

T.C.
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI

SUCUL ORTAMDAKİ MİKROPLASTİKLERİN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİSİ VE ARITMA YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

-UZMANLIK TEZİ-

HAZIRLAYAN:
NİLÜFER TUTOĞLU

ANKARA - 2019

T.C.
TARIM VE ORMAN BAKANLIğI

SUCUL ORTAMDAKİ MİKROPLASTİKLERİN İNSAN SAğLIğINA ETKİSİ VE ARITMA YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

-UZMANLIK TEZİ -

HAZIRLAYAN:
NİLÜFER TUTOğLU

TEZ DANIŞMANI:
Prof. Dr. MEHMET KİTİŞ

ANKARA – 2019

T.C.
TARIM VE ORMAN BAKANLIğI

SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

HAZIRLAYAN
NİLÜFER TUTOĞLU

TEZİN ADI
SUCUL ORTAMDAKİ MİKROPLASTİKLERİN İNSAN
SAĞLIğINA ETKİSİ VE ARITMA YÖNTEMLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

TEZ DANIŞMANI:
Prof. Dr. MEHMET KİTİŞ

BU TEZ ORMAN ve SU İŐLERİ UZMAN YÖNETMELİĞİ GEREĞİ
HAZIRLANMIŐ OLUP JÜRİMİZ TARAFINDAN UZMANLIK TEZİ
OLARAK KABUL EDİLMİŞTİR.

TEZ JÜRİSİ BAŐKANI : BİLAL DİK MEN.....

ÜYE : Dr. YAKUP KARAASLAN.....

ÜYE : MUSTAFA TUNCAY.....

ÜYE : NERMİN ANUL

ÜYE : MARUF ARAS

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI
SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ'NE**

Bu belge ile bu uzmanlık tezinde bütün bilgileri akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak hazırlayıp sunduğumu beyan ederim.

Bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları andığımı ve kaynağını gösterdiğimi ayrıca beyan ederim.

Tezi Hazırlayan Uzman Yardımcısı

Nilüfer TUTOĞLU

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	İV
KISALTMALAR	Vİİ
ŞEKİL LİSTESİ	Xİ
TABLO LİSTESİ	Xİİİ
ÖZET	XİV
ABSTRACT	XV
1 GİRİŞ	1
2 MİKROPLASTİK ÖZELLİKLERİ VE SINIFLANDIRILMASI	6
2.1 Mikroplastik Özellikleri	6
2.2 Mikroplastik Sınıflandırılması	7
2.2.1 Mikroplastik Kaynakları ve Üretildiği Malzeme	7
2.2.2 Mikroplastik Boyutları	9
2.2.3 Mikroplastik Tipleri	10
2.2.4 Mikroplastik Şekilleri	21
2.2.5 Plastik Geri Dönüşüm Kodları	22
2.2.6 Mikroplastik Renkleri	24
3 MİKROPLASTİKLERİN KAYNAKLARI VE KULLANIM ALANLARI ...	25
3.1 Eysel/Kişisel Kullanım Kaynaklı Mikroplastik Oluşumu	25
3.2 Atıksu Arıtma Tesisi'nden Gelen Mikroplastik Oluşumu	28
3.3 Tarım Faaliyeti Kaynaklı Mikroplastik Oluşumu	30
3.4 İnşaat Faaliyeti Kaynaklı Mikroplastik Oluşumu	31
3.5 Kara Yolu Ulaşımı Kaynaklı Mikroplastik Oluşumu	31
3.6 Turizm Faaliyeti Kaynaklı Mikroplastik Oluşumu	31
3.7 Denizcilik Faaliyeti Kaynaklı Mikroplastik Oluşumu	32
4 MİKROPLASTİKLERİN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİSİ	33
4.1 Mikroplastiklerin Gıda Sağlığı ve Güvenliğine Etkileri	33

4.2	Mikroplastiklerin İnsan Sağlığına Etkileri	40
5 MİKROPLASTİKLERİN ÇEVRESEL ORTAMDA TAŞINIMI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ		
43		
5.1	Türkiye’deki Denizlerde Mikroplastik İncelemesi	47
5.1.1	Akdenizde Mikroplastik Değerlendirmesi	49
5.1.2	Ege Denizi’nde Mikroplastik Değerlendirmesi	51
5.1.3	Marmara Denizi’nde Mikroplastik Değerlendirmesi	51
5.1.4	Karadeniz’de Mikroplastik Değerlendirmesi	52
5.1.5	Diğer Ülkelerin Denizlerinde Mikroplastik İncelemesi	52
6 MİKROPLASTİKLERİN ANALİZ YÖNTEMLERİ.....		
54		
6.1	Mikroplastik Analizinde Dikkat Edilecek Hususlar	54
6.2	Mikroplastik Analiz Yöntemleri	54
6.2.1	Numune Alma	54
6.2.2	Numune Analizinde Ayırma (Ekstraksiyon) / Saflaştırma Temizleme(Purification)	56
6.2.3	Numune Analizinde Tanımlama ve Miktar Belirleme.....	59
7 MİKROPLASTİK KAYNAKLI KİRLİLİĞİN GİDERİM YÖNTEMLERİ. 68		
7.1	İçme suyu ve Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikroplastik Arıtma Yöntemleri.....	68
7.1.1	Disk Filtre	70
7.1.2	Hızlı Kum Filtresi	70
7.1.3	Çözünmüş Hava Flotasyonu (DAF).....	73
7.1.4	Biyolojik Aktif Filtre	74
7.1.5	Membran Biyoreaktörler	74
7.1.6	Toz Aktif Karbon- Ultra Filtrasyon (TAK-UF).....	82
7.1.7	Ultrafiltrasyon-Biyolojik Aktif Filtre (Granüler Aktif Karbon) (UF-BAF (GAC)).....	83
7.1.8	Elektrokoagülasyon Arıtma Prensibi	84
7.2	Türkiye’de Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikroplastik Çalışmaları	85

8 ULUSAL VE ULUSLARARASI MEVZUAT DÜZENLEMELERİNİN İNCELENMESİ	87
8.1 Ulusal Mevzuat Düzenlemesi	87
8.1.1 Çevre Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun.....	87
8.1.2 Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği	88
8.2 Uluslararası Mevzuat Düzenlemeleri	90
8.2.1 Plastikler için Avrupa Birliği'nde Yasal Düzenlemeler.....	90
8.2.2 Ülkelerde Mikroplastikler (Microbead) için Yasal Düzenlemeler.....	95
8.2.3 Plastik Kullanımı için Yasal Düzenlemeler	103
9 DEĞERLENDİRME	106
10 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	108
KAYNAKLAR	111
ÖZGEÇMİŞ.....	118

KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
AC	Akrilik
AÇA	Avrupa Çevre Ajansı
AISE	Uluslararası Sabun, Deterjan ve Bakım Ürünleri Derneği
ASA	Akrilonitril Stiren Akrilat
BAF	Biyolojik Aktif Filtre
BBP	Butil Benzil Ftalat
BBzP	Butilbenzil Ftalat
BPA	Bisfenol A
BEPP	Enzimatik Saflaştırma Protokolü
CaCl ₂	Kalsiyum Klorür
CEPA	Kanada Çevre Koruma Yasası
CIRFS	Avrupa İnsan Yapımı Fibers Derneği
CRF	Kontrollü Salınan Gübre
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DAF	Çözünmüş Hava Flotasyonu
DBP	Dibutil Ftalat
DDT	Dikloro Difenil Trikloroetan
DEP	Dietil Ftalat
DEHP	Di (2-Etilheksil) Ftalat
DMP	Dimetil Ftalat
DnOP	Din-oktil Ftalat
ED	Elektrodiyaliz
EP	Epoksi Reçine
EPS	Genişletilmiş polistiren
EOG	Avrupa Açık hava Grubu
EU	European Union
EURATEX	Avrupa Tekstil ve Konfeksiyon Konfederasyonu
FESI	Avrupa Spor Ürünleri Sektörü Federasyonu
FTIR	Fouirer Dönüşümü Kızılötesi Spektrometre

GAC	Granüler Aktif Karbon
GC	Gaz Kromatografisi
GIT	Mide Bağırsak Sistemi
GSMH	Ulusal Gayri Safi Milli Hasılası
HBCDs	Hekza Bromosiklo Dodekanlar
HCB	Hekzaklor Benzen
HCHs	Hekzaklorsiklo Hekzanlar
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
HELCOM	Baltık Denizi Çevre Koruma Komisyonu-Helsinki Komisyonu
HPLC	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
H ₂ O ₂	Hidrojen Peroksit
IR	Infrared
LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen
MAP	Akdeniz Eylem Planı
MARPOL	Gemilerden Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi
MBP	Monobütil Ftalat
MBR	Membran Biyoreaktör
MF	Mikrofiltrasyon
MP	Mikroplastik
MMP	Monometil Ftalat
MS	Kütle Spektrometresi
MWCO	Molekül ağırlığı ayırma sınırı
NaI	Sodyum İyodür
NaOH	Sodyum Hidroksit
NF	Nanofiltrasyon
NP	Nonilfenol
NR	Nil Kırmızı
PA	Polyamid
PAC-UF	Toz Aktif Karbon ile Ultrafiltrasyon
PAHs	Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar
PBDEs	Polibromlu Difenil Eterler
PBT	Polibütilen Tereftalat

PC	Polikarbonat
PCBs	Poliklorlu Bifeniller
PCL	Polikaprolakton
PBDEs	Polibromlu Difenileterler
PE	Polietilen
PE-HD	Polietilen Yüksek Yoğunluklu
PELD	Polietilen Düşük Yoğunluklu
PE-LLD	Doğrusal Düşük Yoğunluklu Polietilen
PET	Polietilen Tereftalat
PFAAs	Perfluoroalkil Asitler
PFE	Basınçlı Sıvı Ekstraksiyonu
PGA	Poly glykolik asit
PHA	Polihidroksialkonatlar
PHB	Poli- β - hidroksibütirat
PLA	Polilaktik asit
PMA	Polimetil Akrilat
PMMA	Polimetil Metakrilat
POP	Kalıcı Organik Kirleticiler
POM	Polioksi Metilen
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PSE, EPS	Genileştirilebilir Polistiren
PTFE	Politetrafloretilen
PU	Poliüretan
PVA	Polivinil Alkol
PVAc	Polivinil Asetat
PVC	Polivinil Klorid
PVDC	Poliviniliden Klorid
RO	Ters Ozmos
RS	Raman Spektroskopisi
SAN	Stiren Akrilonitril
SBR	Stiren Bütadien Kauçuk

SÇD	Su Çerçeve Direktifi
SDS	Sodyum Dodesil Sülfat
SPI	Plastik Endüstrisi Topluluğu
SPT	Sodyum Politungstat
SYGM	Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
TAK	Toz Aktif Karbon
TAK-UF	Toz Aktif Karbon- Ultra Filtrasyon
TBBPA	Tetrabromobisfenol A
TDS-GC	Termal Desorpsiyonlu Gaz Kromatografisi Kütle Spektrometresi
TGA-MS	Termo Gravimetrik Analiz
TGA-SPE	Katı Faz Ekstraksiyonu
TNP	Tris Nonilfenil Fosfit
OP	Oktifenol
UF	Ultrafiltrasyon
UF-BAF(GAC)	Ultrafiltrasyon - Biyolojik Aktif Filtre (Granüler Aktif Karbon)
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
UV	Ultraviyole
WFD	Su Çerçeve Direktifi
WTO	Dünya Ticaret Örgütü
WWF	Doğal Hayatı Koruma Vakfı
ZnCl ₂	Çinko Klorür

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Mikroplastik Parçacıklar	7
Şekil 2. Gıda Zincirindeki Mikroplastik Etkileri ve Kozmetikteki Mikroboncuklar..	8
Şekil 3. Birincil Mikroplastikler (A, B) , İkincil Mikroplastikler (C, D).....	8
Şekil 4. Biyobozunur Ambalaj Üretim Döngüsü	14
Şekil 5. Biyobozunur Polimerlerin Senteze Bağlı Sınıflandırılması.....	15
Şekil 6. Mikroplastik Şekilleri	21
Şekil 7. Mikroplastik Şekilleri	21
Şekil 8. Kişisel Bakım Ürününde Mikroplastik	25
Şekil 9. Deniz Faaliyetlerinde Kullanılan Sahipsiz Ekipmanlar	32
Şekil 10. Sofra Tuzunda Bulunan Mikroplastikler	37
Şekil 11. İkincil Mikroplastik Örnekleri (Plastik Reçineler)	43
Şekil 12. Mikroplastik Yutan Balık & Albatros Kuşu	45
Şekil 13. Balıkların Midesindeki Mikroplastik Örnekleri	48
Şekil 14. Mantra Ağı (Yüzey Suyu) ve Plankton Ağı (Su Kolonu).....	55
Şekil 15. El Grap	56
Şekil 16. Numune Tanımlama.....	59
Şekil 17. FTIR Spektroskopisi	61
Şekil 18. Raman Spektroskopisi	61
Şekil 19. Raman Spektroskopisi	62
Şekil 20. Kromatografik Kolonda Ayırma.....	63
Şekil 21. Kromatografinin Çalışma Prensibi	64
Şekil 22. Polimerler ve Polimer Çözücü Kimyasallar	65
Şekil 23. Sıvı Kromatografisi.....	66
Şekil 24. Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyunda Mikroplastikler.....	68
Şekil 25. Mikroplastik Arıtma Verimleri	69
Şekil 26. Biyodisk Filtre	70
Şekil 27. Hızlı Kum Filtresi	71
Şekil 28. Hızlı Kum Filtresi Şematik Görünümü.....	71
Şekil 29. Çözünmüş Hava Flotasyonu (DAF) Şematik Görünümü	73
Şekil 30. Biyolojik Aktif Filtre (BAF) Şematik Görünümü	74
Şekil 31. Membran Prosesleri ve Por Büyüklükleri.....	75

Şekil 32. Membran Proseslerinin Genel Özellikleri	75
Şekil 33. Membran Biyoreaktör (MBR) Şematik Görünümü	76
Şekil 34. Karaduvar Atıksu Arıtma Tesisi, 150.000 m ³ /gün.....	85
Şekil 35. Tarsus Atıksu Arıtma Tesisi,43.000 m ³ /gün.....	85
Şekil 36. Silifke Atıksu Arıtma Tesisi, 12.000 m ³ /gün.....	86
Şekil 37. Mersin ili Atıksu Tesisleri çıkış suyunda Mikroplastik Yoğunlukları	86
Şekil 38. Avrupada En Çok Bulunan Plastik Maddeler.....	93
Şekil 39. Tek Kullanımlık Plastikler.....	103

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Plastiklerin Boyutlarına Göre Sınıflandırılması	9
Tablo 2. Plastik Çeşitleri ve Yoğunlukları	10
Tablo 3. Plastiklerde Kullanılan Yaygın Kimyasal Katkılar	12
Tablo 4. Plastiklerin Yüzeyinde Tutulan Organik Kirleticiler.....	13
Tablo 5. Biyobozunur Polimerler.....	17
Tablo 6. Plastik Geri Dönüşüm Kodları.....	23
Tablo 7. Geri Dönüşüm Kodlarının Tarihçesi.....	24
Tablo 8. Plastik Kullanım Alanları	26
Tablo 9. Yaygın Plastik Kimyasal Katkı Malzemelerin Kullanım Alanları	28
Tablo 10. Plastiklerin Yüzeyinde Tutulan Organik Kirleticilerin Kullanım Alanları	28
Tablo 11. Gıda Maddeleri Mikroplastik Çalışmaları	35
Tablo 12. Mikroplastik ve Mikrokirleticiler için Arıtma Yöntemleri.....	81
Tablo 13. Geri Kazanım Katılım Payı Tutarı.....	88
Tablo 14. Mikroplastiklere ilişkin Ulusal Düzenlemeler	98
Tablo 15. Plastik Poşet Kullanım Yasağının Uygulandığı Ülkeler	105

ÖZET

Küresel plastik üretimi 1950’li yıllardan itibaren sürekli artmakta olup gelecek yıllarda daha da artacağı tahmin edilmektedir. Su kaynaklarının giderek azalmasının yanında her gün bu kaynaklara ulaşan milyonlarca plastik atığın oluşturduğu kirlilik sucul çevreyi ve insan sağlığını ciddi boyutta tehdit etmektedir.

Bu çalışma ile ulusal ve uluslararası çalışmalar dikkate alınarak; sucul ekosistemde ve gıdalarımızda gözlemlenen mikroplastiklerin özellikleri, kaynakları, insan sağlığına etkileri, analiz ve arıtma yöntemleri değerlendirilmiş; Türkiye’de mikroplastiklerin su kaynakları üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik yol haritası ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, ulusal ve uluslararası çalışmalardaki mikroplastiklere ilişkin sınıflandırmalar, mikroplastiklerin kaynakları ve kullanım alanları incelenerek mikroplastiklerin sucul ekosistemde ve canlılar üzerinde yarattığı zararlı etkiler ortaya konulmuştur. Çevresel ortamda taşınımı, çevresel etkileri ve su kaynaklarındaki mikroplastik analizinde kullanılan yöntemleri araştırılmıştır. Ulusal ve uluslararası mevzuatta mikroplastik kirliliği konusunda düzenlemeler karşılaştırılmış olup, ülkemizde su kalitesinin korunması için mikroplastik kirliliğinin giderim yöntemleri konusunda değerlendirmeler yapılmıştır. Mikroplastik kirliliği ve araştırmasının mevcut durumu ile ilgili yapılan değerlendirme neticesinde, mikroplastikler konusunda bilimsel çalışmaların artırılarak hem ulusal hem uluslararası düzeyde yönetim planı oluşturulması ve uygulanması gerektiği, bunların arıtılabilirlik durumuna göre arıtma sınıfı limit değerlerinin belirlenmesi gerektiği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastikler, plastik atıklar, arıtma yöntemleri, analiz yöntemleri, su kaynakları, sucul ekosistem, insan sağlığı

ABSTRACT

Global plastics production has been continuously increasing since the 1950s and is expected to increase further in the coming years. In addition to the decline in water resources, the pollution caused by millions of plastic waste reaching these resources every day seriously threatens the aquatic environment and human health.

In this study, it is aimed to present the characteristics, the sources of the observed microplastics in food and the effects on aquatic ecosystems and on human health, and the road map minimizing the negative impacts of microplastics on water resources in Turkey by evaluating the analysis and treatment methods of microplastics and by taking into account national and international studies. In this context, the harmful effects of microplastics on aquatic ecosystems and living organisms were evaluated by investigating the classifications, the sources and the usage areas of microplastics in national and international studies. The transport, the environmental impacts and the methods used in microplastic analysis in water resources were investigated. The regulations concerning microplastic pollution in national and international legislation were compared, as well as the treatment methods of microplastic pollution in order to protect the water quality in our country were assessed. As a result of the evaluation on the current situation of microplastic pollution and research, the need for a management plan on microplastics in both national and international level, for limit values of different treatment class by scaling up the scientific studies on microplastics have been set forth.

Keywords: Microplastics, plastic waste, treatment methods, analysis methods, water resources, aquatic ecosystem, human health

1 GİRİŞ

Su, ekosistemi oluşturan canlılar için yaşamın temel unsurlarından biridir ve son derece önemli bir doğal kaynaktır. İklim değişikliği ile birlikte kuraklık, nüfus artışı, tarımsal faaliyetler, giderek artan sanayileşme faaliyetleri gibi nedenlerle mevcut su kaynaklarının hızla tükenmekte ve kirlenmektedir. Bu sebeple, yaşam için elzem olan suyun korunarak kullanılmasını ve kirlenmesinin önlenmesini canlı hayatının devamı ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması açısından çok önemli bir hale getirmiştir.

Su kirliliğinin nispeten yeni fark edilen bir boyutu da plastik kirliliğidir. Denizlere ve nihayetinde okyanuslara karışan plastiklerin çoğu karadan gelen büyük plastiklerden kaynaklanmaktadır. Büyük plastik parçalar; rüzgârlar, dalgalar, ultraviyole ışınlarının etkisiyle mikroplastiklere bölünerek nehirler ile göllere ve denizlere ulaşmaktadır. Günümüzde plastikler birçok tüketim maddesinde kullanılmaktadır. Mikroplastik adı verilen daha küçük boyutlu plastikler kişisel bakım ve temizleme ürünleri içerisine doğrudan üretimi sırasında aşındırma özelliği sağlama maksadıyla ilave edilmektedir. Tekstil ürünlerinin yapımı sırasında ise bir tür mikroplastik çeşidi olan sentetik lifler kullanılmaktadır (GESAMP, 2016; Wu vd., 2017). Bu ürünlerin kullanımı neticesinde microboncuklar ve sentetik lifler öncelikle kanalizasyon sistemine ve daha sonra atıksu arıtma tesislerinde arıtilamazsa doğrudan su kaynaklarına ulaşmaktadır. Deniz ortamında su yüzeyinde, su kolonunda, sedimentte ve balıklarda gerçekleştirilen çalışmalarda mikroplastik kirliliği tespit edilmiştir. Ülkemiz denizlerinde mikroplastik incelenmesi çalışmaları sonuçları, uluslararası çalışmaların sonuçları ile kıyaslandığında; ülkemiz denizlerindeki mikroplastik miktarının daha az tespit edilmiş olmasına rağmen, sucul ekosistemdeki mikroplastiklerin en büyük kaynağının atık su arıtma tesisleri olduğu düşünülmektedir (Akarsu vd., 2017). Bu sebeple, atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurlarının bünyesindeki mikroplastiklerin yağmur ve rüzgâr ile beraber yüzey akışına geçmesinin önlenmesi ve su kaynaklarının korunması için etkin bir atık yönetimi uygulanması gerekmektedir.

Sucul ortamda yaşayan tüm canlılar birbirine besin ağı ile bağlı olup deniz ekosistemini oluşturmaktadır. Deniz ortamında bulunan mikroplastikler hareketsiz ve renkli olmaları sebebiyle birçok deniz canlısı tarafından yem olarak yanlışlıkla tüketilmekte ve böylece besin zincirine karışmaktadır (Rist vd., 2018; Smith vd., 2018; Bouwmeester vd., 2015). Mikroplastikler canlılar tarafından tüketildiğinde sindirim organlarında tıkanmalara neden olmakta ve besin alınımını azaltmaktadır (Rist vd., 2018; Kershaw, 2016). Deniz

canlıları üzerinde yapılan çalışmalarda balıkların mide ve bağırsaklarında mikroplastikler tespit edilmiş, ancak balıklarda doku örneklemesine ilişkin yeterli çalışma gerçekleştirilmediği görülmüştür.

Mikroplastikler yüksek oranda absorban olduğu için ağır metaller, endokrin bozucu kimyasallar ve dirençli organik kirleticiler gibi kirleticileri üzerlerine çekmektedir (Yurtsever, 2015; GESAMP, 2015). Bu zararlı maddeler canlılarda; doğum kusurları, bilişsel gelişim bozuklukları, üreme sorunları ve kanser gibi zararlı etkilere sebep olmaktadır. Günümüzde mikroplastik kirliliği konusunda yapılmış çalışmalar artmış olmasına rağmen gıdalardaki mikroplastik kirliliği ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin belirlenmesine ilişkin yeterli bilimsel çalışma bulunmamaktadır (Li vd., 2018). Mikroplastiklerin insan sağlığı üzerinde direkt olarak olumsuz etkisi bulunmamakla beraber mikroplastiklerin yapısında bulunan veya yüzeyinde tutunan tehlikeli maddeler sebebiyle insan sağlığını olumsuz etkileyebileceğine ilişkin bilimsel çalışmaların artırılması gerekmektedir.

Mikroplastiklerin hidrofobikliği, kimyasal yapısı (yüzey yükü) ve parça büyüklüğü insan sağlığına olumsuz etkilere neden olan belirleyici faktörlerdir. Mikroplastiklerin insan sağlığı üzerinde potansiyel etkileri daha çok parçacık özelliklerine bağlıdır ve mikroplastik parçacıklardan ziyade nanoplastiklerin insan sağlığını olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir (Rist vd., 2018). Kemirgenler tarafından yutulan mikroplastiklere ilişkin yapılan çalışmada, mikroplastiklerin kanda çok zor emildiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada, mikroplastiklerin çok küçük bir kısmının kan dolaşımına lenf yoluyla ulaşabildiği görülmüş ancak bu miktarın organlara nüfuz edemediği ve muhtemelen dalak yoluyla elimine edildiği belirlenmiştir (Bouwmeester vd., 2015). Başka bir çalışmada ise yutulan mikroplastik ve nanoplastiklerin büyük kısmının insan vücudundan atıldığı tespit edilmiştir (Smith vd., 2018). Mikroplastikler büyüklüklerinden dolayı hücre membranlarından geçememektedir. Ancak, mikroplastiklerin bağırsakta iltihaplanma gibi etkileri mümkün olabilmekte ve dolayısıyla bağışıklık sistemini etkileyebilmektedir. Nanoplastikler ise plasenta ve beyin dâhil tüm organlara nüfuz edebilmekte ve hücre membranları içerisine taşınabilmektedir. Ancak nanoplastik toksisitesine ilişkin yeterli bilimsel çalışma mevcut değildir (Bouwmeester vd., 2015). Bir diğer çalışmada, farklı ülkelerde yaşayan insanlardan alınan gaita örneklerinde mikroplastik tespit edilmiştir. Bu inceleme mikroplastığın sindirim sistemi için tehlikeli olabileceğine dair bir işaret olmasına rağmen insanlar için olası tehlikelerine ilişkin yeni araştırmalar ile doğrulanması gerekmektedir (Rist vd., 2018).

Ulusal ve uluslararası mevzuat, arıtma yöntemleri açısından incelenmiş olup mikroplastikler ile ilgili sınır değeri ve arıtımı ile ilgili yasal bir zorunluluk bulunmadığından arıtma tesisleri mikroplastik giderimi maksatlı dizayn edilmemiştir. Ancak birçok ileri arıtma yönteminin mikroplastik gideriminde etkili olduğu görülmektedir. Ülkemizdeki atık su arıtma tesislerinde gerçekleştirilen mikroplastik incelenme çalışması ile uluslararası çalışmalar kıyaslandığında, ülkemiz atıksu arıtma tesisinden gelen mikroplastik kirliliğinin daha az miktarda olduğu görülmektedir. Literatürde; atık su arıtma tesislerinde membran, hızlı kum filtrasyonu, çözülmüş hava flotasyonu ve disk filtre ileri arıtma teknolojilerini kullanan tesislerde mikroplastik gideriminin sağlandığı görülmektedir. Ayrıca konvansiyonel arıtma sistemine ilave edilecek elektrokoagülasyon, biyolojik aktif filtre, toz aktif karbon-ultrafiltrasyon ve ultrafiltrasyon ile biyolojik granüler aktif karbon filtre arıtma sistemlerinde etkin bir mikroplastik giderimi sağlanabilmektedir (Talvitie vd., 2017). Tüm bu ileri arıtma proseslerinden özellikle çözülmüş hava flotasyonu, toz aktif karbon, membran arıtma sistemlerinin içme suyu arıtma tesislerinde de mikroplastiklerin su kaynaklarımızdan uzaklaştırılmasına ilişkin etkin arıtma yöntemleri olduğu değerlendirilmiştir. Ancak söz konusu arıtma yöntemleri ile mikroplastik arıtma verimliliği tespitine ilişkin henüz bir pilot çalışma bulunmamaktadır. Ülke genelinde su kaynaklarında mikroplastik giderimi sağlayan arıtma proseslerinin değerlendirilmesi için uluslararası standart yöntemlerle düzenli analizler yapılarak pilot çalışmalar gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Literatür taramasında çeşitli ülkelerde tüketilen gıda maddelerinden tuz, bal, şeker, bira ve balık bünyesinde; ayrıca musluk suyu ve şişe suyunda mikroplastik tespit edilmiştir (Karbalaeei vd., 2018). Gıda ürünlerinin çoğunun marketlerden satın alınarak analizlerinin yapıldığı düşünülürse, ambalajlanmaları sırasında az miktarda olsa ürünlerin mikroplastik kirliliğine maruz kaldığı düşünülmektedir.

Ulusal ve uluslararası çalışmalar incelendiğinde, mikroplastiklerin tespitinde karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilebilmesi için uluslararası standartlarda kabul edilmiş bir analiz yöntemi bulunmadığı görülmektedir. Mikroplastik analizinin aşamaları ayırma, saflaştırma, miktar belirleme ve tanımlamadır. Genellikle mikroplastikler numune içerisinden yoğunluk farkından yararlanılarak ve vakumlu filtrasyon sistemiyle ayrılmaktadır. Saflaştırma yöntemi ile numunede tespit edilen organik ve inorganik madde gibi engelleyici maddeler uzaklaştırılmaktadır. Mikroplastikler mikroskop kullanılarak tanımlanabilmekte, ancak güvenilir sonuçların elde edilmesi için spektroskopik yaklaşımların da uygulanması tavsiye

edilmektedir. Mikroplastik karakterizasyonunu belirlemek için FTIR spektrometre ve Raman spektroskopisi yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Mikroplastikler konusunda ulusal ölçekte mevzuatta bir düzenleme olmadığı, uluslararası düzenlemeler incelendiğinde ise bazı ülkelerde birincil mikroplastiklerin kullanımı konusunda bazı ürünlerde yasal kısıtlama getirildiği görülmüştür. Karadan kaynaklanan plastiklerin en önemli mikroplastik kirliliği kaynağı olması sebebiyle ülkemizdeki yasal düzenlemeler incelendiğinde “Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği” kapsamında plastik torbaların kullanımının azaltılması, tek kullanımlık ambalajların tüketim sonrasında geri dönüşüm sürecine dâhil edilmesi hedeflenmektedir. “Çevre Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun” kapsamında plastik poşet ve plastik ambalaj kullanımının azaltılmasına yönelik ilave düzenlemeler getirilmiştir. Bu kanun değişikliği gereğince plastik poşetlerin kullanıcıya ücret karşılığı verilmesi, belirlenen ambalajlar için depozito uygulanması zorunluluğu getirilmiştir. Ayrıca Ülkemizde de yaygın kullanılan kişisel bakım ürünlerinde kullanılan microboncuklar için yasal düzenlemelerin getirilmesi faydalı olacaktır. Mikroplastiklerin ikincil kaynağı olan plastiklerin kullanımının azaltılması, mikroplastik kirliliğinin azaltılması hususunda gereklilik arz etmektedir.

Avrupa Birliği’nde plastik atıkları azaltmak maksadıyla “Döngüsel bir Ekonomide Plastikler için Avrupa Stratejisi” kapsamında tek kullanımlık plastik tüketiminin azaltılması ve mikroplastiklerin kasıtlı kullanımının kısıtlanması hedeflenmektedir. AB Plastik Stratejisi’nin devamı niteliğinde olan “Bazı Plastik Ürünlerin Çevreye Olan Etkisinin Azaltılması Konusunda Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi” kapsamında, kayıp ve terkedilmiş balıkçılık malzemelerinin azaltılmasının yanı sıra tek kullanımlık plastik ürünlerin kullanımını kısıtlamayı hedefleyen yeni değişiklikler önerilmiştir. Benzer yasal uygulamaların eylem planları geliştirilerek ulusal mevzuata aktarılması faydalı olacaktır.

Denizlerde mikroplastik kirlilik kaynağı olan deniz çöpleriyle mücadele etmek için G7 ülkeleri tarafından bir eylem planı hazırlanmıştır. Ayrıca, Almanya’da plastik atıkların azaltılması için bir eylem planı uygulanmaktadır. Afrika Ruanda, Kenya, Güney Afrika’da plastik poşetlerin kullanımı yasaklanmıştır. Plastik alışveriş poşetini kullanımını yasaklayan ülkeler Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere ve Meksika gibi ülkelerdir. Ülkemizde ise “Çevre Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun” kapsamında uygulanan plastik poşet ve ambalaj kullanımının azaltılması mikroplastik kirliliğini kaynağında azaltma konusunda faydalı olacaktır.

Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından mikrokirleticilere ilişkin gerçekleştirilen “Türkiye'deki İçmesuyu Kaynaklarının ve Arıtma Tesislerinin Değerlendirilmesi” projesi kapsamında, ülkemizde ilk defa tespit edilen 89 adet mikrokirletici parametresi için izleme çalışmaları yapılmıştır. Her ne kadar ülkemiz su kaynakları henüz Avrupa'daki su kaynakları kadar uzun zamandır kirlilik problemi ile karşı karşıya olmamasına rağmen mikrokirleticiler için yapılan bilimsel çalışmaların benzeri mikroplastikler için de uygulanması faydalı olacaktır. Ulusal ve uluslararası mevzuatın incelenmesi neticesinde arıtma tesislerinde mikroplastiklere ilişkin uluslararası kabul görmüş net bir tanım ve herhangi bir limit değeri bulunmadığı görülmüştür. Su kaynaklarının etkin bir şekilde koruma ve kullanma dengesinin tesisi için mevzuatta mikroplastiklerin arıtılabilirliklerine ilişkin arıtma sınıfı limit değerlerin belirlenmesi ve mevzuata aktarılması gerekmektedir.

Bu çalışma ile sucul ekosistemde ve gıdalarımızda gözlemlenen mikroplastiklerin özellikleri, kaynakları, insan sağlığına etkileri analiz ve arıtma yöntemleri değerlendirilerek ülkemizde mikroplastiklerin su kaynakları üzerindeki zararlı etkilerinin azaltılmasına yönelik yol haritasının ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, ulusal ve uluslararası çalışmalarda mikroplastiklere ilişkin sınıflandırmalar, mikroplastiklerin kaynakları ve kullanım alanları incelenerek mikroplastiklerin sucul ekosistem ve canlılar üzerinde oluşturduğu zararlı etkiler değerlendirilmiştir.

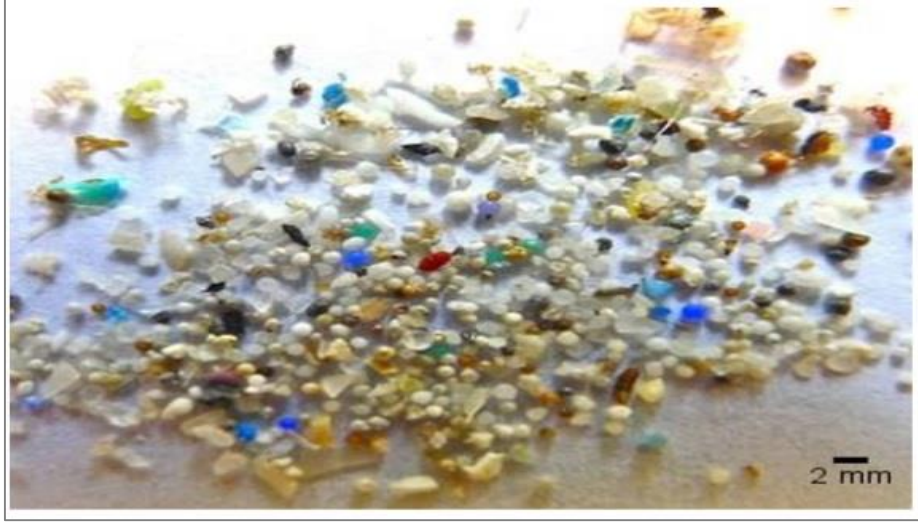
2 MİKROPLASTİK ÖZELLİKLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

2.1 Mikroplastik Özellikleri

Plastik kelimesi, "şekillendirilebilen veya kalıplanabilen" anlamına gelen Yunanca πλαστικός'dan (plastikos) ve "kalıplı" anlamına gelen πλαστός (plastos) kelimelerinden türetilmiştir. Plastiklerin tarihi eskilere dayansa da bilinen petrol türevli plastiklerin geçmişi petrolün bulunmasından sonraya denk gelmektedir. İlk sentetik plastik, bakelit (formaldehit ve fenoltürevli) adıyla bilinen plastik olup 1909 yılında üretilmiştir. Polimerlerden ilk üretileni olan polistiren (PS) ve polivinil klorür (PVC), 1930'lu yıllarda dünyanın en büyük plastik üretim şirketi, BASF firması tarafından üretilmiştir. Daha sonra sırasıyla 1933 yılında polietilen, 1954 yılında polipropilen ve polietilen tereftalat üretilmeye başlanmıştır. Plastiklerin endüstriyel olarak kitlesel üretimi ise 1950'lerde başlamıştır (Gündoğdu, 2018). 1950'li yıllardan beri küresel plastik üretimi sürekli artarak 2015 yılında 322 milyon ton, 2016 yılında ise 355 milyon tona ulaşmıştır ve 2050 yılında 33 milyar ton tahmini üretim gerçekleştirileceği öngörülmektedir (Plastics Europe, 2017).

Plastikler, yaygın olarak ticari ve endüstriyel uygulamalarda hafif, esnek, dayanıklı, güçlü, nispeten ucuz, su ve korozyona dayanıklı olduklarından çok amaçlı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca tüm bu özellikleri plastiği, dünya çapında aşırı tüketilen bir malzeme haline getirmektedir. Bununla birlikte, kalıcı ve çok yavaş bir şekilde bozunmaya uğradığı için doğada telafisi olmayan zararlara neden olabilmektedir. Tek kullanımlık plastiklerin ve geri dönüştürülmeden çöp haline getirilen plastiklerin, hava toprak ve denizde neden olduğu kirliliğe plastik kirliliği denmektedir. Günümüzde plastik kirlenmesi giderek artan bir çevre sorunu haline gelmiştir (Tokaç, 2018).

Tek bir plastik parçalanarak milyonlarca mikroplastik parçacığa dönüşebilmektedir. Mikroplastikler sucul ekosistemde dağılabilen 5 mm'den küçük plastik parçacıklardır. Genellikle kozmetik, temizlik ürünleri veya plastik ürünlerin üretimi için hammadde olarak kullanılmaktadır. Küçük boyutlu plastik parçacıklar, küresel olarak yayılmakta, okyanuslarda, deniz kıyılarında, tatlı su göllerinde ve nehirlerde yaygın bir su kirliliği haline gelmektedir. Mikroplastikler küçük boyutları nedeniyle suda yaşayan hayvanlar tarafından kolayca yutulabilmektedir. Bu sebeple bu tür gıdaların deniz canlıları tarafından tüketimi kimyasal, fiziksel ve biyolojik bir tehlike arz etmektedir (Tokaç, 2018).



Şekil 1. Mikroplastik Parçacıklar

(Oladejo, 2017)

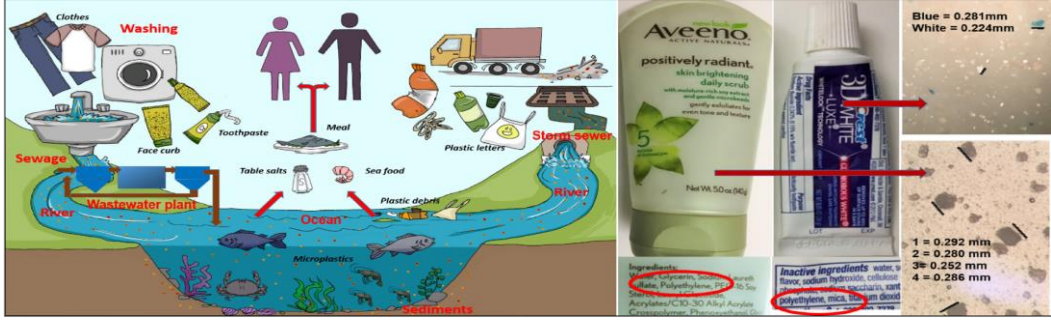
2.2 Mikroplastik Sınıflandırılması

Mikroplastikler üretildiği plastik malzemesine ve kullanım alanlarına göre çeşitli küçük plastik parçacıklardan oluşmaktadır. Mikroplastikler boyutları, kaynakları, üretildiği malzeme, tipleri, yapısı, şekli, rengi ve aşınma durumuna göre sınıflandırılmaktadır. Bu kategorilere göre günümüzde kullanılan plastiklere bağlı olarak oluşan mikroplastiklerin çeşitli özellikleri esas alınarak yapılan sınıflandırmalar aşağıda belirtilmektedir (Yurtsever, 2015).

2.2.1 Mikroplastik Kaynakları ve Üretildiği Malzeme

1970'lerde, peelingte kullanılmak üzere kişisel bakım ürünleri için üretilen mikroplastikler; 1990'larda, plastik kirliliğine sebep olmaya başlamış ve günümüzde ise büyük bir kirlilik kaynağı haline gelmiştir. Mikroplastikler üretim yöntemlerine göre birincil ve ikincil mikroplastikler olarak sınıflandırılmaktadır.

Birincil Mikroplastikler: Kişisel bakım ürünlerinde kullanılmak üzere üretilmiş el sabunları, yüz temizleyicileri, diş macunları, aşındırıcı maddeler ve tekstilde kullanılmak üzere sentetik tekstil ürünlerin yıkanması sonucu meydana gelen poliester içerikli (PET, naylon, akrilik vb) sentetik liflerdir. Ayrıca sanayi sektöründe hava üfleme teknolojisinde kullanılmak üzere üretilmiş akrilik, melamin veya polyester temizleyiciler de bu grupta bulunmaktadır (Wu vd., 2017). Bu parçacıklar kullanıldıktan sonra kanalizasyon sistemlerinde arıtılmazlarsa doğrudan su ortamına ulaşmaktadır (GESAMP, 2015).

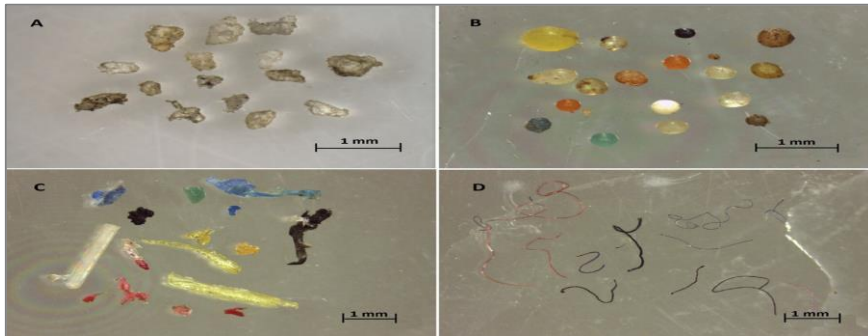


Şekil 2. Gıda Zincirindeki Mikroplastik Etkileri ve Kozmetikteki Mikroboncuklar

(Wu vd., 2017)

İkincil Mikroplastikler: Büyük plastik parçaların rüzgar, dalga ve ultraviyole ışınları ile parçalanması ve karada taşıtların lastiklerinin aşınmasından oluşan plastik toz parçacıklardır (Oladejo, 2017; Wu vd., 2017). Birincil ve ikincil mikroplastik maddelere verilebilecek örnekler şu şekildedir:

- Tüketici ürünleri: Kozmetiklerdeki mikroboncuklar; yüz temizleme ve peeling jelleri, şampuan ve sabunlar, diş macunu, eyeliner, rimel, dudak parlaticısı, deodorant ve güneş kremleri (birincil mikroplastikler)
- Tekstil ürünleri: Tekstil ürünlerinde kullanılan polyester, polyamid (nylon) ve polar malzemeler (birincil mikroplastikler)
- Endüstriyel hammaddeler ve döküntüleri: Plastik üretim, işleme ve şekillendirme işlemlerinden (ikincil mikroplastikler)
- Ulaşım: Araç lastiği parçaları (ikincil mikroplastikler)



Şekil 3. Birincil Mikroplastikler (A, B), İkincil Mikroplastikler (C, D)

2.2.2 Mikroplastik Boyutları

Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi (2008/56/EC), deniz çöplerini boyutlarına göre (5mm uzunluğunun üstünde veya altında) makro ve mikro tanımı ile ayırım yapmaktadır. Avrupa Birliği'nde deniz mikroplastiklerini standart bir şekilde örneklenmesi ve izlenmesi amacıyla hazırlanan Avrupa Denizlerinde Deniz Çöpleri için İzleme Kılavuzu'nda makro plastikler (> 25mm), mezoplastikler (5 ila 25 mm), büyük mikroplastikler (1 ila 5 mm) ve küçük mikroplastiklerin (20 µm ila 1 mm) boyutları belirlenmiştir. Laboratuvarlarda yaygın olarak kullanılan FTIR cihazı ile tanımlanabilen ve tespit edilebilen en küçük limit değer olması sebebiyle mikroplastik boyutunda alt sınır uzunluk olarak 20 µm belirlenmiştir. Ancak mikroplastik terimlerin uluslararası standartlaştırılmış bir tanımı bulunmadığı bildirilmektedir (Verschoor, 2015).

Ulusal ve uluslararası çalışmalar yapan bilim adamlarınca; Direktife uyum için hazırlanan çalışma grubu raporunda mikro plastiklerin genel özelliklerine göre 5 mm'den küçük, yüksek polimer içerikli sentetik malzeme ve suda çözünmeyen, parçalanamayan katı parçacıklar olarak tanımlanmaktadır (Verschoor, 2015). Plastiklerin boyutlarına göre sınıflandırılması Tablo 1'de verilmiştir (GESAMP, 2016; Verschoor, 2015; Lusher vd., 2017).

Tablo 1. Plastiklerin Boyutlarına Göre Sınıflandırılması

Plastiklerin Sınıflandırılması	
Megaplastikler	>1 m
Makroplastikler	<1m
Mezoplastikler	<2.5cm (25mm)
Büyük Mikroplastikler	1mm – 5 mm
Küçük Mikroplastikler	1mm – 20 µm (0.02 mm)
Nanoplastikler	1nm – 100 nm

2.2.3 Mikroplastik Tipleri

2.2.3.1 Bozunmayan Petrol Esaslı Plastikler

Günümüzde yaygın kullanılan plastikler, küresel plastik üretiminin yaklaşık % 90'ını temsil eden polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinilklorid (PVC), polistiren (PS) ve polietilentereftalat (PET) dir (Venngaus, 2017). Yaygın kullanılan doğada bozunmayan (petrol esaslı) plastiklerin çeşitleri ve yoğunlukları Tablo 2’de verilmektedir (Yurtsever, 2015; Gündoğdu; GESAMP, 2016).

Tablo 2. Plastik Çeşitleri ve Yoğunlukları

Plastik Adı		Plastik Yoğunluğu
ABS	Acrylonitrile butadiene styrene (Akrilonitril Bütadien Stiren)	1.04 g.cm ⁻³
AC	Acrylic (Akrilik)	1.09-1.20 g.cm ⁻³
ASA	Acrylonitrile styrene acrylate (Akrilonitril Stiren Akrilat)	1.05-1.07 g.cm ⁻³
EP	Epoxy resin (Thermoset)	1.6-2 g.cm ⁻³
PA	Polyamide-Nylon (Polyamid)	1.02-1.04 g.cm ⁻³
PBT	Polybutylene terephthalate (Polibütülen Tereftalat)	1.31 g.cm ⁻³
PC	Polycarbonate (Poli Karbonat)	1.20-1.22 g.cm ⁻³
PCL	Polycaprolactone (Poli kaprolakton)	1.145 g.cm ⁻³
PE	Polyethylene (Polietilen)	0.917-0.965 g.cm ⁻³
PE-HD, HDPE	Polyethylene high density (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)	0.94 – 0.96 g.cm ⁻³
PE-LD, LDPE	Polyethylene low density (Düşük Yoğunluklu Polietilen)	0.91 – 0.93 g.cm ⁻³
PE-LLD	Polyethylene linear low density (Polietilen Doğrusal Düşük Yoğunluklu Polietilen)	0.92-0.926 g.cm ⁻³
PET, PETE	Polyethylene terephthalate (Polietilen Tereftalat)	1.37-1.45 g.cm ⁻³
PGA	Polyglycolic acid (Polyglokolik Asit)	1.6 g.cm ⁻³
PLA	Poly(lactide) (Polylaktit)	1.36 g.cm ⁻³
PMA	Polymethyl acrylate (Polimetil Akrilat)	1.22 g.cm ⁻³

PMMA	Polymethyl Methacrylate, (Polimetil Metakrilat, Pleksiglas)	1.17-1.20 g.cm ⁻³
Polyester	Polyester	1.24-2.3 g.cm ⁻³
POM	Polyoximethylene (Polioksimetilen, Asetal)	1.41-1.61 g.cm ⁻³
PP	Polypropylene (Polipropilen)	0.83-0.90 g.cm ⁻³
PS	Polystyrene (Polistiren)	0.96–1.05 g.cm ⁻³
PTFE	Polytetrafluoroethylene (Politetrafloretilen)	2.16 g.cm ⁻³
PSE, EPS	Polystyrene-expandable (Genileştirilebilir Polistiren)	1.1 g.cm ⁻³
PU, PUR	Polyurethane (Poliüretan)	1.2 g.cm ⁻³
PVA	Polyvinyl alcohol (Polivinil Alkol)	1.26 - 1.33 g.ml
PVC	Polyvinyl chloride (Polivinil Klorid)	1.16-1.58 g.cm ⁻³
PVDC	Polyvinylidene chloride (Poliviniliden Klorid)	1.63 g.cm ⁻³
SAN	Styrene Acrylonitrile (Stiren Akrilonitril)	1.1-1.4 g.cm ⁻³
SBR	Styrene-butadiene rubber (Stiren Bütadien Kauçuk)	0.94 g.cm ⁻³

Büyük plastikler su ortamında parçalandıktan sonra farklı yoğunluk değerlerinden dolayı su yüzeyinde, su kolonunda ve sedimentte bulunabilmektedir.

Tablo 3. Plastiklerde Kullanılan Yaygın Kimyasal Katkıları

Yaygın Plastik Kimyasal Katkıları		Kullanımı
BPA	Bisphenol A (Bisfenol A)	Polikarbonat ve epoksi reçine üretiminde kullanılan bir monomer
Phthalates	Phthalate esters (Ftalat Esterleri)	Esneklik ve dayanıklılık geliştirici
MMP	Monomethyl phthalate (Monometil Ftalat)	Plastikleştirici
DMP	Dimethyl phthalate (Dimetil Ftalat)	Plastikleştirici
DEHP	Di-(2-ethylhexyl)phthalate (Di- (2-etilheksil) Ftalat)	PVC plastikleştirici
BBzP	Butylbenzyl phthalate (Butilbenzil Ftalat)	Plastikleştirici
MBP	Monobutyl phthalate (Monobütül Ftalat)	Plastikleştirici
DBP	Dibutyl phthalate (Dibutil Ftalat)	Tırnak cilası içinde kullanılan kırılma önleyici madde
DEP	Diethyl phthalate (Dietil Ftalat)	Cilt yumuşatıcılar, renk ve koku düzeltici
Alkylphenols	Alkilfenoller	Plastikleştirici/ Stabilizatör
TNP	Tris Nonylphenol phosphites (Tris Nonilfenil Fosfit)	Plastikleştirici/ Stabilizatör
NP	Nonylphenol (Nonilfenolün)	Gıda ambalajında ve PVC'de kullanılan stabilizatör
OP	Octylphenol (Oktilfenol)	Plastikleştirici/ Stabilizatör
Organotin Compunds	Organotin Bileşikleri	Stabilizatör
Mono-en dialkyltin carboxylates	Mono-en Dialkiltin Karboksilatları	Stabilizatör
Tin mercaptans	Kalay Merkaptanları	Stabilizatör
Tin Sulfides	Kalay Sülfidler	Stabilizatör
HBCDs	Hexabromocyclodo Decane (Hekzabromosiklo Dekanlar)	Alev geciktirici
PBDEs	Polybrominated diphenyl ethers (Polibromlu Difenil Eterler)	Alev geciktirici PP, PS sabitleyici
TBBPA	Tetrabromobisphenol A (Tetrabromobisfenol A)	Alev geciktirici

Tablo 4. Plastiklerin Yüzeyinde Tutulan Organik Kirleticiler

Plastiklerin Yüzeyinde Tutulan Organik Kirleticiler		Kullanımı
DDT	Dichloro Diphenyl Trichloroethane (Dikloro Difenil Trikloroetan)	Pestisit, Kalıcı Organik Kirletici (Yasaklı madde)
PAHs	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar)	Yanma Ürünleri, Muhtemel Kanserojen, Kalıcı Organik Kirletici
PCBs	Polychlorinated Biphenyls (Poliklorlu Bifeniller)	Soğutma ve Yalıtım Sıvıları, Kalıcı Organik Kirletici
POPs	Kalıcı Organik Kirleticiler	Kalıcı Organik Kirletici
HCHs	Hekza Klorsiklo Hekzanlar	Böcek ilacı, Kalıcı Organik Kirletici, (Yasaklı madde)
HCBs	Hekza Klor Benzenler	Muhtemel Kanserojen, Kalıcı Organik Kirletici (Üretimi durdurulmuştur)
Klordanlar	Organoklorin Pestisit	Böcek ilacı, İnsan Karsinojeni, Kalıcı Organik Kirletici (Yasaklı madde)
Mirex	Organoklorin Pestisit	Alev Geciktirici, Kalıcı Organik Kirletici, Endokrin Bozucu, (Yasaklı madde)
PBDEs	Polibromlu Difenil Eterler	Plastik Katkı Maddesi
HBCDs	Hekza Bromosiklo Dekanlar	Kalıcı Organik Kirletici
PFAAs	Perfluoro Alkil Asitler	Kalıcı Organik Kirletici
BPA	Bisfenol A	Kimyasal Katkı Maddesi, Endokrin Bozucu, Sentetik Organik Bileşik
NP	Nonilfenol	Plastik Katkı Maddesi, Endokrin Bozucu
OP	Oktifenol	Plastik Katkı Maddesi, Endokrin Bozucu
Ağır Metaller	Kadmiyum, Çinko, Nikel, Çinko vb.	

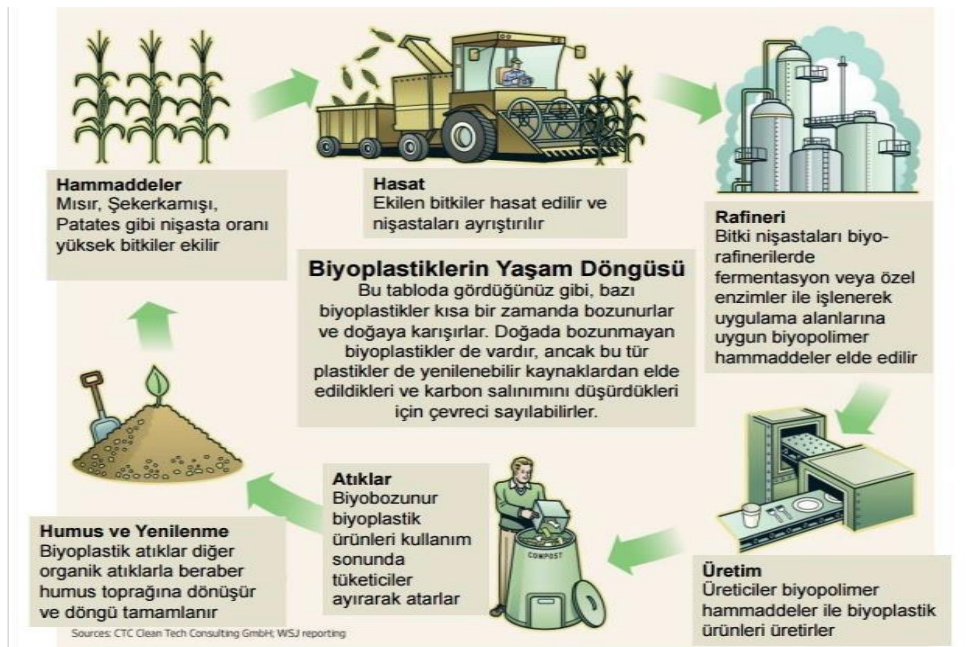
Mikroplastikler Tablo 4’de belirtilen ortamdaki hidrofobik kirleticileri yüzeyinde tutması ve Tablo 3 de belirtilen kimyasalları ise yapısında bulundurması sebebiyle sucul ekosistemde önemli bir kirlilik kaynağı oluşturmaktadır (Yurtsever, 2015; GESAMP, 2016; Bouwmeester vd., 2015).

Mikroplastikler bu kirleticilerin taşınmasına, aynı zamanda organizmalar tarafından tüketilerek besin ağına girmesine ve besin ağı boyunca en üst canlıya kadar ulaşmasına neden olmaktadır (Kıdeyş A. E., 2018).

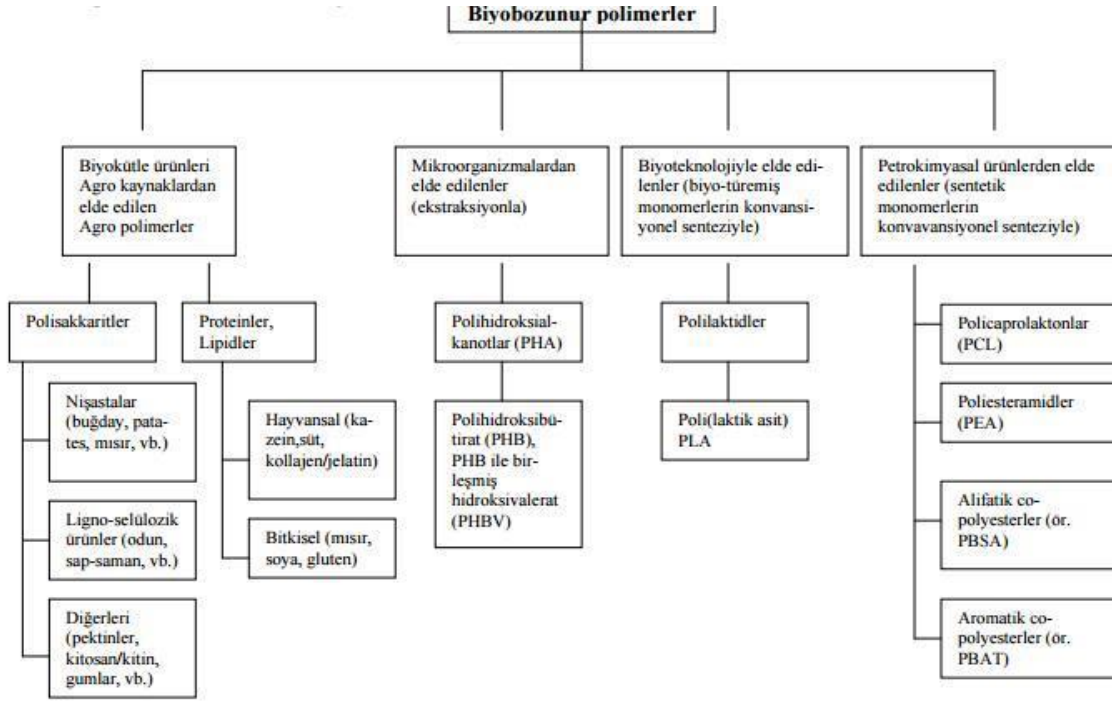
2.2.3.2 Biyobozunur Plastikler (Biyobozunur Gıda Ambalaj Malzemeleri)

Günümüzde, yenilenebilir, biyobozunur, biyoyoumlu ve doğa dostu plastiklerin bakterilerde sentezi ve polimer kimyasındaki uygulamaları sonucu biyoplastiklere olan ilgi her geçen gün artmakta ve bu konuyla ilgili daha detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle gıda ambalajlama alanında biyobozunur ambalajların kullanımı ve geliştirilmesi yaygınlaşmaktadır. Biyobozunur polimerler bakteri, mantar ve alg gibi mikroorganizmaların enzimatik aktivitelerinden dolayı biyoaktif çevrede biyodegradasyonu sonucu, CO₂, CH₄, biyokütle, su, humus ve diğer doğal maddelere dönüşmekte, geriye doğaya zararlı maddeler bırakmamaktadır.

Biyobozunur plastiklerin önemli kısmının hammaddesini nişasta, selüloz ve protein gibi doğal kaynakların oluşturması, bu ambalaj malzemelerinin kullanılabilirliğini artırmaktadır. Biyoplastiklerin henüz plastiklerle yeterince rekabet edememesinin en önemli sebebi yüksek araştırma-geliştirme maliyetleri ve düşük üretim kapasitesidir. Gelecekte ham petrol fiyatlarının artması ile yenilenebilir hammadde kaynaklarının daha da önem kazanacağı ve çevre dostu plastiklerin bugünkü plastiklerin yerini alacağı düşünülmektedir. Biyobozunur ambalajların üretim döngüsü Şekil 4 ve biyobozunur polimerlerin senteze bağlı olarak sınıflandırılması ise Şekil 5'te verilmiştir (Kılınç vd., 2017).



Şekil 4. Biyobozunur Ambalaj Üretim Döngüsü



Şekil 5. Biyobozunur Polimerlerin Senteze Bağlı Sınıflandırılması

2.2.3.2.1 Biyobozunur Polimerler

Biyopolimerler; biyokütle tarafından doğal olarak oluşan, ortamda bulunan mikroorganizmalar tarafından bileşenlerine ayrışabilen ve bu nedenle de yeşil polimerler olarak adlandırılan polimerlerdir. Biyobozunur polimerler birincil, ikincil ve üçüncül nesil polimerler olarak sınıflandırılmaktadır.

- **Birincil Nesil Polimerler:** Düşük yoğunluklu polietilen, % 5-20 nişasta, çeşitli prooksidatif ve oto-oksidatif gibi katkı maddelerinin karışımından oluşmaktadır. Birincil polimerlerin üretimi sırasında nişasta granülleri homojen bir şekilde düşük yoğunluklu polietilen içerisine karıştırılmaktadır. Karıştırma sırasında nişastanın mikrobiyal bozunumu ile alçak yoğunluklu polietilen filmlerin özelliklerinde kayıplar yaşanmakta ve düşük yoğunluklu polietilen oksijen ile kimyasal bozunuma uğramaktadır. Birincil nesil biyobozunur polimerlerin topraktaki bozunmaları 3-5 yıl gibi uzun bir süre aldığı için biyobozunur olarak değerlendirilmemektedir.

- **İkincil Nesil Polimerler:** Etilen akrilikasit, vinil asetat ve polivinil alkol gibi hidrofilik kopolimer ilave edilmiş düşük yoğunluklu polietilen ve jelatinize edilmiş nişastadan oluşmaktadır. Bu materyal içindeki nişastanın bozunumu 40 gün sürerken, filmin tümünün bozulması için en az 2-3 yıla gereksinim duyulmaktadır.
- **Üçüncü Nesil Biyobozunur Polimerler:** Tamamen biyobazlı materyallerden oluşmaktadır. Bu materyaller biyokütle monomerlerinden klasik kimyasal sentez ile elde edilen polimerlerden üretilebilmektedir. Diğer yandan biyokütleden doğrudan doğruya ekstrakte edilen polimerler de kullanılmaktadır. Ayrıca doğal veya genetik olarak modifiye edilmiş mikroorganizmalar tarafından üretilen polimerler de biyobozunur plastiklerin üretiminde kullanılmaktadır.

Sentetik polimerler doğada bulunmayan kimyasal yapılardır. Mikroorganizmaların çoğunda bu polimerlerin yapıtaşları arasındaki bağları parçalayabilecek ve polimer zincirini kısaltacak enzimler bulunmamaktadır. Bu nedenle, sentetik polimerlerin zincirlerinin parçalanması uzun zaman almaktadır. Bununla birlikte biyobozunur polimerlerin kaynağının doğal olması ve bu polimerlerin yapıtaşları arasındaki bağların mikroorganizmaların sahip oldukları enzimler aracılığıyla koparılması sayesinde, bu polimerlerin doğada bozunmaları çok daha çabuk gerçekleşmektedir (Kılınç vd., 2017).

2.2.3.2.2 Doğal Polimerden Üretilen Biyoplastikler

Doğada çeşitli bitkisel ve hayvansal kaynakların yapısında (ağaçlar, yapraklar, meyveler, tohumlar, hayvan derisi ve kemikleri vb.) çeşitli polimerler bulunmaktadır. Bu polimerler çevreyle dost malzemeler olmakla birlikte çoğu suda çözünürlükleri yüksek olması nedeniyle uzun süreli kullanım gerektiren uygulamalar açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Biyobozunur ambalaj malzemesi üretiminde en yaygın kullanılan kaynaklar selüloz ve nişastadır (Kılınç vd., 2017).

Tablo 5. Biyobozunur Polimerler

Biyobozunur Polimerler	Kullanımı
Nişasta	Gıda ambalajı
Selüloz ve Türevleri	Gıda ambalajı
PHA, Polihidroksialkonatlar	Gıda ambalajı, Plastik şişeler
PLA, Polilaktik asit	İçecek bardakları, ekmek ve salata torbaları, termoform kaplar, tarımsal amaçlı örtü ve kutu ürünleri
PHB, Poli-β- hidroksibütirat	Torba, poşet, gıda servislerinde kullanılan plastik tepsi, meşrubat şişeleri ve karton süt kutularının iç yüzey kaplamaları
PCL, Polikaprolakton	Biyobozunur madde üreten katkı kimyasalı
PVA, Polivinilalkol	Farmakoloji, gıda kimyası, biyomedikal, biyoteknoloji, kağıt kaplamaları ve suda çözünebilen esnek ambalaj filmleri
PE, Biyo-polietilen	Gıda ambalaj sanayinde, kozmetik ve kişisel bakım ürünleri, otomobil aksesuarları ve oyuncak vb.
Kitosan	Biyoaktif paketlenme malzemesi

Nişasta: Nişasta, selülozla birlikte tabiatta en yaygın bulunan doğal polimerlerden birisidir. Nişasta, amiloz ve amilopektin gibi iki farklı mikro yapıdan oluşan heterojen bir maddedir. Amilopektinin dallanmış yapısı ve yüksek moleküler ağırlığı polimer zincirlerinin hareketliliğini azaltmaktadır. Nişasta ucuz ve doğada bozunabilir olması nedeni ile petrol türevli malzemelere karşı alternatif olarak kullanımı bulunmaktadır. Oldukça kompleks bir mikro yapıya sahip olan nişasta tek başına zor işlenmektedir. Bunun nedeni nişastanın erime noktasının termal bozunma sıcaklığı ile karşılaştırıldığında daha yüksek olmasıdır. Nişastanın molekül zincirleri arasında hidrojen bağlarını zayıflatmak ve erime noktasını düşürmek amacıyla yardımcı maddeler olarak plastikleştiriciler kullanılmaktadır. Plastikleştiriciler ile üretilen camsı, geçiş sıcaklığı düşük termoplastik nişasta ve geleneksel yöntemlerle işlenebilir hale gelmektedir. Kassava nişastası ile doğal antimikrobiyal ingrediyeentlerle birleşerek elde edilen biyobozunur filmlerle paketlenmiş ekmek dilimlerinin depolama boyunca su aktivitesini arttırdığını bildirmişlerdir (Kılınç vd., 2017).

Selüloz ve Türevleri: Selüloz dünyada en yaygın bulunan ve oldukça ekonomik doğal bir polimerdir. Bununla birlikte hidrofilik özelliğı, yüksek kristal yapısı ve düşük çözünürlüğü ambalajlar malzemesi üretiminde zorluklar meydana getirmektedir. Selülozun yapısında bulunan hidroksil yan zincirler, selüloz esaslı ambalajlarda düşük nem bariyer özelliğine sebep olmakta ve bu durum selülozun yüksek kristal yapısında kırılmağa neden olmaktadır.

Selüloz türevlerinden biri olan selüloz asetat, iyi netlik ve parlaklık, iyi basılabilirlik, boyutsal ve rijid stabilite özellikleri göstermektedir. Bu filmler kolayca yırtılabilirken delinmeye karşı dirençlidirler. Bununla birlikte kötü gaz ve nem bariyer özelliklerine sahip olan selüloz asetat gıda ambalajlamada sınırlı kullanılmaktadır. Selüloz türevlerinin biyoplastik olarak kullanılabilmesi için ekonomik ve etkili proses teknolojilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Araştırmalara göre, selülozik lif ile güçlendirilmiş nişasta/PVA kompozit biyobozunur filmlerin gıda paketeleme kullanımına uygun olduğu tespit edilmiştir. (Kılınç vd., 2017).

Polihidroksialkonatlar (PHA): Polihidroksialkonatlar lipit veya karbonhidratların bakteriyel fermantasyonu sonucu oluşan lineer poliesterlerdir. PHA, UV ışığına dayanıklı, düşük nem geçirgenliğine sahip olup gıda sanayinde yaygın kullanılan LDPE (Düşük yoğunluklu polietilen) ile kıyaslanabilmektedir. Bakteriler tarafından doğal olarak üretilen PHA, toprağa bırakıldığında kolayca bozunabilmektedir. PHA, biyolojik olarak bozunmasına rağmen neme dirençli olup kullanım süresince ve depolama koşullarında kararlıdır. PHA'nın biyobozunurluk hızı malzeme özelliklerine (kristallik, molekül ağırlığı, yüzey alanı vb.) ve ortam koşullarına (mikrobiyal aktivite, sıcaklık, pH vb.) bağlıdır. Biyobozunmanın % 55 nem ve 60 °C sıcaklıkta daha çabuk olduğu ve bu koşullarda 7 haftada malzemenin % 85'nin bozunduğu belirlenmiştir. İsviçre'deki yapılan çalışmada PHA ambalaj filmleri ve plastik şişeler belli derinliklere yerleştirilmiştir. Plastik şişelerin biyobozunmaları 5-10 yıl sürerken, PHA filmlerin tamamen biyobozunmaları 254 günde gerçekleşmiştir (Kılınç vd., 2017).

Polilaktik Asit (PLA): Polilaktik asit; mısır, nişasta ve şeker kamışı gibi doğal ve sürdürülebilir kaynaklardan elde edilen poli(α -hidroksi asit) ailesinden alifatik bir polimerdir. Ayrıca laktik asit monomerlerinden, serbest asidin polikondenzasyonu ya da yüksek molekül ağırlığındaki laktitin halka açma polimerizasyonu ile sentezlenmektedir. PLA filmler enjeksiyon kalıplamaya ve vakumlu şekillendirmeye uygun olup nem geçirgenliği düşüktür ve ürünün aroma kaybının önlenmesinde yüksek bir bariyer özelliğine sahiptir. Modifiye edilmemiş PLA ambalajların dezavantajı ise kırılabilirlik göstermesi ve erime sıcaklığının 60°C civarında olmasından dolayı sıcak ürün uygulamalarında kullanımının sınırlı olmasıdır.

PLA'nın avantajları arasında sızdırmazlık özelliklerinin güçlü olması, düşük ısıda yapılabilmesi, kağıda veya kartona ısıyla yapıştırılabilmesi, kararlılık, şeffaflık, termoplastik ve kolay işlenebilmesi gibi özellikler sayılabilir. İçecek bardakları, yaş makarna, ekme ve salata torbaları, fırın ürünleri için termoform kaplar, tarımsal amaçlı örtü ve kutu gibi ürünlerde PLA ambalajlarının kullanıldığı görülmektedir (Kılınç vd., 2017).

Poli-β- hidroksibütirat (PHB): Poli-β-hidroksibütirat bakteriler tarafından glikoz ya da nişastadan üretilen tamamen biyobozunur bir polimerdir. PHB erime sıcaklığı (175-180°C) ve mekanik özellikleriyle polipropilene (PP) benzemekle beraber PP'den daha sert ve kırılındır. PHB polimerleri deniz ve toprak sedimentlerinde bulunan bakteri ve mantarlar tarafından toksik ürünler meydana getirmeden tamamen parçalanabilmektedir. Kolay şekil alma ve biyobozunur özellikleri nedeniyle gıda ambalaj malzemesi olarak tercih edilmektedir. PHB filmlerin; torba, poşet, gıda servislerinde kullanılan plastik tepsi, meşrubat şişeleri ve karton süt kutularının iç yüzey kaplamalarında kullanılmı üzerine çalışmalar devam etmektedir (Kılınç vd., 2017).

Polikaprolakton (PCL): PCL biyobozunur olmayan polimerlere ilave edilerek bu maddeleri biyozunur hale getiren kimyasallardandır. PCL birçok malzeme ile uyumludur ve ambalaj sanayinde kullanımına yönelik çalışmalar artmaktadır. Düşük erime sıcaklığı ve camsı geçiş sıcaklığına sahip olan PCL'nin kristallik oranı yüksektir. Yüksek kristallik oranı, polimerin kararlılık, mukavemet, bariyer, geçirgenlik ve biyobozunma gibi parametreleri etkilemektedir. Ayrıca, yüksek kristallik oranı PCL'nin biyobozunurluğunu olumsuz yönde etkilemektedir. Kristallik oranının dengelemek amacıyla PCL'ye organik ve inorganik katkı maddeleri ilave edilmektedir (Kılınç vd., 2017).

Polivinilalkol (PVA): Biyobozunur polimerlerden birisi olan PVA, polivinil asetatın hidrolizi sonucu elde edilmektedir. Polivinilalkol toksik olmayan, suda çözünebilen, mükemmel film oluşturan, emülsüfiye edici ve yapışkan özellikleri olan yarı kristal özelliğe sahip sentetik bir polimerdir. Bununla birlikte PVA diğer ticari polimerler ile karşılaştırıldığında yüksek maliyetli olması nedeniyle takviye elemanları (selüloz lifleri, nişasta, buğday sapları, cassava lifleri) ile karıştırılmaktadır. PVA, suda çözünebilen ve aynı zamanda yapısındaki hidroksil grupları sayesinde çapraz bağlanabilen, biyo-uyumlu, biyobozunur ve mükemmel film oluşturma gibi özelliklere sahiptir. PVA'nın; farmakoloji, gıda kimyası, biyomedikal, biyoteknoloji, kağıt kaplamaları ve suda çözünebilen esnek ambalaj filmlerinin üretilmesi gibi alanlarda geniş kullanım olanağı bulunmaktadır (Kılınç vd., 2017).

Nanokompozitler ve Biyo-nanopolimerler: Gıda ambalajlama malzemesi üretiminde nanoteknoloji uygulamaları hızla yaygınlaşmaktadır. Bu uygulamalardan en başta geleni nano boyutta parçacıkların ambalaj malzemesinin bünyesine eklenmesiyle elde edilen nanokompozitlerdir. Söz konusu malzemeler ambalaj materyalinin termal, fiziksel ve bariyer özelliklerini modifiye etmektedir. Nanokompozit üretiminde kullanılan kil ve silikatların kolay bulunabilmesi, kolay işlenmesi ve düşük fiyata sahip olmaları nedeniyle ambalaj endüstrisinde yaygın kullanılmaktadır. Nanokompozitler UV bariyer özelliği geliştirilmekte, termal ve mekanik dayanımı iyileştirilmekte ve malzemeye transparan özelliği kazandırmaktadır. Ayrıca nanokompozitler materyallerin sertlik, katılık, kırılgenliğini düzeltici ve su geçirgenliğini de azaltıcı etkiye sahiptir. Doğal polimerlerin zayıf bariyer ve mekanik özelliklerinden dolayı ambalaj içeriğine nanoparçacıklar ilave edilerek başta bariyer ve mekanik özellikleri olmak üzere birçok özelliğini iyileştirerek gıda paketlemede kullanılmaktadır. Ancak nanoparçacıkların insan sağlığı üzerindeki etkisinin incelenmesi için daha fazla araştırmaya ve bunların tanımlanması, karakterizasyonuna ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir (Kılınç vd., 2017).

Biyo-polietilen (PE): Tabiatla meyvelerin olgunlaşması sırasında doğal olarak etilen oluşmaktadır. Gıda ambalajlamada yaygın olarak kullanılan biyo-etilen, etil alkolden suyun uzaklaştırılması ile elde edilmektedir. Söz konusu PE üretiminde yaygın olarak şeker kamışı kaynaklı etanol kullanılmaktadır. Biyo-polietilen; gerek gıda ambalaj sanayinde gerekse de diğer sanayi dallarında (kozmetik ve kişisel bakım ürünleri, otomobil aksesuarları ve oyuncak vb.) kullanılmaktadır (Kılınç vd., 2017).

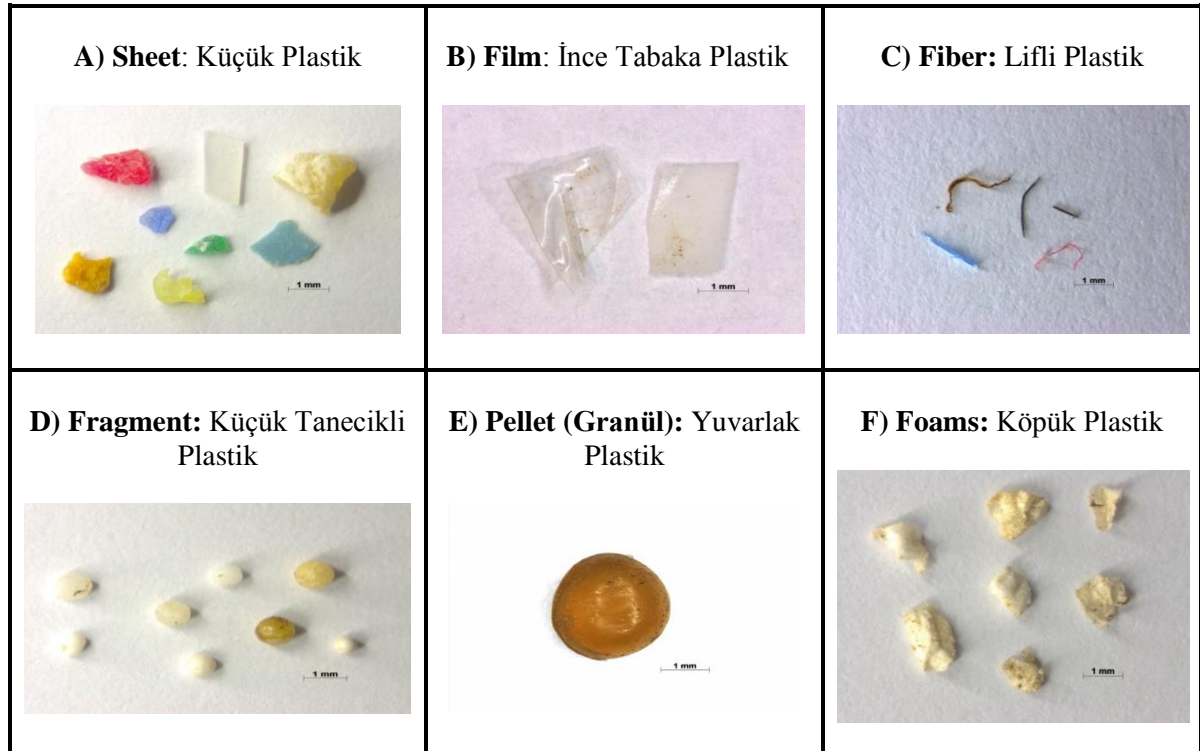
Kitosan: Kitosan, selülozla birlikte doğada en çok bulunan biyopolimerlerden birisi olarak bilinmektedir. Biyobozunur, biyoyumlu ve toksik etkisi olmayan özelliklere sahip kitosan tıp, ilaç, kozmetik, tarım, kağıt, tekstil ve gıda sanayi gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Kitosan nem adsorbe etme, çöktürme, film oluşturma, antimikrobiyal etki, enzim immobilizasyonu gibi birçok fonksiyona sahiptir. Kitosan, bitkisel diyet liflere benzer şekilde sindirim enzimleri tarafından hidrolize edilememektedir. Kitosan bağırsak hareketlerini ve bağırsak mikroflorasını destekleyici, sindirim faaliyetlerini düzenleyici etki göstermektedir (Kılınç vd., 2017).

2.2.4 Mikroplastik Şekilleri

Mikroplastiklerin şekilleri plastik parçacık boyutuna göre değişmektedir. Parçacıkların büyüklüğü arttıkça daha ince uzun ve/veya pürüzlü yüzey şeklinde, parçacıklar küçüldükçe ise daha yuvarlak şekillerde bulunmaktadır. Plastik parçacıklar zaman geçtikçe daha küçük parçalara ayrılmaya ve bozunmaya devam etmektedir. Plastikler kullanıldıktan sonra geri dönüşüm işlemine tabi tutulması durumunda yeniden kullanılabilir (Yurtsever, 2015) .



Şekil 6. Mikroplastik Şekilleri



Şekil 7. Mikroplastik Şekilleri








Mikroplastiklerin şekilleri, ortamda kalma süresine ve parçalanma işlemine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin marinalarda rastlanan keskin kenarlı mikroplastik parçaların denize yeni gelmiş olduğu, köşeleri yuvarlanmış pürüzsüz parçaların ise sedimentte uzun süre kalarak aşındıktan sonra pürüzsüz hale geldiği anlaşılmaktadır. Mikroplastikler küresel veya uzun ince lif şeklinde bulunabilmektedir. Plastik peletler; küresel, dikdörtgen, silindirik ve disk şeklinde olmakta, uçları yuvarlanmış küresel veya oval şekillerde bulunmaktadır (Yurtsever, 2015).

2.2.5 Plastik Geri Dönüşüm Kodları

Plastik tanımlama ve geri dönüşüm kodlama sistemi Plastik Endüstrisi Topluluğu (SPI) tarafından 1988 yılında geliştirilmiştir. Bu kodlama sistemi, uluslararası ölçekte kullanılmaktadır. Plastik türlerine 1' den 6'ya kadar numara verilmiştir. Plastik endüstrisi geliştikçe, 1-6 arası etiketleme dışında etiketlenecek birçok yeni plastik türü tanımlanmıştır. SPI tarafından kodlanmış olan altı plastiğin birleşiminin kullanılması veya bunların dışında bir plastik kullanılması durumunda ise 7 numaralı kod "diğer" malzemeler olarak tanımlanmıştır. Tablo 5'de gösterilen bu geri dönüşüm kodları, üçgen geri dönüşüm sembolü içine yazılmış numaradan oluşmakta ve genellikle ürünün alt tarafında bulunmaktadır.

Tablo 5'ten anlaşılacağı gibi bazı malzemelerin sağlık üzerinde olumsuz etkileri saptanmamıştır. Geri dönüşüm kodu veya türü ne olursa olsun plastikler, çevreye kontrolsüzce bırakılmaları durumunda su kaynakları ve canlı sağlığı için risklere sebep olmaktadır. Plastiklerin kullanımı sırasında herhangi bir risk oluşturmayanları bile ikincil mikroplastiklere dönüşerek çevreyi kirletmektedir (Yurtsever, 2015). Temel plastik tipleri için Plastik Endüstrisi Topluluğu (SPI) tarafından verilen geri dönüşüm kodlarının tarihçesi Tablo 7'de verilmektedir.

Tablo 6. Plastik Geri Dönüşüm Kodları

SPI Kodu	Kısaltma	Plastik Adı	Tekrar Kullanım	Geri dönüşüm	Sağlık Etkisi	Erime Sıcaklığı T _m (°C)
	PET, PETE	Polietilen Tereftalat	Hayır	Çok iyi	Herhangi bir zarar bildirilmemiş	250-260 T _g =800
	HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen	Evet	Çok iyi	Herhangi bir zarar bildirilmemiş	130
	PVC, V	Polivinil Klorid (Vinil Klorür CH ₂ = CHCl)	Hayır	İçindeki katkı maddeleri yüzünden çok az dönüştürülebilir	Zararlıdır; öğrenme güçlüğü, bağışıklık ve hormon bozukluğu, doğum kusurları, genetik değişiklikler	T _g =800
	LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen	Evet	Genellikle geri dönüştürülemez	Herhangi bir zarar bildirilmemiş	110
	PP	Polipropilen (Propilen CH ₃ CH= CH ₂)	Evet	Kolayca dönüştürülemez	Herhangi bir zarar bildirilmemiş	160
	PS	Polistiren (Stiren C ₆ H ₅ CH= CH ₂)	Hayır	Mümkün ancak ekonomik değil	Zararlıdır. Stiren' in nörotoksin etkileri ve yağ dokuda depolanabilme özelliği vardır. Kırmızı kan hücreleri üzerinde, karaciğer, böbrek ve mide organlarına zararları bulunmaktadır.	240 T _g =70-1150
		Polikarbonat, Akrilik	Hayır	Karışık plastikleri içerdiğinden zor dönüştürülebilir	Zararlıdır. Etkileri plastiğin içindeki reçine ve plastikleştiricinin çeşidine göre değişir. Polikarbonat plastikten bisfenol-A (BPA) adıyla bilinen endokrin bozucu sızar	-

Tablo 7. Geri Dönüşüm Kodlarının Tarihçesi

PET, PETE	1900'lerde keşfedilmiş, etilen monomerden türetilmiştir.
HDPE	1957 yılında ticarileştirilmiştir
PVC	1835 yılında keşfedilmiş, 1933 yılında patent almıştır. Avrupa'da genellikle süspansiyon prosesi ve kitle polimerizasyonu ile üretilen lider plastiktir. Aynı zamanda sert PVC, esnek PVC, Polivinil asetat (PVAc) olarak da bulunmaktadır.
LDPE	1939 yılında ticarileştirilmiştir.
PP	Propilen gazın Titanyum klorür ile reaksiyona girmesiyle 1955 yılında keşfedilmiştir.
PS	İlk olarak 1851 yılında benzen ve etilenin kırmızı sıcak borudan geçirilmesiyle üretilmiştir.
PC, AS, ABS	Diğerleri reçineye veya reçinelerin kombinasyonlarına bağlı bir kategoridir. Bu kategorideki plastik türleri Polikarbonat (PC), Akrlonitril Stiren (AS) ve Akrlonitril Bütadien Stiren (ABS) içerir (Oladejo, 2017).

2.2.6 Mikroplastik Renkleri

Mikroplastikler renklerini genellikle ana plastik ürününün renginden almaktadır. Ancak, atmosfer koşullarına bağlı olarak plastik rengi değişebilmektedir. Su ekosisteminde yaşayan canlılar avlarını andıran renklere benzerliği doğrultusunda mikoplastikleri tükettiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, bilimsel çalışmalarda suda yaşayan canlıların mikoplastikleri tüketme potansiyellerini belirlemek için renk bilgisi kullanılmaktadır.

Asya'da bulunan Taihu Gölü'nde yapılan bir çalışmada, tespit edilen mikoplastiklerin renginin saydam, siyah, beyaz, kırmızı, sarı, yeşil ve mavi gibi çeşitli renklerde olduğu tespit edilmiştir. Buna ilave olarak, plankton ağı ve yüzey suyu örneklerinde en baskın mikoplastik rengi mavi iken, beyaz mikoplastiklerin en çok sedimentte bulunduğu tespit edilmiştir. Orta Çin'in en büyük şehri olan Wuhan'ın yüzey sularında yapılan bir çalışmada, mikoplastiklerin genellikle saydam veya mavi, mor, kırmızı veya diğer renklerde olduğu tespit edilmiştir. Mikroplastikler renklerine göre şeffaf, beyaz ve siyah olarak gruplandırılmış ve renkli mikoplastikler en yaygın renk olduğu tespit edilmiştir (Wu vd., 2018).

Mikroplastikler çevrede genellikle şeffaf, kristalin, beyaz, krem, kırmızı, turuncu, mavi, mor, opak, saydam, siyah, gri, kahverengi, yeşil, pembe, ten rengi ve sarı vb. renklerde bulunmaktadır.

3 MİKROPLASTİKLERİN KAYNAKLARI VE KULLANIM ALANLARI

Deniz çöpleri 1950'lerin ortalarında plastik endüstrisinin yaygınlaşmasından itibaren küresel bir çevre sorunu olmaktadır. Yıllık küresel plastik üretimi, 2014 yılında istikrarlı bir şekilde artarak 311 milyon tona ulaşmıştır (GESAMP, 2015). Genellikle plastikler, ambalajlama ve inşaat malzemelerinde olmak üzere otomotiv endüstrisi, tarım, turizm ve denizcilik gibi pek çok uygulama alanında kullanılmaktadır.

3.1 Evsel/Kişisel Kullanım Kaynaklı Mikroplastik Oluşumu

Tüm plastik üretiminin yaklaşık % 40'ı ambalajlanma işlemi için kullanılmaktadır. Ambalajlama işlemin büyük bir kısmı uzun süreli depolama amacıyla yiyecek ve içecek paketlemesinde kullanılmaktadır. Bu plastik malzemeler, su kaynaklarımıza ve deniz ortamına ulaşması durumunda parçalanarak mikroplastik kirlilik kaynağı oluşturmaktadır.

Mikroplastikler; kişisel bakım, kozmetik ve temizlik ürünlerinde hammadde olarak kullanılmaktadır. Birincil mikroplastikler, şampuan, sabun, diş macunu, göz kalemi, maskara, dudak parlaticısı, deodorant ve güneş kremi gibi çeşitli kişisel bakım ve kozmetik ürününde bulunabilmektedir. Aynı zamanda deterjan, paslanmaz çelik yüzey temizleyicilerde ve temizlik sıvılarında korozif parçacık olarak kullanılmaktadır (Yurtsever, 2015). Özellikle sentetik tekstil ve giyim ürünlerinden çeşitli liflerin kopması önemli mikroplastik parçacık kaynağı olarak kabul edilmektedir. Hollanda'da yapılan bir çalışmada, tek bir parça giysi yıkaması sonucunda yaklaşık 1,900 sentetik mikro elyafın atıksulara karıştığı tespit edilmiştir. Kozmetiklerdeki mikroplastiklerin taşınımına benzer şekilde, lifler de kanalizasyon yoluyla atıksu arıtma tesislerine taşınmaktadır (GESAMP, 2015).



Şekil 8. Kişisel Bakım Ürününde Mikroplastik

İkincil mikroplastikler ise daha büyük boyutlu plastik malzemelerin çeşitli şartlar altında (fiziksel, kimyasal, biyolojik) parçalanarak daha küçük parçalara ayrılması sonucunda oluşmaktadır. Plastikler hafif, esnek, su ve korozyona dayanıklı olma özellikleri sebebiyle dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek bir plastiğin parçalanması neticesinde milyonlarca mikroplastik maddeye dönüşebilmektedir. Yaygın olarak kullanılan plastik çeşitlerinin adları ve kullanım alanları Tablo 7’de belirtilmektedir (Yurtsever, 2015; Gündoğdu, 2018; GESAMP, 2016).

Tablo 8. Plastik Kullanım Alanları

Plastik Adı	Kullanım Alanı
ABS	Elektronik aletler, otomotiv, mutfak gereçleri vb.
AC	Kişisel giyim ürünleri, ev tekstil ürünleri, araba tavanları, branda, dış mekan mobilyaları, endüstriyel toz filtresi, inşaat yapımında güçlendirici dolgu malzemesi, araba aküleri vb.
ASA	Ev aletleri, inşaat malzemeleri, elektrikli parçalar, kulplar, ev eşyaları, borulama, spor malzemeleri, anahtarlar, mobilya, otomotiv döşemeleri, otomotiv IP’leri, oyuncaklar vb.
EP	Boyama, yapıştırma, kaplama, uzay, denizcilik ve havacılık uygulamalarında vb.
PA	Fiber, diş fırçası kılları, misina, balık ağları vb.
PBT	Tekstil, halı vb.
PC	Alevi iletmemeye ve kendini söndürme özelliği yüksektir. Bu ürünler BPA içerebilir. Tıbbi aletler, su şişesi, kapak, mutfak gereçleri, otomotiv, CD, trafik ışıkları, gözlük çerçevesi vb.
PE	Paketleme, plastik mutfak ürünleri, otomotiv sanayi, inşaat altyapı malzemeleri, beyaz eşya ve makina parçaları, oyuncak ve tekstil vb.
PE-HD, HDPE	Temizlik maddeleri, çamaşır deterjanı ambalajı, bazı poşetler, şampuan ve süt şişeleri, borular, tanklar, varil, kablo yalıtımı, oyuncak vb.
PE-LD, LDPE	Şişe, dondurulmuş gıda, ekmek ve market poşetleri vb.
PE-LLD	Alçak yoğunluk polietilen ve yüksek yoğunluk polietilen hammadde ile birlikte mukavemet artırıcı
PET, PETE	Pet şişe ismi bundan gelir. Şeffaftır. Su, Meşrubat ve yemeklik yağ.
PGA	Biyo çözümlü polimerdir, Cerrahi uygulamalarda iplik vb.
PLA	Biyo çözümlü polimerdir. Ambalaj malzemesi, plastik torbalar, ofis ürünleri, tek kullanımlık çatal, bıçak, bardak vb.
PMA	Akrilik cam
PMMA	Otomotiv farı, cihaz kapakları, levha, optik malzemeler, boya, elyaf, iplik ve ev dekorasyon ürünleri
Polyester	Tekstil endüstrisi

POM	Elektrik ve sıhhi tesisat bağlantıları
PP	Otomobil yan sanayi, bahçe mobilyaları, yiyecek kabı, yoğurt ve margarin kapları, çocuk bezleri, biberon, yapay halı kaplama, bahçe mobilyası vb.
PS	Gıda paketlenme, elektronik ve beyaz eşya, film, levha, kaplar, kapaklar, et ve yumurta kutuları, şişe, köpüklü izolasyon, aydınlatma, buzdolabı, çamaşır makinesi parçaları, radyo televizyon kasaları, oyuncak, kozmetik kutuları, duvar kaplamaları, ambalaj, izolasyon vb.
EPS (PSE)	Ambalaj, ısı yalıtım malzemesi
PTFE	Mutfak gereçleri, kaplar
PS-E, EPS	Elektronik, ambalaj, yalıtım, çatı ve cephe panellerde, dekoratif, döşeme
PU, PUR	Dolgu ve ısı yalıtım köpükleri, yüzey kaplamaları, baskı silindirleri
PVA	Lateks boya, kağıt kaplamalarında, saç spreylisinde, şampuan, yapıştırıcı, PET şişelerde karbondioksit bariyeri, Gıda endüstrisinde bağlayıcı ve kaplama ajanı
PVC	Döşeme, ev dış cephe kaplaması, borular, streç, yiyecek kaplama, şişe, bardak, suni deri, kredi kartı, spor malzemeleri vb.
PVDC	Yiyecek paketlenme, evsel, endüstriyel gereçler
SAN	Mutfak gereçleri, Buzdolabı parçaları, raf ayırıcıları, ışık kapakları, kozmetik ambalaj vb.
SBR	Bilgisayar, bilgisayar aksesuarları, binicilik ekipmanları, hamile ürünleri, bebek ürünleri, egzersiz matı

Tablo 9. Yaygın Plastik Kimyasal Katkı Malzemelerin Kullanım Alanları

Plastik Kimyasal Katkıları	Kullanım Alanı
BPA	Polikarbonat ve Epoksi reçinelerinin üretiminde kullanılan bir monomer
DBP	Tırnak cilası içinde kırılma önleyici madde
DEP	Cilt yumuşatıcılar, renk ve koku düzeltici
DEHP	PVC plastikleştirici
HBCD	Alev geciktirici
NP	Gıda ambalajında ve PVC'de stabilizatör
PBDEs	Alev geciktirici, PP, PS sabitleyici
Phthalates	Esneklik ve dayanıklılık geliştirici

Tablo 10. Plastiklerin Yüzeyinde Tutulan Organik Kirleticilerin Kullanım Alanları

Plastiklerin Yüzeyinde Tutulan Organik Kirleticiler	Kullanım Alanları
DDT, Dichloro Diphenyl Trichloroethane	Böcek ilacı
PAHs, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	Yanma ürünleri
PCBs, Polychlorinated Biphenyls	Soğutma ve yalıtım sıvıları (örneğin, transformatörde kullanılmakta)

3.2 Atıksu Arıtma Tesisi'nden Gelen Mikroplastik Oluşumu

Atıksu arıtma tesislerinden çıkan suların deşarj edildiği noktalarda mikroplastik kirliliği durum tespitine ilişkin literatür taraması yapılmıştır. Amerika, Avrupa, Avustralya ve Asya kıtalarında yapılmış olan çalışmada; içme ve sulama suyu amaçlı kullanılan nehirlerle deşarj eden atıksu arıtma tesislerinin deşarj noktalarında mikroplastikler incelenmiştir (Akarsu vd. 2017). Dört ayrı kıta için yapılmış beş çalışmanın derlemesinde, deşarj edilen atıksuların yüksek miktarlarda mikroplastik içerdiği tespit edilmiştir. Mikroplastik kirlilik miktarının genellikle 0,2 MP/L ile 25,8 MP/L aralığında bulunduğu ve en yaygın plastik türünün polietilen olduğu belirlenmiştir.

Carr ve ark. tarafından 2016 yılında, Amerika'nın California eyaletinde gerçekleştirdikleri çalışmada yedi ayrı atık su arıtma tesisi deşarj sularında mikroplastik miktarı tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışma; parçacıkların boyut, tip ve her bir tesis için mikroplastik giderim miktarını da içermektedir. Toplanan örneklerden mikroplastik olmayan katılar ayrılarak, mikroplastikler boyut ve şekillerine göre sınıflandırılmıştır. En çok karşılaşılan mikroplastik türünün mavi polietilen olduğu, parçacıkların dış macunlarında beyazlatıcı malzeme olan mikroplastikler ile aynı şekil ve kimyasal yapıda olduğu belirlenmiştir. Giriş ve çıkış yapılarından alınan atık su numunelerindeki mikroplastik miktarının sırasıyla 1 adet MP/L ve 0,9 adet MP/L olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu atık su arıtma tesislerde mikroplastik giderim verimi %10 ile kısıtlı kalmıştır. Bu da günde milyonlarca litre atık su arıtan bir tesisin her gün milyonlarca mikroplastığı sucul ortama bıraktığını göstermektedir.

Yine Amerika'daki benzer bir çalışmada, atık su arıtma tesislerinden deşarj edilen atık suların, deşarj edildiği nehirlerle mikroplastik etkileri incelenmiştir. Arıtılmış suların genel deşarj noktaları açık denizler olduğu için mikroplastiklerin sucul ekosisteme etkisini saptamak için ağırlıklı olarak deniz ortamlarında çalışılmıştır. Dört atık su arıtma tesisinin arıtılmış sularını deşarj ettiği nehrin kaynağına yakın noktalardan ve deşarj noktalarından numuneler alınmıştır. Çalışma sonucunda sınıflandırılan mikroplastikler atık su arıtma tesisleri ile ilişkilendirilmiş ve nehir suyuna ciddi etkilerinin olduğu tespit edilmiştir (Akarsu vd. 2017). Mintenig ve ark. tarafından 2016 yılında Almanya'da yürütülen çalışmada; 12 atık su arıtma tesisinin deşarj noktalarından alınan sularda mikroplastikler sınıflandırılmış, ve analizleri gerçekleştirilmiştir. FTIR analiz yöntemini kullanılan çalışmada 12 tesisin 10'unda 500 µm'den büyük, yedi farklı plastik türünde, en çok polietilen mikroplastik parçacık tespit edilmiştir.

Avrupanın bir başka noktası olan Hollanda'da Leslea ve ark. çalışmasında, Hollanda Nehri ve kanalları boyunca mikroplastik konsantrasyonları, salınım noktaları ve nehir güzergahında aldıkları yol boyunca etkiledikleri ekosistemler tespit edilmiştir. Atık su arıtma tesislerinin %72'sinin mikroplastik tutma verimine sahip oldukları belirlen araştırılarda, Amsterdam kanallarından alınan numunelerde litrede 48 ila 187 mikroplastik olduğu ve atık su arıtma tesisi çıkış sularının da bu sonuçlara yakın olduğu belirlenmiştir. Kuzey kıyısında makro omurgasız canlılarında ise gram başına 10 ile 100 mikroplastik parçacık belirlenmiştir (Akarsu vd. 2017).

Su ve ark. tarafından kritik yerlerden biri olarak düşünölen Çin’de gerçekleştirilen çalışmaya göre 20 milyon insana içme suyu kaynağı olan ve Çin’in %14’lük kısmına tarımsal ve endüstriyel su sağlayan Taihu Gölü’nünde analiz yapılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, Akarsu tarafından 2016 yılında yapılan çalışmayı desteklemektedir. Çalışmada, su kütlesinin yüzey, su kolonu ve sediment olmak üzere üç ayrı noktasından farklı zamanlarda alınan numunelerde mikroplastik miktarı tespit edilmiştir. Üç atık su arıtma tesisinin deşarj yaptığı nehre ait numune sonuçlarında ise yüzey sularında 3,4–25,8 adet/L, plankton ağları ile toplanan su kolonu (30-40 cm derinlikte) numunelerinde $0,01 \times 10^6$ - $6,8 \times 10^6$ adet/km² ve sediment örneklerinde ise 11,0–234,6 adet/kg kuru çökelti mikroplastik miktarı tespit edilmiştir (Akarsu vd. 2017).

Ziajahromi ve ark. tarafından 2017 yılında Avustralya’da bulunan atık su arıtma tesislerinin deşarj ettiği yerlerde mikroplastik miktarı tespit çalışması gerçekleştirilmiştir. Üç ayrı atıksu arıtma tesisinin altı ayrı noktasından alınan numunelerle, farklı boyutlardaki mikroplastik miktarları elek sistemi kullanılarak tespit edilmiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak boyama metodu kullanılarak plastik fiberlere benzeyen diğer inorganik yapıdaki maddelerin görsel olarak ayrılması sağlanmıştır. Çalışma sonucunda üç atık su arıtma tesisinde sırasıyla 0.28, 0.48 ve 1.54 MP/L tespit edilmiştir. Diğer ölkelerde gerçekleştirilen çalışmalara kıyasla daha az mikroplastik bulunsa da sucül ekosisteme en büyük etkinin atık su arıtma tesislerinden kaynaklandığı düşünölmektedir (Akarsu vd. 2017).

3.3 Tarım Faaliyeti Kaynaklı Mikroplastik Oluşumu

Ölkemizde tarım yaygın bir geçim kaynağıdır. Tarım faaliyetlerinde gübre kullanımı ile tarımsal üretime önemli faydalar sağlanmaktadır. Verimli tarım uygulaması kapsamında toprakların yıkama kayıplarını azaltmak, daha uzun süreli elverişli azot kaynağı sağlamak, bitkiler tarafından kullanılan besin maddesinin etkinliğini artırmak amacıyla kontrollü salınan gübreler (CRF’ler) geliştirilmiştir (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2016). Yeni bir gübreleme teknolojisi olan CRF’ler, gübrelemede harcanan süreyi kısaltmanın yanı sıra ekim alanlarının birim alanı başına gerekli olan gübre miktarını azaltmaktadır. CRF’ler azot, fosfor ve potasyum gibi toprağın besin ihtiyacını sağlamak için genellikle polimer malzemenin (örneğin; polisülfon, poliakrilonitril ve selüloz asetat) oluşan bir kaplama içinde besin maddesi hapı olarak üretilmektedir. Bu kaplamalar parçalanarak mikroplastik kirlilik kontaminasyonu şeklinde toprakta zararlı bir çevresel etki yaratmaktadır. CRF’lerin mikroplastik kirliliğine muhtemel bir kaynak olduğu düşünölmektedir (GESAMP, 2015).

3.4 İnşaat Faaliyeti Kaynaklı Mikroplastik Oluşumu

Avrupa'daki yıllık plastik üretiminin % 20'sinden fazlası inşaat sektöründe kullanılan malzemeleri paketlemek için kullanılmaktadır (GESAMP, 2015). Kullanım ömrü biten plastikler, uygun şekilde bertaraf edilmezse ekosistemde plastik kirliliği oluşturmaktadır. Plastik ürünlerin geri dönüşüm sürecinde parçalanması sırasında da mikroplastik emisyonları meydana gelmektedir. Ayrıca inşaat sektöründe; temizleme, aşınma ve taşıma prosesleri mikroplastik emisyonlarına sebep olmaktadır.

İnşaat sektöründe binalarda kullanılan yalıtım köpükleri, genellikle poliüretan malzemeden üretilmektedir. Bu köpükler katı ve sıvı formlarda duvarların içi, tavan kirişleri arasında uygulanmaktadır. Köpükler parçalanmaları neticesinde mikroplastik kirliliğine sebep olmaktadır (GESAMP, 2015).

3.5 Kara Yolu Ulaşımı Kaynaklı Mikroplastik Oluşumu

Lastik yıpranma tozu olarak adlandırılan ikincil mikroplastikler, kara yolu ulaşımı sırasında araç lastik aşınımı neticesinde oluşmaktadır. Otomobil lastiklerin üretiminde büyük miktarda geri dönüştürülebilir stiren-1.3-butadien kauçuk (SBR) malzeme kullanılmaktadır. Hollanda'da yürütülmüş olan bir çalışmada, her yıl yaklaşık 17.000 ton kauçuk lastik aşınımı salındığı tespit edilmiştir. Norveç, İsveç ve Almanya için lastik tozunun yıllık emisyon miktarı ise sırasıyla 4.500, 10.000 ve 110.000 ton'dur. Söz konusu ülkeler için ortalama araba lastiği tozu emisyonları yıllık kişi başı 1 ila 1,4 kg'dır. Lastik tozları ve bunların atmosferde birikiminden kaynaklanan mikroplastiklerin denizlere olan etkisini hesaplamak için daha ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç vardır (GESAMP, 2016).

3.6 Turizm Faaliyeti Kaynaklı Mikroplastik Oluşumu

Turizm sektörü, özellikle deniz kıyısı olan ülkelerde bölge ekonomisine önemli katkı sağlamaktadır. Dünya Sahil Konferansı tarafından yapılan bir açıklamada turizm sektörü dünyanın en büyük endüstrisi olarak tanımlanmıştır. Ayrıca bunun, tüm ulusların Ulusal Gayri Safi Milli Hasılası'nın (GSMH) yaklaşık % 5 ila % 6'sını oluşturduğu tahmin edilmektedir (GESAMP, 2015).

Ülkemizde popüler turistik şehirlerin birçoğu kıyı bölgelerimizde yer almaktadır. Dolayısıyla turizm faaliyetlerinin yapıldığı bu alanlarda deniz çöplerinin de mikroplastik kaynağı olarak değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Turistler tarafından genellikle tek kullanımlık plastikler (örneğin, içecek şişeleri, yiyecek kapları vb.) kullanılmaktadır. Günümüzde turizm sektörü daha az nüfuslu, temiz ve doğal güzelliklere sahip alanlarda yaygınlaşmıştır. Bu durumda, plastik atıklarının çevreye kirlilik kaynağı oluşturmaması için uygun bertaraf yöntemleri geliştirilmelidir. Ayrıca bölgelerde gerekli altyapı çalışmalarına özen gösterilmesi de büyük önem arz etmektedir (GESAMP, 2016).

3.7 Denizcilik Faaliyeti Kaynaklı Mikroplastik Oluşumu

Denizlerde gemi ve balıkçı teknelerinde meydana gelen kazalar, ya da gemi ve teknelerin terk veya kasıtlı imhası denizlerin kirlenmesine sebep olmaktadır. Ayrıca balıkçılık faaliyetlerinden kaynaklı plastik döküntüler arasında balık ağları, tuzaklar, halatlar, şamandıralar, yem kutuları, plastik poşetler ve eldivenler de denizlerde kirliliğe sebep olmaktadır (GESAMP, 2015). Gemi endüstrisinde kullanılan ekipmanların rutin olarak plastik aşındırıcılarla temizlikleri yapılmaktadır. Söz konusu plastik aşındırıcıların denizcilik faaliyetlerinde birincil mikroplastik kaynağı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 9. Deniz Faaliyetlerinde Kullanılan Sahipsiz Ekipmanlar

Deniz ürünleri faaliyetlerinde ve balıkçılık işletmelerinde kullanılan plastik malzemelerin başlıca hammaddeleri arasında polivinil klorür, polipropilen, poliüretan köpük, polistiren ve naylon bulunmaktadır. Mikroplastikler, balıkçılık ve su ürünleri işletmeciliği faaliyetlerinde doğrudan kullanılmasa da büyük plastiklerin; örneğin kafeslerin ve halatların parçalanması sonucu ikincil mikroplastik kaynağı oluşturmaktadır. Denizcilik faaliyetlerinden kaynaklanan ikincil plastiklerin oluşumunda mevsimsel yağmur, fırtına veya tsunami gibi doğa olayları etkili olmaktadır (GESAMP, 2015) .

4 MİKROPLASTİKLERİN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİSİ

4.1 Mikroplastiklerin Gıda Sağlığı ve Güvenliğine Etkileri

Mikroplastik, bulunduğu ortamda doğrudan kirletici olarak veya üzerindeki kimyasal kirletici maddelerin gıdaya aktarımı yoluyla gıda güvenliğini etkileyebilmektedir. Gıda sağlığı; gıdaların kimyasal, fiziksel veya biyolojik açıdan güvenilir olması ile ilgiliyken; gıda güvenliğinin ise insanların sağlıklı olmaları için yeterli miktarda yiyecek ve gıdaya erişimini sağlamakla ilgili sorumlulukları ile ilgilidir (GESAMP, 2015) .

Günümüzde mikroplastik kirliliği konusunda yapılmış çalışmalar artmış olsa da gıdadaki mikroplastik kirliliği ve insan sağlığı üzerindeki etkileri açısından yapılmış yeterli bilimsel çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple, mikroplastiklerin zararları ve insan sağlığı üzerindeki toksik etkileri halen net bir şekilde ortaya konulamamıştır. Yapılan araştırmalarda gıda güvenliğiyle ilgili olarak, insanların deniz ve gıda ürünlerini tüketimi yoluyla mikroplastiklere maruz kalması sonucunda insan sağlığı üzerindeki etkileri aşağıda belirtilmektedir (Li vd., 2018).

- Nano boyutlu mikroplastiklerin insan dokuları ile etkileşimi neticesinde parçacık toksisitesi meydana gelebilmektedir.
- Mikroplastiklerin üretiminde kullanılan katkı maddeleri ve plastiklerin bulunduğu ortamda üzerine biriken kirleticiler kimyasal toksisite oluşturabilmektedir.
- Mikroplastiklerin mikrobik kirlilik oluşturması durumunda ise hastalıklara neden olmaktadır. Mikroplastik parçacıkların dokularda birikmesi ve kimyasal toksisite oluşturması durumunda kümülatif zararlı etkiler ortaya çıkacağı düşünülmektedir.

İnsan sağlığı üzerinde potansiyel tehlikeli etkileri olan mikroplastiklerin tüketilmesi neticesinde sağlığa zararlarına ilişkin laboratuvarlarda toksikolojik çalışmalar yapılmakta olsa da henüz net bir sonuç ortaya konulamamıştır. Li ve ark. çalışmalarında, insanların tükettiği midye ve istridye gibi deniz ürünlerinin bir mikroplastik maruziyet yolu olabileceği öne sürülmektedir (Li vd., 2018). Mikroplastik tüketimi yapan balık, midye veya yengeç gibi deniz mahsullerinin bünyesindeki mikroplastik miktarı ile solunumla insanların aldığı mikroplastik miktarı karşılaştırıldığı zaman nispeten daha düşük olduğu düşünülmektedir. Örneğin insanların altı adet istridye yemesi durumunda, yaklaşık 50 adet mikroplastik parçacık tüketileceği tespit edilmiştir (Environmental Audit Community, 2016).

Mikroplastiklerin besin zincirine bu yolla katılması durumunda insan sağlığına potansiyel bir tehlike oluşturacağı dűřünülmektedir. İnsanların nanoplastiklere maruziyet hakkında yeterli bilgi sahibi olunmaması nedeniyle bunların kimyasal riski henűz bilinmemektedir (GESAMP, 2015). Ancak, fareler ve insanlar űzerinde yapılan tıbbi araştırmalarda PS ve PVC parçacıklarının, canlıların bağırsak boşluğundan lenf ve dolaşım sistemine kadar ulaşabileceği tespit edilmiştir (Carberya vd., 2018).

İnsanların çođunlukla tűkettiđi bal, tuz, bira řeker, içme suları ve deniz űrünleri gibi çeřitli gıda űrünlerinde yapılan bilimsel arařtırmalar ile mikroplastik varlıđı incelenmiřtir. (GESAMP, 2015). Gıdalara iliřkin yapılmıř olan çalıřmalar tablo 11’de verilmektedir.

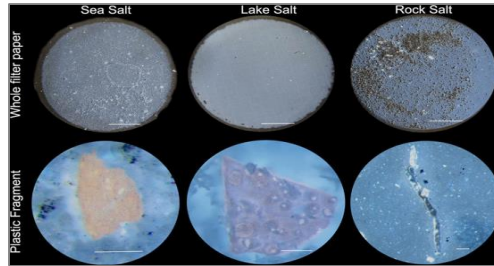
Tablo 11. Gıda Maddeleri Mikroplastik Çalışmaları

Madde	Mikroplastik Miktarı	Boyut	Çeşit	Bulunduğu Yer/Ülke	Kaynak
Bal	166 ± 147 MP lif/kg 9 ± 9MP parça/kg	10–20µm	Lif, Parçacık	Almanya, Fransa, İtalya, İspanya, Meksika ‘nın yerel marketleri	(Liebezeit vd., 2013)
Şeker	217 ± 123 MP lif/kg 32 ± 7 MP parça/kg	10–20µm	Lif, Parçacık	Yerel marketler	(Liebezeit vd., 2013)
Bira	0-14.3MP/L	100-5000 µm	Parçacık	Amerika Birleşik Devletleri’nin Minneapolis, Duluth, Alpena’dan satın alındı Michigan ve Rochester (likör mağazaları, bira fabrikaları)	(Kosuth vd., 2018)
Tuz	550–681 MP/kg deniz tuzu 43–364 MP/kg göl tuzu 7–204 MP/kg kaya-kuyu tuzu	45–4300 µm	Parçacık, Lif, Pellets, Sheets	Çin’in yerel marketleri	(Yang vd. , 2015)
	1–10 MP/kg deniz tuzu	>149µm	Parçacık, Film	Avusturalya, Fransa, İran, Japonya, Malezya, Yeni Zellanda, Portekiz, Güney Afrika’nın yerel marketleri	(Karami vd., 2017)
	50–280 MP/kg deniz tuzu 115-185 MP/kg kaya tuzu	10–3500 µm	Lif	İspanya’nın tuz üreticileri	(Iñiguez vd., 2017)
	16–84MP/kg deniz tuzu 8–102 MP/kg göl tuzu 9–16 MP/kg kaya tuzu	20–5000 µm	Lif, Parçacık, Film	Türkiye’nin yerel marketleri	(Gündoğdu S. , 2018)
	56MP/kg deniz tuzu 63MP/kg göl tuzu 28 MP/kg kaya tuzu	300 µm	Lif, Parçacık, Film		(Yurtsever, 2018)
	46.7–806 MP/kg tuz	100–5000 µm	Lif, Parçacık	Amerika Birleşik Devletleri	(Kosuth, Mason vd., 2018)
	İçme Suyu, Kaynak Su	2–44 MP/L tek kullanımlık plastik şişe, 28–241 MP/L geri dönüştürülebilir plastik şişe, 4–156 MP/L cam şişe su, 5–20 MP/L karton kaplı su	5-20 µm	Parçacık, PET,PP,PE	Almanya’nın yerel marketleri

Musluk Suyu ve Şişe Su	0–61 MP/L	100–5000 µm	Lif, Parçacık, Film	Küba, Ekvador, İngiltere, Fransa, Almanya, Hindistan, Endonezya, İrlanda, İtalya, Lübnan, Slovakya, İsviçre, Uganda, ABD	(Kosuth vd., 2018)
Yellowfin Çipura (Acanthopagrus australis)	0.2-4.6 MP/balık		PET,PP	Avusturalya	(Halstead, vd., 2018)
Deniz Kefali (Mugil cephalus)	2.5 MP/balık		PET,PP	Avusturalya	(Halstead, Smith vd., 2018)
Silverbidy (Gerres subfasciatus)	0.1 MP/balık		PET,PP	Avusturalya	(Halstead, Smith vd., 2018)
Ticari Balıklar	0-3 MP/balık türü		PP, PE, PS, PVC	Suudi Arabistan, Kızıldeniz	(Baalkhuy vd., 2018)
Avrupa Sardalya (Sardina pilchardus) Avrupa Hamsi (Engraulis encrasicolus)	0-3 MP/balık türü		PET, PA, polyacrylamide	İspanya, Akdeniz kıyıları	(Compa vd., 2018)
İstiridyeye (Saccostrea cucullata)	1.4-7.0MP/balık	20-5000 µm	PET, PP, PS, PA, PVC	Güney Çin'de İnci Nehri Haliç	(Li vd., 2018)
Levrek (Dicentrarchus labrax)	0.30 (0.61) MP/balık		PES, PP, Polyacrylonitrile, PE, PA, naylon	Portekiz	(Bessa vd., 2018)
Çipura (Diplodus vulgaris)	3.14 (3.25) MP/balık		PES, PP, Polyacrylonitrile, PE, PA, naylon	Portekiz	(Bessa vd., 2018)
Pisi Balığı (Platichthys flesus)	0.18 (0.55) MP/balık		PES, PP, Polyacrylonitrile, PE, PA, naylon	Portekiz	(Bessa vd., 2018)

Yurtsever tarafından 2017 yılında Türkiye'deki farklı markaların sofr tuzları, mikroplastik kirliliği açısından incelenmiştir. Çalışmada yerel marketlerde satılan sofr tuzlarındaki mikroplastik miktarları belirlenmiştir. Bu kapsamda, yemek tuzu basit üretim teknikleri ile deniz, göl ve kaya (kuyu) gibi doğal kaynaklardan temin edilmektedir. Çalışma sonuçları yemeklik tuz içerisinde bulunan mikroplastik sayısının azımsanmayacak miktarda olduğunu göstermektedir. Kaya tuzlarında ortalama 28, deniz tuzlarında 56 ve göl tuzlarında 63 adet/200g ve çoğunlukla 300µm boyutta ve mavi renk tonlarında liflerin bulunduğu tespit edilmiştir (Yurtsever, 2018).

Ülkemizdeki sofr tuzlarındaki mikroplastik kirliliği konusunda yapılan diğer yeni bir çalışma, 2018 yılında Çukurova Üniversitesi'nden Dr. Sedat Gündoğdu tarafından yapılmıştır. Türkiye'nin tuz üretim merkezlerinde üretilen 2017 yılının şubat ve mart ayları arasında piyasadan satın alınan, 16 farklı markanın sofr tuzu örnekleri incelenmiş ve örneklerin tamamında mikroplastiklerin bulunduğu tespit edilmiştir. Çalışmada, incelenen sofr tuzunun marka bilgisi, örneklerin çeşitleri hakkında bilgi verilmemiştir. amaltı, Tuz Gölü, Palas Gölü, Seyfe Gölü, Acıgöl, Çankırı, Cihanbeyli ve Aksaray'da üretilen 5 deniz tuzu, 6 göl tuzu ve 5 kaya tuzu olmak üzere toplam 16 sofr tuzu örneği incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, mikroplastik parçacık sayısı deniz tuzunda 16-84 adet/kg, göl tuzunda 8-102 adet/kg ve kaya tuzunda 9-16 adet/kg olarak tespit edilmiştir (Gündoğdu S. , 2018).



şekil 10. Sofra Tuzunda Bulunan Mikroplastikler
(Gündoğdu S. , 2018)

Gündoğdu'nun yaptığı çalışmada, tuzlarda polietilen, polietilen tereftalat, poliüretan, polipropilen, polimetil-metakrilat, poliamid-6 ve polivinilklorit olmak üzere birçok plastik türüne rastlanmıştır. Örneklerde en sık rastlanan plastik türü hafif, esnek, su ve kimyasallara dayanıklı özelliklerinden dolayı dayanıklı ambalaj malzemelerinde tercih edilen polietilen ve polipropilen olarak tespit edilmiştir. En fazla mikroplastik parçacık sayısı ile deniz tuzu örneklerinde %25 ile en fazla poliüretana rastlanırken, göl tuzlarında ise mikroplastiklerin %35,3'ü polietilen ve kaya tuzlarındakilerin tamamı polipropilen olarak tespit edilmiştir (Gündoğdu S. , 2018).

Türkiye’de gerçekleştirilen Gündoğdu ve Yurtsever’in çalışmasındaki sonuçlar uyumludur. Mikroplastik incelemelerinde elde edilen sonuçlardaki farklılıklar; ayırma metodu, kimyasal madde, cihaz ve spektroskopik metotlardaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Ayrıca incelenen tuz markalarının farklı olması gibi ihtimaller bulunmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü’nün sağlıklı bir yetişkinin günlük kullanılması önerilen tuz miktarı 5 gram iken bu sayı Avrupa’da 8-11 gram ve dünya genelinde 10 gram, Türkiye’de ise 14,8 ile 18,01 gram arasında olduğu görülmektedir. Bu veriler doğrultusunda, Türkiye’deki bir yetişkinin bir yıl içinde deniz tuzu tüketiyorsa 248,5–302,4 adet, göl tuzu tüketiyorsa 202,5– 246,5 adet ve kaya tuzu tüketiyorsa 63,7–77,5 adet mikroplastik parçacık bünyesine aldığı tespit edilmiştir (Gündoğdu S. , 2018). 2015 yılında Çin, 2017 yılında Avustralya, Fransa, İran, Japonya, Malezya, Yeni Zelanda, Portekiz ve Güney Afrika ile, 2018 yılında Amerika Birleşik Devletleri tarafından gerçekleştirildiği tespit edilen diğer ülkelerin sofrta tuzlarında mikroplastik varlığının incelemesine ilişkin güncel çalışmalar Tablo 11’de verilmektedir.

Yang ve arkadaşlarının 2015 yılında Çin’de sofrta tuzlarındaki mikroplastik varlığının araştırılması çalışmasında incelenen tuzlar; deniz tuzu, göl tuzu ve 100 m derinliğindeki kuyulardan elde edilen kaya tuzlarıdır. 15 farklı marka tuzda yaptıkları incelemelerde deniz tuzlarında 550-681 adet/ kg, göl tuzlarında 43-364 adet/ kg ve kaya/kuyu tuzlarında 7-204 adet/ kg mikroplastik belirlenmiştir. İncelemeler sonucunda, deniz tuzundaki mikroplastik miktarının, göl tuzundakinden üç kat, kaya tuzundakinden de yedi kat daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, göl tuzu kaynağının şehre uzak dağ göllerinde, deniz tuzu kaynağının ise şehre yakın yerlerde olmasıdır. 100 m derinlikteki kapalı ortamdaki kuyulardan alınan kaya tuzlarının mikroplastikten en az etkilendiği düşünülürse, şehirleşmiş bölgelerde mikroplastik kirliliği seviyesinin yüksek olacağı daha net anlaşılmaktadır (Yang vd., 2015). Karami ve arkadaşlarının 2017 yılında yaptığı çalışmada ise, dünyanın farklı ülkelerine ait (Avustralya, Fransa, İran, Japonya, Malezya, Yeni Zelanda, Portekiz ve Güney Afrika) toplam 17 farklı marka sofrta tuzu (deniz ve göl tuzları) Malezya’dan satın alınarak mikroplastik kirliliği açısından incelenmiş ve bir marka hariç diğer hepsinde 1-10 adet/kg arasında mikroplastik tespit etmişlerdir. Bu çalışmada en çok rastlanılan plastik türü ise polietilen (PE) ve polipropilen (PP) olarak belirlenmiştir. Rapor, plastiğin doğada çözülme sürecinin yavaş olmasıyla bağlantılı olarak, bir ülkenin tuzunda bulunan mikroplastik parçacıklarının başka bir ülkeden kaynaklanabileceğine dikkat çekmekte ve çözümün küresel önlemler olduğu belirtilmektedir (Karami vd., 2017).

Kosurth ve arkadaşları tarafından Nisan 2018'de Amerika Birleşik Devletleri'ne ait musluk suyu, bira ve deniz tuzunda mikroplastik kirliliğine ilişkin bir çalışma gerçekleştirmiştir. İncelenen 12 deniz tuzu örneğinin tamamında mikroplastığa rastlandığı bildirilmektedir. Deniz tuzu örneklerinde bulunan ortalama mikroplastik parçacığı sayısı 212 adet/kg, bira örneklerinde 4.05 adet/kg, musluk suyu örneklerinde 5.45 adet/L olarak mikroplastik tespit edilmiştir. Araştırmacılara göre, tüketim alışkanlıklarına dair bilgilere ve 159 musluk suyu, 12 bira ve 12 sofraya tuzunu incelenme sonuçlarına dayanarak ortalama bir yetişkinin bedenine sadece bu üç kaynaktan yılda 5.800 sentetik parçacık alınmaktadır (Kosuth vd., 2018).

İsveçli araştırmacıların 2017 yılında yaptığı çalışmada, denizlerde yüksek oranda polistiren maddesine maruz kalan tatlı su levrek larvalarının doğal gıdalar yerine mikroplastikleri tercih ettiği tespit edilmiştir. Mikroplastiklerin balık yaşamlarındaki etkilerini inceleyen araştırmacılar, levrek larvalarını su tanklarında polistirene maruz bıraktıkları durumda balık larvaların besin yerine mikroplastikleri tükettikleri zaman büyüme oranlarının % 81 düştüğü belirlenmiştir (Cebeci, 2017).

Avusturya'da yapılan bir pilot çalışmada, insan dışkısında dokuz çeşit mikroplastik bulunduğu ortaya konulmuştur. Viyana Tıp Üniversitesi ile Avusturya Çevre Dairesi tarafından yapılan çalışmada, farklı ülkelerde yaşayan sekiz denekten alınan gaita örneklerinde mikroplastik bulunmuştur. Araştırmada Finlandiya, Hollanda, İngiltere, İtalya, Polonya, Rusya, Japonya ve Avusturya'dan katılan ve yaşı 33 ile 65 arasında değişen denekler tarafından yedikleri yiyeceklere ilişkin bir günlük tutulmuştur. Bu denekler bir hafta boyunca, plastik ambalajlı yiyecekler tüketmiş veya pet şişelerdeki içeceklerden su içmiştir. Bu deneklere gaita tahlili yapılmış ve "büyüklüğü 50 ile 500 mikrometre arasında değişen dokuz farklı plastik çeşidi" tespit edilmiştir. Çalışmada, en sık karşılaşılan plastik türünün polipropilen ile polietilen tereftalat olduğu belirlenmiştir. Bu inceleme neticesinde mikroplastığın insanların sindirim sistemi için tehlikeli olabileceği düşünülmektedir. Ancak mikroplastığın insanlar için olası tehlikelerine ilişkin tahminlerde bulunabilmek için kapsamlı yeni araştırmalar yapılması gerekmektedir (Deutsche Welle, 2018).

4.2 Mikroplastiklerin İnsan Sağlığına Etkileri

Mikroplastiklerin yapımında kullanılan kimyasal maddeler ve dış yüzeyine tutunan kalıcı organik maddeler mikroplastikler ile beraber vücuda taşındığında insan sağlığına zarar vermektedir (Rist vd., 2018). Polisiklik aromatik hidrokarbonlar, organoklorlu pestisitler ve poliklorlu bifeniller gibi hidrofobik organik kirletici maddelerin yanı sıra kadmiyum, çinko, nikel ve kurşun gibi ağır metaller plastiklerin hidrofobik kimyasal özellikleri sebebiyle parçacıkların dış yüzeyine tutunabilmektedir (Wright & Kelly, 2017). Ayrıca tehlikeli monomerler, kimyasal katkı maddeleri ve yan ürünler plastiklerin % 50'den fazlasının içerisinde doğrudan bulunmaktadır. Rist ve arkadaşları tarafından 2018 yılında yapılan bir çalışmada, çoğu polimerin biyolojik olarak doğada parçalanmayan maddeler olduğu bildirilmektedir. Bununla birlikte, plastik ürünlerin üretiminde kullanılan bazı monomerler ve oligomerlerin kullanım sırasında bulunduğu ortama sızarak daha sonra canlılara ulaşabildiği belirtilmiştir (Rist vd., 2018).

Plastiklerin insan sağlığına zararlı etkisi konusunda; katkı maddeleri olarak kullanılan kimyasallarla karşılaştırıldığında parçacık toksisite etkisine ilişkin çok az şey bilinmektedir. İnsanların mikroplastiklere maruz kalma yolları yutma ve soluma olduğu için potansiyel zararlı etkileri mide, bağırsak sistemi ve akciğerde meydana gelebilmektedir. Mikroplastiklerin hidrofobiklik, yüzey yükü gibi kimyasal yapısı ve parça büyüklüğü özellikleri insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Rist ve arkadaşları tarafından küçük plastik parçacıkların meydana getirdiği hava kirliliğinin solunum ve kalp hastalıkları ile yakından ilişkili olduğunu gösteren araştırmalar yapılmıştır. Çalışmalarda 2.5 µm altındaki plastik parçacıkların solunum organlarından geçerek, akciğerlerde büyük oranda tutulabildiği tespit edilmiştir. İnsanlar tarafından sürekli solunması veya yutulması durumunda ise mikroplastiklerin bağışıklık sistemini zayıflatarak parçacık toksisite etkisi yaptığı tespit edilmiştir (Rist vd., 2018). 50 µm'ye kadar olan çok küçük nanoplastikler ise lenf düğümlerine taşınabilmekte ve bazı durumlarda karaciğerde ve dalakta bulunabilmektedir. Bu nedenle, mikroplastiklerin potansiyel insan sağlığına etkileri büyük ölçüde parçacık özelliklerine bağlı olmakta ve mikroplastik parçacıklardan ziyade nanoplastiklerin insan sağlığına çok daha fazla olumsuz etkilere neden olduğu varsayılabilir. Söz konusu potansiyel sağlık etkilerinin belirlenmesi için daha çok deneysel veriye ihtiyaç duyulmaktadır (Rist vd., 2018).

Plastik malzemeler aynı zamanda yapımında kullanılan binlerce kimyasal madde ile yakından ilişkilidir. Söz konusu kimyasalların birçoğu insan kanında, idrarda ve anne sütünde bulunabilmekte ve bazılarının potansiyel olarak insanlar üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Dünyada uygun katı atık yönetimi uygulanmayan bazı atık bertaraf alanlarında, rutin atık yakma işlemi sırasında plastik malzemelerin de yakılması neticesinde yapısında bulunan; furan, dioksin gazları, polisiklik aromatik hidrokarbonlar ile kurşun ve kadmiyum toksik metalleri atmosfere serbest bırakılmaktadır (Rist vd., 2018). Bu kimyasallar solunmaları neticesinde insan bünyesine geçmekte ve insan sağlığına zarar vermektedir.

Bouwmeester ve arkadaşlarının çalışmasında, kemirgenler tarafından yutulan mikroplastiklerin kanda çok zor emildiği (< % 1) tespit edilmiştir. Çok küçük bir kısmı kan dolaşımına lenf yoluyla ulaşabilmekte ancak bu mikroplastik miktarı organlara nüfuz edememekte ve muhtemelen dalak yoluyla elimine edilmektedir (Bouwmeester vd., 2015). İnsan vücudunundan boşaltım sistemi ile mikro ve nanoplastiklerin >% 90'ını dışkı yoluyla atıldığı tespit edilmiştir (Smith vd., 2018). Ayrıca mikroplastik parçacıkları büyüklüklerinden dolayı hücre membranlarından geçememektedir. Ancak, mikroplastiklerin bağırsakta inflamasyon (iltihaplanma) gibi lokal etkileri mümkün olabilmekte ve dolayısıyla bağışıklık sistemini etkileyebilmektedir. Nano plastikler plasenta ve beyin dahil tüm organlara nüfus edebilmekte ve hücre membranları içerisine taşınabilmektedir. Ancak nanoplastik toksisitesine ilişkin yeterli çalışma mevcut değildir (Bouwmeester vd., 2015).

Mikroplastiklerin insanların tükettiği gıdalarda bulunup bulunmadığı konusunda çok az sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu nedenle, insan sağlığına olumsuz etkileri hakkında mevcut olan bilgi hala sınırlıdır. Mikroplastiklere kronik maruziyet, zamanla oluşabilecek birikim etkisinden kaynaklandığı için bu durum da henüz bilinmemektedir. Mikroplastiklere maruziyet neticesinde oluşacak toksik etkileri belirlemek için daha fazla deneysel veriye ihtiyaç duyulmaktadır (Rist vd., 2018).

Polietilen-tereftalat (PET): Potansiyel olarak insanlar için kanserojen olarak kabul edilen içecek şişeleri, plastik film, mikrodalga ambalaj, borular ve yalıtım kalıplarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Polisitilen (PS): Ambalaj köpükleri, tek kullanımlık kaplar, tabaklar, CD, tanklar ve yapı malzemelerinde yalıtım ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İnsanlarda, kemirgenlerde ve omurgasızlarda kanser ve üreme anormalliklerine sebep olan toksik monomerlerin salınımına sebep olmaktadır. İnsanların mide hücrelerinin canlılığını, morfolojisini etkileyebilmektedir. Aynı zamanda ambalajlarda yaygın olarak kullanılan stiren bir katkı maddesi olarak sızıntı yapma potansiyeline sahip olup endokrin bozucu kimyasal maddeler arasında yer almaktadır.

Polivinil Klorid (PVC): Yapımında kullanılan katkı maddeleri, tıbbi malzemedan insanlara aktarılabilen ve kanda birikebildiği tespit edilmiştir. (Karbalaie vd., 2018).

Bisfenol A (BPA): Polikarbonatın (PC) bir monomerik yapım bileşiği olup maruz kalma yolları; solunum, deri teması ve yutma olarak kabul edilmektedir. Endokrin bozucu kimyasal maddeler arasında yer almaktadır. BPA maruziyeti neticesinde idrar, kan, anne sütü ve doku örneklerinde bulunabilmektedir. Ayrıca, beyin ve sinir hücrelerine toksik etkileri deneyler ile kanıtlanmıştır. Örneğin insanlarda üreme anormallikleri gibi olumsuz etkileri olabileceğine dair kanıtlar bulunmaktadır. Hamilelikte alınan Bisphenol A nedeniyle, kız çocuklarında davranış ve duygusal sorunların ortaya çıktığı, hem kadınlarda ve hem de erkeklerde kısırlığa neden olduğu belirlenmiştir (Rist vd., 2018; Avrupa Komisyonu, 2018).

Ftalatlar: Plastik ürünlerin içerisinde din-oktil ftalat (DnOP) ve di (2-etilheksil) ftalat (DEHP) gibi kimyasallar katkı maddesi yaygın kullanılmaktadır. Ftalatlar, hayvanlarda ve insanlarda sağlık sorunlarına neden olabilmekte ve insanlarda idrar ve kan örneklerinde yaygın olarak bulunabilmektedir. Ftalat esterleri çeşitli malzemelerin esnekliğini ve dayanıklılığını arttırmak için plastikleştiriciler olarak kullanılmaktadır. Butil benzil ftalat (BBP) ve di-2-etilheksil ftalat (DEHP)'lar muhtemel insan karsinojenleri olarak sınıflandırılmaktadır (Karbalaie vd., 2018). Ftalatların, gelişimsel anormalliklere sebep olduğu düşünülmekte, erkek üreme sağlığı, gebelik ve solunum sağlığına etkileri olduğu tespit edilmiştir (Rist vd., 2018).

Polibromludifenil eterler (PBDE) ve Tetrabromobisfenol A (TBBPA): Plastik ürünlerinde alev geciktirici olarak kullanılan katkı maddelerinin canlılarda toksik etkisi olabilmektedir. PBDE ve TBBPA'nın tiroid hormonunun aktivitesini bozduğu ve PBDE'lerin de insanlarda hormon bozduğu etkisi ortaya konulmuştur (Rist vd., 2018).

5 MİKROPLASTİKLERİN ÇEVRESEL ORTAMDA TAŞINIMI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Plastik malzemeler ekosistemde sabit kalmamakta, karadan tatlı suya ve tatlı sudan deniz ortamına taşınabilmektedir. Mikroplastiklerin sucul ekosisteme taşınmasında akarsular hava ortamında taşınmasına ise rüzgârlar etkin bir rol oynamaktadır (Yurtsever vd., 2017). Mikroplastiklerin kolayca taşınabilmeleri sebebiyle mikroplastiklere kırsal bölgelerde hatta yerleşim yerinden uzakta yer alan dağ göllerinde bile rastlanmaktadır. Örneğin Moğolistan'da Hovsgol Gölü'nden ve Tibet Platosu'na ait göllerden alınan numunelerde önemli miktarda mikroplastik bulunduğu tespit edilmiştir.



Şekil 11. İkincil Mikroplastik Örnekleri (Plastik Reçineler)

(Kershaw, 2016)

Günümüzde plastik atıkların uygunsuz bertarafının yanı sıra havadaki atmosferik plastik döküntüler de ekosistemi kirletmektedir. Kentsel ve kırsal bölgelerde hava kirliliğine neden olan atmosferik döküntülerin incelenmesi neticesinde döküntülerin içeriğinde en az % 29'unun tekstil ürünlerinden kaynaklandığı petrol türevi olan sentetik mikroplastik tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, mikroplastiklerin havada uzun mesafelerce taşınabildiğini göstermektedir (Yurtsever vd., 2017).

Günlük hayatta yaygın kullanılan tekstil ürünlerdeki sentetik lifler ve plastik parçacıklar hafiflikleri sayesinde uzun mesafeler havada taşınabilmekte rüzgarsız ortamlarda ise su ve karaya çökelebilmektedir. Bu sebeple izole adalarda, Arktik ve Antarktik bölgelerinde de mikroplastiklere rastlanabilmektedir. Kuzey Pasifik'te ve Kuzey Atlantik Okyanusunda yer alan iki büyük çöp adası bu şekilde oluşmuştur. 1997 yılında keşfedilen büyük Pasifik çöp çukurunun, yaklaşık Avrupa kıtası büyüklüğünde olup kilometrekarede 1 milyon plastik parçacık içermekte olduğu tahmin edilmektedir. Mikroplastik parçacıklar aynı zamanda üzerine tutunan organizmaları ve kimyasal kirliliği buldukları yerden çok uzak mesafelere taşıyabilmektedir (Venghaus, 2017).

Çevre ve insan sağlığını tehdit eden mikroplastikler, deniz ortamına ulaştıkları zaman sucul ekosistemi de etkilemektedir. Sucul ekosistemde yaşayan deniz çayırları, fitoplankton, zooplankton, balıklar, bentik canlılar, deniz kaplumbağaları, deniz memelileri ve deniz kuşları gibi canlı gruplarından binlerce türü denizlerin fiziksel ve kimyasal özellikleriyle etkileşim içerisinde olup deniz ekosistemini oluşturmaktadır. Deniz ya da iç sularda yaşayan suyun hareketiyle hareket eden tek yada çok hücreli canlılara “plankton” denilmektedir. Deniz suyunun güneş ışığı ile aydınlanan üst tabakasında yaşayan fotosentetik canlı olan “fitoplankton” (bitkisel plankton), zooplanktonik canlılar (hayvansal plankton) için başlıca besin kaynağıdır. Aynı zamanda zooplanktonik canlılar besin zincirinde birincil tüketiciler ve ikincil üreticiler olarak tanımlanmaktadır. Zooplanktonlar besinini fitoplankton ile kendisinden küçük canlıları tüketerek dışarıdan temin ettiği için mikroplastikleri bünyesine aldığı düşünülmektedir. Deniz ekosisteminde yaşayan bentik omurgasız organizmalar denizlerdeki besin zincirinin fitoplanktonik ve zooplanktonik organizmalardan sonraki üçüncü halkasını oluşturmaktadır. Bentik canlılar genellikle sediment içerisinde yada üzerinde yaşamaları ve yavaş hareket etmeleri sebebiyle bir ortamdaki plastik kirlilikten en çok etkilenen canlı türüdür (ODTÜ, 2017). Plastik kirliliğinden etkilenen ekosistemde yaşayan balık yiyen kuşlar, balıklar, deniz memelileri, zooplanktonlar, chaetognatha (kılıççeneliler ve planktonik deniz omurgasız), kopepod (zooplanktonun alt sınıfı eklembacaklılar), echinodermata (derisi dikenliler, derin okyanusta yaşayan omurgasız hayvan), bryozoa (mikroskopik sucul omurgasız), bivalvia (midye, suyu filtreleyerek beslenen iki kabuklu yumuşakça) ve salp (planktonik canlı), besin zincirinin altında yer alan balık larvaları, kabuklu ve omurgasız canlılar tarafından makro, mikro ve nanoplastiklerin yutulduğu ve denizde yaşayan yaklaşık 800 canlı türünün deniz çöplerinden etkilendiği tespit edilmiştir (Rist vd., 2018; Smith vd., 2018; Bouwmeester vd., 2015). Laboratuvar çalışmasında, küçük boyutlarından dolayı yutulan plastik parçacıkların genellikle canlıların sindirim kanalında bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, çok küçük nanoplastikler denizdeki algelere tutunması durumunda zooplanktonlar ile besin zinciri yoluyla balıklara taşınmaktadır (Bouwmeester vd., 2015).

Mikroplastikler genellikle kirleticiler için potansiyel taşıyıcı işlevi görmektedir. Hidrofobik kimyasallar plastik parçacıklara kuvvetlice bağlanarak balık gibi sudaki besinini dışarıdan alan heterotrofik canlılara taşınmaktadır. Plastikleri tüketen deniz canlılarının iç organlarına mide mukozasına zarar vermekte ya da beslenmesini azaltabilmekte, sindirim enzim sistemini veya hormon dengesini bozabilmekte ve üreme sistemleri üzerinde zararlı etkilere neden olabilmektedir. Denizlerde yaşayan canlılarının midelerinin plastikle dolması çoğu zaman hayvanların açlıktan ölmesine sebep olmaktadır (Rist vd., 2018; Kershaw, 2016)



Şekil 12. Mikroplastik Yutan Balık & Albatros Kuşu

(Kershaw, 2016)

Kıdeyş ve arkadaşlarının çalışmasında çipura balıklarının en yaygın 6 mikroplastik çeşidi ile beslenmesini müteakip, sindirim organlarında, karaciğerde ve dokuda birikimi laboratuvar deneyleri ile araştırılmıştır. Laboratuvar analizi sonuçlarında, analizleri gerçekleştirilmiş olan tüm karaciğer örneklerinin %5,3'ünde en az 1 mikroplastik parçacığının varlığı gözlenmiştir. Ancak ham mikroplastik parçacıklarının yenilmesi 75 günlük deney süresince balıklar üzerinde strese, büyüme oranı değişimine, patolojik hastalığa ya da sindirim sisteminde birikime neden olmamıştır. Son beslemeden 24 saat sonra elde edilen sonuçlara göre balık bireylerinin mide ve bağırsaklarında 0-34 adet arasında mikroplastik parçacığı gözlemlenmiştir. Mikroplastik parçacıklarının son beslemeden 24 saat sonra mide organlarına göre bağırsakta kalma oranının daha yüksek olduğu ve mikroplastiklerin sindirim organlarında uzun süreli kalma durumunun sifıra yakın olduğu tespit edilmiştir. Bazı mikroplastik parçacıkları (0-15 adet) karaciğerde organında tespit edilmiştir. Ayrıca, 1 adet mikroplastik parçacık da kas dokusunda tespit edilmiştir. Denemeler kapsamında incelenen balık bireylerinin, mide, bağırsak, karaciğer, pankreas ve mezenter dokularında mikroplastik etkisine bağlı olarak ortaya çıkan önemli görünebilecek bir lezyon ile karşılaşılmamıştır (Kıdeyş vd., 2018).

Mikroplastiklerin sindirim sisteminde birikim seviyesinin az olması, balık bireylerinin mikroplastikleri kendi vücutlarından atabildiği ve herhangi beslemede mikroplastiklerin birikime uğramadıklarını göstermektedir. Grigorakis ve arkadaşları tarafından Japon balıkları üzerinde yapılan çalışmaya göre, mikroplastiklerin %50 ve %90 oranında vucüt dışına atılımı, sırası ile 10 ve 33,4 saatte gerçekleşmiştir. Gerçekleştirilen çalışma da benzer zaman periyodu gözlenmiştir; mikroplastiklerin %90 lık bir oranının vucüttan atılımı 24 saat içerisinde gerçekleşmiştir. Çalışma sonuçları değerlendirildiğinde, mikroplastik parçacıkların sindirim sisteminde kalıcılık potansiyelinin çok az olduğu anlaşılmaktadır (Kıdeyş vd., 2018).

5.1 Türkiye'deki Denizlerde Mikroplastik İncelemesi

Güven ve ark. tarafından Doğu Akdeniz'in 10 farklı bölgesinde yaşayan balıkların sindirim sisteminde bulunan mikroplastik miktarını belirlemek için 2015 ve 2016 yıllarında bir çalışma gerçekleştirilmiştir. 2015 yılında, 28 farklı balık türüne ait 1337 balık bireyinin %58'nin sindirim sisteminde toplam 1822 adet mikroplastik olduğu tespit edilmiştir. Bu balık türlerinin içinde en fazla mikroplastik barbun ve istavrit türlerinde bulunmuştur. 2016 yılında ise en çok rastlanan barbun (*mulus barbarus*) ve istavrit (*trachurus miterraneus*) türlerine ait 167 adet balık bireyi analiz edilmiştir (Güven vd., 2017; Kıdeyş vd., 2018).

Çalışmanın ilk yılında yapılan örnekleme ile her bir balık bireyi için ortalama 1.80 partikül olmak üzere tüm balıkların % 34'ünün mide organlarında, % 41'inin ise her bir bireyin ortalama 1.81 partikül olarak bağırsaklarında mikroplastik tespit edilmiştir. Tüm örneklerin %58 ini temsil eden 771 adet balık örneğinin hem mide hem de bağırsak organlarında mikroplastik tespit edilmiştir. Balıklar tarafından yutulan mikroplastik tipleri; % 70'i fiber, %20.8'i sert plastik, %2.7'si naylon, %0.8'i kauçuk, %5.5'i ise çeşitli diğer plastik parçacıklardır. Mide veya bağırsakta bulunan partikül sayısı ortalama 1 ile 35 arasında değişmektedir (Güven vd., 2017; Kıdeyş vd., 2018).

Aynı çalışma kapsamında, 2015 yılında deniz yüzeyinden elde edilen mikroplastik miktarları 16.339 – 520.213 adet/km² arasında, 2016 yılında ise 19.748-1.080.324 adet/km² arasındadır. 2015 yılı su kolonu örneklerindeki mikroplastik miktarı 0,58 ve 26,37 adet/m³ arasındadır. 2016 yılında ise bu oran 0,17 ve 13,83 adet/m³ arasında değişmektedir. 2015 yılı sediman örneklemeğinde, bir istasyonda 1.720 adet/L mikroplastik parçacığı ile en yüksek mikroplastik yoğunluğunu göstermiş iken; diğer istasyonun, yüzey suyu örneklerinde en yoğun mikroplastik miktarına sahip olduğu görülmüştür (ancak ikinci istasyon sedimanında 80 adet/L mikroplastik parçacığı ile en düşük yoğunluk gözlenmiştir). 2016 yılında, mikroplastik parçacıklarının sediman örneklerindeki miktarları 73,33 ve and 553,33 adet/L arasında değişmektedir (Güven vd., 2017; Kıdeyş vd., 2018).

Tüm örnekler (2015 ve 2016 yılında yapılan deniz suyu, sediman ve biyota örnekleri) birleştirildiğinde, en yoğun tespit edilen mikroplastik tipleri olarak fiber ve sert plastik parçacıklarını naylon, kauçuk ve diğerleri takip etmektedir. Fiberlerin oranı su yüzeyinden sedimana doğru artış göstermektedir. Fiber ve sert plastik parçacıklarının yoğun bulunduğu istasyonların, örnekleme bölgesindeki üç büyük nehre yakın olduğu tespit edilmiştir (Kıdeyş vd., 2018).

Kıdeş ve ark. tarafından gerçekleştirilen başka bir çalışmada, 2016 yılının yaz aylarında Türkiye'nin tüm denizlerinden 3 dönem alınan numune örnekleme; su yüzeyi, su kolonu, sediment ile balıkların mide ve bağırsaklarında bulunan mikroplastikler analiz edilmiştir. Analiz edilen balık türleri tüm Türkiye'nin denizlerinde ortak bulunan (barbun *Mullus barbatus* ve istavrit *Trachurus mediterraneus*) ve diğer bazı balık türlerinden (*Merluccius merluccius*, *Phycis blennoides*, *Tripsopterus minutus*, *Pagellus erythrinus*, *Pagellus sp.* ve *Merlangius merlangus*) içermektedir. Çalışmada; toplam 18 su yüzeyinden, 18 su kolonundan, 21 sediment örneğinden ve 846 balık ferdinden elde edilen ön sonuçlar sunulmaktadır. Tüm değerlendirilen ortamlar içerisinde en yüksek mikroplastik çeşitliliği su yüzeyi örneklerinde tespit edilmiştir. Toplamda tespit edilen tüm plastik parçacıklarının en sık karşılaşılan plastik tipi şeffaf naylon parçacıklarıdır. Değerlendirilen 846 balıktan 514'ünün sindirim kanalları içerisinde yani mide ya da bağırsakta toplamda 1051 adet mikroplastik parçacık tespit edilmiştir. Diğer bir deyişle, balık fertlerinin %57'sinin sindirim kanallarında plastik bulunmuştur. Toplamda analizi gerçekleştirilen 8 tür ve 24 örnekleme istasyonu için sindirim kanalları içerisinde tespit edilen mikroplastik parçacıklarının çoğunun bireylerin bağırsaklarında bulunduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçların ileride gerçekleştirilecek olan izleme çalışmaları için önemli bir temel veri işlevi göreceği düşünülmektedir (Kıdeş vd., 2016).



Şekil 13. Balıkların Midesindeki Mikroplastik Örnekleri

(Kershaw, 2016)

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından desteklenerek Tübitak-Mam'ın yürütücülüğünde 2014-2016 döneminde gerçekleştirilen "Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Projesi" kapsamında yer alan deniz değerlendirme alanlarının 10 tanesinde yapılan pilot ölçekli çalışmalar ile Akdeniz, Karadeniz, Marmara ve Ege Denizlerindeki mikroplastik miktarları belirlenmiştir.

5.1.1 Akdenizde Mikroplastik Değerlendirmesi

Akdeniz’de deniz yüzeyi, su kolonu ve sediman örneklemeleeri 2014, 2015 ve 2016 yıllarının yaz aylarında 3 istasyonda gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında Mersin Körfezi bölgesinde fiber parçacıklar yıllara göre toplamın %8 - %10’u ile en az deniz yüzeyinde rastlanmış, su kolonunda %33-39 oranlarında, sedimanda %56 ve %73 arasında mikroplastik tespit edilmiştir. Bu da fiberlerin sedimanda bozulmadan kalabildiğini göstermektedir (Tübitak-Mam, şB, 2017).

Mersin Körfezinde deniz yüzeyinden alınan numunelerde toplam mikroplastik parçacık sayısı 2015 yılında 681.133 adet/km², 2016 yılında ise 561.619 adet/km² olduğu tespit edilmiştir. Su kolonundan alınan numune sonuçlarında toplam mikroplastik parçacık sayısı 2015 yılında 19.93 adet/m³, 2016 yılında ise 18.89 adet/m³ olduğu tespit edilmiştir. Sedimandan alınan numune sonuçlarında toplam mikroplastik parçacık sayısının 2015 yılında 840 adet/L, 2016 yılında ise 886 adet/L olarak belirlenmiştir (Tübitak-Mam, şB, 2017). Mikroplastik izleme çalışması kapsamında belirlenen demersal bir tür olan barbun Mullus barbatus ve pelajik bir tür olan istavrit Trachurus mediterraneus analizleri 2016 yılında yapılmıştır. İzlenen 175 balıktan 92’sinin sindirim kanalları içerisinde (mide ya da bağırsakta) toplamda 169 adet mikroplastik parçacık tespit edilmiştir. Balık fertlerinin %53’ünün sindirim kanallarında plastik bulunmuştur. Bu oran, 2015 yılında Doğu Akdeniz’de 1337 balık bireyinin analiz edildiği çalışmadaki %58 lik orana yakındır (Güven vd., 2017). Çalışma kapsamında balıkların sindirim kanallarında 7’si fiber, 2’si sert plastik ve 2’si naylon olmak üzere 11 farklı plastik tipi tespit edilmiştir (Tübitak-Mam, şB, 2017).

Doğal Hayatı Koruma Vakfı (WWF) tarafından yayınlanan rapora göre, Akdeniz’de yaşayan deniz canlılarından 60 balık türü, 3 deniz kaplumbağası türü, 9 deniz kuşu türü ve 5 deniz memelisi türünün (ispermeçet balinası, fin balinası, alfalina, Grampus ve çizgili yunus) yer aldığı 134 canlı türünün bünyesinde plastik bulunmuştur. Deniz kuşlarının %90’ının midesinde plastik parçaları bulunmuş ve denizlere atılan plastiği azaltıcı herhangi bir tedbir alınmadığı takdirde 2050’ye gelindiğinde bu oranın %99’a çıkması öngörülmektedir. İstiridye ve midyelerin en çok plastik liflerden, açık denizlerde yaşayan balıkların ise cips ambalajları ve sigara izmaritlerinden etkilendiği tespit edilmiştir. Kıyıya vuran bir ispermeçet balinasının midesinde 9 metre balık ağı, 4,5 metre hortum, 2 saksı ve plastik branda parçaları çıkmıştır.

Plastikler yutulduğunda açlık hissi ortadan kalkmakta dolayısıyla, özellikle uzun mesafelere göç eden hayvanlar için çok önemli olan yağ depolama gerçekleşmemektedir. Canlılarda bağırsakların tıkanması, ülserler, hücre ölümleri, cilt kesikleri ve yaraları diğer sonuçlar arasında yer almaktadır. Bütün bu etkiler neredeyse her durumda hayvanın ölümüyle sonuçlanmaktadır. Akdeniz’de yaşayan tüm deniz kaplumbağası türlerinin plastik yediği tespit edilmiştir. İri başlı deniz kaplumbağası üzerinde yapılan 10 yıllık bir çalışmada, analiz edilen örneklerin %35’inin sindirim sisteminde plastik çöpler tespit edilmiştir. Ayrıca, ton balıkları ve kılıç balıklarının %18’inde, Balear Adaları civarında görülen kara ağızlı kedi köpekbalığının midesinde plastik tespit edilmiştir. Deniz tabanından beslenen midye, yengeç, tekir ve dil balığı gibi küçük hayvanlar bile mikroplastiklere maruz kalabilmektedir (WWF, 2018).

Deniz çiftliklerinde üretilen midye ve istiridyelerde yapılan bir başka araştırma kapsamında, Avrupa’da ortalama bir kabuklu deniz canlısı tüketicisinin yılda 11 bin mikroplastik parça yiyebileceği öngörülmektedir. Denizlerdeki besin zincirinin tabanında yer alan küçük organizmalardan olan zooplanktonlar istemeden 1 mm altında plastik parçalarla beslendiği belirlenmiştir. Zehirli maddeler içerebilen bu parçaların, zooplanktonlardan başlayarak besin zincirinin üst basamaklarına kadar taşınıp insanlara ulaştığı düşünülmektedir (WWF, 2018).

5.1.2 Ege Denizi'nde Mikroplastik Değerlendirmesi

Ege Denizi'nde mikroplastik seviye tespit çalışması için deniz yüzeyi, su kolonu ve sediman örneklemeleri incelenmiştir. Proje kapsamında deniz yüzeyinden alınan numunelerde toplam mikroplastik parçacık sayısı 2015 yılında 1.192.020 adet/km², 2016 yılında ise 3.697.992 adet/km² olarak tespit edilmiştir. Su kolonundan alınan numune sonuçlarında toplam mikroplastik parçacık sayısı 2015 yılında 100,38 adet/m³, 2016 yılında ise 63,51 adet/m³ olarak tespit edilmiştir. Sedimentten alınan numune sonuçlarında toplam mikroplastik parçacık sayısının 2015 yılında 4.960 adet/L, 2016 yılında ise 2.840 adet/L olarak tespit edilmiştir.

Mikroplastik izleme çalışması kapsamında belirlenen 5 balık türüne ait (Barbus Mullus barbatus, Berlam Merluccius merluccius, Mezgit Trisopterus minutus, Kıırma Mercan Pagellus erythrinus, Mercan Pagellus) toplamda 269 balık bireyinin mide ve bağırsaklarının analizleri 2016 yılında yapılmıştır. İzlenen 269 balıktan 162'sinin sindirim kanalları içerisinde (yani mide ya da bağırsakta) toplamda 380 adet mikroplastik parçacık tespit edilmiştir. Diğer bir deyişle, balık fertlerinin %60.22'sinin sindirim kanallarında plastik bulunmuştur. Balık türünün adet bakımından yoğun olduğu Çeşme-Ildır bölgesinde balıkların yoğun olarak mikroplastik aldığı tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında balıkların sindirim kanallarında 6'sı fiber, 4'ü sert plastik ve 2'si naylon, 2'si diğer, 1'i kauçuk olmak üzere 15 farklı plastik tipi tespit edilmiştir (Tübitak-Mam, ÇŞB, 2017).

5.1.3 Marmara Denizi'nde Mikroplastik Değerlendirmesi

Marmara Denizi'nde mikroplastik seviye tespit çalışması deniz yüzeyi, su kolonu ve sediman örneklemeleri 2014, 2015 ve 2016 yıllarının yaz aylarında 3 istasyonda gerçekleştirilmiştir (Tübitak Mam-ÇŞB , 2017). Proje kapsamında deniz yüzeyinden alınan numunelerde toplam mikroplastik parçacık sayısının 2015 yılında 765.623 adet/km², 2016 yılında ise 1.207.318 adet/km² olarak tespit edilmiştir. Su kolonundan alınan numune sonuçlarında 2015 yılında 44.84 adet/m³, 2016 yılında ise 31.55 adet/m³ mikroplastik tespit edilmiştir. Sedimandan alınan numune sonuçlarında toplam mikroplastik parçacık sayısı 2015 yılında 900 adet/L, 2016 yılında ise 524 adet/L olarak tespit edilmiştir. Genel olarak, istasyonlarda plastik fiberler yoğun olarak gözlenmiştir. Arıtma tesislerinde mikro filtrasyon işlemine tabi tutulmayan kanalizasyon suları mikroplastiklerin denizel ortama ulaşmasında etkin bir unsurdur. Özellikle tekstil ürünlerinin yıkanması sonrasında sentetik plastik fiberler kanalizasyona geçmekte ve buradan deniz ortamına ulaşmaktadır (Tübitak Mam-ÇŞB , 2017).

5.1.4 Karadeniz’de Mikroplastik Değerlendirmesi

Karadeniz’de mikroplastik seviye tespit çalışması deniz yüzeyi, su kolonu ve sediman örneklemeleri 2014, 2015 ve 2016 yıllarının yaz aylarında 2 istasyonda gerçekleştirilmiştir (Tübitak-Mam, ÇŞB, 2017).

Proje kapsamında deniz yüzeyinden alınan numunelerde toplam mikroplastik parçacık sayısının 2015 yılında 3.248.857 adet/km², 2016 yılında ise 8.310.431 adet/km² olarak tespit edilmiştir. Su kolonundan alınan numune sonuçlarında toplam mikroplastik parçacık sayısı 2015 yılında 91,88 adet/m³, 2016 yılında ise 62,436 adet/m³ olarak tespit edilmiştir. Sedimandan alınan numune sonuçlarında toplam mikroplastik parçacık sayısı 2015 yılında 3.780 adet/L, 2016 yılında ise 11.760 adet/L olarak tespit edilmiştir.

Mikroplastik izleme çalışması kapsamında belirlenen 3 balık türüne (Trachurus trachurus, Merlangius merlangus, Mullus barbatus) ait toplamda 263 balık bireyinin mide ve bağırsaklarının analizleri 2016 yılında yapılmıştır. İzlenen 263 balıktan 174’ünün sindirim kanalları içerisinde (yani mide ya da bağırsakta) toplamda 332 adet mikroplastik parçacık tespit edilmiştir. Diğer bir deyişle, balık fertlerinin %66’sının sindirim kanallarında plastik bulunmuştur. Çalışma kapsamında balıkların sindirim kanallarında 8’si fiber, 4’ü sert plastik ve 5’si naylon olmak üzere 17 farklı plastik tipi tespit edilmiştir (Tübitak-Mam, ÇŞB, 2017).

5.1.5 Diğer Ülkelerin Denizlerinde Mikroplastik İncelemesi

İngiltere’de 504 adet balık üzerinde yapılan bir çalışmada, incelenen balıkların üçte birinden fazlasının sindirim sisteminde plastik madde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, deniz kuşlarının daha büyük miktarlarda plastikleri bünyelerine aldığı tespit edilmiştir. Londra’da yapılan başka bir çalışmada ise plastiklerin deniz kuşları üzerindeki etkisi üzerine inceleme yapılmıştır. Deniz kuşları türlerinin % 80’inin plastikleri midesine aldığı tespit edilmiştir. Çalışmada tipik bir deniz kuşunun taşıdığı plastik miktarının kuşun vücut ağırlığının yaklaşık % 10’u olduğu belirlenmiştir (Environmental Audit Community, 2016) .

Plastiğin kimyasal maddeyi yüzeyine aldıktan sonra organizmalara transfer edilebildiğine ilişkin çalışmalar olmasına rağmen zararlı etkileri henüz kanıtlanmamıştır. Ancak, mikroplastikler biyolojik olarak bozunmamakta, deniz ortamında birikmekte, zehirli kimyasalları ve patojenleri yüzeyinde tutmakta ve küçük boyutları sayesinde deniz organizmalarına aktarılmaktadır (Environmental Audit Community, 2016).

İkincil mikroplastikler kimyasal yapısı ve diğer kimyasalları yüzeyinde tutabilme özelliklerinden dolayı bazı plastik tiplerine göre daha çok tehlikeli olabilmektedir. Örneğin; PVC, polistiren ve poliüretan köpük malzemesinin tümü tehlikeli olduğu bilinen monomerler veya katkı maddeleri içerirken, polietilen ve polipropilen bileşen içeren monomerler nispeten daha az tehlikelidir (GESAMP, 2015).

Polivinil klorür, polietilen, polipropilen ve polistiren gibi çeşitli plastik polimerlerin DDT'ler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, heksakloro sikloheksanlar ve klorlanmış benzen maddeler için yüksek bir yüzey emilim kapasitesine sahiptir. Ayrıca, mikroplastikler patojenlerin taşınımını sağlayabildiği için su kalitesini etkileyebilmektedir. Halen, su ekosistemlerindeki ve tatlı sudaki mikroplastikler ve mikroorganizmalar/mikrobiyal topluluklar arasındaki karmaşık etkileşimler anlaşılammış olup daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Mikroplastiklerin meydana getirdiği toksik etkinin sebebi bilinmemektedir. Bu toksik etki, plastik polimerin kendisinden veya içerdiği katkı maddelerinden veya bulunduğu sucul ekosistemde ilişkilendirilen diğer kimyasal maddelerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Jiang, 2018). Bundan dolayı, deniz ortamı üzerindeki zararlı etkileri hala araştırılmaktadır. Bununla birlikte, deniz ekosistemine yönelik mikroplastiklerin önemli zararları olduğuna dair pek çok kanıt bulunmaktadır. Mikroplastiklerin kirlilik potansiyeli olarak incelendiğinde daha büyük plastik parçalara göre çevreye daha zararlı olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi ise küçük plastik parçacıkların canlılar tarafından yenmesi ve kimyasalları deniz ortamına taşıyabilen daha büyük bir yüzey alanına sahip olmalarıdır (Environmental Audit Community, 2016).

Plastik atıklar önce nehirlerle sonra denizlere daha sonra da okyanuslara kadar taşınarak buradaki canlı hayatına zarar vermektedir. Okyanuslara kontrolsüzce ulaşan bu plastik atıkların çoğu Asya'daki nehirler tarafından taşınmaktadır. Bu nehirler sırasıyla; Yangtze, İndus, Sarı, Hai, Nil, Ganj, İnci, Amur, Nijer ve Mekong Nehirleri'dir. Aynı araştırmaya göre bu 10 nehir ortak özellikler taşımaktadır. Hepsi atık altyapısının yetersiz ve geri dönüşüm bilincinin düşük olduğu yoğun nüfuslu bölgelerde bulunmaktadır (Deutsche Welle., 2018)

6 MİKROPLASTİKLERİN ANALİZ YÖNTEMLERİ

6.1 Mikroplastik Analizinde Dikkat Edilecek Hususlar

Mikroplastik döküntüsü laboratuvar ortamında kullanılan materyallerden, havadan, giyilen sentetik kıyafetlerden bulaşabilmektedir. Mikroplastik analizlerinde bu döküntüler büyük hatalara neden olabilmektedir (Yurtsever vd., 2017). Mikroplastik incelemesi sırasında analiz sonuçlarında hataya sebep olmaması için laboratuvar ortamında analizde kullanılan materyallerden giyilen sentetik kıyafetlere kadar her şeyden mikroplastik döküntü bulaşabilme ihtimaline karşı mutlaka önlük giyilmesi gerekmektedir.

Bilindiği üzere, temiz ve havalandırma sistemi iyi olan bir laboratuvar ortamında bile doğal veya sentetik mikroplastik parçacıklar havada bulunabilmektedir. Dolayısıyla mikroplastik analizi yapılacak ortamın havalandırma sistemine özen gösterilmesi gerekmektedir. Ortam havasından kaynaklanan mikroplastik kontaminasyonunu önlemek için laboratuvarda kullanılacak araç gereçler temiz bir şekilde yıkanıp durulanmalı, tüm yüzeyler doğal malzemeden yapılmış ve hav bırakmayan bir bezle silinmeli, analiz esnasında numunelerin üzeri uygun bir kapakla derhal kapatılmalıdır (Yurtsever vd., 2017).

6.2 Mikroplastik Analiz Yöntemleri

Mikroplastik analizi aşağıda belirtilen üç ana adımda yapılmaktadır.

- Numune Alma
- Ayırma (Ekstraksiyon)/ Saflaştırma - Temizleme (Purification)
- Miktar Belirleme ve/veya Tanımlama

6.2.1 Numune Alma

Sahil Kumundan Numune Alma: Sahil kumunda bulunan mikroplastik miktarını belirlemek için alınan numune 50 cm x 50 cm kuadrat ile belirlenen alan içerisinde en üst 5 cm'lik kum kısmı metal bir kaşıkla toplanmaktadır. Numune metal veya cam kap içerisine alınarak laboratuvar ortamına getirilmektedir. Numunedeki kalıntıları plaj tortusundan ayırmak için 5 mm'lik bir krom elek kullanılmaktadır. Numunede hacim azalması sağlamak için 1 mm'lik bir ağ elek daha kullanılabilir. Elek ile ayrılan mikroplastik parçacıkların analizi laboratuvar ortamında mikroskop ile yapılmaktadır (Directive, S. F., 2013). (*A guidance document within the Common Implementation Strategy for the Marine Strategy Framework Directive*, Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi için Ortak Uygulama Stratejisi kapsamında rehber belge)

Deniz Suyundan Numune Alma: Deniz suyu numuneleri ağlar ile büyük miktarda ve hızlı bir şekilde örneklenebilmektedir. Deniz yüzey sularından yapılan numune alımında mantra ağı, su kolonundan numune alımında neuston şişeleri veya plankton ağı kullanılmaktadır. Mikroplastik örnekleme için kullanılan ağ örgü büyüklükleri 0.053 ila 3 mm arasında değişmekte olup, çalışmaların çoğu 0.30 ila 0.39 mm arasında olmaktadır. Pratikte 0,3 mm veya 0,5 mm ağ açıklığı tercih edilmektedir. Deniz yüzeyi suyu örnekleri için kullanılan 3.0 ila 4.5 m uzunluğunda ağlar kullanılmaktadır. Deniz suyu kolonundan alınan numunenin toplanacak derinliğine göre ağın uzunluğu değişmektedir. Numuneler toplandıktan sonra gemide 5 mm göz açıklığındaki elek veya ağlardan geçirilerek cam bir kaba alınmaktadır (Directive, S. F., 2013). Elde edilen numunelerin cam kavanozlara alınmasının ardından organik içeriğinin fikse edilmesi amacı ile %95'lik etanol eklenmesi yapılarak laboratuvara götürülmektedir. Laboratuvara aktarılan örnekler, 5 mm göz açıklığındaki elekten geçirilerek içeriğindeki makro atıkların uzaklaştırılmasının ardından, farklı göz açıklıklarına (500 µm, 200 µm ve 100 µm) sahip eleklerden oluşturulan süzme kolonundan geçirilerek, su örnekleri içerisinde bulunan farklı boyutlu organik ve inorganik parçacıkların ayrıştırılması sağlanmaktadır (Kıdeyş A. E., 2018).



Şekil 14. Mantra Ağı (Yüzey Suyu) ve Plankton Ağı (Su Kolonu)

Sedimentten Numune Alma: Deniz yatağından sediment örneği grap kepçesi kullanılarak toplanmaktadır. Denizde sediman örneği 5 cm kalınlığındaki yüzey kısmından 250 ml hacminde numune alınarak metal veya cam bir kaba aktarılmaktadır (Directive, S. F., 2013). Laboratuvara aktarılan örnekler, 5 mm göz açıklığındaki elekten geçirilerek içeriğindeki makro atıkların uzaklaştırılmasının ardından sediman içerisinde bulunan mikroplastik parçacıkların ayrıştırılması amacı ile yoğunlaştırılmış NaCl çözeltisi ($1,2 \text{ gr/cm}^3$) ile karıştırılmaktadır. Bir sonraki aşamaya geçilmeden önce yaklaşık bir saat süre ile sedimanın çökmesi için bekletilmektedir. İşlem esnasında yoğunluklarının daha hafif olması nedeni ile mikroplastikler NaCl çözeltisinin üst yüzeyinden toplanmaktadır (Kıdeyş A. E., 2018).



Şekil 15. El Grap

6.2.2 Numune Analizinde Ayırma (Ekstraksiyon)/ Saflaştırma Temizleme (Purification)

6.2.2.1 Ayırma (Ekstraksiyon) Yöntemi

Üç çeşit ekstraksiyon (ayırma) yöntemi bulunmaktadır. Bunlar yoğunluk farkından yararlanarak ayırma yöntemi, basınçlı sıvı ekstraksiyonu ve vakumlu filtrasyon ile ayırma yöntemi bulunmaktadır.

Yoğunluk Farkından Yararlanarak Ayırma Yöntemi: Numunelerde yoğunluk farkından yararlanarak ayırma yönteminde hafif olan mikroplastiklerin ayrılmasını sağlamakta ve mikroplastik analizlerinde genellikle ilk adım olarak kullanılmaktadır. İlk olarak incelenecek numune önceden tanımlanmış (normalde doymuş bir tuz çözeltisi) yoğunluğa sahip bir sıvı çözeltisi ile karıştırılmaktadır. Daha sonra karışım çökeltmek üzere bırakılmaktadır. Bu işlem, mikroplastik gibi düşük yoğunluğa sahip parçacıkların yoğunluk farkı ile yüzmesini inorganik kil gibi yüksek yoğunluklu parçacıkların ise dibe çökmesini sağlamaktadır. Böylece, çökmeyen mikroplastikler çözülden geri kazanılmaktadır.

Ayırma işleminde NaCl, sodyum politungstat (SPT), kalsiyum klorür (CaCl_2), sodyum iyodür (NaI) ve çinko klorür (ZnCl_2) çözeltileri kullanılmaktadır. 1,2 kg/lt yoğunluğa sahip NaCl çözeltilisi, 1,4 kg/lt – 1,5 kg/lt yoğunluğa sahip sodyum politungstat (SPT) çözeltilisi, 1,3 kg/lt yoğunluğa sahip kalsiyum klorür (CaCl_2) ve 1,8 kg/lt yoğunluğa sahip sodyum iyodür (NaI) çözeltileri arasında seçim yapılırken ayırma işleminde verimlilik ve kimyasal maliyeti dikkate alınmaktadır. NaI çözeltilisinin yoğunluğu yüksek ve pahalı olması sebebiyle dikkatli kullanılması önerilmektedir. Mikroplastik ayırımı için 1,6 kg/lt yoğunluğa sahip çinko klorür (ZnCl_2) çözeltilisi diğer maddelerle kıyaslandığında daha tehlikelidir. ZnCl_2 'nin çevre kirliliği oluşturmaması için kullanım sonrasında geri dönüştürülmesi ve dikkatli kullanılması önerilmektedir (Li vd., 2018). Ayırma işleminde genellikle yoğunluğu 1,2 kg/lt olan doymuş NaCl çözeltilisinin düşük maliyetli olmasının yanı sıra toksik bir etki yaratmaması ve deniz suyuna yakın özelliğe sahip olması sebebiyle kullanılması önerilmektedir.

Basınç Farkından Yararlanarak Ayırma Yöntemi: Başka bir alternatif ayırma yöntemi ise basınçlı sıvı ekstraksiyonu ile ayırma işlemidir. Plastikler fiziksel olarak atık ve toprak örneklerinden ayrılabilir. Bu yöntem ile hafif mikroplastikler, kendiliğinden tasarlanmış bir elutasyon ve yüzdürme aparatında yukarı doğru su akışı ve havalandırma ile çözeltilerde askıda tutulabilmekte ve daha sonra 35 μm 'lık bir elek ile toplanabilmektedir. Söz konusu yöntem ile % 94 - %98 ayırma verimliliği elde edilebilmektedir. Ancak uygulanabilirliği yüksek organik madde içerikli atık su numuneleri için sınırlıdır (Li vd., 2018).

Vakum Filtrasyon ile Ayırma Yöntemi: Başka bir alternatif ayırma yöntemi ise vakumlu Filtrasyon ile ayırma işlemidir. Laboratuvara aktarılan örnekler, vakum filtrasyon esnasında kullanılan 26 μm filtrelerin üzerlerindeki birikim nedeni ile tıkanmasını engellemek için 5 mm göz açıklığındaki elekten geçirilerek içeriğindeki makro atıkların uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Numune ardından, farklı göz açıklıklarına (500 μm , 200 μm ve 100 μm) sahip eleklerden oluşturulan süzme kolonundan geçirilerek, su örnekleri içerisinde bulunan farklı boyutlu organik ve inorganik parçacıkların ayrıştırılması sağlanmaktadır. Son olarak mikroplastiklerin numune içerisinde ayrımının sağlanması için 26 μm göz açıklığındaki filtre kağıdı üzerine hızlıca süzülerek tutulması amacıyla vakum filtrasyon işlemi kullanılmaktadır (Kıdeyş A. E., 2018).

6.2.2.2 Saflaştırma Yöntemi

Saflaştırma yöntemi kimyasal ve enzimatik bozunma olmak üzere iki temel kategoriye ayrılmaktadır.

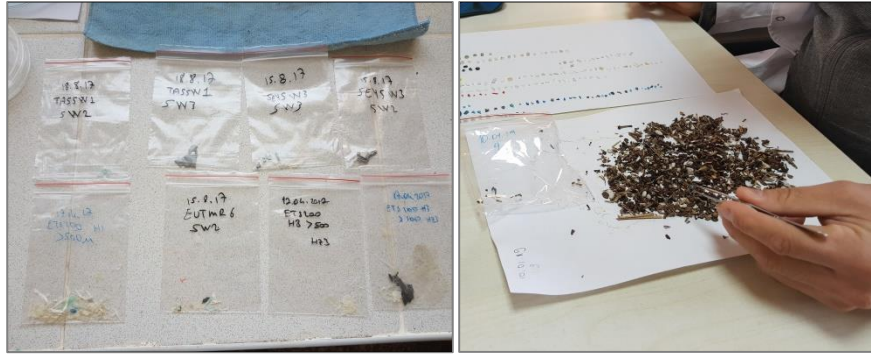
Kimyasal Bozunma Yöntemi: Bu yöntem, numuneden organik ve inorganik toz gibi engelleyici maddelerin uzaklaştırılması için uygulanmaktadır. Mikroplastik numuneleri organik maddelerin uzaklaştırılması amacıyla farklı kimyasallardan % 10 - % 30 hidrojen peroksit (H_2O_2) çözeltisi veya sülfürik asit (H_2SO_4) mineral asitler ile ayrıştırılmaktadır.

Biyolojik malzemelerin sindirimi için farklı asit, alkali ve enzimatik sindirim yöntemlerinin etkinliğini araştırmak için çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarda düşük pH'ta az toleranslı polimerler tarafından üretilen mikroplastikler, sülfürik asit ve nitrik asit gibi güçlü oksitleyici asitler tarafından tahrip edildiği görülmüştür. Denizden alınan mikroplastik içerikli numuneleri saflaştırmak için 1 M sodyum hidroksit ile sindirimi üzerine yapılan bir çalışmada % 90'lık daha yüksek bir verimlilik gözlenmiştir. Sindirim verimliliği molarite ve sıcaklık artışı ile artmaktadır. Planktonlar, 60 °C sıcaklıkta 10 M NaOH (sodyum hidroksit) ile sindirilebilmesine rağmen bu şartlarda mikroplastikler zarar görebilmektedir. H_2O_2 (hidrojen peroksit) çözeltisiyle uygulanan ayırma yönteminde mikroplastiklere verilen hasar ihmal edilebilir olduğu için hala en yaygın yöntem olarak uygulanmaktadır (Li vd., 2018).

Enzimatik Bozunma Yöntemi: Organik maddeleri numuneden ayırmak için kullanılan bir başka yöntem enzimatik bozulma yöntemidir. Bozunma işlemi sırasında mikroplastik numuneler inkübe edilmektedir. Bu işlem sırasında lipaz, amilaz, proteinaz, kitinaz ve selüloz gibi enzimlerin bir karışımı kullanılmaktadır. Böylece proteinler, lipitler ve karbonhidratlar gibi organik maddeler numuneden ayrılabilir. Planktonca zengin deniz suyu örneklerinde bulunan malzemelerin ağırlıkça % 97'den fazlası birkaç saat içinde enzimatik bozunma yöntemiyle uzaklaştırılmaktadır. Numunede bulunan mevcut mikroplastikler bu işlemde etkilenmemiştir. Moleküler biyolojik enzim ile ayırma yöntemi diğerlerine göre daha maliyetli bir işlem olduğundan optimize edilmesi gerekmektedir (Li vd., 2018).

6.2.3 Numune Analizinde Tanımlama ve Miktar Belirleme

Mikroplastikler görsel yöntem ile tanımlanabilmektedir. Görsel tanımlama yöntemi mikroplastikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, ortamda kil ve alg gibi parçacık bulunduğu zaman mikroplastik miktarı hakkında doğru bilgi verememektedir. Eğer analitik tanımlama işlemi yapılmazsa, mikroplastikler özellikle ön saflaştırma yapılmamış numuneler için benzer boyut ve şekildeki diğer organik ve inorganik parçacıklardan görsel olarak çok zor ayrılmaktadır. Doğru tanımlama yapabilmek için spektroskopik yaklaşımlar gibi ek yaklaşımlarında uygulanması gerekmektedir (Li vd., 2018). Mikroplastiklerin tanımlanması için, görsel yöntemle ilave olarak analitik yaklaşımlar kullanılmasının daha güvenilir bir sonuç vereceği düşünülmektedir. Mikroplastiklerin miktar ve nitelik özelliklerinin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan analitik teknikler aşağıda özetlenmektedir.



Şekil 16. Numune Tanımlama

6.2.3.1 Görsel Analiz Yöntemi

➤ Mikroskopik Sayım Metodu

Boyutları mikrometre (μm) 'ye kadar olan parçacıklar mikroskop ile doğrudan sayılmaktadır. Yüksek miktarda mikroplastik içeren numuneler, bu yöntemle hızlı bir şekilde renk ve miktarının genel durumu düşük maliyet ve kısa sürede belirlenmektedir (Li vd., 2018).

Görsel analiz yöntemi neticesinde belirlenen analiz sonuçları laborantın dikkatsizliği gibi kişisel faktörler ve mikroskop kalitesi faktörlerinden oldukça etkilenebilmektedir. Bu yöntemde, parçacık büyüklüğü küçüldükçe analizlerde hata oranı da artmaktadır. Mikroplastik incelemesinde standartlaştırılmış hususlar aşağıda belirtilmektedir.

- Biyolojik organizma yapısına sahip parçacıklar veya lifler mikroplastik olarak dâhil edilmemesi,
- Lifler, üç boyutlu yapıya sahip olup homojen renkte ise mikroplastik olarak sayılması gerekmektedir (Li vd., 2018).

6.2.3.2 Spektroskopik Yöntem

Fouirer Dönüşümlü Kızılötesi Spektrofotometre ve Raman Spektrofotometre olmak üzere iki temel spektroskopik yöntem ile parçacıkların kimyasal özellikleri tanımlamaktadır.

➤ FTIR Spektrometre (Fouirer Dönüşümü Kızılötesi Spektrofotometre)

500 μm 'den büyük plastik parçacıkların kimyasal özelliklerini tanımlamak için kullanılmaktadır. Cihaz polimer parçacık analizini 400-4000 dalga boyunda yapmaktadır. Cihazın elmas kristal zemini inert bir temizleyici olan aseton ile iyice silindikten sonra numune bu kısma yerleştirilmektedir. Cihazın numune parçacığı üzerine temasıyla gönderilen ışınlar sayesinde malzemenin sahip olduğu kimyasal bağ enerjisi özelliğine göre kızılötesi ışınları soğurması ile parçacık spektrumları belirlenmektedir. Herbir plastik polimerlerin kendine özgü spektrumları bulunmaktadır. Belirlenen mikroplastik IR spektrumları ile veri tabanından önceden kayıtlı olan IR spektrumları karşılaştırılarak tek bir ölçümle polimerlerin kimyasal yapısına ilişkin özellikler yüzdelerik yaklaşım bilgisi olarak hızlıca belirlenmektedir (Li vd., 2018, ODTÜ).



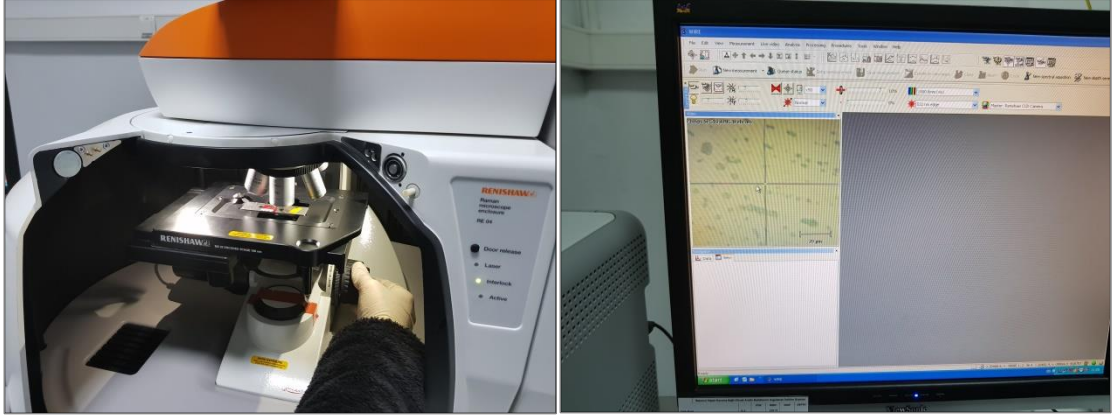
Şekil 17. FTIR Spektroskopisi

➤ Raman Spektroskopisi

Raman spektroskopisi bir saçılma metodudur. Polimer analizinde 532 nm lazer kullanılmaktadır. Numunenin molekülündeki bağlar ile etkileşen ışığın dalga boyuna göre saçılan ışığın dalga boyunda oluşan farklar ölçülmektedir. Bu farklar Raman kayması olarak adlandırılmaktadır. Moleküller ile etkileştirilen ışığın kaynağı olarak lazer türü kaynaklar kullanıldığından bu yöneme Lazer Raman Spektroskopisi adı da verilmektedir. Hızlı kimyasal haritalama, otomatik veri toplama ve işleme olanağı sağlamaktadır. Mikroplastiklerin tanımlanmasını engelleyen, biyolojik, organik ve inorganik katı maddelerin numuneden uzaklaştırılması gerektirmektedir. Raman spektroskopisinin ön koşulu, kimyasal bağın polarizasyonundaki değişimdir ve bu nedenle bu teknik esas olarak aromatik bağlar, C-H ve C-C çift bağları olan bileşikler için kullanılmaktadır (Li vd., 2018, ODTÜ).



Şekil 18. Raman Spektroskopisi



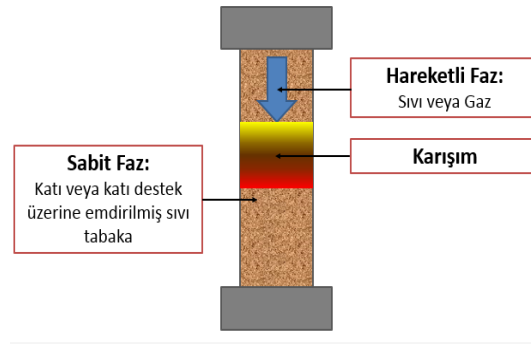
Şekil 19. Raman Spektroskopisi

6.2.3.3 Kromatografik Yöntem

Kromatografi, bir karışımda bulunan maddelerin, biri sabit diğeri hareketli (taşıyıcı) faz olmak üzere birbirleriyle karışmayan iki fazlı bir sistemde ayrılması ve saflaştırılması yöntemidir. Çeşitli maddelerin bir hareketli faz yardımıyla, bir sabit faz üzerinde değişik hızlarla hareket etmeleri veya sürüklenmeleri esasına dayanan analitik bir metottur.

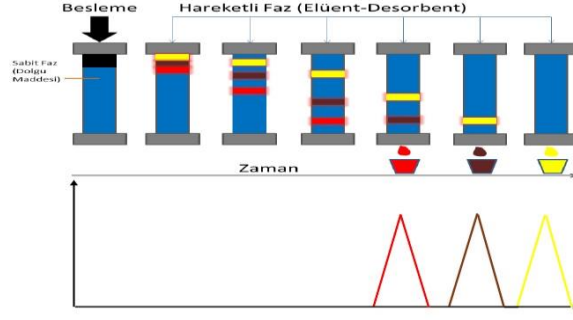
- **Sabit faz:** Bu faz bir "katı" veya bir "katı destek üzerine emdirilmiş bir sıvı tabakasından" oluşur.
- **Hareketli faz:** Bu faz bir "sıvı" veya "gazdan" oluşmaktadır.

Sabit faz, hareketli faz ve karışımda yer alan maddeler arasındaki etkileşimin türünü "yüzeysel tutunması veya adsorpsiyon" ile "çözünürlük" gibi olgular oluşturur (Peker, 2015).



Şekil 20. Kromatografik Kolonda Ayırma

Karışımı oluşturan her bir maddenin, sabit faz ile ilişkisi farklı olacağından, ayırım gerçekleşmektedir. Sabit faz ile ilişkisi kuvvetli olan moleküller, sabit faz boyunca yavaş ilerlerken, zayıf ilişkisi olan moleküller, sabit faz üzerinde daha hızlı ilerlemektedir. Bu şekilde farklı moleküllerin sabit faz boyunca ilerleme hızları farklı olacağından, sabit fazı farklı zamanlarda terk etmekte ve moleküllerin birbirinden ayrılması sağlanmış olmaktadır. Kromatografik teknikler hem kalitatif hem de kantitatif alanlarda kullanılmaktadır. Kromatografi ile fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirine benzer olan maddelerin ayrıldığı nitel analizler yapılabilmesinin yanı sıra bileşenlerin miktarlarına ilişkin nicel analizler de yapılabilir. Kromatografi kimya ve biyoloji alanlarında geniş bir şekilde kullanılmakta olup günümüzde sürekli olarak gelişmekte ve yeni uygulama alanları bulmaktadır.



Şekil 21. Kromatografinin Çalışma Prensipleri

Şekil 21’de üç farklı maddeden oluşan karışımın sabit faz ile dolu kromatografik bir kolon boyunca zamanla ayrılması gösterilmektedir. Hareketli faz içinde çözülmüş bir miktar besleme karışımı kolona verildiğinde karışımı oluşturan bileşenler iki faz arasında dağılmaktadır. Kolona Hareketli fazın (elüent) verilmesi ile bileşenlerin kolon boyunca yıkanması sağlanmaktadır. Bir elüent yardımıyla bileşenlerin sabit faz üzerinden yıkanarak kolonu terk ettikleri bu sürece elüsyon denilmektedir. Bileşenlerin sabit faza olan ilgilerinin farklı olmasından dolayı kolon boyunca farklı hızlarda ilerlemeleri sonucunda bileşenler birbirlerinden ayrılmaktadır. Kolon çıkışına bir dedektör yerleştirilirse, kolonu terk eden bileşenlerin zamana bağlı konsantrasyon profilleri elde edilmektedir. Elde edilen kromatogram yardımıyla karışımın nicel ve nitel analizi yapılabilmektedir. Piklerin zamana bağlı pozisyonları karşılaştırılarak karışımı oluşturan bileşenler tayin edilebilmekte (nitel analiz), piklerin altında kalan alanların hesaplanması ile de bileşenlerin karışım içindeki miktarları belirlenebilmektedir (Peker, 2015). Kromatografik yöntemler, faz tipine göre sıvı ve gaz kromatografisi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

➤ Sıvı Kromatografisi

Sıvı-sıvı kromatografisi ve sıvı-katı kromatografisi olmak üzere iki sıvı kromatografi yöntemi bulunmaktadır. Sabit fazın, bir dolgu maddesi üzerine yayılmış sıvı film olarak uygulandığı yöntem, sıvı-sıvı kromatografisi adını almaktadır. Bu yöntemde bileşenler, sabit ve hareketli fazlar arasındaki farklı dağılıma eğilimlerinden dolayı birbirlerinden ayrılmaktadır. Sıvı-sıvı kromatografisinde, birbiri ile karışmayan iki sıvı sabit ve hareketli faz olarak kullanılmakta ve bu nedenle polariteleri birbirinden farklı iki sıvı seçilmelidir. Sabit fazın, katı dolgu maddesi olduğu yöntem sıvı-katı kromatografisi adını almaktadır. Bu yöntemde bileşenlerin birbirinden ayrılması, bunların katı yüzeyindeki farklı adsorpsiyon ilgilerine bağlı olarak gerçekleşmektedir (Peker, 2015).

Sıvı kromatografisinde, hareketli fazın kolon içerisinde ilerlemesi genellikle çok yavaş olup, dolgu maddesinin tanecik çaplarının küçültülmesi veya kolon boyunun uzatılması kromatografik ayrılmanın süresini daha da uzatmaktadır. Bu tarz kromatografik analizlerde genellikle, dolgu maddesini oluşturan partikül çapı 100-250 µm ile 40-70 µm arasında değişim gösterir. Sıvı kromatografisi yönteminin özel bir uygulaması olan, yüksek performanslı/ basınçlı sıvı kromatografisi (HPLC) yönteminde, sabit faz olarak kullanılan dolgu maddelerinin tanecik boyutunun küçültülmesi (5-15 µm) sonucu hareketli faz ile etkileşen sabit faz yüzey alanı büyür ve böylece kolonun etkinliği artırılmış olur. İnce partiküller ile çok sıkı doldurulmuş olan kolondan hareketli fazın belirli bir hızda geçebilmesi için, sisteme basınç uygulanması gerekmektedir. HPLC, genelde uçucu olmayan organiklerin tespitinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem amino asitlerin, proteinlerin, nükleik asitlerin, hidrokarbonların, yağ asitlerinin, karbonhidratların ve antibiyotiklerin belirlenmesinde tercih edilir. Burada taşıyıcı sıvı, sisteme yaklaşık 40 atm basınçta verilir. Bazen kolon öncesinde bir ön kolon bulunabilir. Bu ön kolon, mevcut analizin gerçekleştirildiği kolonun ömrünü uzatmak ve girişim yapabilecek kirletici parametreleri önlemek amacı ile kullanılmaktadır. HPLC yöntemi, bileşenlerin ayrışma performansını artırması sebebiyle diğer kromatografik yöntemlere göre daha çok tercih edilen bir ayırma tekniğidir (Peker, 2015).

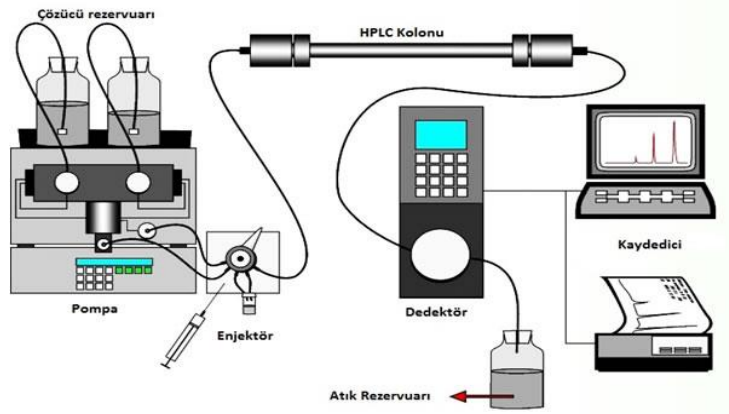
HPLC sistemi, polimerlerin analizini sıvı formda gerçekleştirmektedir. Analizi yapılacak polimerler uygun çözüldüde tamamen çözüldükten sonra analizi yapılmaktadır. Aşağıdaki tabloda çeşitli polimerler ve çözücüler için çözünürlük parametreleri (γ) verilmiştir. Genel kural olarak γ değerleri birbirine yakın olan polimer ve çözücü sistemler uygundur. Bir polimerin bir çözücü içinde çözünebilmesi için ($\gamma_s - \gamma_p$) ifadesinin 2 den küçük olması gerekmektedir (Evcin, 2017).

Çözücü	δ_s (MPa ^{1/2})	Polimer	δ_p (MPa ^{1/2})
Acetone	20.3	Polybutadiene	14.6-17.6
Benzene	18.8	Polychloroprene	15.2-19.2
Carbon Tetrachloride	17.6	Polyethylene	15.8-18.0
Chloroform	19.0	Polyisobutylene	14.5-16.5
Cyclohexane	16.8	Polypropylene	18.9-19.2
Ethanol	26.0	Polyacrylonitrile	25.3-31.5
n-Hexane	14.9	Polymethylmethacrylate	18.4-26.3
Methanol	29.7	Polyvinyl acetate	18.0-19.1
Methylene Chloride	19.8	Polyvinyl alcohol	25.8
n-Pentane	14.3	Polyvinyl chloride	19.2-22.1
Toluene	18.2	Polystyrene	17.4-21.1
Water	47.9	Nylon 6.6	27.8

Şekil 22. Polimerler ve Polimer Çözücü Kimyasallar

Sıvı kromatografi sistemi bir örneğin hareketli sıvı faz ve durgun katı faz arasında yüzeye tutunma ve dağılımına bağlı olarak ayrılmasına dayanmaktadır. Sıvı kromatografi kolonunda ayrılan maddeler iyonlaştırılır ve kütleleri oranında kazandıkları elektrik yükü kütle dedektörü ile tespit edilmektedir. Analiz edilen numunenin kütle spektrumu ile kompleks yapıdaki örneklerin 1000 daltona kadar atomik kütle belirlenmesi mümkündür. Elde edilen parçacıkların kütle profiline göre tanımla yapılmaktadır (ODTÜ).

Mikroplastik parçacığın boyut bilgileri gibi fiziksel özellikleri belirlenememekte ve sadece polistiren ve polietilen tereftalat gibi spesifik polimer analizi yapılmaktadır (Li vd., 2018).



Şekil 23. Sıvı Kromatografisi

➤ Gaz Kromatografisi

Bir karışımda gaz fazında bulunan uçucu organik bileşenlerin ve gazların, molekül ağırlığına göre birbirinden ayrılması için gaz kromatografisi yöntemi kullanılmaktadır. Düşük molekül ağırlıklı bileşiğin analiz edilebilmesi için yeterince uçucu ve ısıl dayanımının yüksek olması gerekmektedir. Gaz kromatografisinde karışımdaki maddeler birbirinden ayrıldıktan sonra iyonlaştırarak kütle spektrometresinde karışımdaki maddelerin kütlelerine bağlı olarak elementler tayin edilmektedir. Numune analiz edilmek için öncelikle organik bir çözücüde hazırlanarak sisteme enjekte edilmektedir. Ayrılma, bileşenlerin farklı adsorpsiyon ilgileri yardımıyla gerçekleşmektedir. Kromatografide hareketli faz ve sabit faz olmak üzere iki temel faz bulunmaktadır. Hareketli faz olarak helyum, azot veya argon gibi inert gazlar kullanılmakta olup bu gazlara taşıyıcı gaz adı verilmektedir. Sistemdeki bir başka taşıyıcı gaz olan hidrojen (H_2) gazı ile yüksek sıcaklıkta yanma ve ayırım sağlanmaktadır. Kuru hava taşıyıcı gazı ise sistemde su ve kirlilikleri uzaklaştırılması sağlanmaktadır (Peker, 2015).

Sabit faz ise kapiller kolondur. Kolon çok yüksek sıcaklıktaki fırın içerisinde bulunmaktadır (280°C). Sıvı formdaki örnek mikro litre numune enjektörler ile çekilerek, enjeksiyon bloğuna enjekte edilmektedir. Gaz kromatografisi yönteminde kullanılan 0,2-0,5 mm iç çapa sahip, 10-50 m boyunda kapiler kolonlar ile verimli ayırım sağlanmaktadır. Enjekte edilen numune, taşıyıcı faz (gaz) tarafından bu kolonun (sabit faz)'ın içerisine taşınmaktadır. Kolon içerisindeki numune yüksek sıcaklıkta gaz haline gelmektedir. Analizini yapmak istediğimiz madde; kendisini oluşturan maddelerin molekül ağırlıklarına göre herbirisi farklı bir zamanda ve farklı bir hızda kolonu terk etmektedir. Bu terk ediş zamanlarının hızlara bağlı değişimi cihazın dedektörü tarafından algılanıp, belirli sinyaller ile kromotogramlara aktarılmaktadır. Kromotogramda oluşan piklerin alanı saf maddenin toplam madde içerisindeki miktarını göstermektedir (Peker, 2015; Li vd., 2018).

Gaz kromatografi cihazı; enjeksiyon bloğu (numuneyi gaz fazına geçirmekte), kontrol paneli (sıcaklık, gaz akış hızı, taşıyıcı gazın basıncı, taşıyıcı gaz hızı ve enjeksiyon hızını kontrol edilmekte), fırın, kolon (ayırılma işlemi gerçekleştirmekte) ve detektörden oluşmaktadır. 350 µg'nin altında kütlelere sahip polimerler ve ilgili organik plastik katkı maddeleri bu yöntemle tanımlanabilmektedir. Ancak polietilen ve polypropilen gibi sınırlı çeşitte polimere ait veri tabanı bulunduğu için tercih edilmemektedir (Fries vd., 2013; Li vd., 2018).

6.2.3.4 Etiketleme Yöntemi

Mikro boyutlu parçacıklar nil kırmızı boyaması ile basit ve düşük maliyetle görsel yöntemle sayılmaktadır. Hidrofobik boya mikroplastiklerin yüzey alanı boyanmakta ve mavi ışık parçacıkları floresan halinde turuncu bir filtre ile floresan emisyonu tespit edilmektedir. Görsel analiz yöntemi ile floresan parçacıklar tanımlanmakta ve sayılmaktadır.

Ticari olarak temin edilebilen nil kırmızı, yüksek hidrofobik özelliğe sahip mikroplastiklere uygulanmıştır. Nil kırmızı molekülü, sadece hidrofobik bir ortamın varlığında floresan özelliği göstermekte ve mikroplastiklere doğrudan bağlanmaktadır. Sonuç olarak, nil kırmızı ile boyanmış mikroplastik parçacıklar bir floresan mikroskop altında kolayca sayılabilmektedir. Yöntemin temel dezavantajı nil kırmızı doğal organik maddeleri de boyayabilmesidir. Bu nedenle, analize başlamadan önce ön saflaştırma işlemi ile organik maddeler tamamen uzaklaştırılmadıkça tek başına boyama analiz yöntemi kullanılması önerilmemektedir (Li vd., 2018).

7 MİKROPLASTİK KAYNAKLI KİRLİLİĞİN GİDERİM YÖNTEMLERİ

7.1 İçme suyu ve Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikroplastik Arıtma Yöntemleri

Doğaya karışan büyük plastiklerin rüzgar ve ışığa maruz kaldıkça sürekli parçalanmanın sonucu mikroplastikler oluşmaktadır. Birincil mikroplastikler ise kişisel kullanım amacıyla üretilen kozmetik veya başka ürünlere doğrudan eklenmektedir. Kozmetik ürünlerden kaynaklanan mikroplastiklerin çoğu kanalizasyon sistemleri üzerinden atıksu arıtma tesislerine ulaşmakta, arıtılmaması durumunda ise direkt derelere aktarılmaktadır. Kullanılan kozmetik ürünleri ve giysilerdeki fiberlerden kaynaklanan mikroplastiklerin sucul ekosistemde bulunmasının nedeninin atıksu arıtma tesislerinin yeterli arıtım yapamaması olduğu düşünülmektedir. Bunun sonucunda oluşan kirlilik sucul ekosistemde önemli bir tehlike oluşturmaktadır (Akarsu vd., 2017).

İleri arıtmaya sahip atık su arıtma tesisleri bu parçacıkların %90'dan fazlasını filtreleyebilmektedir. Arıtmalarla tutulamayan mikroplastiklerin içme suyu amaçlı kullanılan su kaynaklarına ulaşması durumunda, içme suyu arıtma tesislerinde ileri arıtma proseslerinin yanı sıra DAF, TAK ve membran prosesleri kullanılarak bu kirleticilerin su kaynaklarımızdan uzaklaştırılması mümkündür.



Şekil 24. Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyunda Mikroplastikler

(Carr vd., 2016)

İçme suyu ve atıksu arıtma tesislerinde mikroplastik giderimi sağlamak için uygulanabilecek birçok ileri arıtma teknolojisi bulunmaktadır. Talvitte ve ark. çalışmalarında konvansiyonel atık su arıtma tesislerinde birincil (fiziksel) ve ikincil (biyolojik) arıtma prosesleri ile mikroplastiklerin atık sudan verimli bir şekilde uzaklaştırıldığı ancak büyük hacimler göz önüne alındığında mikroplastiklerin sucul ekosisteme girişinin mümkün olduğu tespit edilmiştir (Talvitte vd., 2017).

Talvitte ve ark. yaptığı çalışmada, farklı ileri arıtma teknolojilerini kullanan dört belediyenin atıksu arıtma tesisinde mikroplastik giderim potansiyellerini araştırmıştır. Çalışma kapsamında membran biyoreaktör arıtma sistemi ile ikincil atıksuları arıtan diskfiltre, hızlı kum filtrasyonu ve çözülmüş hava flotasyonu ileri arıtma sistemleri incelenmiştir. Çalışmada seçilen atıksu arıtma tesislerinde uygulanan ileri arıtma teknolojileri ile mikroplastik gideriminin sağlandığı tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre belirlenen arıtma verimleri ve tesis giriş-çıkış mikroplastik miktarları aşağıda verilmektedir (Talvitte vd., 2017).

- **Membran** : % 99,9 mikroplastik giderimi,

Giriş: 6,9 Çıkış: 0,005 adet/L mikroplastik

- **Hızlı Kum Filtresi** : % 97 mikroplastik giderimi,

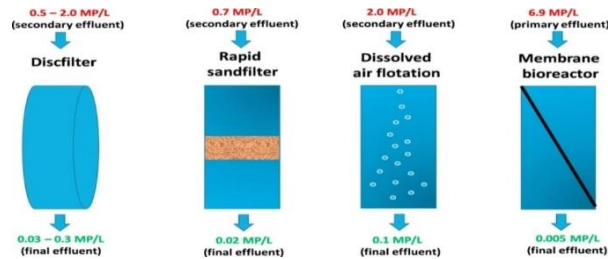
Giriş: 0,7 Çıkış: 0,02 adet/L mikroplastik

- **Çözülmüş Hava Flotasyonu (DAF):** %95 mikroplastik giderimi,

Giriş: 2,0 Çıkış: 0,1 adet/L mikroplastik

- **Disk Filtre** :%70 mikroplastik giderimi gerçekleştirilmiştir.

Giriş: 0,5-2,0 Çıkış: 0,03 0,3 adet/L mikroplastik

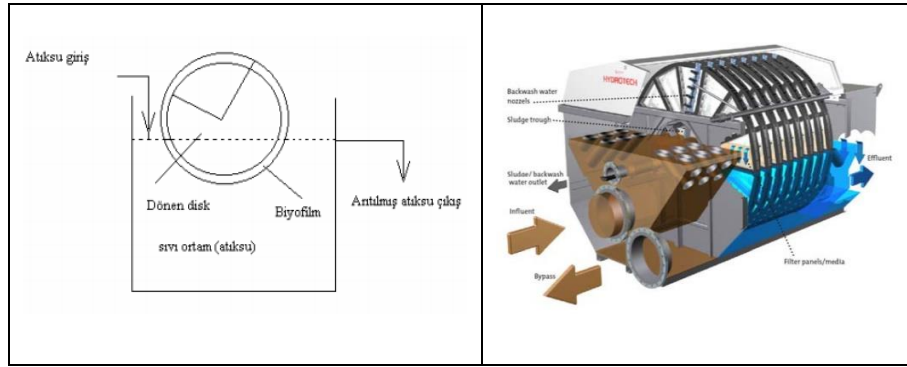


Şekil 25. Mikroplastik Arıtma Verimleri

(Talvitte vd., 2017)

7.1.1 Disk Filtre

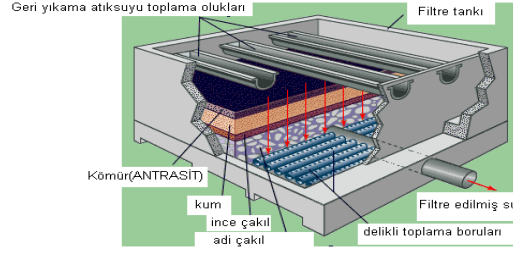
Döner biyodisk üniteleri daha çok küçük yerleşim merkezlerinin evsel atıksularının arıtımında kullanılmakla beraber, bazı durumlarda düşük devirli endüstriyel atıksularda kirlilik gideriminde de kullanılabilir. Bu sistemler plastikten yapılan 2-3 m çapında, 2-3 cm kalınlığında disklerden oluşmaktadır. Diskler bir şaft üzerine birbirine paralel olarak yerleştirilmekte ve şaft bir motor yardımı ile döndürülmektedir. Atıksu, uzun ve sığ tankların içine konarak ve diskler atıksu içinde %40-50 oranında batık şekilde döndürülmektedir (2-10 devir/dakika). Mikroorganizmalar disk üzerinde biyofilm oluşturacak şekilde büyümekte ve atıksudaki organik bileşikler biyofilm içine damlatmalı filtrelerde olduğu gibi adsorplanmakta ve biyolojik reaksiyon meydana gelmektedir. Mikroorganizmalar oksijen gereksinimini diskin dönüşü sırasında hava ile temas ederek sağlamaktadır (Öztürk vd., 2005).



Şekil 26. Biyodisk Filtre

7.1.2 Hızlı Kum Filtresi

İleri arıtma sistemlerinde filtrasyon hızına göre iki çeşit kum filtresi bulunmaktadır. Yavaş kum filtrelerinde filtrasyon hızı 0,1-0,5 m³/m².saat civarındadır. Hızlı kum filtrelerinde filtrasyon hızı daha yüksek olup, 5-15 m³/m².saatdir. Hızlı kum filtrelerinde derin filtrasyon, yavaş kum filtrelerinde kek filtrasyonu meydana gelmektedir. Hızlı kum filtre yatağını oluşturan danelerin arasındaki gözenek çaplarından daha küçük çaptaki askıdaki maddeler de sudan uzaklaştırılabilir. Sudaki tanecikler, filtre yatağını oluşturan tanelerin üzerine taşınmaktadır. Taşınma işleminden sonra tutma mekanizmaları etkili olmakta ve böylece askıdaki tanecikler filtre ortamını teşkil eden danelerin yüzeyinde tutulmaktadır.

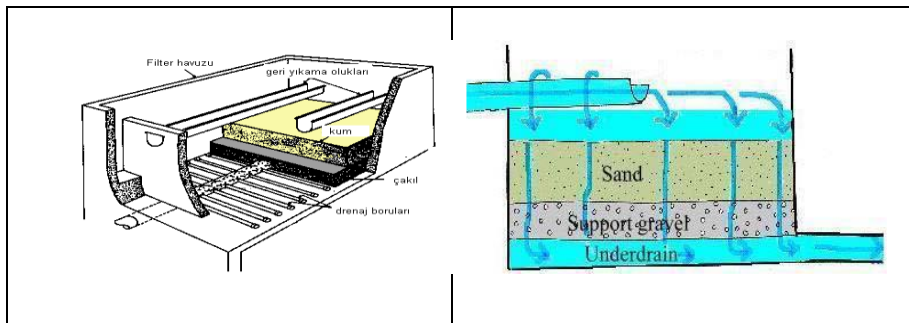


Şekil 27. Hızlı Kum Filtresi

Hızlı kum filtrasyonu da denilen derin filtrasyon işlemi, genellikle ön arıtımı yapılmış sulara uygulanmaktadır ve filtrasyon hızı genellikle 5-25 m/saat civarındadır. Akış yönü genellikle yukarıdan aşağıya doğru olmakla birlikte, yukarı akışlı filtreler de ters yönlü akış kullanılabilir. İşlem sırasında katı tanecikler gözenekler içinde sudan uzaklaştırılmakta ve filtre yatağının üst kısmından itibaren filtre içinde tutulmaktadır. Arıtım süresince filtrede yavaş yavaş bir tıkanma olmaktadır. Filtre hızı azaltılmazsa, yük kaybı maksimuma ulaştıktan sonra filtre otomatik veya manuel geri yıkama yapılarak, filtrenin temizlenmesi gerekmektedir.

Filtrelerin geri yıkamaları yaklaşık 12-96 saat periyotla yapılması gerekmektedir. Ancak bazı tesislerde daha uzun periyotlarla filtreler çalıştırılmaktadır. Eğer filtreler uzun süre çalıştırılırsa, filtrede biriken katıların sıkışması nedeniyle geri yıkama zorlaşmaktadır.

Hızlı kum filtreleri genellikle betonarme bir yapıda olup tabanında 15-45 cm çakıl tabakası bulunmaktadır. Çakıl tabakasının içinde delikli borulardan oluşan bir drenaj sistemi bulunmaktadır. Drenaj boruları bir ana kolektörde birleşmektedir. Kolektörün devamında bulunan çıkış borusu üzerinde çıkış debisini ayarlayan özel bir vana sistemi bulunmaktadır.



Şekil 28. Hızlı Kum Filtresi Şematik Görünümü

Hızlı kum filtrelerinde en yaygın kullanılan filtre malzemesi kum, kırılmış antrasit kömürü, granül aktif karbon, garnet veya ilmenittir. Atıksuların ileri arıtımında kullanılan hızlı kum filtreleri, derinliklerine göre beş tipte bulunmaktadır.

- a. Konvansiyonel Aşağı Akışlı Hızlı Kum Filtreler:** Filtrelerde tek, çift veya çoklu malzemeler kullanılmaktadır. Genellikle filtre malzemesi olarak kum veya antrasittir. Çift malzemeli filtreler, genellikle antrasit medya üzerinde bir kum tabakadan oluşmaktadır. Çoklu ve derin yataklı filtreler ise sıvı içindeki askıda katı maddelerin filtre yatağına daha fazla nüfuz etmesini sağlanarak filtre yatağındaki kirlilik depolama kapasitesinin daha fazlasını kullanabilmektedir (Metcalf & Eddy, Inc, 2003).
- b. Derin Yataklı Aşağı Akışlı Hızlı Kum Filtreler:** Filtre yatağının derinliği ve filtrenin boyutu hariç çalışma prensibi konvansiyonel aşağı akış filtresi ile benzemektedir. Filtrenin büyüklüğü ve derinliği konvansiyonel filtreden daha büyüktür. Böylece filtre yatağında daha fazla kirlilik depolayarak daha uzun süre çalışabilmektedir (Metcalf & Eddy, Inc, 2003).
- c. Derin Yataklı Yukarı Akışlı Sürekli Geri Yıkamalı Hızlı Kum Filtreler:** Bu filtrede filtrelenecek atık su yukarı doğru akan filtrenin tabanına eşit bir şekilde yerleştirilmiş bir dizi yükseltici tüp ve giriş yapısı kapağının açık tabanı boyunca kum yatağına dağıtılmaktadır. Sular, yukarı yönlü olarak aşağı doğru hareket eden kum boyunca hareket etmektedir. Filtrelenmiş temiz su bir savak ile toplanmaktadır. Kumun çökme hızı giderilen katıların çökme hızından daha fazla olduğu için kum malzeme filtre yapısının dışına çıkmamaktadır (Metcalf & Eddy, Inc, 2003).
- d. Basınçlı Hızlı Kum Filtreler:** Basınç altında çalışan özel aşağı akışlı bir filtredir. Filtreler ince kum tabakalı ve sığ yataklıdır. Katılar esas olarak kum üzerine depolanmakta, diğer sığ yataklı filtrelerin aksine depolama yüzey alanı genişletilmiştir. Bu filtrenin farklı bir özelliği ise kum yüzeyinin hava darbesi ile basınçlandırılarak asılı katıların yatağa girmesine izin verilmesidir (Metcalf & Eddy, Inc, 2003).
- e. Gezici Köprü Hızlı Kum Filtreler:** Filtreler sürekli aşağı akışlı, otomatik geri yıkamalı, düşük basınçlı, ortalama derinliğe sahip filtrelerdir. Filtrelerin yatağı uzun, yatay olarak birbirinden bağımsız filtre hücrelerine bölünmüştür. Her bir filtre malzemesi yaklaşık 280 mm büyüklüğündedir. Arıtılan temiz sular cazibeyle filtrelenmektedir (Metcalf & Eddy, Inc, 2003).

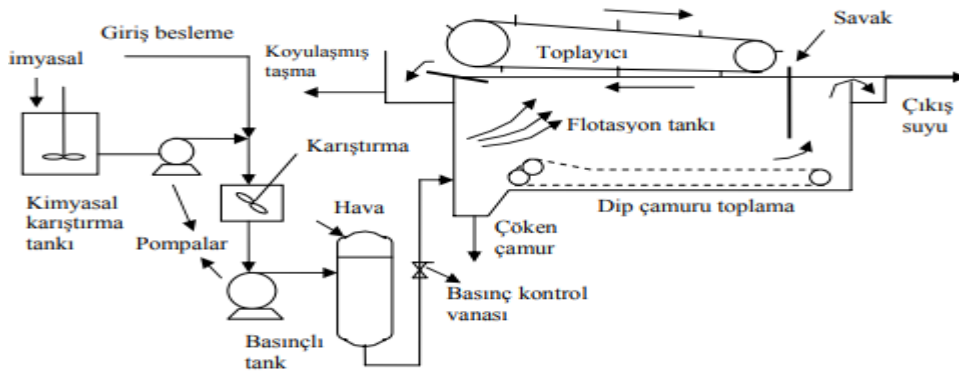
7.1.3 Çözünmüş Hava Flotasyonu (DAF)

Çözünmüş hava flotasyonu (DAF) yüzdürme yöntemi ile sıvı faz içerisinde sıvı veya katı parçacıkların birbirinden ayrılmasının sağlandığı bir arıtma sistemidir. Ayırma işlemi, ince gaz kabarcıklarının sıvı faza verilmesi ile sağlanmaktadır. Bu işlem için genellikle hava kullanılmaktadır. Hava körukleri ile suya verilen hava kabarcıkları kirletici parçacıklara tutunmakta ve birlikte suyun yüzeyine yükselmektedir. Atıksu arıtımında yüzdürme yöntemiyle askıda katı maddeler uzaklaştırılarak, biyolojik çamurun da yoğunlaşması sağlanmaktadır. Yüzdürmenin çökeltmeye göre avantajı, yüzeye çıkan çok küçük boyutlu, hafif, yavaş çöken parçacıkların tamamının daha çabuk yüzeyden sıyrılarak uzaklaştırılabilmesi sağlanmaktadır.

Hava kabarcıklarının yüzdürme işlemi aşağıda belirtilen yöntemlerle sağlanmaktadır.

- Sıvı basınç altındayken hava enjekte edilir, sonra basınç kaldırılır (çözünmüş-hava ile yüzdürme),
- Atmosfer basıncında havalandırma (hava ile yüzdürme),
- Atmosfer basıncında hava ile doyurma, daha sonra sıvıya vakum uygulama (vakum ile yüzdürme).

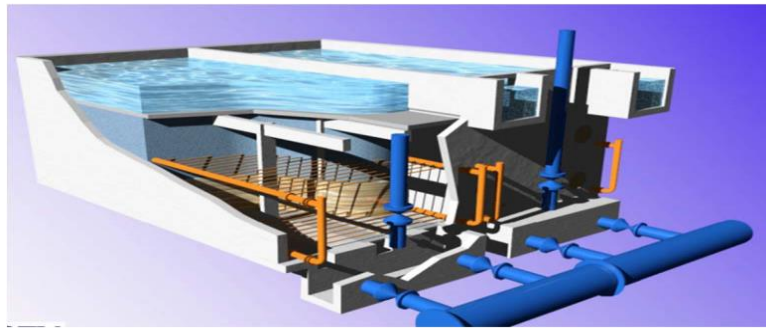
Arıtma sisteminin giderim verimi jar testlerle belirlenen uygun kimyasalların kullanımı ile daha çok arttırılabilmektedir (Öztürk vd., 2005).



Şekil 29. Çözünmüş Hava Flotasyonu (DAF) Şematik Görünümü

7.1.4 Biyolojik Aktif Filtre

Biyolojik aktif filtre (BAF) teknolojisinin bir avantajı, çalışma prensibinin arıtma tesislerinde yaygın kullanılan geleneksel kum veya granüler aktif karbon filtre sistemlerine dayanmasıdır. Filtre malzemesinde granüler aktif karbon kullanılması durumunda birçok kirleticilerin adsorpsiyonunun sağlanmasıyla birlikte mikroorganizmaların da uzaklaştırılarak yüksek bir spesifik yüzey alanı oluşturulmasını sağlamaktadır. Birçok mikrokirletici ve mikroplastik parçacığın biyofilm sistemlerde bozunma ile giderimi sağlanmaktadır. Bu nedenle aktif karbon ile beraber uygulanan biyolojik aktif filtreler sayesinde en yüksek arıtma verimliliği elde edilmektedir (Sundin vd., 2017).

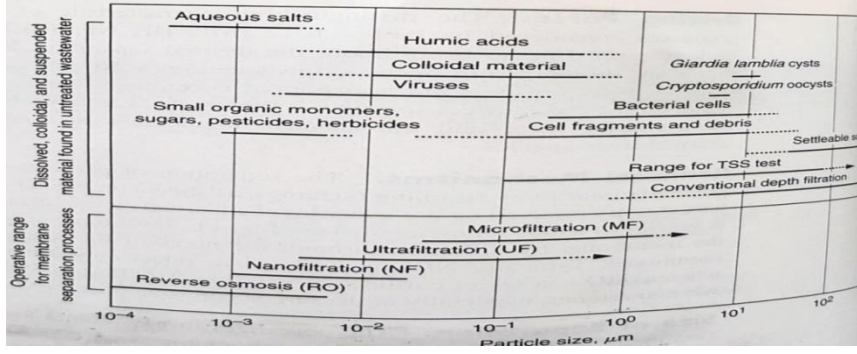


Şekil 30. Biyolojik Aktif Filtre (BAF) Şematik Görünümü

7.1.5 Membran Biyoreaktörler

Membran sistemler atıksuda bulunan farklı iki fazı birbirinden ayırmaktadır. Membranlar maddelerin bir taraftan diğer tarafa seçici olarak taşınmasını sağlayan geçirgen bir tabakadır. Membran ayırma teknolojisinde suyun geçiş yönünde akış sağlamak üzere temel iki prensip olarak itici bir kuvvet ve kirletici maddelerin geçişini engelleyen bir ayırma faktörü kullanılmaktadır. Sistemdeki kütle transferi; konsantrasyon, basınç ve elektriksel potansiyel farkı gibi itici güçler yardımı ile gerçekleşmektedir. Membranda itici kuvvet olarak basınç kullanılmaktadır.

Atıksu arıtımında kullanılan membranlarda akış sağlamak için itici kuvvet olarak basınç uygulanan membran prosesleri; mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters ozmos (RO), elektrodializ (ED), ve pervaporasyondur. Membranda kirleticilerin molekül boyutlarına göre gerçekleştirilen ayırma işlemi şekil 33'de belirtilmektedir.



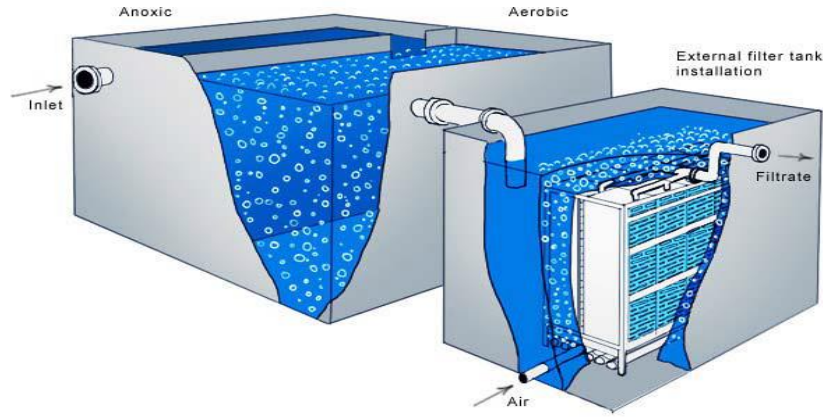
Şekil 31. Membran Prosesleri ve Por Büyüklükleri

(Metcalf & Eddy, Inc, 2003)

Membran prosesi çalışma prensibi, işletme mekanizması ve yapısal özellikleri aşağıda şekil 34’de detaylıca belirtilmektedir (Metcalf & Eddy, Inc, 2003).

Process	Membrane driving force	Typical separation mechanism	Operating structure (pore size)	Typical operating range, µm	Permeate description	Typical constituents removed
Microfiltration (MF)	Hydrostatic pressure difference or vacuum in open vessels	Sieve	Macropores (>50nm)	0.08 – 2	Water & dissolved solutes	TSS, turbidity, protozoan oocysts & cysts, some bacteria & viruses
Ultrafiltration (UF)	Hydrostatic pressure difference	Sieve	Mesopores (2-50nm)	0.005 – 0.2	Water & small molecules	Macromolecules, colloids, most bacteria, some viruses, proteins
Nanofiltration (NF)	Hydrostatic pressure difference	Sieve & solution/diffusion & exclusion	Micropores (<2nm)	0.001 – 0.01	Water & very small molecules, ionic solutes	Small molecules, some hardness, viruses
Reverse osmosis (RO)	Hydrostatic pressure difference	Solution/diffusion & exclusion	Dense (<2nm)	0.0001 – 0.001	Water & very small molecules, ionic solutes	Very small molecules, colour, hardness, sulphates, nitrate, sodium, other ions
Dialysis	Concentration difference	Diffusion	Mesopores (2-50nm)	-	Water & small molecules	Macromolecules, colloids, most bacteria, some viruses, proteins
Electrodialysis	Electromotive force	Ion exchange with selective membranes	Micropores (<2nm)	-	Water & ionic solutes	Ionised salt ions

Şekil 32. Membran Proseslerinin Genel Özellikleri



Şekil 33. Membran Biyoreaktör (MBR) Şematik Görünümü

Ultrafiltrasyon (UF) ve mikrofiltrasyon (MF) membranların çalışmasında itici kuvvet basınçtır. Membranlar düşük basınçla çalışmakta aynı zamanda bu proseslerde negatif ya da pozitif basınçlarda uygulanılabilmektedir (Andırıcı, 2014). Arıtılacak atıksuyun membran içerisinden geçmesini basınç farkı sağlamaktadır. Membran tarafından tutulan kirletici parçacıklar filtrenin temizlenmesi için geri yıkama işlemi sırasında sistemden uzaklaştırılmaktadır (Metcalf & Eddy, Inc, 2007) .

Mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon sistemlerinin çalışma prensibi birbirine benzerdir. Ancak arasındaki temel farklılık membranların gözenek boyutudur. Mikrofiltrasyon ünitelerinde membran gözenek büyüklüğü tipik olarak 0,08 ila 2,0 μm arasında, ultrafiltrasyon membranların gözenek boyutları ise yaklaşık 0,005 ila 0,2 μm arasında değişmektedir. Hem mikrofiltrasyon hem de ultrafiltrasyon membranları parçacık (askıdaki katı maddeler, bulanıklık, bazı kolloidler, bakteriler, protozoon kistleri ve virüsler) ve mikrobiyolojik kirletici ile mikroplastik arıtımında kullanılmaktadır. Söz konusu işlemlerden herhangi birisiyle, bileşiğin moleküler ağırlığına bağlı olarak, sınırlı ölçüde çözülmüş organikler de giderilebilmektedir. Bazen membranların daha verimli çalışması için öncesinde ön arıtma işlemi de yapılmaktadır (Metcalf & Eddy, Inc, 2007).

Pervaporasyon ve ters ozmoz (RO) proseslerinde ise itici kuvvet kısmen basınç kısmen de konsantrasyondur. Nanofiltrasyon (NF) ve ters ozmoz (RO) membranlar organik ve inorganik çözülmüş kirleticilerin arıtımında kullanılmaktadır. Buradaki işletme basıncı mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranlara göre daha yüksektir (Andırıcı, 2014).

Nano Filtrasyon (NF) membranları yaklaşık 1 nm büyüklüğündeki partikülleri ve inorganik parçacıkları uzaklaştırmaktadır. Bu yüzden “nanofiltrasyon” olarak adlandırılmıştır. Nanofiltrasyon membranlar; mikrofiltrasyon ve ters osmoz arasında bir çalışma prensibiyle çalışmaktadır. Tipik olarak gıda ve atık su uygulamalarında organik maddelerin inorganik kısımdan ayrılması, yüzey sularından renk ve toplam organik karbonun uzaklaştırılması, kuyu suyundan sertlik ve radyumun uzaklaştırılması için kullanılmaktadır (Andırıcı, 2014; Metcalf & Eddy, Inc, 2007).

Ters Osmoz (RO) sisteminde temiz suyu ayıran yarı geçirgen bir membran bulunmaktadır. Kirli tarafa bir basınç uygulandığında kirli taraftaki su temiz tarafa diffüze olmaktadır. Proses sonunda, istenmeyen kimyasal maddeler yoğunlaşarak temiz sudan ayrılmaktadır. RO membranlar, atıksudan inorganik tuzları ayırmada ve atıksudaki belli organik çözücülerin gideriminde kullanılmaktadır. En küçük gözenek boyutuna sahip olan ve bu yüzden çok yüksek basınca ihtiyaç duyan RO prosesinin en yaygın uygulama alanı deniz suyu veya tuzlu sudan içme suyu elde edilmektedir.

Nanofiltrasyon ve Ters Osmoz işlemleri, üç çeşit temel akım ihtiva etmektedir. Bunlar besleme akımı, süzölmüş su veya ürün akımı ve yoğunlaşmış su (konsantre) veya atık akımıdır. Nanofiltrasyon ve Ters Osmoz ekipmanları genellikle spiral olarak sarılmaktadır. Basınçlı kaplar içine, birkaç membran ünitesi (tipik olarak üç ila yedi adet) yerleştirilmektedir. Bir dizi basınçlı kap, kademeli olarak yerleştirilmiştir; bir önceki kademedan çıkan konsantre akım, bir sonraki kademe için besleme akımı olmaktadır. Her kademedan çıkan süzölmüş sular son ürün akımını oluşturmak üzere birbirleriyle harmanlanmaktadır. Son kademedan elde edilen konsantre akımı genellikle sistemden atık olarak uzaklaştırılmaktadır.

NF ve RO arasındaki temel farklılık, atıksudan giderimi sağlanacak çözünmüş kirleticilerin büyüklüğüdür. Molekül ağırlığı ayırma sınırı (MWCO) atom ağırlığı cinsinden bir membranın (Dalton cinsinden ifade edilen) arındırma özelliklerinin bir ölçüsüdür. Tipik MWCO seviye aralıkları, RO membranları için genellikle 100 Dalton'dan daha düşüktür ve NF membranları için 200 ila 1000 Dalton arasındadır. Sonuç olarak, NF membranları tipik olarak sertliğin (Ca^{2+} , Mg^{2+}) ve organik maddelerin giderilmesi için kullanılmaktadır. RO membranları genel olarak toplam çözünmüş katı madde ve tek değerlikli iyon giderme (örn. deniz suyu ve acı suyun tuzunu giderme, F^- ve Cl^- giderme) için kullanılmaktadır.

Ultrafiltrasyon (UF) prosesinde 0,005 ila 0,2 µm büyüklüğündeki partiküller tutulmaktadır. UF prosesi atıksudan makro molekül ve kollooidlerin konsantre edilerek arıtılmasında kullanılmaktadır. Atıksu belirli gözenek boyutundaki geçirgen zarın bir tarafında basınç altında bulunmakta, gözenek boyutundan küçük tüm maddeler membrandan geçmekte, büyük boyutlu parçacıklar kirli su tarafında kalmaktadır. UF prosesi, RO prosesi öncesi ön arıtım kademesi olarak da kullanılabilir. Elektrodializde ise itici kuvvet olarak elektriksel potansiyel kuvvetler ile elektrik yüklü membranlar kullanılmaktadır.

Membran sistemlerinden kaynaklanan artıklar içerisinde, membran işlemlerinden gelen konsantre su ve harcanan temizlik kimyasalları bulunmaktadır. Konsantre suyun bertarafı zor olabilir çünkü genel olarak nispeten büyük hacimli, yüksek miktarda katı içeriğine sahip bir atıktır ve tahliye etmek için nispeten büyük bir su kütlesi gerekmektedir veya bir atık su arıtma tesisine gönderilmelidir. Membran yüzeyinde oluşan tortuları ve biyolojik kirlenmeyi düzenli olarak temizlemek için kimyasal temizlik yapılması gerekmektedir. Bu işlem için kullanılan temizlik çözeltileri genellikle asidik olması sebebiyle atılmadan önce nötralize edilmesi gerekmektedir.

7.1.5.1 Membran Çeşitleri

Membranların performansı geçirimsizlik derecesi, çözünen madde akımını reject etme derecesi ve çözücünün membrandan geçme kolaylığı gibi kriterler belirlemektedir. Selüloz asetat membranlar bu kriterlerin kombinasyonunu sağladığından yaygın olarak kullanılmaktadır. Borulu, hollow fiber, spiral, plaka ve çerçeve şeklinde membran modülleri bulunmaktadır.

Membran yüzeyinde tutunan ve çöken maddelerin membran deliklerini tıkanmasını önlemek için türbülanslı akış şartlarının sağlanması gerekmektedir (Reynolds sayısının 2000 in üstünde olması gerekmektedir). Bu da genellikle çıkış akımının geri devri ile sağlanmaktadır. Membranlarda tıkanmayı önlemek için askıda madde, bakteri ve çökebilir iyonların ön arıtımla giderilmesi önerilmektedir.

7.1.5.2 Membran Performansı

Membran performansı akı ve kirlilik giderim verimi ifadeleri ile belirtilmektedir. Akı, membranın birim zamanda birim alanından geçtiği akım miktarıdır ($m^3 /m^2 /sn$ veya $l/m^2 /saat$). Giderme verimi ise membranın tuttuğu madde miktarının ölçüsüdür. Membranların performansını etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir.

- a. Basınç:** Membranda uygulanan basınç ile oluşan ozmotik basınç farkı ile akı artmaktadır. Uygulanan basınç ne kadar fazla ise akı da o kadar fazladır. Ancak membrana uygulanabilecek basınç limitlidir. Genellikle 68 atm olarak alınmaktadır. Uygulamada ise 27-41 atm olarak alınması önerilmektedir.
- b. Sıcaklık:** Akı, besleme atıksuyu sıcaklığı ile artmaktadır. Standart sıcaklık $21^{\circ} C$ olarak verilmektedir, ancak $29^{\circ} C$ a kadar sıcaklıklar tolere edilebilmektedir. $29^{\circ} C$ ın üstündeki $38^{\circ} C$ a kadar olan sıcaklıklar uzun süre işletmeye dayanamadığı için membranın bozulmasını hızlandırmaktadır.
- c. Membran diziliş yoğunluğu:** Birim hacme yerleştirilebilecek membran alanı olarak tanımlanmaktadır. Bu faktör ne kadar büyükse sistemden çıkan toplam akı da o kadar büyük olmaktadır. Tipik membran yoğunluğu $160-1640 m^2 /m^3$ olarak belirlenmiştir.
- d. Akı:** Viskozite ve yoğunluk arttıkça, suyun membrandan geçirilmesi için gereken membran geçiş basıncı da artmakta ve membran akımını, membran geçiş basıncına bölerek elde edilen özgül akımda artışa neden olmaktadır. Besleme suyunun kalite koşulları da, tıkanıklıkla alakalı olarak membran akımını etkileyebilmektedir. Atıksu arıtımında kullanılan mikrofiltrasyon membranlar için $40-400 L/m^2.dk$ su akım hızları tipik olarak ultrafiltrasyon membranlar için $0,15-0,6 L/m^2.dk$ değişmektedir. Tasarım akı değeri genel olarak, belirli su kalitesinin koşullarına ve sıcaklığına bağlı olduğu için uygunluğu deneme testleri ile belirlenmektedir (Metcalf & Eddy, Inc, 2007).
- e. Geri kazanım faktörü:** Sistemin kapasitesini göstermektedir, uygulamada ulaşılan maksimum değer %80 dir. Daha yüksek geri kazanım faktörü proses suyunda daha yüksek tuz konsantrasyonu olduğunda ulaşılmaktadır.

- f. Membran ömrü:** Atıksudaki fenol, bakteri, mantar gibi maddelerin varlığı, yüksek sıcaklık ve yüksek veya düşük pH değerleri membran ömrünü etkilemektedir. Membranlar genellikle en fazla iki yıl kullanılmaktadır.
- g. pH:** Selüloz asetat membranlar yüksek ve düşük pH larda hidroliz olmaktadır. Optimum işletme pH aralığı 4,5-5,5 tur.
- h. Ön arıtma:** Membran sistemlerinin toplam çözünmüş katı miktarı 10 000 mg/l nin üstündeki besleme akımlarına doğrudan uygulanması uygun değildir. Bunun dışında kalsiyum karbonat, kalsiyum sülfat, demir oksit ve hidroksitleri, mangan ve silikon, baryum ve stronsyum sülfat, çinko sülfür ve kalsiyum fosfat gibi tabakalaşma yapan maddelerin ön arıtma ile kontrol altına alınmaları gerekmektedir. Bu maddeler pH ayarlaması kimyasal arıtım, çöktürme, inhibisyon ve filtrasyon gibi yöntemlerle kontrol altına alınabilmektedir. Organik kalıntılar ve bakteri filtrasyon, karbonla ön arıtım ve klorlama ile kontrol edilebilmektedir. Yağ ve gres gibi kirleticiler ise membranın yüzeyini saracağından ve tıkanmaya neden olacağından membran prosesi öncesi giderilmelidir (Öztürk vd., 2005).

Barasel'in, yapmış olduğu çalışmada konvansiyonel arıtma sistemine entegre edilebilecek PAC-UF (Toz Aktif Karbon ile Ultrafiltrasyon) ve UF-BAF(GAC) (Ultrafiltrasyon ile Biyolojik Granüler Aktif Karbon Filtre) birleşik arıtma sistemleri ile mikrokirletici ve mikroplastik giderimi yapılabileceği önerilmiştir. Söz konusu arıtma teknolojileri Tablo 11'de verilmektedir (Baresel , 2017).

Priority micro pollutants and effects	Treatment technology/-combination				
	O ₃ ¹	BAF(GAC)	PAC-UF	O ₃ -BAF(GAC)	UF-BAF(GAC)
Pharmaceuticals					
Azithromycin (antibiotic)					
Ciprofloxacin (antibiotic)					
Clarithromycin (antibiotic)		*	*	*	*
Diklofenac (painkiller)					
E2 (17β-estradiol) (hormone)				*	
EE2 (17α-ethinylestradiol) (synthetic hormone)				*	
Erythromycin (antibiotic)		*	*	*	*
Ibuprofen (antiinflammatory and analgesic)					
Carbamazepine (antidepressant)					
Levonorgestrel (synthetic hormone)		*	*	*	*
Metoprolol (beta blockers, antihypertensive)					
Oxazepam (anti-anxiety)					
Propranolol (beta blockers, antihypertensive)					
Sertraline (antidepressant)					
Sulfamethoxazole (antibiotic)					
Trimetoprim (antibiotic)			*		
Effects					
Risk of infection (bacteria, pathogens)					
Antibiotic resistance (ARB)					
Estrogenic effects (effect of hormones)			*		*
Bisphenol A (in plastic, hormone-destructive)					
Other micropollutants					
Cybutryne/igalarol (Herbicide)		*	*	*	*
Dioxins and PCB (in coolants)		*	*	*	*
Endotoxins (toxic bioaerosols)		*	*	*	*
Phthalates (e.g. DEHP) (plasticisers)					
Flame retardants (e.g. HBCD)					
Chloroalkanes (C10 to C13) (lubricants)		*	*	*	*
Linear alkyl sulfonates (LAS) (C10 to C13)		*	*	*	*
Nonylphenol (incl. additive in cleaning products)					
Octylphenol (incl. additives in cleaning products)					
PFAS (incl. PFOS) (tensid)					
Sucralose (sweetener)					
Terbutryn (Herbicide)		*	*	*	*
Tributylenn (TBT) (Biocid)		*	*	*	*
Trichlorobenzene (solvents & insecticides)		*	*	*	*
Tridosan (antiseptic)					
Heavy metals ² (lower priority)		*	*	*	*
Microplaster 1 µm - 5 mm (lower priority)					
Standard					
Phosphorus	*				
Nitrogen	*				
Organic material COD/BOD	*				
Particle content					

Tablo 12. Mikroplastik ve Mikrokirleticiler için Arıtma Yöntemleri

(Baresel , 2017)

7.1.6 Toz Aktif Karbon- Ultra Filtrasyon (TAK-UF)

Konvansiyonel atıksu arıtma tesislerine entegre edilebilen toz aktif karbon (TAK) ve ultrafiltrasyon (UF) arıtma sistemi, adsorpsiyon yolu ile toz aktif karbon kalıntıları da dahil tüm kirletici maddelerin arıtımını sağlayan ileri bir atıksu arıtma sistemidir. Aktif karbonun toz biçiminde kullanılmasının bir dezavantajı, aktif karbonun rejenerasyonun olmamasıdır. Toz aktif karbon temel arıtmayı takiben ayrı bir arıtma işlemi adımı olarak kullanılması, atıksu arıtma tesisinde üretilen çamurun kalitesini etkilememesi için dozlama miktarına dikkat edilmesi gerekmektedir (Sundin vd., 2017).

Toz Aktif Karbon–Mikrofiltrasyon ya da Ultrafiltrasyon Polimerik Membran Arıtma Sisteminin Potansiyel Avantajları:

- MF/UF membranları, düşük bulanıklıklı suda güvenilir ve sürekli arıtım sağlamaktadır.
- Bazı UF ve MF membranlar virüsün yanı sıra log mertebesinde bakteriler ve/veya protozoon kistler/okistleri (*Giardia* & *Cryptosporidium*) gidermektedir.
- MF/UF prosesleri, tam otomatik otomasyon, uzaktan kumanda ve izleme sistemleri için uygundur.
- TAK, MF/UF membran sisteminin doğru bir şekilde seçilmesiyle, geri dönüşümlü su dengeleme tankında ve geri yıkama suyu geri kazanım sisteminde, pıhtılaştırıcı çamur ile birlikte alınmaktan ziyade nihai bertaraf için yakalanabilmektedir (SYGM-MWH, 2017).

Toz Aktif Karbon–Mikrofiltrasyon ya da Ultrafiltrasyon Membran Arıtma Sisteminin Potansiyel dezavantajları:

- MF / UF membran sistemi özel operatör eğitimi gerekmektedir.
- Membranların hasar görmemesi ve membran bütünlüğünün (diğer bir deyişle, parçacıkların ve mikroorganizmaların reddetme kabiliyetinin) muhafaza edilmesinin sağlanması için doğru işletme ve bakıma ihtiyaç duyulmaktadır.
- Doğru çalıştırma ve uygun bakım olmadan, MF/UF membran modülleri ömrü çok kısa olacağı için erken membran değiştirilmesi gerekebilmektedir.
- Aşırı membran tıkanmasını önlemek için düzgün bir çalışma gerekmektedir.

Pilot ölçekli bir çalışma yapılarak söz konusu prosesin uygunluğu değerlendirilmelidir. Ardından da bu tesisin küçük-orta ölçek tesisinin kurulması ve tesisi işletecek kişinin yeterli seviyede eğitilmesi gerekmektedir.

TAK-MF / UF membranlar için dikkate alınması gereken anahtar faktörler şunlardır:

- Toz aktif karbonun tipi, partikül boyutu, özellikleri, kaynak materyali ve hedeflenen su kalitesi bileşeninin arıtılmasına uygunluk araştırılmalıdır.
- Yüzey alanı, gözenek hacmi, iyodin numarası, melas sayıları, aşınma sayısı, birim hacim ağırlığı önem arz etmektedir.
- Toz aktif karbon dozunu belirlerken adsorpsiyon için yeterli temas süresinin sağlanması gerekmektedir.

7.1.7 Ultrafiltrasyon-Biyolojik Aktif Filtre (Granüler Aktif Karbon) (UF-BAF (GAC))

Ultrafiltrasyon membran ile biyolojik aktif karbon sistemleri atıksu arıtma tesisine ileri arıtma prosesi olarak entegre edilebilmektedir. Bu durumda, sistem biyolojik granüler aktif karbon ile birlikte çalışmaktadır. Bu sistem membran biyoreaktör UF - BAF (GAC) olarak adlandırılmaktadır.

Aktif karbon, membran aşamasına sistemine eklenmediği için membran üzerindeki kirletici yükü azaltmaktadır. Ayrıca bu sistemde toz aktif karbon sistemine kıyasla oluşacak çamur kalitesi ve miktarı üzerinde olumsuz etkiye sebep olmamaktadır. Biyolojik aktif karbon filtrenin arıtma verimliliği, filtre malzemesinin tipi ve adsorpsiyon kapasitesi ile belirlenmektedir. Ultrafiltrasyon sistemi ile mikroplastikler ve dirençli bakterilerin giderimi sağlanmaktadır. Aktif karbon filtreler ile antibiyotikler de dahil olmak üzere organik kalıntıların giderimi sağlamaktadır.

Biyolojik aktif filtre sistemi öncesinde ultrafiltrasyon sistemi ilavesi ile kirlilik yükü azalmaktadır. Böylece ultrafiltrasyon ve ardından BAF (GAC) kullanıldığında arıtma verimliliği sistemin tek başına sağladığı arıtma veriminden çok daha fazla olacaktır. Atıksu arıtma tesisinin geri yıkama sularının, biyolojik arıtma aşamasına geri döndürülmesi ile ilave bir biyolojik arıtım sağlanmaktadır. İsviçre'de Hammarby Sjöstadswerk Araştırma Merkezi'nde, membran ve biyolojik aktif karbon filtre ile arıtım sistemine ilişkin testler yapılmaya devam etmektedir. Kalmar'da, 2017 yılından beri ultrafiltrasyon ve ardından granüler aktif karbon sistemi ile arıtım yapan pilot testler devam etmektedir (Sundin vd., 2017).

Membran sistemlerinin ve aktif karbonlu filtrelerin üreticileri bulunmasına rağmen söz konusu sistemlerin birleşiminin henüz bir uygulaması bulunmamaktadır.

Arıtma sisteminin avantajları aşağıda belirtilmektedir.

- Granüler aktif karbon sisteminde arıtılacak parçacık ve organik madde yükü azaldığından daha yüksek arıtma verimliliği sağlanmaktadır.
- Konvansiyonel arıtmaya göre daha gelişmiş biyolojik arıtım sağlanmaktadır.
- Daha basit membranlar kullanılabilir ve böylece membranların satın alınması ve işletilmesi toz aktif karbon-ultrafiltrasyon sisteminden daha ekonomiktir.
- Mikroplastikler de dahil olmak üzere partiküle bağlı kirletici maddelerin giderimi sağlanmaktadır (Sundin vd., 2017).

Ultrafiltrasyon ile biyolojik granüler aktif karbon sistemi konvansiyonel arıtmaya göre daha az alan gereksinimi olup aynı zamanda daha verimli bir arıtma sağlamaktadır. Ancak bazı dezavantajları aşağıda belirtilmektedir.

- Membranları temizlemek için kimyasal maddeler gerekmektedir.
- Membran ve aktif karbon sistemini işletme sırasında yüksek enerji kullanımı gerekmektedir.
- Ultrafiltrasyon membranların işletilmesi sırasında oluşan konsantreler, atık ürün olarak oluşmakta bertaraf edilmeden önce arıtılması gerekmektedir (Sundin vd., 2017).

7.1.8 Elektrokoagülasyon Arıtma Prensibi

Perren ve ark. İngiltere, Surrey Üniversitesi'nde yaptığı çalışmada, elektrokoagülasyon arıtma sisteminin atık sularda mikroplastik giderim etkinliği araştırılmıştır. Çalışmada farklı konsantrasyonlarda küçük polietilen parçacık içeren atık sular kullanılarak deneysel bir araştırma yapılmıştır. Çalışmada seri reaktör olarak çalıştırılan birer litrelik tanklar kullanılarak atıksuyun karakteristik özellikleri (başlangıç pH, NaCl konsantrasyonu ve akım yoğunluğu) üzerinde kirletici giderim etkileri incelenmiştir. Deney sonucunda, % 90'ın üzerinde mikroboncuk giderimi tespit edilmiş olması elektrokoagülasyon'un atık sudan mikroplastik maddelerin uzaklaştırılmasında etkili bir yöntem olduğunu düşündürmektedir (Perren vd., 2018).

Elektrokoagülasyon için, arıtma yönteminde belirlenen optimum pH değeri 7.5’de, %99,24’lük mikroplastik arıtma verimi tespit edilmiştir. Bu yöntemle pH değeri 3 ila 10 arasında olan atıksularda % 90’ın üzerinde mikroplastik giderim sağlandığı belirtilmektedir. Çalışma sırasında küresel mikroplastiklerin (mikroboncuklar) uzaklaştırılması amacıyla alüminyum elektrotlara sahip elektrokoagülasyon ile arıtma sistemi verimliliği araştırılmıştır. Deneysel sonuçları, elektrokoagülasyonun mikroboncukları gidermek için etkin bir arıtma yöntemi olduğunu göstermiştir. Elektrokoagülasyonda, mikroboncukların giderimi için flokülasyon ve nötralizasyon prosesleri eşzamanlı uygulanarak, reaktör işletme maliyetleri de azaltılmıştır (Perren vd., 2018).

7.2 Türkiye’de Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikroplastik Çalışmaları

Mersin Atıksu Tesislerinden Kaynaklanan Mikroplastik Kirliliği ve Giderilme Yöntemlerinin Araştırılması Projesi kapsamında Mersin ilinde yer alan üç atıksu arıtma tesisinin deşarj sularında mikroplastik incelemesi çalışması yapılmıştır. Çalışmada Karaduvar, Silifke ve Tarsus atıksu arıtma tesislerinden denize gelen mikroplastik yükleri analizlerle belirlenmiştir. Mersin bölgesindeki atıksu arıtma tesislerinin çıkış sularında en fazla rastlanan plastik tipi fiberler olup bunun da esas kaynağının çamaşır makineleri olabileceği düşünülmektedir (Kıdeyş, 2018).



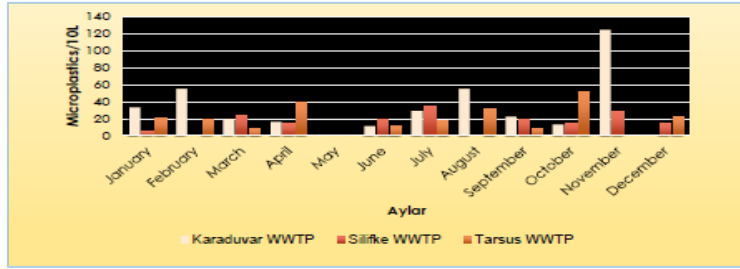
Şekil 34. Karaduvar Atıksu Arıtma Tesisi, 150.000 m³/gün



Şekil 35. Tarsus Atıksu Arıtma Tesisi, 43.000 m³/gün



Şekil 36. Silifke Atıksu Arıtma Tesisi, 12.000 m³/gün



Şekil 37. Mersin ili Atıksu Tesisleri çıkış suyunda Mikroplastik Yoğunlukları

Kıdeyş'in desteklediği Tübitak çalışmasında, "Mersin atık su tesislerinden kaynaklanan mikroplastik kirliliği ve giderilme yöntemlerinin araştırılması" Projesi kapsamında Karaduvar, Silifke ve Tarsus Atıksu Arıtma Tesislerinde 12 ay boyunca, üç kez atıksu arıtma tesisi deşarj sularında örnekleme yapılarak atıksu tesislerinden kaynaklanan mikroplastikler tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda sırasıyla litre atık su başına ortalama 4.3, 1.78 ve 2.31 adet mikroplastığın alıcı ortama deşarj edildiği tespit edilmiştir. Mikroplastik miktarı 765 milyon/gün, yılda ise toplam 280 milyar/yıl olarak belirlenmiştir (Kıdeyş, 2018).

8 ULUSAL VE ULUSLARARASI MEVZUAT DÜZENLEMELERİNİN İNCELENMESİ

8.1 Ulusal Mevzuat Düzenlemesi

8.1.1 Çevre Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun

10.12.2018 tarihli ve 30621 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Çevre Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun” kapsamında çevrenin korunması, çevre kirliliğinin önlenmesi ve giderilmesi için geri kazanım katılım payı plastik poşet ve plastik ambalaj kullanımının azaltılması, depozito uygulaması ve kirliliğin önlenmesi hususunda yasal düzenlemeler getirmiştir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019).

Bu kanunda madde 8’e göre, kaynakların verimli yönetimi ve plastik poşetlerden kaynaklanan çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla plastik poşetler satış noktalarında kullanıcıya veya tüketiciye ücret karşılığı verilecektir. Uygulanacak taban ücret 25 kuruştan az olmamak üzere Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından oluşturulacak komisyon aracılığıyla belirlenecek ve her yıl için güncellenecektir. Madde 5’te plastik poşetleri ücretsiz verdiği tespit edilen satış noktalarına depo alanı hariç kapalı satış alanının her metrekaresi için 10 Türk lirası idari para cezası verilecektir.

Plastik poşetle gönderimi sağlanan uzaktan satışlarda ise alternatif taşıma ekipmanı kullanım seçeneği tüketiciye sunulacaktır. Tüketici tarafından plastik poşet tercih edilmesi halinde poşetlerin satışı zorunlu olacaktır. Uzaktan satış yapan işletmelerin bu satışlarda plastik poşete alternatif taşıma seçeneğini ise 31 Mart 2019’a kadar oluşturması gerekmektedir.

Madde 8’e göre Çevre ve Şehircilik Bakanlığı çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla belirleyeceği ambalajlar için depozito uygulamasını 1 Ocak 2021 tarihinden itibaren zorunlu tutacaktır. Depozito kapsamındaki ambalajlı ürünlerin satış noktaları, depozito uygulaması toplama sistemine katılım sağlayacaktır. Madde 7’ye göre, atıkların kaynağında ayrı biriktirilmesi ve toplanması amacıyla sıfır atık yönetim sistemini kuran ve uygulayan belediyelere, il özel idarelerine, kurum, kuruluş ve işletmelere teşvik sağlanacak. Madde 8’e göre, yurt içinde piyasaya arz edilen ürünlerden poşetler için satış noktalarından, diğer ürünler için piyasaya sürenlerden/ithalatçılardan Tablo 13’de verilen belirtilen tutarda geri kazanım katılım payı tahsil edilecektir. Geri kazanım katılım payını ödemediği tespit edilenlere katılım payı tutarının yüzde 20 fazlası idari para cezası uygulanacaktır.

Tablo 13. Geri Kazanım Katılım Payı Tutarı

Ürün Cinsi	Kg Başına Alınacak Tutar (kr.)	Adet Başına Alınacak Tutar (kr.)
PLASTİK AMBALAJ		
Plastik Poşet (Plastik alışveriş torbaları)		15
İçecek Ambalajları (Adet)		
0,33 litreye kadar		1
0,3301-0,75 litre arası		2
0,75 litre arası-1.5 litre arası		3
1,501 litre üzeri		4
Diğerleri (Poşet Hariç) (kg)	40	

8.1.2 Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan 27.12.2017 tarih ve 30283 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Ambalaj Atıkları Kontrolü Yönetmeliği” 24.08.2011 tarihli ve 28035 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği’ni yürürlükten kaldırmıştır. Yeni yönetmelik plastik torbaların kullanımına ilişkin yasal düzenlemeleri kapsamaktadır. Yönetmelik kapsamında plastik torbalar 1 Ocak 2019 tarihinden itibaren satış noktalarında ücret karşılığı verilecektir. Plastik torbalara uygulanacak taban ücret, her yıl piyasa koşulları ve ilgili sektör temsilcilerinden oluşan Ambalaj Komisyonunun önerisi dikkate alınarak Bakanlık tarafından belirlenecektir. Bakanlıkça belirlenen fiyat tarifesinin altında ücret uygulanamayacaktır. Ocak 2019’dan itibaren market, mağaza gibi satış yerlerinde taşıma amaçlı kullanılan plastik poşetlerin 25 kuruş ücretle satılmasına yönelik düzenlemeyle, plastik torba kullanımının 31 Aralık 2019 tarihine kadar yıllık kişi başı 90’ı, 31 Aralık 2025 tarihine kadar da 40’ı aşmaması hedeflenmektedir. Bu sayede, Türkiye’de plastik poşet kullanımını yüzde 90 oranında azaltmak hedeflenmektedir.

Söz konusu yönetmelik ile piyasaya sürülen ambalajlara ilişkin Madde 1’de ambalaj atıklarının oluşumunun önlenmesi, önlenemeyen ambalaj atıklarının yeniden kullanımı, geri dönüşüm ve geri kazanım yöntemleri kullanılarak bertaraf edilecek miktarının azaltılmasına, belirli bir yönetim sistemi içinde, kaynağında ayrı biriktirilmesi, toplanması, taşınması, ayrılmasına ve geri dönüşümüne ilişkin teknik ve idari standartlar oluşturulacaktır.

Yönetmelik Madde 5'te ambalaj atık miktarının azaltılması amacıyla öncelikle ambalaj atıklarının oluşumunun önlenmesi, üretimin kaçınılmaz olduğu durumlarda ise öncelikle yeniden kullanılması, geri dönüştürülmesi, geri kazanılması ve enerji kaynağı olarak kullanılması, tek kullanımlık ambalaj tüketiminin ve bunların atıklarının kontrol altına alınabilmesi amacıyla, öncelikle yeniden kullanıma uygun ambalajların tercih edilmesi esas olacaktır. Ayrıca tek kullanımlık ambalajlar, tüketimi sonrasında geri dönüşüm/geri kazanım sürecine dâhil edilecektir. Yönetmelikte plastik torba kullanımının azaltılması maksadıyla Madde 5'e göre toplanan ambalaj atıklarının çevre lisanslı ambalaj atığı işleme tesislerine verilmesi zorunlu olacaktır.

Madde 9'da Ambalaj üreticileri; ambalajı tasarım aşamasından başlayarak, üretim ve kullanım sonrasında en az atık üretecek, geri dönüşümü ve geri kazanımı en kolay, en ekonomik ve çevreye en az zarar verecek şekilde üretmekle yükümlü olacaktır. Madde 11'de piyasaya sürenler; Atık Yönetimi Yönetmeliğinde yer alan yükümlükleri yerine getirmekle; ürünlerin ambalajlanması sırasında yeniden kullanıma uygun ambalajları tercih etmekle; ürünün kullanımı sonrasında en az atık üretecek, geri dönüşümü ve geri kazanımı en kolay ambalajları kullanmakla yükümlü olacaklar. Madde 13'de Ambalaj atığı üreticileri, belediyenin toplama sistemine veya atık getirme merkezlerine vermekle yükümlü olacaktır.

Madde 7'ye göre üreticiler, üretmiş/ithal etmiş oldukları satışa tabi tüm plastik poşetlere ilişkin olarak, bilgi sistemine kayıt olmak ve gerekli bilgileri sisteme girmekle yükümlü olacaktır. Madde 14'de 200 m²'den büyük kapalı alana sahip satış noktaları, atıkların ayrı toplanması ve cinslerine göre tasnifinin sağlanması için ambalaj atığı toplama noktaları oluşturacaktır. Satış noktaları, torba kullanımını en aza indirecek tedbirleri alacaktır. Madde 19'da yetkilendirilmiş kuruluş/piyasaya sürenler, 2005 yılından 2018 yılına kadar ambalaj atıklarının en az yönetmelikle belirlenen oranlarda geri kazanım hedeflerini sağlamakla yükümlü olacaktır.

8.2 Uluslararası Mevzuat Düzenlemeleri

8.2.1 Plastikler için Avrupa Birliği'nde Yasal Düzenlemeler

Mikroplastiklerin bir çeşiti olan plastik pelletler; belirli ürün kategorilerine (kozmetik, deterjan, boya gibi) kasıtlı olarak eklendiği, plastik ürünlerin üretimi, taşınması ve kullanımı sırasında veya lastikler, boyalar ve sentetik giysiler gibi ürünlerin aşınması ve yıpranması yoluyla ortaya çıktığı bahsedilmektedir. Ürünlerin yapımı esnasında eklenen mikroplastik miktarı, denizlerde tespit edilen mikroplastiklerin daha küçük bir oranını temsil etmektedir (Avrupa Komisyonu, 2018). Bu durum, büyük plastik atıkların parçalanmasıyla denizlerde oluşan kirliliğin daha fazla olduğunu göstermektedir.

Bazı ülkeler kendi kullandığı bu ürünleri kısıtlamak için harekete geçmiş, bu kapsamda kozmetik sektörü de gönüllü eylemlerde bulunmuştur. 2015 yılından beri mikroplastiklerin kullanımının kısıtlanması amacıyla birkaç üye devlette yasaklar uygulanmaktadır. Avrupa komisyonu çevre ve sağlık için risk oluşturan maddelerin sınırlandırılmasına yönelik REACH prosedürlerine uygun olarak, bilerek eklenen birincil mikroplastiklerin kullanımını sınırlamak maksadıyla Avrupa Kimyasallar Ajansı'ndan bilimsel temeli gözden geçirmesine ilişkin AB düzeyinde yasal düzenleyici eylem süreci başlatılması istenmiştir (Avrupa Komisyonu, 2018).

8.2.1.1 Avrupa Döngüsel bir Ekonomide Plastikler için Avrupa Stratejisi

Avrupa Komisyonu tarafından 16.01.2018 tarihinde Brüksel' de tek kullanımlık plastik ürünlerin atığını azaltmak ve geri dönüşümünü daha karlı hale getirmek maksadıyla Döngüsel bir Ekonomide Plastikler için Avrupa Stratejisi sunulmuştur (Avrupa Komisyonu, 2018). Söz konusu strateji ile Avrupa Birliği'ndeki plastik ürünlerinin tasarım, üretim, kullanım ve geri dönüşüm şekillerini değiştirmek hedeflenmektedir. Ayrıca, ekonomide büyümeyi ve yeniliği teşvik ederken, çevreyi plastik kirliliğe karşı koruyacak ve Avrupa'nın geleceği için olumlu bir gündem haline getirecektir. Yeni planlara göre, AB pazarındaki tüm plastik ambalajların 2030'a kadar geri dönüştürülebilir olması, tek kullanımlık plastik kullanımının azaltılması ve mikroplastiklerin kasıtlı kullanımının kısıtlanması hedeflenmektedir.

Mikroplastiklerin kaynakları, çevre ve sağlık üzerindeki etkileri de dahil olmak üzere kirliliğin daha iyi anlaşılması ve yayılmasını önlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu belirtilmektedir. Atık su arıtma tesislerinde mikroplastik giderim yöntemleri ve her bir kirletici için kaynağında giderimi konusunda önlem alma yöntemleri araştırılmaktadır. Bu kapsamda ilk önerileri geliştirmek için sentetik malzemedan üretilmiş tekstil ürünlerin yıkanması sırasında su ortamına mikroplastik salınımın önlenmesi için bir Çapraz Sanayi Anlaşması yayınlanmıştır. Komisyon, tekstil ürünlerinden kaynaklanan mikrolifler ve plastik pelet kayıplarını azaltma gereksinimlerini dikkate alacaklarını bildirmiştir. Bu kapsamda üreticiler için iyileştirme maliyetini karşılamak için sorumluluk planları da düşünülebileceği belirtilmiştir. Ayrıca mikroplastiklerin, insan sağlığı üzerindeki etkilerinin hala ne olduğu bilinmediği için içme suyunda da izlenmesi önerilmektedir (Avrupa Komisyonu, 2018).

8.2.1.2 Çapraz Endüstri Anlaşması

Çapraz Endüstri Anlaşması giysilerin küresel değer zincirini temsil eden bir grup olan Avrupa endüstri derneği tarafından kurulmuştur. Avrupa endüstri dernek topluluğu üyelikleri aracılığıyla yaklaşık 2.400.000 kişi istihdam etmekte ve 180.000 şirket tarafından temsil edilmektedir. Çapraz Endüstri Anlaşması sentetik tekstillerin yıkanması sırasında su ortamına mikroplastik salınımın önlenmesi amacıyla 13 Aralık 2017 tarihinde Brüksel'de yayınlanmıştır (AISE vd., 2017).

Mikroplastiklerin küresel deniz ve tatlı suya olan kasıtsız salınımı sağlık ve çevre için potansiyel riskler tam olarak değerlendirilemese de insanlar için endişe kaynağı olduğu bilinmektedir. Günümüzde mikroplastik kirliliğine çözüm bulmak için kirliliğin kaynaklarını belirlemek için çalışmalar yapılmaktadır. Çalışmalarda su ortamına doğrudan mikroplastik salınım kaynaklarından birisi de sentetik kullanılan giysilerin yıkanması neticesinde suya karışan lifler olduğu vurgulanmaktadır. Avrupa Komisyonu politika oluşturma seçeneklerini araştırmakta ve sektör dernekleri, paydaşlar ile aktif olarak tartışarak işbirlikçi çözümlerin nasıl destekleneceği konusunda çalışmalar yürütmektedir. Daha kapsamlı çalışma yapmak için öncelikle bir mikroplastik tanımı yapılması gerekliliği vurgulanmaktadır. Bu ortak anlaşmayı öneren sanayi dernekleri, konunun daha iyi anlaşılması, bilime dayalı uygulanabilir çözümler bulma ihtiyacı üzerinde aynı fikirdedir. Endüstriler arasındaki koordinasyon ve paydaşların desteği ile aşağıda belirtilen hususlara değer katabileceği düşünülmektedir.

Mevcut dokümana imzası bulunan kişiler, bu sorunun etkili bir şekilde ele alınmasının koordinasyonu gerektirdiğini kabul ederek, farklı bilgi alanlarında ve küresel düzeyde çaba göstermeyi taahhüt ettiğini belirtmiştir. Ayrıca, aşağıda belirtilen hususlar aracılığıyla etkili ve ekonomik olarak uygulanabilir çözümler bulmayı desteklemektedir.

- Suda ve çevrede bulunan mikroplastik maddeleri tanımlamak ve miktarını belirlemek için uluslararası standart test yöntemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmak,
- Araştırma, bilgi boşlukları hakkında bilgi paylaşımında bulunmak,
- Uygun ve etkili çözümler için endüstriyel araştırmaya destek vermek ve katılım sağlamak hususlarında fikir birliğine sahiptir.

Mikroplastik problemine ilişkin küresel çözümlerin tanımlanması ve uygulanması için kurum ve kuruluşların koordine çabalarının çok daha faydalı olacağı düşünülmektedir.

Aşağıda belirtilen şirketler tarafından doküman imzalanmıştır.

- **A.I.S.E.** (International Association for Soaps, Detergents and Maintenance Products), Uluslararası Sabun, Deterjan ve Bakım Ürünleri Derneği
- **CIRFS** (European Man Made Fibres Association), Avrupa İnsan Yapımı Fibers Derneği
- **EOG** (European Outdoor Group), Avrupa Açık hava Grubu
- **EURATEX** (European Textile and Apparel Confederation), Avrupa Tekstil ve Konfeksiyon Konfederasyonu
- **FESI** (Federation of the European Sporting Goods Industry), Avrupa Spor Ürünleri Sektörü Federasyonu

8.2.1.3 Bazı Plastik Ürünlerin Çevreye olan Etkisinin Azaltılması konusunda Avrupa Parlamentosu ve Konsey Direktifi

Teklif edilen önlemler ile Avrupa'nın Döngüsel Ekonomiye geçişine, BM'nin Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine ulaşmasına ve Avrupa Birliği'nin iklim konusundaki taahhütleri ile birlikte endüstriyel politika hedeflerine ulaşmasına katkıda bulunması amaçlanmaktadır. AB plastik stratejisinin devamı niteliğindedir. Direktifte 28 Mayıs 2018 tarihinde Brüksel'de, kayıp ve terkedilmiş balıkçılık malzemelerinin yanı sıra Avrupa sahillerinde ve denizlerinde en çok bulunan tek kullanımlık 10 plastik ürünün kullanımını kısıtlamayı hedefleyen yeni kurallar önerilmektedir (AÇA, 2018).



Şekil 38. Avrupada En Çok Bulunan Plastik Maddeler

Plastik atıklar, denizlerde bulunan atıkların %70'ini oluşturmaktadır. Bunların %50'si ise tek kullanımlık plastiklerden oluşmaktadır. Hali hazırda alternatifleri bulunan tek kullanımlık plastik ürünlerin satışı yasaklanacağı bildirilmiştir. Doğrudan bir alternatif bulunmayan plastik ürünlerde ise bu ürünlerin kullanımı ulusal çapta kullanımlarının kısıtlanmasına, tasarım ve etiketleme gerekliliklerine ve ayrıca üreticilerin plastik atık yönetimi/temizlik yükümlülüklerine odaklanılacaktır.

Denizlerdeki çöprü azaltacak önerilen yeni Avrupa Birliği kuralları aşağıda belirtilmektedir.

- **Bazı ürünlerde plastik kullanımının yasaklanması:** Hali hazırda hesaplı alternatifleri bulunan tek kullanımlık plastik ürünlerin pazara girişi yasaklanacaktır. Bu yasak **plastik kulak temizleme çubuğu, plastik çatal-bıçak/kaşık, tabak, pipet, içecek karıştırma çubukları ve balon çubukları** için geçerli olacak ve bu ürünlerin tümü sadece daha sürdürülebilir malzemelerden üretilecektir. Tek kullanımlık plastik içecek kutuları sadece kapakları üründen bağımsız olmadığı sürece piyasaya sürülebilecektir.
- **Tüketimi azaltma hedefleri:** Üye devletler ulusal azaltma hedefleri koyarak, satış noktalarında alternatif ürünler sunarak veya tek kullanımlık plastik ürünlerin ücretsiz verilmesini önleyerek plastik kullanımını azaltacaklardır.
- **Üreticiler için yükümlülükler:** Üreticiler atık yönetimi ve temizlik masraflarının yanı sıra gıda kapları, paketler ve ambalajlar (örneğin cips ve tatlılar için), içecek kutuları ve bardaklar, sigara gibi filtreli tütün ürünleri, ıslak mendil, balon ve hafif plastik torbalar konusunda farkındalık oluşturma önlemleri için yapılan giderlerin karşılanmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca sektörün bu ürünler için daha az kirlilik yaratan alternatifler geliştirmesi için teşvikler verilecektir.
- **Toplama hedefleri:** Üye devletler, örneğin, depozito iadesi programları yoluyla 2025'e kadar tek kullanımlık plastik içecek kutularının %90'ını toplamakla yükümlü olacaklardır.
- **Etiketleme gereklilikleri:** Bazı ürünlerde, atıkların nasıl bertaraf edilmesi gerektiğini, ürünün olumsuz çevresel etkilerini ve ürünlerde plastik olduğunu belirten açık ve standartlaştırılmış etiketler bulunması zorunlu olacaktır. Bu durum, hijyenik pedler, ıslak mendiller ve balonlar için de geçerli olacaktır.
- **Farkındalık oluşturan önlemler:** Üye devletler, tek kullanımlık plastiklerin ve balıkçılık malzemelerinin yarattığı kirliliğin olumsuz etkileri ve bu ürünler için mevcut tekrar kullanma sistemleri ve atık yönetimi seçenekleri konusunda müşterilerde farkındalık oluşturmakla yükümlü olacaktır.

Yukarıda bahsedilen komisyon önerileri Avrupa Parlamentosu ve Konseyine kabul edilmesinin ardından diğer kurumları bunu öncelikli bir dosya olarak ele almaya ve 2019 tarihinde Avrupalılar için somut sonuçlar ortaya konulması beklenmektedir (AÇA, 2018).

Tüketici tercihlerine ışık tutacak ve bireylerin plastik kirliliği ve deniz atıklarıyla mücadeledeki rolünün altını çizmek için AB genelinde bir farkındalık oluşturma kampanyası faydalı olacağı düşünülmektedir. Söz konusu Direktif, Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi ve Atık Direktifleri gibi mevcut kurallar üzerinde şekillenmekte ve deniz kirliliğiyle mücadele konusunda örneğin Liman Kabul Tesisleri Direktifi kapsamındaki önlemleri ve mikro plastikler ile suda çözünabilir plastikler konusunda önerilen kısıtlamaları tamamlamaktadır. Teklif edilen bu Direktif hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağlayacaktır.

Kabul edilen yeni AB atık kuralları ve hedefleriyle birlikte yeni kurallar, AB şirketlerinin birden fazla kez kullanılabilecek yenilikçi alternatifler, yeni malzemeler ve daha iyi tasarlanmış ürünler alanında yeni pazarlara önyak olabilmesi için ihtiyaç duyduğu netliği, yasal kesinliği sağlayacağı düşünülmektedir (Avrupa Komisyonu, 2018).

8.2.2 Ülkelerde Mikroplastikler (Microbead) için Yasal Düzenlemeler

- **Fransa:** Avrupa Kimyasallar Ajansı'nın bildirimini ardından Avrupa Birliği üyesi Fransa, Kasım 2016 tarihinde ilk olarak bazı kozmetik ve kişisel bakım ürünlerinde, temizleme amaçlı kullanılan durulama ürünlerinde bulunan mikroplastiklerin kullanımı konusunda yasal bir kısıtlama getirmiştir (Kentin & Kaarto, 2018). Katı plastik partikülleri içeren temizlik, peeling ve kozmetik ürünlerinin satılmasını yasaklayan ilk ülkedir. Kalıcı olmayan (bozunabilen) ve besin zincirini etkilemeyen doğal bir kaynaktan meydana gelen parçacıklar yasağın kapsamına alınmamıştır.

2015/1535 sayılı Avrupa Birliği Direktifi gereği yayımlanan Fransız yasası kapsamında 'bir taslak teknik düzenleme' bildirisi yayımlamıştır. Fransa ayrıca Ticarete Teknik Engeller Anlaşması'nın 10. Maddesine göre Dünya Ticaret Örgütü'ne (WTO) de bildirimde bulunmuştur. Her iki bildirimde de, Deniz çevresinin durumuna ilişkin uluslararası ve Avrupa yükümlülüklerine atıfta bulunarak kozmetik ürünlerdeki mikroplastiklerin yasaklanması gerektiği bildirilmektedir.

- **Amerika Birleşik Devletleri:** 2015 yılında, mikroplastik kirliliği hakkındaki ilk ulusal düzenleme olan 2015'teki Microbead-Free Waters Yasası, diş macunu gibi bazı kişisel bakım ürünlerinin imalatında plastik mikroboncukların eklenmesini yasaklanmaktadır. Yasanın amacı söz konusu kozmetik ürünlerinin üretimini ve satışını yasaklayarak su kirliliğinin azaltmaktır.
- **Güney Kore:** Kozmetik ürünlerde mikroboncukların (microbead) yasaklanmasını öneren ilk ülke olmuştur. Teknik engeller hakkında bildirim veri tabanında, Güney Kore Ekim 2016'da yıkama ürünlerinde ve Şubat 2017'de diş macunlarında mikroboncukların (microbead) yasaklandığını bildirmiştir.
- **Tayvan:** 2015'teki Microbead-Free Waters Yasası'na atıfla az çok aynı tanımlamalar ile yeni yasal düzenleme için bildirim yayınlamıştır.
- **Kanada:** Temizlik veya hijyen ürünlerini kapsayan Tuvalet Malzemeleri Yönetmeliğinde önerilen mikroboncuklar ile ilgili olarak mikroboncukları ≤ 5 mm boyutunda mikroplastik olarak tanımlamaktadır. Mikroboncukların farklı işlevlere sahip olmasının yanı sıra, katı, içi boş, şekilsiz ve çözündürülmüş farklı parçacıklar formları tanıma dahil edilmiştir. Yasada toksik maddeler listesine mikroboncukları koyarak, mikroboncukları temizlik veya hijyen için kullanılan temizleme ürünlerinde bulunmasını yasaklamıştır.
- **İsviçre:** İsveç yasası ile temizleme ve cilalama amacıyla ilave edilen plastik parçacıklar içeren temizleme amaçlı kullanılan kozmetik ürünleri yasaklanmıştır. Plastik parçacıklar, 5 mm veya daha küçük boyutlu ve suda çözünmeyen, katı plastik parçacıklar olarak tanımlanmaktadır. İsveç bildirimi, ABD ve Fransa düzenlemelerine açıkça atıfta bulunmakta ve İsveç'in bu düzenlemelerde yer alan tanımı takip etmektedir.
- **Yeni Zelanda:** Mart 2017'de "su ile yıkanan" kozmetik ürünlerindeki mikroboncukların (microbead) kullanımını yasaklamak için bir yasa teklif etmiştir. Ekim 2017'de önerilen yasak kapsamı ev, araba ve endüstriyel temizlik ürünleri gibi temizlik ürünlerini de kapsayacak şekilde genişletilecektir. Yasada mikroplastikler "suda çözünmez plastik parçacık" olarak tanımlanmaktadır. Yasanın içeriği Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'daki yönetmeliklere bağlı kalmakla birlikte kozmetik olmayan yıkama ürünlerindeki mikroboncukları da içermesi bakımından daha kapsamlıdır.

- **Birleşik Krallık; İngiltere, Galler, İskoçya ve Kuzey İrlanda:** Dört yasama teklifi bildirmiştir. 2017 yılında yayımlanan Çevresel Koruma Yönetmeliği (Microbeads), 1990 Çevre Koruma Yasası kapsamında önerilmiştir. Yönetmelikteki mikroplastik tanımı ve ürün kategorileri ABD yönetmeliği ile uyumludur.
- **Belçika:** Başlangıçta kozmetik ürünlerdeki mikroplastikleri sonrasında aşamalı olarak temizlik ve bakım ürünlerinde bulunan mikroplastikleri yasaklamak için gönüllü bir sektör anlaşması bildirmiştir.
- **İtalya:** En son bildirim İtalya'dan gelmiştir. İtalya yasası kapsamında 2020 yılına kadar temizlik amaçlı kullanılan kozmetik ürünleri ve deterjanlarda bulunan mikroplastiklerin yasaklanacağı bildirilmiştir.

Yukarıda bahsedilen ülkelerin mikroplastiklere ilişkin şimdiye kadar yaptığı yasal düzenlemeler Tablo 14'te verilmektedir.

Avrupa Kimyasallar Ajansı'nın hazırladığı mikroplastikler konusunda Avrupa Birliği kısıtlamasının yayınlanması beklenmektedir. ECHA, mikroplastik tanımı için “dış çapı 5 mm veya daha küçük bir katı veya yarı katı parçacık içeren herhangi bir polimer” tanımını benimsemiştir. Her ne kadar çoğu yasada mikroplastığın tanımı Amerika Birleşik Devletler tarafından benimsenen “5 mm'den daha küçük olan ve insan vücudunu veya herhangi bir parçasını temizlemek amacıyla kullanılan herhangi bir katı plastik parçacık” tanımına uygun olsa da tanımın farklı çeşitleri de görülmektedir. Kanada yasasında plastik parçacıkların tanımı farklı işlevlere sahip, oyuk, şekilsiz ve çözülmüş parçacıklar olarak ifade edilirken, Fransa'nın mikroplastik tanımında bir boyut sınırı belirlenmemiştir. Çoğu ülkede uygulanan yasa kapsamında mikroplastik yasağı sadece temizlik amaçlı kullanılan kozmetik ürünleri için geçerli iken Yeni Zelanda ise mikroboncuk içeren kozmetik ürünlerinin yasaklanmasına ilaveten temizlik ürünlerinin de yasaklanmasını kapsamaktadır.

Tablo 14. Mikroplastiklere ilişkin Ulusal Düzenlemeler

Ülke	Yasal Düzenleme	Yasaklanan Ürünler	Mikroplastik Tanımı
Amerika Birleşik Devletleri	2015'teki Microbead-free Waters Yasası (yürürlükte)	Kozmetik yıkama ürünleri	5 mm'den daha küçük boyutta ve insan vücudu temizliği veya temizlikte kullanılması amaçlanan herhangi bir katı plastik parçacık
Güney Kore	Kozmetik Güvenlik Standartları Yönetmeliği'nde değişiklik önerisi	Temizlik ürünleri, diş temizleme ürünleri	5 mm veya daha küçük boyutta plastik parçacık
Tayvan	Plastik Mikroboncuk İçeren Kişisel Bakım ve Kozmetik Ürünlerinin Üretimi, İthalatı ve Satışı Hakkında Kısıtlamalar (yürürlükte)	Kozmetik ürünleri; saç ve yüz yıkama, banyo ürünleri, sabun, diş macunu	5 mm'den küçük boyutta vücut için arındırıcı veya temizlenmesi amacıyla kullanılan katı plastik parçacıklar
Kanada	Tuvalet Yönetmeliğinde Mikroboncuklar (yürürlükte)	Tuvalet malzemeleri kişisel saç, cilt, diş veya ağız bakımı temizlik ürünleri veya dahil olmak üzere hijyen ürünleri	5 mm'den daha küçük boyutta olan katı, içi boş, şekilsiz, çözülmüş şekillerde olan farklı plastik mikroboncuklar
Fransa	Katı plastik parçacıkları içeren peeling veya temizleme amaçlı durulanan kozmetik ürünlerinin piyasaya sürülmesini yasaklayan kararname	Arındırma veya temizlik için kullanılan durulama kozmetik ürünleri	
Yeni Zelanda	Atık Azaltma (Microbeads) Yönetmeliği 2017	Kozmetik yıkama ürünleri	5 mm'den daha küçük boyutta olan suda çözünmeyen plastik parçacıklar
İsviçre	Peeling, temizlik veya cilalama amacıyla eklenmiş katı plastik parçacıkları içeren kozmetik yüz yıkama ürünleri yasaklayan Taslak Düzenleme	Kozmetik yıkama ürünleri	suda çözünmeyen 5 mm veya daha küçük olan katı plastik parçacıklar
Birleşik Krallık	Çevre Koruma (Microbeads) Yönetmeliği 2017/2018	Durulama kişisel bakım ürünleri	suda çözünmeyen 5 mm'den küçük veya eşit katı plastik parçacık
Belçika	Tüketici ürünlerinde mikroplastiklerin değiştirilmesini desteklemek için Sektör Taslak Anlaşması	Durulama kişisel bakım ürünleri ve dış macunları	
İtalya	Biyolojik olarak parçalanamayan ve gübreleşmeyen pamuk tomurcuklarının ve mikroplastik içeren kozmetik ürünlerin (peeling) veya deterjanların pazarlanmasını yasaklayan teknik düzenleme taslağı	Arındırıcı durulama kozmetik ürünleri ve deterjanlar	23 Haziran 2017 tarihli (AB) 2017/1217 Komisyon Kararı tanımına atıfta bulunarak 5 mm ya da daha az suda çözünmeyen katı plastik parçacıklar
Hollanda	2016 yılında mikroboncuksuz ürün üretme niyetini ilk ilan eden ülke		

Hollanda 2016 yılından itibaren içerisinde mikroboncuk olmayan ürünler üretme niyetini beyan eden ilk ülkedir. Kanada'nın Ontario eyaleti federal hükümeti tarafından 2015 yılında Kanada Çevre Koruma Yasası (CEPA) ile mikroboncukları bir toksin olarak sınıflandırılmasından beri mikroboncuk üretim yasağı ilan edilmiştir. Büyük plastiklerin parçalanmasıyla oluşan ikincil mikroplastiklerin çevresel kirliliğe çok fazla katkısı olduğu için bunları kontrol etmek amacıyla 1973'te, Gemilerden Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL 73/78) imzalanmıştır. Ancak, denizdeki plastik kirliliğinin önlenmesi için 1988 yılına kadar tam bir yasak uygulanmamıştır. MARPOL 73/78'den imzalandığından beri, deniz çöplerine ilişkin artan problemi ortadan kaldırmak için çalışmalar devam etmektedir. Problemin temel sebebi çoğu zaman arazide yanlış yönetilen atıklarla ilgili olduğu belirlenmiştir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), mikroplastiklerin çok sayıda deniz organizması tarafından tüketildiğini ve bu durumun hem fiziksel hem de kimyasal zarara yol açtığı için mikroplastikleri okyanuslarından uzak tutacak acil eylem çağrısında bulunmuştur. Bu kapsamda UNEP, 120 ülkeden 40 milyon kişi tarafından, plastik kullanımın azaltılmasını teşvik etmek, farkındalık yaratmak, plastik geri dönüşüm ve bertaraf tesislerini değerlendirmek için eğitim prosedürleri oluşturan bir program geliştirmiştir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı/Akdeniz Eylem Planı (UNEP-MAP), Kuzey Doğu Atlantik deniz ortamının korunması için Oslo/Paris Sözleşmesi (OSPAR) ve Baltık Denizi Çevre Koruma Komisyonu-Helsinki Komisyonu (HELCOM) deniz çöpünü değerlendirmek için genişletilmiş rehberlere sahiptir. Ayrıca Sivil Toplum Kuruluşları ulusal düzeydeki mikroplastik kirliliği ve etkilerini ölçmek için farkındalık ve yardım artırma planları sunmuşlardır. 2018 Dünya Gününde, plastik atıkların önemli ölçüde artmasına tepki olarak bir "Plastik Kirliliğine Son" kampanyası başlatılmıştır. Benzer şekilde, son zamanlarda yapılan tek kullanımlık plastik kullanımını azaltmak için çeşitli küresel strateji çalışmalara da yer verilmiştir (Karbalaei vd., 2018).

2015 yılında G7 grubu devletleri deniz ortamlarında plastik kirliliğini önlemek, ekosistemi ve insan sağlığını korumak için küresel bir mücadele oluşturulması gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenle, deniz çöpleriyle mücadele etmek ve atıkları azaltmak için bir eylem planı hazırlanmaktadır. G7 eylem planının önceliklerinden biri deniz ortamına giren mikroplastikler de dahil olmak üzere, kanalizasyon ve suyla ilgili atıkların azaltılması ve önlenmesi için sürdürülebilir ve uygun maliyetli çözümlerin araştırılmasıdır.

2018'de Okyanus Plastikleri Tüzüğü G7'nin beş üye ülkesi (Kanada, Fransa, Almanya, İtalya ve İngiltere) tarafından kabul edilmiştir. Tüzük aşağıda belirtilen beş kategoriye içermektedir.

- Sürdürülebilir tasarım, üretim ve kullanım sonrası piyasalar
- Toplama, yönetim, altyapı ve diğer sistemler
- Sürdürülebilir yaşam tarzları ve eğitim
- Araştırma, yenilik ve yeni teknolojiler
- Kıyı ve sahil şeridi eylemi

Okyanus plastikleri tüzüğü, 2030 yılına kadar plastik ürünlerinde en az % 50 oranında geri dönüşümü, 2030 yılına kadar plastik ambalajın en az % 55'inin geri dönüştürülmesini ve yeniden kullanılmasını ve tüm plastiklerin 2040 yılına kadar % 100'ünün geri kazanılmasını içermektedir. Ayrıca, plastik ve mikroplastiklerin atık su ve kanalizasyon çamurlarından arındırmak için araştırma ve teknolojiler geliştirmesini içermektedir (Karbalaei vd., 2018).

Ekim 2000'de yürürlüğe giren Su Çerçeve Direktifi (WFD), “suyun sürdürülmesi ve geliştirilmesi” üzerine odaklanmaktadır (Karbalaei vd., 2018). Direktife göre yüzey suyunda bulunabilecek çöplere karşı önlem alma zorunluluğu yer almamakta olup, önlem alınması durumunda ise bildirim yapılması gerektiği belirtilmektedir. Direktif su kirliliğini önleme ve kontrolüne ilişkin su politikası deşarj sınır değerler ve çevresel kalite standartları belirleyerek kaynaktaki kirlilik kontrolünü kullanan bütünleşik bir yaklaşıma dayanmaktadır. Bu kapsamda direktifte tanımlanan 45 adet öncelikli madde içerisinde bulunan ve plastik ürünlerde kullanılan di(2-etilheksil) ftalat, nonilfenol veya oktilfenol gibi maddelerin yasal olarak izlenmesi zorunludur. Ancak mikroplastik izlemesine ilişkin herhangi bir zorunluluk açıkça ele alınmamaktadır (SAM, 2018). Su ekosisteminin iyi ekolojik durumunu belirlemek amacıyla mikroplastik parametresinin de zorunlu izlenecek parametreler arasında bulunması gerekmektedir. Dünya Bankası tarafından su kalitesinin belirlenmesine ilişkin 2015 yılında Kirlilik Yönetimi ve Çevre Sağlığı programı oluşturulmuştur. Bu program, kirliliğin azaltılması ve sağlığın iyileştirilmesi için teknik yardımı ve finansmanı kapsamaktadır. Deniz Çevresel Koruma Bilimsel Unsurları Hakkında Ortak Uzmanlar Grubu, 3R'leri (azaltma -yeniden kullanım-geri dönüşümlü dairesel ekonomi) benimseyerek okyanusa serbest bırakılan plastiğin hacmini azaltmak için acil eylem yürütmenin uygun maliyetli yolunu savunmaktadır. Bu kapsamda, mevcut döngüsel ekonomi ilkeleri 6R'leri (yeniden kullanım, geri dönüşüm, yeniden tasarlama, yeniden üretim, azaltma, geri kazanma) içerecek

genişletilmiştir. Böylelikle, teknik malzeme akışı, ürünlerin geri kazanımı ve ambalaj tasarımı, onarımı ve yeniden kullanımı ile yeniden üretim için topluma geri döndürülür ve bu durumların uygun olmadığı durumlarda, biyoplastikler veya bitki bazlı plastikler gibi bir biyolojik malzeme ikame edilecektir (Karbalaee vd., 2018).

94/62 /EC Ambalaj ve Ambalaj Atığı Direktifi (PPWD) plastik poşetlerin kullanımı ve yeniden kullanımı ile hafif plastik poşetlerin tüketimini azaltmayı hedeflemektedir. 04 Temmuz 2018 tarihinde yürürlüğe giren revize direktif, 05 Temmuz 2020 tarihine kadar ulusal mevzuata dönüştürülmesi öngörülmektedir. Bu kapsamda, yeniden kullanım önlemlerine ilişkin; 31 Aralık 2025 itibariyle plastik atık geri dönüşümü için asgari hedefler % 50 olarak belirlenmiştir ve 2030 yılına kadar % 55; 2030'dan itibaren AB'deki tüm ambalajların tekrar kullanılabilir olması ya da kolayca geri dönüştürülebilir olması gerekmektedir.

Konsey tarafından 22 Mayıs 2018 tarihinde kabul edilen gözden geçirilmiş 2008/98/EC Atık Çerçeve Direktifi (WFD); su, hava, toprak, bitki veya hayvan sağlığına zarar vermeden ve insan sağlığını tehlikeye atmadan atıkların yönetilmesini gerektirmektedir. Bu kapsamda, önleme ve atık yönetimi konusunda geniş hedefler içermektedir. “Kirlenen öder” ve “genişletilmiş üretici sorumluluğu” ilkelerini uygulamakta ve üye devletlerin atık yönetim planları ve atık önleme programlarını benimsemelerini gerektirmektedir. Gözden geçirilmiş Direktif, en azından kağıt, metal, plastik ve cam plastikler gibi atık malzemeleri içeren evsel atıkların geri dönüşümünü ağırlıkça en az % 50'ye çıkarmak için genel hedefler koymaktadır (SAM, 2018).

1999/31/EC Atık Depolama Direktifi ve 91/271/EEC Kentsel Atık Su Arıtma Direktifi atık yönetim düzenlemesi ve atık plastik torbaların geri dönüşümüne de ilişkin düzenlemeler içeren direktiflerdir. Üye devletler doğru atık yönetimi konusunda Su Çerçeve Direktifi (WFD)'ne uyum sağlamışlardır. Bu kapsamda, atıkları atık hiyerarşisi olarak ilk olarak öncelik verilen en önemli atık yönetimi bölümü; atığı kaynağında azaltmak, ardından yeniden kullanım, geri dönüşüm ve son olarak bertaraf, depolanmasıdır. (Karbalaee vd., 2018)

1999 yılında 1999/31 / EC sayılı Atık Depolama Sahası Direktifi, su ekosistemleri ve insan sağlığı için düzenli depolama alanlarının olumsuz etkilerini ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Hali hazırda Atık Depolama Sahası Direktifi kapsamında atık depolama alanında tehlikeli olmayan bir atık olarak depolanmış plastiklerin miktarına ilişkin hiçbir

kısıtlama bulunmamaktadır. Ancak Üye Devletler çöplüklerde atıklar için ayrı ayrı plastik bertarafına ilişkin uygulanan eşik kısıtlamaları yayımlamıştır. Son yıllarda birkaç üye devlet (Almanya, Danimarka, İsveç ve Avusturya), plastiklerin atık depolanmasını yasaklamış, bu da bu ülkelerdeki plastik atıkların geri kazanımında önemli bir artışa yol açmıştır. Su ekosistemlerini korumak ve sürdürülebilirliğini sağlamak ve ötrofikasyon gibi zararlı etkilerden korunması için atık suyun çevreye deşarj limitleri (91/271 / EEC) sayılı Kentsel Atık Su Arıtma Direktifi kapsamında belirlenmektedir (Karbalaie vd., 2018).

Atık yönetimine ilişkin bilinçli bireyler atıkların geri dönüşüm, yeniden kullanım ve azaltma konusunda daha sorumluluk sahibidir. Çevre kirliliğini azaltılmak için bilim ve politika arasında sürekli bir ilişki olması gerekmektedir. Mikroplastiklerin azaltılmasına yönelik pozitif değişikliklerin gerçekleştirilmesine yol açan bilim adamları ve politika yapıcılar arasındaki işbirliğinin sonucunda mevcut yasal düzenlemeler yayınlanmıştır. Plastik mikroboncukları yasaklamaya yönelik düzenlemeler bu işbirliğinin bir örneğidir. Son zamanlarda, bilim adamları kalıcı bir ümit vaat eden, biyolojik olarak çözünebilen selüloz mikroboncuklar geliştirmiştir. Kişisel bir dizi uygulamada plastik mikroboncuklar bakım ürünleri aşındırıcılara ve bu gelecekteki mevzuat ile zorunlu hale getirilmesi mümkündür. Bu konuda etkin yönetim stratejileri geliştirebilmek ve uygulayabilmek için mikroplastik alanında daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir (Karbalaie vd., 2018).

8.2.3 Plastik Kullanımı için Yasal Düzenlemeler

8.2.3.1 Avrupa'da Tek Kullanımlık Plastik Ürünlerin Yasaklanması

Avrupa Komisyonunda tek kullanımlık plastik ürünlerin yasaklanmasını öngören tasarı ile 2021 yılına kadar Avrupa Birliği'nde tek kullanımlık plastik ürünlerin kullanımı yasaklanacaktır. Avrupa Parlamentosu yasak kapsamında olmayan plastik ambalajlar ve bardakların kullanımının ise 2025 yılına kadar yüzde 25 azaltılması öngörülmektedir.



Şekil 39. Tek Kullanımlık Plastikler

Avrupa Parlamentosu tarafından Avrupa Komisyonu'nun yasak kapsamına almak istediği ürünlerin listesi genişleterek özellikle hazır yiyecek satan lokantalarda sıklıkla kullanılan polistiren köpük ve strafor kapların da yasaklanması istenmektedir. Genellikle büfelerde kullanılan, tek kullanımlık plastik yemek ambalajı üreticilerinin denizlerdeki çöplerin temizlenmesi süreci ve çevre için bilgilendirme kampanyalarının finanse edilmesi sürecine dahil edilmeleri de öneriler arasında bulunmaktadır. Plastik poşetlerin yanı sıra sağlık sektöründe kullanılan bazı sıhhi ürünler ve sigara filtresi üreticilerinin de bu mali sürece dahil edilmesi istenmektedir. Ayrıca plastik çöpe vergi getirilmesi talep edilmektedir. AB üyesi her ülkenin kullanılmayan plastik atıkların kilogramı başına 2021-2027 yılları arasındaki AB bütçesine 80 sent ödenmesi önerilmektedir.

Bunun yanı sıra plastik içeren sigara filtreleri sayısı da 2025'e kadar yüzde 50, 2030'a kadar da yüzde 80 oranında azaltılması talep edilmektedir. Kabul edilen tasarıda, plastik şişelerin de ayrıca toplanması öngörülmektedir. Avrupa Birliği'ne üye ülkeler 2025 yılına kadar plastik şişelerin yüzde 90'ının geri dönüşümünü sağlamakla yükümlü olacaktır. Yeni satılan ürünlerde kullanılan plastik şişelerin de en az yüzde 35'inin geri dönüştürülebilen malzeme ile üretilmiş olması gerekmektedir. Düzenlemede öngörülen maddelerden biri de balıkçı ağlarını kapsamaktadır. Buna göre, Avrupa Birliği ülkeleri denizlerdeki balıkçı ağlarının en az yüzde 50'sinin toplanmasından yükümlü olacaktır.

Avrupa Komisyonu tarafından verilen bilgilere göre Avrupa Birliği sınırları içinde yılda yaklaşık 26 milyon ton plastik çöp üretilmektedir. Uygun şekilde çöpe atılmayan plastik ürünlerin büyük bölümü denize karışmaktadır. ABD'li bilim dergisi *Science*'da yer alan bir habere göre yılda yaklaşık 8 milyon ton plastik çöp denize atılmaktadır. Avrupa Birliği Komisyonu'na göre, denizlerdeki çöpün yüzde 85'ini plastik maddeler oluşturmaktadır. Bunların yarısını tek kullanımlık plastik ürünlerden, dörtte biri ise balıkçıların kullandığı malzemelerden kaynaklandığı bildirilmektedir (Deutsche Welle, 2018).

8.2.3.2 Almanya'da Plastik Ürünlerin Yasaklanması

Dünya denizlerinde plastik atıkların oluşturduğu yüzen dev çöplüklerin sayısının artması, hem insanlar hem de diğer canlılar için ciddi bir tehlike kaynağı olması nedeniyle plastik atık konusunda bir eylem planı hazırlanmıştır. Almanya Federal Çevre Bakanlığı tarafından yapılan çalışmalarla plastik atıkların büyük bir bölümünün Asya'daki nehirlerden geldiği, Hindistan, Çin ve Bangladeş gibi en kirli nehirlerin geçtiği ülkelerin Alman teknolojisinden yararlanabileceğini bildirilmiştir. Plastik atıkların çevre dostu bir şekilde imha edilmesi konusunda destek verilebileceği de bildirilmiştir. Ayrıca Almanya, kendi sınırları içinde de plastik atıklar ile mücadeleyi arttırmak istemekte; bu amaçla plastik atıkların azaltılması için beş maddelik bir eylem planı hazırlamıştır. Eylem planı, plastik atık miktarını azaltmayı ve geri dönüşümünü artırmayı hedeflemektedir. Ancak Avrupa Birliği'nin tek kullanımlık plastik ürünlere ilişkin yasak dışında bağlayıcılığı henüz bulunmamaktadır.

- Almanya, Avrupa Birliği'nin plastik tabak, pipet, kulak çöpu gibi tek kullanımlık plastik ürünlere koyduğu yasağı desteklemektedir.
- Federal Çevre Bakanlığı, piyasadaki şirketleri gereksiz ambalaj kullanılmaması konusunda ikna etmeyi hedeflemektedir.
- Su tüketiminde pet şişe oranının düşürülebilmesi için, Almanya'daki şehirlerde herkesin kendi şişesini doldurabileceği çeşme ve içme suyu istasyonlarının artırılması istenmektedir.
- Ürünlerinde atık maddelerin yeniden değerlendirilmesi ile kazanılan malzeme veya geri dönüşümü kolay ambalaj maddesi kullanan üreticilere mükâfat sisteminin getirilmesi planlanmaktadır.
- Atık maddelerin yeniden değerlendirilmesi ile yapılan üretimin kamu yatırımları ile de desteklenmesi, plastik atıkların biyo çöpten ayrı tutulması istenmektedir.

8.2.3.3 Afrika ve Asya'da Plastik Ürünlerin Yasaklanması

Afrika Ruanda'da plastik poşetlerin kullanımı 10 yıldır yasaklanmıştır. Ağır cezalar ve sıkı kontrollerle plastik poşet kullanımı yasaklanmıştır. Kenya ve Güney Afrika'da da plastik poşet yasaklanmıştır. Bangladeş'de ise plastik poşet yasağının ardından atık sorununda bir rahatlama gözlemlense de, bu sefer plastik poşetler için bir karaborsa ortaya çıkmıştır (Deutsche Welle, 2018).

8.2.3.4 Plastik Poşet Kullanımını Yasaklayan Ülkeler

Tablo 15. Plastik Poşet Kullanım Yasağının Uygulandığı Ülkeler

Ülke	Açıklama
Amerika Birleşik Devletleri	Plastik alışveriş poşetlerinin kullanım yasağı ilk olarak Kaliforniya eyaletinin San Francisco şehrinde bulunan seçkin mağazalarda başlanmıştır. Kuzey Carolina sahillerinde, Portland şehrinde de benzer yasaklar uygulanmaya başlamıştır.
İngiltere	2007 yılında İngiltere'nin Modbury şehrinde plastik poşet kullanımı yasaklanmıştır. Her yıl 13 milyara yakın plastik poşetin kullanıldığı İngiltere'de bu yasakla birlikte atık plastik poşet miktarı azaltılmaya çalışılmaktadır. Müşteriler alışverişe giderken yanlarında bez, kağıt, file gibi taşıma çantaları götürmektedir.
Meksika	Meksika'nın başkenti ve en büyük şehri olan Meksiko'da da bu yasağa uyulmaktadır.
Hindistan	Hindistan, bu yasağa uyan ülkelerin başını çekmektedir. Delhi, Mumbai, Karwar, Tirumala, Vasco, Rajasthan gibi şehirlerde bu yasağa uyulmaktadır.
Myanmar (Burma)	Resmî adıyla Myanmar Birliği Cumhuriyeti olan ülke de bu yasağı uygulayanlar arasındadır.
Bangladeş	Bangladeş'in 1988 ve 1998 sel felaketlerinden sorumlu tuttuğu plastik poşetler Bangladeş'te 2002 yılından bu yana kullanılmamaktadır. Plastik poşetler drenaj sistemini tıkadığı için büyük sel felaketlerine sebep olabilmektedir.
Ruanda	Afrika kıtasında yer alan bu ülkede uzun süredir plastik poşet kullanılmıyor. Dünyadaki en temiz ülkelerden biri olarak bilinmektedir.
Avustralya	Her yıl yaklaşık 6.7 milyar atık plastik poşetin çıktığı düşünülen Avustralya'da plastik poşet kullanım yasağı ilk olarak Sidney kentinde uygulanmaya başlandı.
İstanbul	2010 yılının mart ayında Kadıköy ilçesinde plastik poşet kullanımının yasaklandığı bildirilmiştir.
Fas	Amerika'dan sonra plastik poşet kullanımının en yaygın görüldüğü ülkelerden biridir. Halk bu yasağa başta tepki göstermiştir.
Eritre	Doğu Afrika'nın kuzeyinde yer alan bu ülkede 2005 yılında konulan yasa ile ülkedeki çoğu mağaza ve markette plastik poşet kullanımı yasaklanmıştır.

9 DEĞERLENDİRME

Küresel boyuttaki başlıca sorunlardan birisi azalan su kaynaklarıdır. Su kaynaklarının giderek azalmasının yanında her gün bu kaynaklara ulaşan milyonlarca plastik atığın oluşturduğu kirlilik sucul çevreyi ve insan sağlığını ciddi boyutta tehdit etmektedir.

Denizlere ve nihayetinde okyanuslara karışan plastiklerin büyük bir kısmının karadan gelen büyük plastiklerden kaynaklandığı görülmektedir. Büyük plastik atıklar rüzgârlar ve ultraviyole ışınların etkisiyle mikroplastiklere bölünerek nehirler ile göllere ve oradan denizlere ulaşmaktadır. Deniz ortamında su yüzeyinde, su kolonunda, sedimentte ve balıklarda gerçekleştirilen çalışmalarda mikroplastik kirliliği tespit edilmiştir. Deniz canlılarının mikro ve nanoplastikleri tüketimi neticesinde de besin zincirine karışmaktadır. Deniz canlıları üzerinde yapılan çalışmalarda balıkların mide ve bağırsaklarında mikroplastik tespit edilmiş, ancak balıklarda doku örneklemesine ilişkin yeterli çalışma gerçekleştirilmediği görülmüştür. Sonuç olarak, denize atılan milyonlarca ton plastiğin oluşturduğu kirlilik onları bünyelerine alan deniz canlılarını ve bu canlıları tüketen insanların sağlığını tehdit etmektedir.

Ülkemiz denizlerinde, içme suyu kaynaklarında ve gıda maddelerinde mikroplastik mevcudiyetinin değerlendirilmesine ilişkin çalışmalar son yıllarda artmakta olup, bu mikroplastiklerin ve mikroplastik kaynaklı tehlikeli maddelerin sucul organizmalar ve insan sağlığını ne derece etkilediğine dair yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bugüne kadar yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalar incelendiğinde mikroplastiklerin insan sağlığı üzerinde direkt olarak olumsuz etkisi bulunmamakla beraber mikroplastiklerin yapısında bulunan veya yüzeyinde tutunan BPA, Fitalatlar, DDT, PAH'lar, PCB'ler gibi tehlikeli maddeler sebebiyle insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebileceği değerlendirilmiştir.

Mikroplastikler ulusal ve uluslararası mevzuat açısından da incelenmiş olup mikroplastiklerin uluslararası kabul görmüş bir tanımı yapılmamıştır. Mikroplastiklerin tespitinde karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilebilmesi için uluslararası standartlarda kabul edilmiş bir analiz yöntemi de bulunmamaktadır. Bununla beraber, mikroplastik için "5 mm'den küçük plastik parçacıklar" tanımı kullanılmakta olup, mikroplastik analizinde yaygın olan organik ve inorganik maddeler numune içerisinden uzaklaştırdıktan sonra mikroskopik sayım metodu veya spektroskopik yöntem ile tespit edilmektedir.

Ulusal ve uluslararası mevzuat arıtma yöntemleri açısından incelenmiş olup mikroplastikler ile ilgili sınır değeri ve arıtımı ile ilgili yasal zorunluluk mevcut olmadığından arıtma tesisleri mikroplastik giderimi için dizayn edilmemiştir. Ancak birçok ileri arıtma yönteminin mikroplastik gideriminde etkili olduğu görülmektedir. Ülke genelinde su kaynaklarımızda mikroplastik giderimi sağlayan arıtma proseslerinin değerlendirilmesi için uluslararası standart yöntemlerle düzenli analizler yapılarak küçük ve büyük ölçekte pilot çalışmalar gerçekleştirilmesi ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar neticesinde mevcut sisteme ilave edilecek ileri arıtma prosesleri detaylıca değerlendirilmesi gerekmektedir. Atıksu arıtma tesislerinde çıkan çamurların içerisinde biriken mikroplastiklerin su kaynaklarımızı kirletmesini önlemek için düzenli bir atık yönetimi uygulamak gerekmektedir. Düzenli bertaraf edilmeyen arıtma çamurları yağmur ve rüzgarlarla yüzey akışına geçerek su kaynaklarını kirletmektedir.

Yapılan değerlendirmeler doğrultusunda, sucul ekosistemin ve nihayetinde insan sağlığının mikroplastik kirliliğinden ne derece etkilendiği ve gün geçtikçe daha ciddi tehlike altında olacağı öngörülmektedir. Günümüzde artık plastikleri üretimleri noktasında bir tür kirletici olarak düşünmek ve mikroplastiklerin çevre ile insan sağlığı üzerindeki etkileri göz önüne alınarak yönetmek gerektiği ortaya konulmuştur.

10 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, su kaynaklarımız dahil sucul ekosistemin, denizlerde yaşayan tüm canlıların ve nihayetinde insan sağlığının mikroplastik kirliliğinden ne derece etkilendiği ve gün geçtikçe daha ciddi tehlike altında olacağımız görülmektedir.

Türkiye'deki mikroplastiklerin özellikle insan sağlığına olumsuz etkilerinin ortaya konulması için mikroplastik kirliliğinin mevcut durumunun tespit edilmesi gerekmektedir. Bu veriler doğrultusunda;

- İlk olarak ulusal ve uluslararası alanda bir mikroplastik tanımı ortaya konulması,
- Mikroplastiklerin kaynakları, kara ortamında, sucul ortamda ve atmosferde taşınım mekanizmaları, taşınım mesafeleri ve nihai birikim noktalarındaki durumlarının detaylı çalışmalarla belirlenmesi,
- Mikroplastiklerin mevcut durumuna ilişkin doğru ve karşılaştırılabilir tespitler yapılabilmesi için standart, güvenilir ve sürdürülebilir bir analiz yöntemi geliştirilmesi,
- Mikroplastik kirliliğinden etkilenen alanlarda (denizler, nehirler, göller vb.) su kaynaklarında uzun dönem izleme çalışmaları yapılması,
- İnsanların tükettiği mikroplastik kirliliğinden etkilenen tüm gıda ürünlerinde (balık, tuz, şeker, ambalajlı ürünler, su vb) uzun süreli ve belirli sıklıkta izleme çalışmaları yapılması,
- Mikroplastik kirliliğine maruz kalan canlılar üzerinde uzun dönem izleme çalışmaları yapılması,
- Canlılar üzerinde daha fazla toksikolojik çalışmalar yapılarak sağlığımızı etkileyen toksik miktarın limit değerinin belirlenmesi,
- İçme suyu amaçlı kullanılan su kaynaklarında mikroplastik parametresine ilişkin düzenli izleme yapılması,
- Laboratuvar çalışmaları ile insanlar üzerinde akut ve kronik etkisi olan mikroplastik miktarı belirlenmesi, bu veriler kullanılarak ülkemizde su kaynaklarına ilişkin arıtılabilirlik durumuna göre içme suyu arıtma sınıfı limit değerleri belirlenerek yasal mevzuatta düzenleme yapılması,
- Atıksu arıtma tesislerinin mikroplastikleri arıtılabilirlik durumları değerlendirilmesi,
- Atıksu arıtma tesislerinde giderilen mikroplastiklerin su kaynaklarımıza ulaşmaması için arıtmadan çıkan çamurlara ilişkin düzenli atık yönetimi uygulanması önerilmektedir.

- Mikroplastik kirliliği ile mücadele etmek için öncelikli olarak plastikleri kaynağında azaltma yoluna gidilmesi faydalı olacaktır. Bu kapsamda;
 - ✓ Mikroplastik içeren kişisel bakım ürünleri, diş macunları, peeling ürünleri, deterjanlar vb. gibi ürünlerde üretimde kullanılan mikroplastik miktarları kontrol edilmeli ve muadilleri ile değiştirilmesi,
 - ✓ Gıda ürünlerinin ambalajlanmasında plastik kullanımı sınırlandırılması ve cam, kağıt ambalaj kullanımı teşvik edilmesi,
 - ✓ Sentetik tekstil ürünlerinin üretimi/kullanımı sınırlandırılması,
 - ✓ Gereksiz ambalaj kullanımından kaçınılması, plastik ambalajlı ürünler satın alınması caydırılması,
 - ✓ Plastik kullanımının zaruri olduğu durumlarda etkin bir atık toplama ve geri dönüşüm sistemi kurulması,
 - ✓ Plastik atığını azaltacak sürdürülebilir teknolojilere daha çok yatırım yapılması,
 - ✓ Tek kullanımlık plastik ürünlerin satışı sınırlandırılması ve atık üretimini azaltmayı hedefleyen üreticiye vergi azaltımı/ muafiyeti gibi teşvikler verilmesi,
 - ✓ Biyoçözünür olmayan plastik malzeme üretiminden kaçınılması, bunun yerine çevre dostu bakteriler ve enzimler tarafından biyolojik olarak çözünebilir plastik ürünler ve/veya geri dönüştürülmüş ürünlerin üretimi teşvik edilmesi önerilmektedir.
 - ✓ Bu doğrultuda, kurumlar ve üreticiler tarafından mikroplastik ve plastik kullanımının kısıtlanması konusunda yasal düzenlemeler yapılması gerekmektedir.

Ülkemizde mikroplastik kirliliğinin mevcut durumunu belirlemek amacıyla pilot bir havza veya deniz ortamı seçilerek; mikroplastiklerin ve plastiklerin kaynakları, kullanım miktarı envanterleri, oluşum ve taşınım mekanizmaları, çevre ile insan sağlığına etkilerinin, biyobirikimlerinin detaylıca araştırılması gerekmektedir.

Özellikle yüzme suyu bölgelerinde ve mavi bayraklı plajlarda izleme çalışmaları yapılarak “mikroplastiksiz plajlar” belirlenmesi önerilmektedir. Ülkemizde turizm gelirlerine katma değer sağlayacak çevre dostu plajlarımız ön plana çıkartılması faydalı olacaktır.

Mikroplastiklerin su kaynaklarına ulaşması ile besin zinciri yoluyla çevre ve insan sağlığı için tehdit oluşturduğu dikkate alınarak plastik kullanımı konusunda basın yayın yoluyla farkındalığın artırılması ve kamunun bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- AÇA. (2018). *Yakın inceleme - Bir plastik okyanusu*. Erişim tarihi 18.01.2019, <https://www.eea.europa.eu/tr/isaretler/aca-isaretler-2018/makaleler/yakin-inceleme-2014-bir-plastik-okyanusu>.
- AISE, CIRFS, EOG, EUROTEx & FESI. (2017). *Cross Industry Agreement for the prevention of microplastic release into the aquatic environment during the washing of synthetic textiles*. Brüksel.
- Akarsu, C., Kıdeyş, A. E., & Kumbur, H. (2017). Evsel atık su arıtma tesislerinin sucul ekosisteme mikroplastik tehdidi. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 73-78.
- Andırıcı, Y. (2014, Mayıs). Membran Ayırma Tekniği ile İçme Suyu Elde Edilmesi. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Avrupa Komisyonu. (2018). *A European Strategy for Plastics in a Circular Economy, Communication from The Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*. Brüksel: COM (2018) 28 final.
- Avrupa Komisyonu. (2018, Ocak 16). *Plastic Waste: a European strategy to protect the planet, defend our citizens and empower our industries*. [Basın Açıklaması] Erişim tarihi 18.01.2019, http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-5_en.htm.
- Avrupa Komisyonu. (2018, Mayıs 29). *Tek kullanımlık plastikler: AB'den deniz atıklarını azaltacak yeni kurallar*. [Basın Açıklaması] Erişim tarihi 18.01.2019, <https://www.avrupa.info.tr/tr/eeas-news/tek-kullanimlik-plastikler-abden-deniz-atiklarini-azaltacak-yeni-kurallar-7685>.
- Baalkhuyur, F., Dohaish, E., Elhalwagy, M., Alikunhi, N., AlSuwailem, A., Røstad, A., . . . Duarte, C. (2018). Microplastic in the gastrointestinal tract of fishes along the Saudi Arabian Red Sea coast. *Marine Pollution Bulletin*, 407-415.
- Baresel, C. (2017). *Removal of Micropollutants in Wastewater Treatment Plants-Everything You Need To Know About Resource-Efficient Removal of Micropollutants*. IVL Swedish Environmental Research, KTH, Swedish Agency for Marine and Water Management.
- Bessa, F., Barría, P., Neto, J., Frias, J., Otero, V., Sobral, P., & Marques, J. (2018). Occurrence of microplastics in commercial fish from a natural estuarine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 575-584.

- Bouwmeester, H., Hollman, P. C. H., & Peters, R. J. B. (2015). Potential Health Impact of Environmentally Released Micro- and Nanoplastics in the Human Food Production Chain: Experiences from Nanotoxicology. *Environmental Science & Technology*, 49 (15), 8932-8947.
- Carberya, M., O'Connorb, W., & Thavamania, P. (2018). Trophic transfer of micoplastics and mixed contaminants in the marine food web implications for human health. *Environmental International*, 400-409.
- Carr, S., Liu, J., & Tesoro, A. (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plant. *Water Research*, 174-182.
- Cebeci, M. (2017). Mikroplastiklerin Sucul Ortamdaki Etkileri. *19. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu*. Sinop: Sinop Üniversitesi.
- Compa, M., Ventero, A., Iglesias, M., & Deudero, S. (2018). Ingestion of microplastics and natural fibres in *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) and *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) along the Spanish Mediterranean coast. *Marine Pollution Bulletin*, 89-96.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2019). Plastik poşetlerin ücretlendirilmesine ilişkin usul ve esaslar. Erişim Tarihi: 18.01.2019, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/plasposetuerev2019010920190109144024.pdf>
- Deutsche Welle. (2018). Almanya plastik atıklara savaş açtı. Erişim tarihi 18.01.2019, <https://p.dw.com/p/38xNC>.
- Deutsche Welle (2018, Ekim 23). Mikroplastikler artık insan vücudunda. Erişim tarihi 18.01.2019, <https://p.dw.com/p/3738r>.
- Deutsche Welle (2017, Aralık 12). Okyanuslardaki plastik kirliliğinden sorumlu 10 nehir Erişim tarihi 20.11.2018, <https://p.dw.com/p/2oaYj>
- Deutsche Welle. (2018). Avrupa'da tek kullanımlık plastik ürünler yasaklanıyor. Erişim tarihi 18.01.2019, <https://p.dw.com/p/377Xp>.
- Directive, S. F. (2013). Guidance on monitoring of marine litter in European Seas, . Luxembourg: Publications Office of the European Union, doi:10.2788/99475.
- Environmental Audit Community. (2016). *Environmental impact of microplastics*. Londra: House of Commons. Erişim Tarihi: 18.01.2019, <https://publications.parliament.uk/pa/cm201617/cmselect/cmenvaud/179/179.pdf>
- EPA. (2016). *State of the Science White Paper, A Summary of Literature on the Chemical Toxicity of Plastics Pollution to Aquatic Life and Aquatic-Dependent Wildlife*.

- Evcin, A. (2017). *Polimer Malzemeler*. Erişim tarihi 18.01.2019, <http://blog.aku.edu.tr/evcin/files/2017/05/10-polimer-uygulamalar%C4%B1-polimer-borular.pdf>
- Fries, E., Dekiff, J.H., Willmeyer, J., Nuelle, M.T., Ebert, M., Remy, D. (2013). Identification of polymer types and additives in marine microplastic particles using pyrolysis-GC/MS and scanning electron microscopy. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 15, 1949-1956. doi: 10.1039/c3em00214d.
- GESAMP (2015). "Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment" (Kershaw, P. J., ed.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p.
- GESAMP, (2016). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment. (Kershaw, P.J. & Rochman, C.M., eds). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 93, 220 pp.
- Gündoğdu, S. (2018). Plastik Kirliliği ve Etkileri. Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Fakültesi. Erişim Tarihi: 18.01.2019, <http://aves.cu.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=1&USER=2368>
- Gündoğdu, S. (2018) Contamination of table salts from Turkey with microplastics, *Food Additives & Contaminants: Part A*, 35:5, 1006-1014, doi: 10.1080/19440049.2018.1447694
- Güven, O., Gökdağ , K., Jovanovic, B., & Kıdeyş, A. E. (2017). Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of theMediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish. *Environmental Pollution*, 286-294.
- Halstead, J., Smith, J., Carter, E., Lay, P., & Johnston, E. (2018). Assessment tools for microplastics and natural fibres ingested by fish in an urbanised estuary. *Environmental Pollution*, 552-561.
- İñiguez, M., Conesa, J., & Fullana , A. (2017). *Microplastics in Spanish Table Salt. Scientific Reports, Nature Research*.
- Jiang, J.-Q. (2018). Occurrence of microplastics and its pollution in the environment: A review. *Sustainable Production and Consumption* , 16-23.

- Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C., Larat, V., Galloway, T., & Salamatina, B. (2017). The presence of microplastics in commercial salts from different countries. *Scientific Reports*, 7, 46173.
- Karbalaei, S., Hanachi, P., Walker, T., & Cole, M. (2018). Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution. *Environmental Science and Pollution Research*. 25: 36046. doi: 10.1007/s11356-018-3508-7.
- Kentin, E., & Kaarto, H. (2018). An EU ban on microplastics in cosmetic products and the right to regulate. *RECIEL, Review of European, Comparative & International Environmental Law*, 254-266.
- Kershaw, D. (2016). *Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change*. Technical Report. United Nations Environment Programme (UNEP). doi: 10.13140/RG.2.2.30493.51687
- Kıdeyş, A. E. (2018). Su Kaynaklarındaki Mikroplastikler ve Ekotoksikolojik Etkileri. Sunum. Antalya: Türkiye’de Göl ve Sulak Alan Yönetimindeki Problemler ve Çözüm Önerileri Konulu Hizmet İçi Eğitim.
- Kıdeyş, A. E. (2018). *Türkiye’nin Akdeniz Sahillerinde Mikro-Plastik Kompozisyonu ve Miktarının Belirlenmesi; Mikro- Plastiklerin Deniz Ürünlerinde Olası Biyolojik Birikimi*. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü.
- Kıdeyş, A. E., Güven, O., Gökdağ, K., Karakoç, F. T., Karakulak, S., Yüksek, A., . . . Beken, Ç. (2016). 2016 Yazında Türkiye Denizlerinden, Su Yüzeyinde, Su Kolonunda, Sedimanda ve Balık Mide/Bağırsaklarında Mikroplastik Analizinin Ön Sonuçları. *I. Ulusal Denizlerde İzleme ve Değerlendirme Sempozyumu*, (s. 74-75).
- KIDEYŞ, A. E. (2017). "ODTÜ - Deniz Bilimleri Enstitüsünde deniz atıkları/mikroplastik araştırmaları ve ilköğretime yönelik “Denizimi Tanıyorum Koruyorum Eğitimi”. 5. *Plaj Mavi Bayrak Temsilcisi Eğitim Programı*. Antalya.
- Kılınç, M., Tomar, O., & Çağlar, A. (2017). Biyobozunur Gıda Ambalaj Malzemeleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 988-996.
- Kosuth, M., Mason, S., & Wattenberg, E. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PloS one*, 13(4), e0194970. doi: 10.1371/journal.pone.0194970
- Lambert, S., & Wagner, M. (2018). Microplastics Are Contaminants of Emerging Concern in Freshwater Environments: An Overview. M. Wagler içinde, *The Handbook of Environmental Chemistry* 58. Springer Cham.

- Li, J., Liu, H., & Chen, P. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, 362-374.
- Liebezeit, G., & Liebezeit, E. (2013). Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 2136-2140.
- Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza-Hill, J. (2017). *Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, (615).
- Li, H.-X., Ma, L.-S., Lin, L., Ni, Z.-X., Xu, X.-R., Shi, H.-H., . . . Rittschof, D. (2018). Microplastics in oysters *Saccostrea cucullata* along the Pearl River Estuary, China. *Environmental Pollution*, 619-625.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2007). *Water reuse: Issues, technologies, and applications*. New York: McGraw-Hill Professional. doi: 10.1590/S1413-41522008000300001.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse. Fourth Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Oladejo, A. (2017, 3 15). Analysis of microplastics and their removal from water. Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. Bachelor Thesis.
- ODTÜ (2017). *Denizimi Tanyorum Koruyorum: Uygulamalı Deniz Bilimleri Eğitim Kitapçığı*. Mersin, Türkiye.
- Öztürk, İ., Timur, H., & Koşkan, U. (2005). *Atıksu Arıtımının Esasları. Evsel, Endüstriyel Atık su Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü*. Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı.
- Perren, W., Wojtasik, A., & Cai, Q. (2018). Removal of Microbeads from Wastewater Using Electrocoagulation. *American Chemical Society Omega*, 3357-3364.
- Peker, F. (2015). İzomerize Şeker Şurubunda Benzetimli Hareketli Yatak Teknolojisi ile Fruktozun Kromatografik Zenginleştirilmesi (Yüksek Lisans Tezi). Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Erişim tarihi: 29.03.2019, <http://www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080/xmlui/handle/11655/2813?show=full>
- Plastics Europe. (2017). *Plastics – the Facts 2017. An analysis of European plastics production, demand and waste data*. Brüksel.
- Rist, S., Almroth, B. C., Hartmann, N. B., & Karlsson, T. M. (2018). A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. *Science of The Total Environment*, 626, 720-726.
- SAM. (2018). *Microplastic Pollution: The Policy Context - Background Paper*. The Scientific Advice Mechanism Unit of the European Commission, 68 p. doi: 10.2777/998601.

- Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.-U., & Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, 154-162.
- Smith, M., Love, D.C., Rochman, C. M., & Roni, N. (2018). Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Current Environmental Health Reports*, 5(3):375-386. doi: 10.1007/s40572-018-0206-z.
- Sundin, A. M., Linderholm, L., Hedlund, B., Joyce, K. B., & Klingspor, K. (2017). *Advanced wastewater treatment for separation and removal of pharmaceutical residues and other hazardous substances - Needs, technologies and impacts. A government-commissioned report*. Swedish Environmental Protection Agency. Report 6803.
- SYGM-MWH. (2017). *Türkiye'de İçme Suyu Kaynaklarının ve Arıtma Tesislerinin Değerlendirilmesi için Teknik Destek Projesi, İçme Suyu Arıtma Yöntemleri ve Kimyasalları Raporu*. Ankara: Tarım ve Orman Bakanlığı.
- Talvitie, J., & Heinonen, M. (2014). *Preliminary study on synthetic microfibers and particles at a municipal waste water treatment plant*. Petersburg: Baltic Marine Environmental Protection Commission, HELCOM.
- Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., & Setälä, O. (2017). Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water Research*, 401-407.
- Tokaç, A. (2018, 05 17). Denizel çevrede plastik kirliliği birikimi, sosyo-ekonomik ve ekolojik açıdan incelenmesi. İzmir: *Perşembe Seminerleri*. doi: 10.13140/RG.2.2.18422.91207
- TÜBİTAK MAM-ÇŞB. (2017). *Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı 2014-2016 Yılı Marmara Denizi Özet Raporu, Rapor No.5148704 (ÇTÜE.16.330)*. Ankara.
- TÜBİTAK MAM-ÇŞB. (2017). *Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı 2014-2016 Yılı Akdeniz Özet Raporu, Rapor No. 5148704 (ÇTÜE.16.332)*. Ankara.
- TÜBİTAK MAM-ÇŞB. (2017). *Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı 2014-2016 Yılı Ege Denizi Özet Raporu, Rapor No.5148704 (ÇTÜE.16.331)*. Ankara.
- TÜBİTAK MAM-ÇŞB. (2017). *Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı 2014-2016 Yılı Karadeniz Özet Raporu, Rapor No.5148704 (ÇTÜE.16.329)*. Ankara.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. (2016). *Kontrollü Salınan Gübrelerin Elde Edilmesi ve Etkilerinin 15N Tekniği Kullanarak Saptanması*. Ankara: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu.

- Venghaus, D. & Barjenbruch M. (2017). Microplastics in Urban Water Management. *Technical Transactions*, 137-146. doi: 10.4467/2353737XCT.17.011.6108.
- Verschoor, A. (2015). *Towards a definition of microplastics: Considerations for the specification of physico-chemical properties*. National Institute for Public Health and the Environment .
- Wang, W., Wang, J. (2018). Different partition of polycyclic aromatic hydrocarbon on environmental particulates in freshwater: Microplastics in comparison to natural sediment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 68-655.
- Wu, C., Zhang, K., & Xiong, X. (2018). Microplastic Pollution in Inland Waters Focusing on Asia. M. Wagner, & S. Lambert içinde, *Freshwater Microplastics: Emerging Environmental Contaminants*, 85-99). Springer Open.
- Wu, W. M., Yang, J., & Criddle, C. (2017). Microplastics pollution and reduction strategies. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11(1), 6.
- WWF. (2018). *Plastik Kapanından Çıkış, Akdeniz'i Plastik Kirliliğinden Kurtarmak*. Dünya Doğayı Koruma Vakfı.
- Wright, S., & Kelly, F.J. (2017). Plastic and Human Health: A Micro Issue?. *Environmental Science & Technology*, 51, 6634–6647. doi: 10.1021/acs.est.7b00423.
- Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., & Kollandhasamy, P. (2015). Microplastic Pollution in Table Salts from China. *Environmental Science & Technology*, 49 (22), 13622–13627.
- Yurtsever, M. (2015). Mikroplastiklere Genel Bir Bakış. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17 (50), 68-83. Erişim tarihi: 18.01.2019, <http://dergipark.gov.tr/deumffmd/issue/40786/492038>.
- Yurtsever, M. (2018). Abiyotik bir su ürünü olan sofrta tuzunda mikroplastik kirliliği tehlikesi. *Su Ürünleri Dergisi*, 243-249.
- Yurtsever, M., Ünlü, Y., Yılmaz, M., & Kartal, A. (2017). İç ve Dış Ortam Havasındaki Mikroplastiklerin İncelenmesi: Bir Kampüs Örneği. *13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*. İzmir: Makina Mühendisleri Odası.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nilüfer TUTOĞLU
Doğum Yeri : Bursa
Doğum Tarihi : 03.11.1981
Medeni Hali : Bekar

Eğitim Durumu

Lisans : Marmara Üniversitesi
Çevre Mühendisliği Bölümü (2007)

İş Tecrübesi

2007 – 2009 : Hidrotek Arıtma İnşaat San. Ve Tic. Ltd Şti, İstanbul
Çevre Mühendisi

2009 – 2010 : Elinsan Çevre Teknolojileri A.Ş., Bursa
Çevre Mühendisi

2010 – 2011 : Çevre Yapı Arıtma Sistemleri Ltd. Şti., Bursa
Çevre Mühendisi

2015 – Halen : Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara
Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
Uzman Yardımcısı