 3(2), 338-360, 2019. https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.12.012

[13] Bucciarelli, A . ve diğerleri, A comparative study of the refractive index of silk protein thin films towards biomaterial based optical devices, Optical Materials, 78, 407-414, 2018. https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.02.058

[14] Mozetic, M. Ve diğerleri, Recent developments in surface science and engineering, thin films, nanoscience, biomaterials, plasma science, and vacuum technology, Thin Solid Films, 660, 120-160, 2018. https://doi.org/10.1016/j.tsf.2018.05.046

[15] Sato, K., Yoshida, K., Takahashi, S. Ve Anzai, J.-İ., pH- and sugar-sensitive layer-by-layer films and microcapsules for drug delivery, Advanced Drug Delivery Reviews, 63(9), 809-821, 2011. https://doi.org/10.1016/j.addr.2011.03.015

[16] Schmaljohann, D., Thermo- and pH-responsive polymers in drug delivery, Advanced Drug Delivery Reviews, 58, 1655-1670, 2006. https://doi.org/10.1016/j.addr.2006.09.020

[17] Mechiakh, R., Sedrine, B., Chtourou, R., Bensaha, R., Correlation between microstructure and optical properties of nano-crystalline TiO2 thin films prepared by sol–gel dip Coating, Applied Surface Science, 257(3), 670-676, 2010. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.08.008

[18] Durmus, H., Gül, C., Çömez, N., Yurddaşkal, M., An investigation into the wear behavior of aged Alumix321/SiC composites fabricated by hot pressing, Revista de Metalurgia, 55(3), 148, 2019. https://doi.org/10.3989/revmetalm.148

[19] Gray, J.E. ve Luan, B., Protective coatings on magnesium and its alloys — a critical review, Journal of Alloys and Compounds, 336(1-2), 88-113, 2002. https://doi.org/10.1016/S0925-8388(01)01899-0

[20] Martin, S., Brown, P.S., Bhushan, B., Fabrication techniques for bioinspired, mechanically-durable, superliquiphobic surfaces for water, oil, and surfactant repellency, Advances in Colloid and Interface Science, 241, 1-23, 2017. https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.01.004

[21] Lin, Y.-H., Nelson, J., Goldman, A.M., Superconductivity of very thin films: The superconductor–insulator transition, Physica C: Superconductivity and its Applications, 514, 130-141, 2015. https://doi.org/10.1016/j.physc.2015.01.005

[22] Ramanujam, J. ve diğerleri, Flexible CIGS, CdTe and a-Si:H based thin film solar cells: A review, Progress in Materials Science, 100619, In Press, Corrected Proof, 2020. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2019.100619

[23] Lee, T.D., Ebong, A.U., A review of thin film solar cell technologies and challenges, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70, 1286-1297, 2017. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.028

[24] Li, P.H., Chu, P.K., Thin Film Coatings for Biomaterials and Biomedical Applications, Thin film deposition technologies and processing of bio-

materials, Ch1, 3-28. Woodhead Pub., Hong-Kong, 2016. https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-453-6.00001-8

[25] Ren, J., Feng, E., Zhang, Y., Zhang, J., Li, L., Microstructure and anti-ablation performance of HfC-TaC and HfC-ZrC coatings synthesized by CVD on C/C composites, Ceramics International, In Press, Journal Pre-proof, 2020. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.01.006

[26] Astinchap, B. ve Laelabadi, K.G., Effects of substrate temperature and precursor amount on optical properties and microstructure of CVD deposited amorphous TiO2 thin films, Journal of Physics and Chemistry of Solids, 129, 217-226, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2019.01.012

[27] Ng, C.-H., Rao, J., Nicholls, J., The role of PVD sputtered PTFE and Al2O3 thin films in the development of damage tolerant coating systems, Journal of Materials Research and Technology, In Press, Journal Pre-proof, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.009

[28] Qin, Wu., Chen, M., Wang, Y., Jiang, Y., Structures and adhesion of hcp thin film coating interfaces on a single-crystal bcc substrate by PVD: Ti/Mo and Zr/Mo, Computational Materials Science, 174, 109504, 2020. https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2019.109504

[29] Gül, C., Çömez, N., Durmuş, H., Sol-Gel Technology and Novel Applications of Sol-Gel Processes, Bölüm 21, Gece Akademi, Editör: Mahmut Turhan, Basım sayısı: 1, ISBN:978-605-7852-97-7, 2019.

[30] Jiang, Y., Shi, K., Tang, H., Wang, Y., Enhanced wettability and wear resistance on TiO2/PDA thin films prepared by sol-gel dip Coating, Surface and Coatings Technology, 375, 334-340, 2019. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.07.051

[31] Ahmed, M.E.I., Taghizadeh, F., Auret, F.D., Meyer, W.E., Nel, J.M., The effect of alpha particle irradiation on electrical properties and defects of ZnO thin films prepared by sol-gel spin Coating, Materials Science in Semiconductor Processing, 101, 82-86, 2019. https://doi.org/10.1016/j.mssp.2019.05.029

[32] Mizuhata, M., Miyake, T., Nomoto, Y., Deki, S., Deep reactive ion etching (Deep-RIE) process for fabrication of ordered structural metal oxide thin films by the liquid phase infiltration method, Microelectronic Engineering, 85(2), 355-364, 2008. https://doi.org/10.1016/j.mee.2007.07.006

[33] Wu, K., Wang, Y.Q., Yuan, H.Z., Zhang, J.Y., Liu, G., Sun, J., Interfacial stress transfer mechanism of Cu-Zr amorphous films on polyimide substrates: Effect of deformation-induced devitrification, Journal of Alloys and Compounds, 783, 841-847, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.01.016

[34] www.dentonvacuum.com/best-thin-film-coating/ "Which Type of Thin Film Coating is Best?" Erişim tarihi: 10.10.2020.

[35] Peköz, A., Güneş pili uygulamaları için CdTe yarıiletken ince filmlerin elektrodepozisyon yöntemiyle üretilmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 21(2), 2016. https://doi.org/10.17482/uujfe.46840

[36] He, Z., Zhang, Z. Ve Bi, S., Polyacrylate polymer assisted crystallization: Improved charge transport and performance consistency for solution-processable small-molecule semiconductor based organic thin film transistors, Journal of Science: Advanced Materials and Devices, 4(3), 467-472, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2019.02.004

[37] Cerdeira, A., Estrada, M., Hernandez-Barrios, Y., Hernandez, I., Iniguez, B., Full capacitance model, considering the specifics of amorphous oxide semiconductor thin film transistors structures, Solid-State Electronics, 156, 16-22, 2019. https://doi.org/10.1016/j.sse.2019.03.031

[38] Hussein, H., ve Yazdani, A., Doping the bismuth into the host's Cu2ZnSnS4 semiconductor as a novel material for thin film solar cell, Results in Physics, 12, 1586-1595, 2019. https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.01.047

[39] Carneiro, P., Morais, S., do Carmo Pereire, M., Biosensors on the road to early diagnostic and surveillance of Alzheimer's disease, Talanta, 211, 120700, 2020. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.120700

[40] Nakata, S., Takahara, N., Characteristic nonlinear responses of a semiconductor gas sensor to hydrocarbons and alcohols under the combination of cyclic temperature and continuous flow, Sensors and Actuators B: Chemical, 307, 127635, 2020. https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.127635

[41] Patil, M.A., Ganbavle, V.V., Rajpure, K.Y., Deshmukh, H.P., Mujawar, S.H., Fast response and highly selective nitrogen dioxide gas sensor based on Zinc Stannate thin films, Materials Science for Energy Technologies, 3, 36-42, 2020. https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.11.002

[42] Thai, X.N. ve diğerleri, Effective monitoring and classification of hydrogen and ammonia gases with a bilayer Pt/SnO2 thin film sensor, International Journal of Hydrogen Energy, 45(3), 2418-2428, 2020. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.11.072

[43] Urbańczyk, M., Maciak, E., Gut, K., Pustelny, T., Jakubik, W., Layered thin film nanostructures of Pd/WO3-x as resistance gas sensors, Bull Pol Acad Sci Tech Sci, 59, 401-407, 2011. https://doi.org/10.2478/v10175-011-0048-4

[44] Wisitsoraat, A., Tuantranont, A., Patthanasettakul,, V., Lomas, L., Chindaudom, P., Ion-assisted e-beam evaporated gas sensor for environmental monitoring, Science and Technology of Advanced Materials, 6(3-4), 261-265, 2005. https://doi.org/10.1016/j.stam.2005.03.004

[45] Van Toan, N., Chien, N. V., Van Duy, N., Vuong, D.D., Lam, N.H., Hoa, N.D. ve diğerleri, Scalable fabrication of SnO2thin films sensitized with CuO islands for enhanced H2S gas sensing performance, Appl Surf Sci, 324, 280-285, 2015. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.10.134

[46] Yeh, M., Hwang, W., Lee, G., Lu, Y.,Characterization of SnO 2/TiO 2 double-layer films as alcohol sensing, Materials, 45, 3318-3323, 2004.

[47] Kim, J., Hong, U.G., Choi, Y., Hong, S., Enhancing the evanescent field in TiO2/Au hybrid thin films creates a highly sensitive room-temperature formaldehyde gas biosensor, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 182, 110303, 2019. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.06.033

[48] Thunyakontirakun, W., Sriwichai S., Phanichphant, S., Jamanee, R., Fabrication of poly(pyrrole-3-carboxylic acid)/graphene oxide composite thin film for glucose biosensor, Materials today proceedings, 17(4), 2070-2077, 2019. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.255

[49] Murillo, A.E., Melo-Maximo, L., ve diğerleri, Development of AlN thin films for breast cancer acoustic biosensors, Journal of Materials Research and Technology, 8(1), 350-358, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.02.007

[50] Sergeyeva, T.A., Lavrik, N.V., Rachova, A.E., Kazantseva, Z.I., Piletsky, S.A., Elskaya, A.V., Hydrogen peroxide – sensitive enzyme sensor based on phthalocyanine thin film, Analytica Chimica Acta, 391(3), 289-297, 1999. https://doi.org/10.1016/S0003-2670(99)00203-2

[51] Dias Mello, H.J.N.P., Mulato, M., Influence of galvanostatic electrodeposition parameters on the structure-property relationships of polyaniline thin films and their use as potentiometric and optical pH sensors, Thin Solid Films, 656, 14-21, 2019. https://doi.org/10.1016/j.tsf.2018.04.022

[52] Zhou ve diğerleri, Black phosphorus based fiber optic biosensor for ultrasensitive cancer diagnosis, Biosensors and Bioelectronics, 137, 140-147, 2019. https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.04.044

[53] Bakhshesh,-Rad, H.R., Ismail, A.F., Aziz, M., Hadisi, Z., Omidi, M., Chen, X., Antibacterial activity and corrosion resistance of Ta2O5 thin film and electrospun PCL/MgO-Ag nanofiber coatings on biodegradable Mg alloy implants, Ceramics International, 45(9), 11883-11892, 2019. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.03.071

[54] Çaha, I., Alves, A.C., Affonço,i L.J., Lisboa-Filho, P.N., da Silva, J.H.D, Rocha, L.A., Pinto, A.M.P., Toptan, F., Corrosion and tribocorrosion behaviour of titanium nitride thin films grown on titanium under different deposition times, Surface and Coatings Technology, 374, 878-888, 2019. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.06.073

[55] Rahmati, B., Sarhan, A.A.D., Basirun, J., Abas, W.A.B.W., Ceramic tantalum oxide thin film coating to enhance the corrosion and wear characteristics of Ti6Al4V alloy, Journal of Alloys and Compounds, 676, 369-376, 2016. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.03.188

[56] Tessier, P.Y., Pichon, L., Villechaise, P., Linez, P. Ve diğerleri, Carbon nitride thin films as protective coatings for biomaterials: synthesis, mechanical and biocompatibility characterizations, Diamond and Related

Materials, 12(3–7), 1066-1069, 2003. https://doi.org/10.1016/S0925-9635(02)00314-X

[57] Zhou, Y., Li, M., Cheng, Y., Zheng, Y.F., Xi, T.F., Wei, S.C., Tantalum coated NiTi alloy by PIIID for biomedical application, Surface and Coatings Technology, 228(S1), 2-6, 2013. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.11.002

[58] Asl, S.M., Ganjali, M., Karimi, M., Surface modification of 316L stainless steel by laser-treated HA-PLA nanocomposite films toward enhanced biocompatibility and corrosion-resistance in vitro, Surface and Coatings Technology, 363, 236-243, 2019. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.02.052

[59] Sato, P.S., Watanabe, T., Maeda, H., Obata, A., Kasuga, T., Preparation of an antibacterial amorphous thin film by radiofrequency magnetron sputtering using a 65ZnO–30P2O5–5Nb2O5 glass, Journal of Non-Crystalline Solids, 528, 119724, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2019.119724

[60] Surmeneva, M.A., Mukhametkaliyev, T.M., Khakbaz, H., Surmenev, R.A., Kannan, M.B., Ultrathin film coating of hydroxyapatite (HA) on a magnesium–calcium alloy using RF magnetron sputtering for bioimplant applications, Materials Letters, 152, 280-282, 2015. https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.03.140

[61] Ibrahim, M.Z. Sarhan, A.A.D. Yusuf F., Hamdi, M., Biomedical materials and techniques to improve the tribological, mechanical and biomedical properties of orthopedic implants – A review article, Journal of Alloys and Compounds, 714, 636–667, 2017. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.04.231

[62] Biesiekierski, A., Wang, J., Gepreel M.A.-H., Wen, C.,A new look at biomedical Ti-based shape memory alloys, Acta Biomaterialia, 8(5), 1661–1669, 2012. https://doi.org/10.1016/J.ACTBIO.2012.01.018

[63] Niinomi, M., Nakai M., Hieda, J., Development of new metallic alloys for biomedical applications," Acta Biomaterialia, 8(11), 3888–3903, 2012. https://doi.org/10.1016/j.actbio.2012.06.037

[64] Maho, A., Detriche, S., Delhalle, J., Mekhalif, Z., Sol-gel synthesis of tantalum oxide and phosphonic acid-modified carbon nanotubes composite coatings on titanium surfaces, Materials Science and Engineering C, 33(5), 2686–2697, 2013. https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.02.025

[65] Cotolan, N., Rak, M., Bele, M., Cör, A., Muresan, L.M., Milošev, I., Sol-gel synthesis, characterization and properties of TiO2and Ag-TiO2coatings on titanium substrate, Surface and Coatings Technology, 307, 790–799, 2016. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.09.082

[66] Brusciotti, F., Snihirova, D.V., Xue, H., Montemor, M.F., Lamaka, S.M., Ferreira, M.G.S., Hybrid epoxy-silane coatings for improved corrosion

protection of Mg alloy, Corrosion Science, 67, 82–90, 2013. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.10.013

[67] Zhang, M., Cai, S., Shen, S., Xu, G., Li, Y., Ling R., Wu, X., In-situ defect repairing in hydroxyapatite/phytic acid hybrid coatings on AZ31 magnesium alloy by hydrothermal treatment, Journal of Alloys and Compounds, 658, 649–656, 2016. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.10.282

[68] Peres, R.N., Cardoso, E.S.F., Montemor, M.F., de Melo, H.G., Benedetti A.V., Suegama, P.H., Influence of the addition of SiO2 nanoparticles to a hybrid coating applied on an AZ31 alloy for early corrosion protection, Surface and Coatings Technology, 303 (Part B), 372–384, 2016. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.12.049

[69] Hernandez-Barrios, C.A., Cuao, C.A., Jaimes, M.A., Coy, A.E., Viejo, F., Effect of the catalyst concentration, the immersion time and the aging time on the morplogy, composition and corrosion performance of TEOS-GPTMS sol-gel coatings deposited on the AZ31 Mg alloy, Surface & Coatings Technology, 325, 257-269, 2017. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.06.047