

**Kentsel Atıksu Arıtma Tesisinde ve Besin Zincirinde  
Mikroplastikler'in İncelenmesi ve Karakterizasyonu**

**Program Kodu: 3001**

**Proje No: 115Y112**

Proje Yürütücüsü:  
**Yrd. Doç. Dr. Meral YURTSEVER**

Araştırmacı:  
Dr. Ahmet Ali BERBER

## **Önsöz**

115Y112 numaralı “Kentsel Atıksu Arıtma Tesisinde ve Besin Zincirinde Mikroplastiklerin İncelenmesi ve Karakterizasyonu” başlıklı proje, 3001- Başlangıç Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## İçindekiler

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ.....</b>	<b>3</b>
2.1 MİKROPLASTİKLER'İN FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ.....	4
2.1.1 Mikroplastikler'in Ekotoksikolojik Etkileri.....	5
2.2 MİKROPLASTİKLER'İN KAYNAKLARI.....	7
2.2.1 Arıtma Tesislerine Gelen Mikroplastiklerin Önemli Kaynakları.....	8
2.3 MİKROPLASTİKLER'İN ŞEKİLLERİ.....	10
2.4 MİKROPLASTİKLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	11
2.5 ROTİFERLER.....	14
<b>3. GEREÇ VE YÖNTEM.....</b>	<b>18</b>
3.1 TESİS ÖZELLİKLERİ VE NUMUNELER.....	18
3.2 MİKROPLASTİK AYIRMA VE BELİRLEME.....	20
3.3 METOT GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI.....	21
3.4 LABORATUVAR ORTAMI, KULLANILAN CİHAZLAR VE EKİPMANLAR.....	22
3.5 ROTİFERLER.....	23
3.5.1 Doz seçimi.....	24
3.5.2 Akut toksisite testi protokolü.....	24
3.5.3 Sonuçların değerlendirilmesi.....	27
3.5.4 Brachionus plicatilis ile üreme ve gelişim testi.....	27
3.5.5 Sonuçların Değerlendirilmesi ve İstatistik.....	28
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>29</b>
4.1 ATIKSUDAKİ MİKROPLASTİKLER'İN İNCELENMESİ.....	29
4.2 MİKROPLASTİKLER'İN İNCELENMESİ İÇİN METOT GELİŞTİRME.....	33
4.2.1 Koagülant madde- Mikroplastikler.....	33
4.2.2 Yağ- Mikroplastikler.....	35
4.3 ROTİFERLER.....	36
4.3.1 Akut toksisite testi.....	36
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....</b>	<b>45</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>48</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>55</b>
EK 1.....	55
EK 2.....	55
EK3.....	55

## Tablolar Listesi

Tablo 1. Plastik reçine tanımlama ve geri dönüşüm kodları .....	12
Tablo 2. Plastik çeşitleri.....	13
Tablo 3. Standart deniz suyu hazırlama protokolü .....	28
Tablo 4. Rastgele karede sayım.....	29
Tablo 5. AATesisinde farklı kademelerde rastlanan mikroplastiklerin bazı görüntüleri .....	30
Tablo 6. Çeşitli mikroplastiklerin SEM görüntüleri .....	31
Tablo 7. AAT numuneleri, yapılan işlemler ve sonuçlar .....	31
Tablo 8. Mikroplastik ayırma deneyleri.....	36
Tablo 9. Polietilen mikroküreler ile akut toksisite testi sonuçları .....	36
Tablo 10. <i>Brachionus plicatilis</i> 'e ait 5 günlük üreme sonuçları.....	37
Tablo 11. <i>Brachionus plicatilis</i> 'in vücut uzunluk ve genişlik ölçümleri .....	43

## Şekiller listesi

Şekil 1. Subtropikal kıvrımında rastlanan makro-mikroplastikler .....	4
Şekil 2. Kirleticilerin kokteyli .....	7
Şekil 3. Tuna nehrindeki plastik çöpler .....	8
Şekil 4. Arıtma tesislerinde ıslak mendil problemi .....	9
Şekil 5. <i>Brachionus plicatilis</i> 'in genel görüntüsü .....	15
Şekil 6. Rotifer'in yaşam döngüsü .....	16
Şekil 7. Sakarya Karaman Atıksu Arıtma Tesisi .....	18
Şekil 8. Sakarya Karaman Atıksu Arıtma Tesisi proses akış şeması .....	19
Şekil 9. Mikroplastik inceleme çalışmaları için iş akış şeması .....	21
Şekil 10. Aktif çamurda en çok rastlanan rotiferler ve balık yemi olarak kullanılan <i>Brachionus plicatilis</i> .....	24
Şekil 11. Standart deniz suyunun hazırlanması .....	25
Şekil 12. Rotifer yumurtalarının çıkışı .....	26
Şekil 13. Rotiferlerin test kuyucuklarına transferi .....	26
Şekil 14. Ölüm oranının kaydedildiği kayıt sayfası örneği .....	27
Şekil 15. Kişisel bakım ve temizlik ürünlerindeki mikroplastik görüntüleri .....	33
Şekil 16. Atıksudaki PVC mikroplastiklerin çökmesine FeCl <sub>3</sub> 'ün etkisi .....	34
Şekil 17. Atıksudaki PVC mikroplastiklerin çökmesine Alum'un etkisi .....	34
Şekil 18. Üreme yoğunluğunun günlere bağlı olarak uygulama dozlarına göre değişimi .....	38
Şekil 19. Birinci gün sonunda elde edilen üreme yoğunluğu verilerinin doza bağlı olarak korelasyonu .....	38
Şekil 20. İkinci gün sonunda elde edilen üreme yoğunluğu verilerinin doza bağlı olarak korelasyonu .....	39
Şekil 21. Üçüncü gün sonunda elde edilen üreme yoğunluğu verilerinin doza bağlı olarak korelasyonu .....	39
Şekil 22. Dördüncü gün sonunda elde edilen üreme yoğunluğu verilerinin doza bağlı olarak korelasyonu .....	40
Şekil 23. Beşinci gün sonunda elde edilen üreme yoğunluğu verilerinin doza bağlı olarak korelasyonu .....	40
Şekil 24. <i>Brachionus plicatilis</i> 'in vücut uzunluk ve genişliğinin ölçümü .....	41
Şekil 25. Uygulama dozlarının <i>Brachionus plicatilis</i> 'in vücut genişliği üzerine etkisi .....	42
Şekil 26. Uygulama dozlarının <i>Brachionus plicatilis</i> 'in vücut uzunluğu üzerine etkisi .....	42

## Özet

Bir plastik, antropojenik faaliyetler ve çevresel olaylarla (rüzgâr, UV ışını veya dalga hareketi ile) parçalanarak milyonlarca mikroplastik parçacıklarına dönüşebilmektedir. Plastiklerin, hidrofobik yüzey, yüzücülük, kirleticileri taşıma potansiyelleri, kalıcı organik kirleticileri (KOK) absorplayabilmeleri, UV foto-oksidatif parçalanma vb. gibi özelliklerinden dolayı mikroplastikler su kaynaklarında büyük tehlike haline gelmiştir. Sulardaki mikroplastikleri önce uygun çözeltilerle yoğunluklarına göre ayırıp ince elek çapındaki plankton neti gibi filtrelerle süzdükten sonra, mikroskop ile şekillerine, renklerine veya büyüklüklerine göre bir sınıflandırma yapılabilir. Mikroplastikler, mikroskop yardımıyla, Raman spektroskopisiyle, Attenuated Total Reflectance(ATR)-FT-IR) ve Taramalı Elektron mikroskobu (SEM) ile ancak karakterize edilebilirler.

Bu çalışmada, mikroplastiklerin arıtmadaki durumunu belirlemek amacıyla Sakarya Karaman Atıksu Arıtma Tesisi'nin farklı ünitelerden alınan su numunelerinde mikroplastiklerin varlığı araştırılmıştır. Ayrıca mikroplastiklerin besin zincirindeki olumsuz etkilerini incelemek amacıyla rotiferler üzerinde biyodeneyle yapılmıştır. Sonuçlar mikroplastiklerin; çevrede her yerde ve her boyutta bulunabileceğini (su, atmosfer ve toprak), özellikle küçük boyutlu (mikro, nano) olanların büyük tehlike oluşturduğunu, zor analiz edildiğini, bu konuda daha ileri tekniklerin gerektiğini ve ciddiyle dikkate alınması gereken önemli bir ekotoksikolojik kirletici olduğunu gösterir niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu; Arıtma; Ekoloji; Kirlilik; Mikroplastik; Rotifer; Su

## **Abstract**

A plastic can be turned into millions of fragments of microplastic particles by anthropogenic activities and environmental events (such as wind, UV light, the water wave action). Due to their surface hydrophobicity, buoyant, UV photo-oxidative degradation, absorb persistent organic pollutants, the potential to transport contaminants and persistent properties, microplastics have the potential to become widely dispersed in the marine environment via hydrodynamic processes and ocean currents. In order to filter and quantify the amount of plastic particles in the water mass a plankton net trawl can be used. After separation by filtration, a classification can be made according to size, colors or shapes by microscope. Microplastics can be characterized by microscope, Raman spectroscopy, ATR-FT-IR and scanning electron microscope (SEM).

This study investigated the existence of microplastics in water samples taken from various units of the Sakarta Karaman Wastewater Treatment Plant, with a view to determining how treatment fares in terms of microplastics. Furthermore, bio-experiments on rotifers were executed to review the negative effects microplastics would have on the food chain. The results reveal that microplastics can be found everywhere (water, atmosphere and soil) in the environment, at every scale (micro, nano), and that particularly the smaller ones pose a substantial hazard as well as problems in terms of analysis. It is obvious that more advanced techniques are required in this context, with a view to checking this major eco-toxic pollutant which necessitates a serious effort.

**Keywords:** Wastewater; Treatment; Ecology; Pollution; Microplastics; Rotifer; Water

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda yapılan ve henüz başlangıç niteliğinde olan çalışmalar bile mikroplastiklerin su, çevre ve canlılarda yaratabileceği çeşitli tehlikeyi kanıtlar niteliktedir. Bu sebeple mikroplastik kirliliği konusu ekolojik açıdan neredeyse çözümü imkânsız bir puzzle'a benzemeye başlamıştır. Plastikler hafiflik, esneklik, kolay işlenebilirlik, korozyona karşı dayanıklılık, iyi elektrik ve ısı yalıtkanlığı, kullanım kolaylığı ve ekonomiklik gibi sundukları pek çok avantajları nedeniyle günlük hayatımızda her alanda kullanılan polimerik maddelerdir. Tüm dünyada geçmişten geleceğe plastik tüketimine bakıldığında 1960' larda toplam 7 milyon ton olan tüketimin günümüzde yaklaşık 330 milyon ton olduğu ve 2020 yıllarında ise bu tüketim miktarının 540 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir. Toplam plastik tüketiminin günümüzden itibaren yılda yaklaşık %4-6.2 oranında artacağı tahmin edilmektedir (<http://www.pardos>, <http://www.basf.com>). Plastik hammaddeleri çeşitli ölçekteki plastik işleme fabrikalarında ergitilerek şekillendirme vb. işlemlerden sonra ürün haline getirilerek piyasaya sürülür. Kentlerde oluşan çöplerin kırsalda oluşulardan en az iki kat daha fazla olduğu bilinmektedir. Ülkelerde ekonomik büyümeye paralel olarak artan üretim ve buna bağlı tüketim ile birlikte oluşan çöpler de artmaktadır (<http://www.nature.com>).

Plastik atıkları; üretim atıkları ve tüketim atıkları olmak üzere ikiye ayırabiliriz. Fabrikalarda üretim sırasında oluşan kırpıntılar, parçalar, döküntüler ve hatalı ürünleri üretim artıkları grubunda; evsel, endüstriyel, ulaşım, tarımsal faaliyetler amacıyla kullanım sonrası oluşan plastik atıkları da tüketim atıkları olarak sayabiliriz. Sularda rastlanan mikroplastiklerden, microboncuklar (microbeads) (Rochman vd., 2015) direkt kullanım neticesinde oluşan birincil mikroplastiklerden olup; sentetik tekstil lifleri, araç lastiği döküntüleri, diğer plastik atıkları ve çevredeki plastik döküntüleri ise ikincil mikroplastikler olarak söylenebilir (Filella, 2015). ikincil mikroplastikler belli bir parçalanma-ufalanma sürecinden sonra oluşan yani dolaylı olarak oluşan mikro-nanokirleticilerdir. Bu parçalara ayrılma işlemleri antropojenik etkilerle veya doğal olarak (hava, rüzgâr, güneş (UV ışını), su etkileriyle ve biyodegradasyonla gerçekleşebilir. Durumdan da anlaşılacağı gibi ufalanarak oldukça küçük boyutlara ulaşabilen plastikler çevresel ve antropojenik olaylarla her yere taşınabilmekte; doğal su kaynaklarında (Storck vd., 2015), atıksularda ve hatta arıtılmış sularda bile büyük oranda mikroplastığe rastlanabilmektedir (Jambeck vd., 2015).

Günümüzde yıllık plastik üretimi yaklaşık 330 milyon ton iken bunun yalnızca yüzde 10' u geri dönüştürülmektedir. Tek bir plastik malzeme parçalanarak milyonlarca mikroplastik parçacıklarına dönüşebilmektedir. Mikroplastikler okyanuslarda kompleks iki-üç boyutlu fiziksel akımların etkisiyle pasif olarak yüzer. Mikroplastikler su kalitesiyle ilgili bir kirletici



olarak yaygın olarak bilinmemektedir. Marinalardan gelen plastik çöpler ve döküntüleri sürüklenerek okyanuslarda yavaş yavaş parçalanarak küçük parçacıklar halinde gelir. Bu parçacıkların çoğu su yüzeyinde yüzer fakat bir kısmı çeşitli yollarla sedimentlere kadar gidebilir. Bu parçacıklar büyüklüklerine göre nanoplastikler (bir mikrometreden küçük olanlar), mikroplastikler (yaklaşık <5 mm) ve mezoplastikler (yaklaşık > 5 mm) olmak üzere üç ana grupta kategorize edilmektedir (Ísobe vd., 2014; Andrady, 2011).

Denizlere taşınan plastik çöpler sulardaki canlıların yaralanmasına veya onlara dolaşmalarına ve onları yiyecek zannedip yiyerek ölmelerine sebep olabilir. Daha da kötüsü bu plastiklerin 5mm'den küçük parçaları olarak bilinen mikroplastiklerin çevre ve su yaşamında oluşturduğu kötü etkilerdir. Bu etkiler henüz tam olarak ortaya konulamamıştır. Plastik parçalarını yiyecek sanarak yiyen hayvanlarda oluşan tokluk hissinden dolayı plastikler; açlıktan ölüm, kilo kaybı veya ciddi sindirim problemlerine sebep olabilir. Dışkı üretme oranının tespiti hem deniz ve hem de laboratuvarında zooplankton beslenmesinin hızlı bir ölçümüdür. Bazı besin maddelerinin kendilerinden yararlanmadan tahrip edilmelerine, aşırı ve gereksiz olarak yenilip hiç sindirilmeden atılmalarına "superfluous beslenme" denilmektedir. Ayrıca istiridye, süngerler ve bazı balinalar gibi çeşitli su hayvanları, sudan küçük organizmaları veya organik partikülleri filtre gibi süzerek bünyelerinde kullanırlar. Bu tür beslenmeye ise "süzerek beslenme (filter feeding)" denir. Bu tip canlılar tarafından yutulan mikroplastikler bu iki beslenme şeklinde de olabilmektedir.

Mikroplastikler konusuna bakıldığında yapılmış çalışmaların çoğunluğunun plankton örneklerindeki mikroplastiklerin varlığı, kumlu ve çamurlu sedimentlerde mikroplastiklerin varlığı, mikroplastiklerin omurgalılar ve omurgasızlar tarafından yutulması ve kimyasal kirleticiler-mikroplastikler arası etkileşimlerin incelenmesi şeklinde olduğu görülmektedir.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Mikroplastiklerin su ve çevrede yarattığı zararlı etkiler de yeni yeni tartışılmaya ve araştırılmaya başlanmıştır. Literatüre bakıldığında bu konuda yapılan çalışmalar en fazla son birkaç yıl içerisinde yapılmaya başlanmıştır (Ryan vd., 2012; Claessens vd., 2013; Harrison vd., 2012; Frias vd., 2010). Mikro-nanoplastiklerin olumsuz etkilediği organizmalar yalnızca denizlerde ve okyanuslarda değil tatlı sularda da bulunmaktadır. Bu parçacıklar alglerin yavaş büyümesine ve su pirelerinin yapısal deformasyonuna ve küçük organizmalarla ve balıklar arasındaki iletişimi engelleyebilir. Nanoplastiklerin *Scenedesmus obliquus*' un büyümesine ve *Daphnia magna*'nın üremesine etkilerini araştırmak amacıyla yapılan bir çalışmada (Besseling vd., 2014); nano polistirenin (nano PS) yeşil alg *Scenedesmus obliquus* büyümesine ve fotosentezine etkileri ve zooplankton *Daphnia magna*'nın ölüm, yeninesil üremesi ve malformasyonları gibi etkileri incelenmiştir. Nano PS alglerdeki nüfus artışını ve klorofil konsantrasyonlarını azaltmıştır. Mikroplastığe maruz bırakılan *Daphnia*'da vücut büyüklüğünde olumsuz yönde değişimler ve üremesinde ciddi değişiklikler gözlenmiştir. Yenidoğanların sayılarında ve vücut büyüklüğünde azalmalar gözlenirken, yenidoğanlar arasında malformasyonla uğramış bireylerin sayısı % 68'e yükselmiştir. Nano-PS' nin bu etkileri, polistirenin 0.22 ve 103 mg nanoPS/L arasındaki nanoparçacıkları kullanıldığında gözlenmiştir. Malformasyonlar 30 mg nanoPS/L konsantrasyonlarından itibaren başlamıştır. Marinalardaki benzer plastik konsantrasyonları, burada tatlı su için belirtilen konsantrasyondan daha yüksektir ve çok daha yüksektir ve nihayetinde sedimentlerdeki konsantrasyonlar daha fazla olacaktır. Bu çalışma mikroplastiklerin özellikle tatlı su organizmaları üzerindeki olumsuz etkilerini anlatan ilk çalışma olarak kabul edilebilir (Besseling vd., 2014; Bhattacharya vd., 2010).

Günümüzde plastik atıkların kaynakları, sularda, doğada ve canlılar üzerindeki etkileri ve bunların çözümü konularında birçok uluslararası kurum ve kuruluş bir araya gelerek çeşitli toplantı ve çalışmalar organize etmektedir. Bu toplantılarda son yıllarda mikroplastikler ve onların etkileri de görüşülmektedir. Tüm dünyadaki okyanus kıvrımlarında, koylarda, körfezlerde ve denizlerde mikroplastik parçacıkları bulunmuş ve mikroplastik kirliliğiyle ilgili başka bir kanıt olarak; Kuzey Amerika'daki Büyük Göller bölgesinde de polietilen mikrobuncuklar dahil olmak üzere rastlanan mikroplastikler gösterilmiştir (Bknz. Şekil 1) ([http://5gyres.org/how\\_to\\_get\\_involved](http://5gyres.org/how_to_get_involved)).



5 Subtropikal kıvrım Hint Okyanusu kıvrımı Kuzey Pasifik kıvrımı Güney Pasifik kıvr. Kuzey Atlantik kıvr. Güney Atl.kıvr.

## Şekil 1. Subtropikal kıvrımında rastlanan makro-mikroplastikler

Literatürde mikroplastikler konusunda rastlanan çalışmalar sınıflandırıldığında yapılan çalışmaların çoğunluğunun plankton örneklerindeki mikroplastiklerin varlığı, kumlu ve çamurlu sedimentlerde mikroplastiklerin varlığı, mikroplastiklerin omurgalılar ve omurgasızlar tarafından yutulması ve kimyasal kirleticiler-mikroplastikler arası etkileşimlerin incelenmesi şeklinde olduğu görülmektedir (Ivar do Sul vd., 2014).

Bilim adamları son 5 yılda MP kirliliği konusuna iyice odaklanmış olup; bu kirliliğin biyotaya karşı olabilecek çeşitli ekotoksikolojik etkilerinin ortaya çıkarılmasının gerekliliğini de ortaya koymuşlardır (Cole vd., 2015; Huvet vd., 2016; Avio vd., 2016; Rochman vd., 2013a; Katsnelson, 2015).

### 2.1 Mikroplastikler'in Fizikokimyasal Özellikleri

Hidrofobik yüzeyleri olması, yüzücülük, kirleticileri taşıma potansiyelleri, PCB ve DDT gibi kalıcı organik kirleticileri (KOK' lar) absorplayabilmeleri (Biyokümülyasyon, biyomagnifikasyon), UV foto-oksidatif bozulma, Termo oksidatiflik, bio ve/veya termal parçalanma, özellikle biyofilmlerde biyokütle üzerine bağlayıcılık vb. gibi özellikleri bulunmaktadır (Hidalgo-Ruz vd., 2012; Wright vd., 2013).

Plastiklerin parçalanması biyoparçalanmaya uğraması anlamına gelmez, yalnızca plastiklerin boyutları küçülür (Mato vd., 2001), daha ufak hale gelir ve sularda tıpkı besin zincirinin temelinde yer alan planktonlar gibi davranır. Yani mikro parçalara ayrılmış olan plastikler, yoğunlukları sudan az olduğundan dolayı su kaynaklarının yüzeyinde planktonik canlılarla birlikte hareket eder. Plastiklerin ufak parçacıkları okyanuslarda birikir ve bu birikmenin plankton miktarının 6 katı kadar olduğu hatta bazı yerlerde bu oranın daha da arttığı görülmüştür.

Hidalgo-Ruz ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada farklı yaşama birlikleri ve farklı akış yollarındaki (kumlu plajlar, gelgit sedimentleri, deniz yüzeyi, su sütunu ve okyanus tabanı) mikroplastikleri yüzücülüklerine göre; pozitif yüzücü ve negatif yüzücü olmak üzere iki gruba ayırmıştır (Hidalgo-Ruz vd., 2012). Son zamanlarda yapılan deneysel çalışmalar, örneğin;

midye (Farrel ve Nelson 2013) ve istiridye gibi çift kabuklu yumuşakçalar, derisidikenliler, kabuklular, Nephros norvegicus, deniz hıyarı (Graham vd., 2009) gibi bazı invertebratların ve zooplanktonların mikroplastikleri yuttuğunu ve bundan dolayı organlarının ve sindirim sistemlerinin kötü bir şekilde etkilendiklerini göstermektedir (Browne vd., 2008; Cole vd., 2013). Derin deniz sedimentlerindeki mikroplastik kirliliği konusunda yapılan bir çalışmada her 25mL' de 1 mikroplastik bulunduğu ve 1176m- 4843m derinliklerde bile mikroplastiklere rastlandığı kaydedilmiştir (Cauwenberghe vd., 2013). Bu değerler mikroplastiklerin denizlere, okyanuslara aşırı miktarda karıştığının ve mikroplastiklerin yalnızca su yüzeylerinde değil, su kolonu boyuca ve derin deniz sedimentlerinde de bol miktarda bulunduğunun göstergesidir.

Plastiklerin yutulması sonucunda potansiyel olarak çevre kirleticiler deniz besin zincirine aktarılır. Plastik çöplere dolaşmış olan bir hayvan boğulabilir, formunu yitirebilir, dış yaralanmalara uğrayabilir veya besine ulaşabilme ve avcı hayvanlardan kaçabilme kabiliyetini kaybedebilir (Derraik vd., 2002; Mato vd., 2001).

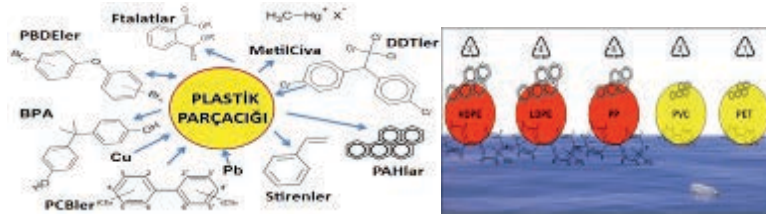
### **2.1.1 Mikroplastikler'in Ekotoksikolojik Etkileri**

Mikrokirleticilerin bazıları ve KOK' lar, yarılanma ömrü uzun olan ve biyolojik olarak parçalanmadıkları için çevrede kalıcı olan bileşiklerdir. Çevrede, gıda maddelerinde, hayvan veya insan dokusunda biyobirikime uğrayarak sağlık açısından tehlike oluşturabilirler. Örneğin dioksinler, organoklorlu pestisitler, Poliklorlubifeniller (PCB' ler), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH' lar), heksaklorobenzen (HCB) besin zincirinde birikebilir. Mikroplastiklerin sebep olduğu kötü biyolojik etkilerinin yanısıra, Kalıcı organik kirleticileri (POPs-KOK' lar) deniz besin zincirine taşımada rol oynadıkları da bilinmektedir. Mikroplastikler KOK' lar için etkili bir tutucudur ve KOK' ları yüzeysel su kaynaklarından sedimentlere taşır, dolayısıyla bu da bentik organizmaların KOK' lara maruziyetini artırmaktadır. Dünya çapında denizlerde rastlanan plastik peletlerdeki bildirilen KOK konsantrasyonları 1-10,000 ng/g plastik pelet arasındadır. Poliklorlubifenil (PCB) konsantrasyonları dünya çapında 4-980 ng/g plastik pelet, kuzey denizinde ise 169-324 ng/g bulunmuştur. Deniz kuşlarının beslenmesi ve saha incelemesiyle ilgili incelemeler sonucunda kuşların içindeki makroplastik ile PCB konsantrasyonları arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur (Besseling vd., 2012).

Uluslararası Pelet İzleme Projesi kapsamında yapılan çalışmalarda 17 ülkenin 30 sahilinden toplanan polietilen pelet örnekleri üzerinde organik klorlu bileşiklerin analizi yapılmıştır. Peletlerdeki en yüksek PCB konsantrasyonlarına ABD sahillerinde rastlanmıştır. Ardından Batı Avrupa ve Japonya gelmektedir, tropikal Asya, Güney Afrika ve Avustralya'da ise daha

düşük olarak ölçülmüştür. Bu konumsal numuneler PCB kullanımındaki bölgesel farklılıkları yansıtmaktadır ve sonuçlar Midye İzleme verileriyle pozitif bir ilişki içindedir. ABD'nin batı kıyısında ve Vietnam'da yüksek konsantrasyonlarda DDT' ye (Diklorodifeniltrikloroetan) rastlanmıştır. Türkiye' de ise Eylül ayında İzmir sahillerinden toplanan çöplerdeki plastik örneklerinin yüzde 75' inin PE olduğu ve bunlar üzerinde yapılan analizlerde 53 ng/g-pelet PCB, 27.6 ng/g-pelet DDT ve 0.83 ng/g-pelet HCH (heksaklorosikloheksan) grubu pestisitlerin bulunduğu görülmüştür (Ogata vd., 2009). Bu proses tersinirdir. Yani deneysel çalışmalar da göstermiştir ki, üzerine zararlı kirleticiler tutunmuş olan mikroplastikler deniz solucanları (Browne, 2013) veya balıklar (Rochman, 2013b) tarafından yutulduğunda zararlı kirletici canlıya geçmektedir (Teuten, 2009). Transfer olayı polimerin tipine, kirletici maddeye, organizmanın durumuna ve özellikle de pH ve sıcaklığa bağlıdır. Bu geçişler maddelere göre özel şekilde gelişmektedir ve henüz tam olarak açıklanamamaktadır (Bakir vd., 2014). KOK' lar çevrede ayrışmaya dirençli olan insan yapımı zararlı kimyasallardır. Poliklorlu bifeniller (PCB'ler), organoklorlu pestisitlerin farklı türleri (örneğin; DDT'ler ve HCH) ve bromlu alev geciktiricilerin tümü KOK' lardır. Bunlar esasında lipofilik oldukları için (örneğin, sıvı ve katı yağlar için yüksek bir afiniteye sahiptir) KOK' lar, deniz organizmalarının yağ dokularında birikir. Yaban hayatı ve insanlar için potansiyel olarak birçok olumsuz etkilere (örneğin kanser, malformasyon, immün sistemde ve üreme yeteneğinde bozulma) neden olmaktadır (Takada, 2013). Plastik peletler de lipofiliktir ve KOK' lar için son derece yüksek bir afiniteye sahiptir. Plastik reçine peletlerin içindeki KOK' ların konsantrasyonu çevresindeki deniz suyundan bir milyon kat daha fazladır. Bu birikme ilk kez 1998 yılında yerinde yapılan deneylerle gözlemlenmiştir (Mato vd., 2001). Reçine pelet izleme çalışmalarının önemli olmasının nedeni budur.

Ayrıca KOK' ların absorplanmasına ek olarak, denizlerdeki plastikler; plastikleştiriciler, antioksidanlar, anti-statik ajanlar ve alev geciktiriciler gibi katkı maddeleri içermektedir. Bazı katkı maddeleri ve katkı kaynaklı kimyasallar (örneğin; nonilfenol, bisfenol A) hormonlar aracılığı ile vücutta endokrin bozulmasına yolaçarlar. Bu potansiyel hasarlar, beyin gelişiminin, öğrenme ve davranışların, gövde ve uzuvların, normal cinsel gelişimin bozulması (erkeklerin kadınlışması ve kadınların erkekleşmesi de dahil olmak üzere) ve artan kanser olayları (örneğin; meme ve prostat kanserleri) olarak sayılabilir. Peletlerin içinde kullanılan katkı maddeleri zararlı olsa da plastik parçaları yapma ve plastik ürün son işlemlerinde daha fazla zararlı katkı maddesi kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışma endokrin bozucu nonilfenollerin su şişesi kapaklarında bile mevcut olduğunu göstermiştir (Bknz. Şekil 2) (Takada, 2013).



Şekil 2. Kirleticilerin kokteyli (Rochman vd., 2013c)

Mikroplastikler su ortamlarında yaşayan canlılar için kimyasal kirleticilerin oluşturduğu bir "kokteyl" yemek haline dönüşür. Buna "plastik çorba" da diyebiliriz. Planktonla beslenen ve yeryüzündeki en büyük hayvan olan mavi balinaların (*Balaenoptera musculus*) beslenmeleri sırasında mikroplastikleri bünyesine aldığı ve tuttuğu tahmin edilmektedir (<http://www.chelsearochman.com>, <http://plasticsoupnews.blogspot.com.tr>).

## 2.2 Mikroplastikler'in Kaynakları

Son 50 yılda plastik kullanımı aşırı arttıkça okyanuslarda rastlanan mikroplastik miktarı da giderek büyümeye başlamıştır. Mikroplastiklerin önemli bir kısmı plastiklerin küçük parçalara ayrılması neticesinde oluşurken, bir kısmı da plastik ürünlerin üretiminde endüstriyel ham madde olarak kullanılan küçük pelet şeklindeki reçineler (nurdles) oluşturur. Bu peletler; dayanıklı oldukları ve üzerinde KOK' ları absorblayabildikleri için bu kirleticilerin besin zincirine girmesinde önemli bir taşıyıcı araçtır. Amerika'da her yıl 60 milyar pound plastik hammaddesi (nurdles) üretilmektedir. Silindirik veya disk şeklindeki termoplastik peletler tüm dünyadaki plastik işleme fabrikalara sevk edilirler ve peletler; plastik şişeler, kapaklar, çanta ve ambalaj v.b. ürün yapmak için eritilerek kalıplara dökülür. Bu peletler taşıma, işleme işlemleri sırasında kazayla denizlere dökülebileceği gibi üretim döküntüleri de kontrolsüzce sulara verilebilmektedir (Takada, 2013).

Plastik kirliliği deniz ortamına nehirler, plajlar, denizcilik faaliyetleri ve yasadışı deşarjlar aracılığıyla girmektedir. Marinalardaki mikroplastik çöplerin kaynakları; evsel, endüstriyel, trafik, kullanılmış büyük plastiklerin çevrede parçalanması ve kanalizasyon-atıksu arıtma tesisleri (AAT) gibi çeşitli antropojenik aktivitelerdir. Kentsel atıksu arıtma tesislerine kanalizasyon yoluyla bol miktarda sentetik tekstil lifleri ve kozmetik temizleyicilerin içinde bulunan mikroboncuklar gelir (Browne et al. 2011). Yapılan araştırmalar göstermiştir ki atıksu arıtma tesislerine gelen bu mikroplastikler mevcut işletilen metodlarla giderilemeden alıcı ortamlara deşarj edilmektedir (Talvitie ve Heinonen, 2014). Alıcı ortamların göl, akarsu gibi tatlı ve değerli su kaynakları olduğu düşünülürse mikroplastiklerin zamanla ve kontrolsüz

şekilde kullanılması neticesinde ekolojik dengede yaratabileceği tahribat daha iyi anlaşılacaktır (Eriksen vd., 2013).



Şekil 3. Tuna nehriindeki plastik çöpler

Lechner ve arkadaşlarının 2010-2012 yıllarında Avrupa'nın en büyük ikinci nehri olan Tuna nehriindeki plastik çöplerin (Bknz. Şekil 3) taşınmasını incelemişlerdir. Çalışmalarının amacı sürüklenen plastik çöplerin miktarını ölçmek ve kategorize etmektir. Bu çalışma larva dağılımının ve nehir balık populasyonlarının korunması gerektiğini vurgulamaktadır (Lechner vd., 2014; <http://deepseanews.com>). Sularda yüzen çöplerin yüzde 90'ı plastik kaynaklıdır. Sudaki canlılar tarafından yutulan mikroplastikler birincil üreticiden yırtıcılara doğru besin zinciri boyunca geçerek biyomagnifikasyona uğrayabilir (Setälä vd., 2014).

Çevredeki mikroplastiklerin kaynaklarını ortaya koymak amacıyla yapılan bir çalışmada (Dris vd., 2016), atmosferik döküntülerdeki mikroplastik liflerin önemli bir mikroplastik kaynağı olabileceği bildirilmiştir. Özellikle kentsel yerleşimin fazla olduğu bölgelerdeki atmosferik döküntüde daha fazla mikroplastik liflere rastlandığı ve bunların önemli oranda petrokimyasal içerdiği vurgulanmıştır.

### 2.2.1 Arıtma Tesislerine Gelen Mikroplastiklerin Önemli Kaynakları

Kanalizasyona dökülen ve kanalizasyon sistemi ile atıksu arıtma tesisine taşınan sularda evsel kullanımlardan kaynaklı olan ve plastik içeren birçok ürün bulunmaktadır. Buradaki mikroplastiklerin başlıca kaynakları olarak: Sentetik tekstil ürünleri, kişisel bakım ürünleri, temizlik maddeleri, plastik eşya ve gereçlerin aşınarak dökülmesi ve plastik ürünlerin kasten veya kaza ile kanalizasyona dökülmesi olarak sayılabilir;

**1) Sentetik tekstil ürünleri;** Polyamide (PA, Naylon), polyester, akrilik vb. gibi sentetik tekstil ürünlerinin (kıyafetten battaniye ve halıya kadar çok geniş yelpazede) kullanılması, çamaşır makinasında ve elde yıkanması neticesinde oluşan mikrofiberler (Rocha-Santos ve Duarte 2015).

2) Kişisel bakım ve kozmetik ürünlerinde bulunan mikrobuncuklar; yüz temizleme ve peeling jelleri, maskeler, şampuan ve sabunlar, diş macunu, eyeliner, rimel, dudak parlaticısı, deodorant ve güneş kremleri. Ülkemizdeki kozmetiklerde en çok rastlanan plastik polietilen (PE)'dir. Bunun yanı sıra kozmetiklerdeki mikrobuncuklarda (microbeads) polipropilen (PP) ve polyamid (PA) de kullanılmaktadır (Thompson, 2015). Küçük parça microbeadların kullanım açısından etkinliği tartışılır çünkü çok küçük olanlar istenen peeling, exfoliating, vs. işlemlerinde yetersiz kalmaktadır. Bunun yanında bu 100 mikrometreden küçük mikrobeadlar çevresel açıdan da büyük tehlike arz etmektedir.

3) Deterjan ve temizlik ürünlerinde bulunan mikrobuncuklar; deterjanlarda, paslanmaz çelik yüzey temizleyicilerde ve temizlik sıvılarında korozif parçacık olarak kullanılan plastik mikrobuncuklar.

4) Islak mendillerden kaynaklanan mikrolifler; direkt kanalizasyona atılan ve üstüne sifon çekilen ıslak mendillerin de atıksulardaki sentetik mikroliflerden sorumlu olduğunu söyleyebiliriz. Ülkemizde -bu şekilde- çok aşırı tüketilmese de dünya genelinde kanalizasyon sistemi vasıtasıyla arıtma tesislerine gelen ıslak mendil kümeleri, tesislerdeki borularda ciddi tıkanma problemlerine ve pompalarda hasara yol açarak, yüksek tamir masraflarına sebep olabilmektedir (Bknz. Şekil 4) (<http://www.inda.org>; <http://articles.mercola.com>; [www.dailytelegraph](http://www.dailytelegraph)).



a. Bir AAT ekipmanı (Kolombiya) b. Bir AAT ünitesi (New York) c. Bir AAT ünitesi (Sidney, Avustralya)

Şekil 4. Arıtma tesislerinde ıslak mendil problemi



Islak mendiller nonwoven kumaştan imal edilir. "Nonwoven"lar değişik tipteki elyafların (Polipropilen, Polyester veya rayon) farklı metotlarla işlenmesiyle oluşturulan yüksek performanslı dokunmamış-örülmemiş kumaşlardır. Islak mendillerde kullanılan bu kumaşlar tuvalete atıldığı andan itibaren milyonlarca parçalara ayrılarak çevre ve canlılar açısından büyük tehlike oluşturabilecek "mikroplastikfiber" haline dönüşebilir. Bunun yanısıra Plaj koruma toplulukları tarafından yapılan araştırmalarda özellikle son yıllarda plajlarda da wet wipes çöplerinin aşırı bir şekilde arttığı rapor edilmiştir ([www.mcsuk.org](http://www.mcsuk.org)). Buradan da anlaşıldığı gibi ıslak mendiller ciddi bir çevre problemi olmakla beraber atıksulardaki büyük bir mikroplastik lif kaynağı da olabilir.

5) Evlerde kullanılan plastikten imal edilmiş gereçlerin zamanla veya temizlenmesi sırasında aşınarak daha küçük parçalara bölünüp kanalizasyona gitmesi,

6) Kullanılan diğer küçük plastik ürünlerin kisten veya kaza ile kanalizasyona atılması, şeklinde sayılabilir.

7) Diğer; Bundan başka bazı su yumuşatıcılar mikro ölçekte plastik içerebilirler. Ayrıca farmasötikler için vektör olarak bazı özel plastikler de kullanılmaktadır.

### 2.3 Mikroplastikler'in Şekilleri








Mikroplastikleri amorf tan küresele veya uzun ince liflere kadar çok çeşitli şekillerde bulunabilir. Plastik peletler tablet benzeri küresel, dikdörtgen, silindirik ve disk şeklindedir en çokta uçları yuvarlanmış küresel ve oval şeklindedir ([Abu-Hilal vd., 2009](#)). Gelgit ve haliç sedimentlerinde bulunan çoğu parçaları liflerden oluşmaktadır ([Browne vd., 2011](#); [Thompson vd., 2004](#)). Kanalizasyon deşarjlarından ve kanalizasyondan alınan sedimentlerdeki mikroplastikler incelendiğinde, sentetik tekstil ürünü giysilerde kullanılan polyester ve akrilik liflerin oranlarıyla benzerlik gösterdiği görülmüştür. Evlerde kullanılan çamaşır makinesinden alınan örnek atıksu numuneleriyle yapılan çalışmalar tek bir sentetik giysiden bile her yıkama başına >1900 lifin kanalizasyona geçebileceğini göstermiştir ([Browne vd., 2011](#)). Mikroplastiklerin şekilleri çevrede kalma süresine bağlı olduğu kadar maruz kaldığı parçalanma işlemlerine de bağlı olarak değişir. Örneğin marinalarda rastlanan keskin kenarlı bir mikroplastik o plastik parçalarının denize yeni girmiş olduğunu veya köşeleri yuvarlanmış pürüzsüz parçaların ise sedimentte uzun süre kalarak sedimentteki diğer maddeler tarafından aşınarak pürüzsüz hale geldiğini gösterebilir ([Doyle vd., 2011](#)).

## 2.4 Mikroplastiklerin sınıflandırılması

ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından yapılan tanımlamaya göre mikroplastikler 5mm' den küçük olan plastik parçacıklarıdır. Son zamanlarda, Andrady (2011), mikroskopla görülebilen mikroplastikleri insan gözünün görebileceği küçük plastiklerden ayırt edebilmek amacıyla bilimsel isimlendirme olarak mezoplastikler terimini önermiştir (Andrady, 2011). Başka bir çalışmada ise plastik parçaları üç gruba ayrılmıştır: Birincisi 5 mm'den daha büyük parçalardan oluşmaktadır. İkinci grup 1 ile 5 mm arasındaki parçacıklardan oluşmaktadır. Üçüncü grup ise mikroplastiklerdir, bunlar; 1mm' den küçük ve yaklaşık 0.355 mm civarındaki parçacıklardır. Mikroplastikleri kategorize edebilmek için olduğu kaynaklar, üretildiği malzeme, tipi, yapısı, şekli, rengi ve aşınmışlık durumu değerlendirilebilir (Hidalgo-Ruz vd., 2012).

Plastik Endüstrisi Topluluğu (SPI) tarafından 1988 yılında Plastik reçine tanımlama ve geri dönüşüm kodlama sistemi geliştirilmiştir. Uluslararası kullanılan bu kodlama, plastik türlerine 1' den 6'ya kadar numara atanarak yapılmıştır. Plastik endüstrisi geliştikçe, özel kriterlere uymayan 1-6 arası etiketlenemeyecek birçok yeni plastik türleri icat edilmiştir. SPI, kodlamış olduğu altı plastiğin kombinasyon şeklinde kullanılması veya bunların dışında bir plastik kullanılması durumunda 7 numaralı kodu "diğer" malzemeler olarak tanımlamıştır. Tablo 1'de gösterilen bu geri dönüşüm kodları üçgen geri dönüşüm sembolü içine yazılmış numaradan oluşur ve genellikle ürünün alt tarafında bulunur. Tablodan da anlaşılacağı gibi bazı malzemelerin geri dönüşümü iyi ve sağlık üzerinde olumsuz etkileri saptanmamış iken bazılarının etkileri her iki anlamda da kötü olabilmektedir.

Tablo 1. Plastik reçine tanımlama ve geri dönüşüm kodları

Plastik kodu	Kısaltması	Plastik Adı	Morfoloji	Kullanım Alanı	Tekrar Kullanım	Geri dönüşüm	Sağlık	Erime Sıcaklığı T <sub>m</sub> (°C)
	PET, PETE	Poli-etilen tereftalat	Kristalin Termoplastik	Yaygın kullanım. Pet şişe ismi bundan gelir. Şeffaftır. Su, Meşrubat ve yemeklik yağ.	Hayır Tek kullanım	Çok iyi	Herhangi bir zarar bildirilmemiş.	250-260 T <sub>g</sub> =80°C
	PE-HD, HDPE	Poli-etilen-yüksek yoğunluklu	Kristalin Termoplastik	Yaygın kullanım. Temizlik maddeleri, çamaşır deterjanı ambalajı, bazı poşetler, şampuan ve süt şişeleri, borular, tanklar, varil, kablo yalıtımı, oyuncak	Evet	Çok iyi	Herhangi bir zarar bildirilmemiş.	130
	PVC, V	Polivinil klorid (Vinil klorür CH <sub>2</sub> = CHCl)	Amorf Termoplastik	Döşeme, ev dış cephe kaplaması, borular, streç, folyo, yiyecek kaplama, suni deri, kredi kartı, spor malzemeleri	Hayır	İçindeki katkı maddeleri (Kurşun, DEHA (di (2-etilheksil) adipat), Dioksinler, Etilen diklorür, Vinil klorür) yüzünden çok az dönüştürülebilir.	Zararlıdır; Öğrenme bağıışıklık ve doğum kusurları, değişiklikler.	güçlüğü, hormon doğum genetik T <sub>g</sub> =80°C
	PE-LD, LDPE	Poli-etilen-düşük yoğunluklu	Kristalin Termoplastik	Yaygın kullanım. Ekmek, dondurulmuş gıda ve market poşetleri, bazı şişeler	Evet	Genellikle dönüştürülemez.	Herhangi bir zarar bildirilmemiş.	110
	PP	Polipropilen (Propilen CH <sub>3</sub> CH=CH <sub>2</sub> ) (Yarı beyaz)	Kristalin Termoplastik (Yarı seffaf)	Yaygın kullanım. Otomobil yan sanayinde, bahçe mobilyalarında, Yiyecek kabı, yapay halı kaplama, yoğurt ve margarin kapları, çocuk bezleri, biberon vs.	Evet	Kolayca dönüştürülemez.	Herhangi bir zarar bildirilmemiş.	160
	PS	Polistiren (Stiren C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH=CH <sub>2</sub> )	Amorf Termoplastik (Renksiz, saydam)	Gıda paketlenme, elektronik ve beyaz eşya, film, levha, kaplar, kapaklar, et ve yumurta kutuları, şişe, köpüklü izolasyon, aydınlatma malzemesi, buzdolabı, çamaşır makinesi parçaları, radyo televizyon kasaları, oyuncak, kozmetik kutuları, duvar kaplamaları	Hayır	Mümkün fakat ekonomik değildir.	Zararlıdır. Stiren' in nörotoksin etkileri ve yağ dokuda 240 depolanabilme özelliği vardır. Kırmızı kan hücreleri üzerinde, karaciğer, böbrek ve mide organlarına zararları bulunmaktadır.	T <sub>g</sub> =70-115°C
	Polikarbonat, Akrilik,		Çeşitli	Bu ürünler BPA içerebilir. Kapaklar, tıbbi saklama kapları, su şişeleri, bardak, çatal, mutfak gereçleri, otomotiv vs.	Hayır	Karışık plastikleri içerdiğinden zordur.	Zararlıdır. Etkileri plastiğin içindeki reçine veplastikleştiricinin çeşidine göre değişir. Polikarbonat plastikten bisfenol-A (BPA) adıyla bilinen endokrin bozucu sızdır.	

(<http://www.symbols.com>; <http://www-tc.pbs.org/strangedays>)

Tablo 2. Plastik çeşitleri

Plastik Adı	Kullanımı
ABS (Acrylonitrile butadiene styrene)	Akrilonitril bütadien stiren Elektronik aletler, Otomotiv, mutfak gereçleri
ASA acrylonitrile-styrene-acrylate	Akrilonitril-stiren-akrilat
PA (Polyamide-Nylon)	Polyamid 1.02-1.04 g.cm <sup>-3</sup> Fiber, diş fırçası kılları, misina
PBT (polybutylene terephthalate)	Polibütilen tereftalat
PC (Polycarbonate)	Polikarbonat Alevi iletme ve kendini söndürme CD, gözlük vb. imalatı, tıbbi aletler
PE (Polyethylene)	Poliyeten 0.917-0.965 g.cm <sup>-3</sup> Yaygın kullanım. Paketleme endüstrisinde, plastik mutfak ürünlerinden, otomotiv sanayinde, altyapı malzemeleri, beyaz eşya ve makina parçaları, oyuncak ve tekstil
PE-HD, HDPE (Polyethylene-high density)	Poliyeten-yüksek yoğunluklu 0.94 – 0.96 g.cm <sup>-3</sup> Molekül ağırlığı genellikle 50–250 kg.mol <sup>-1</sup> Yaygın kullanım. Temizlik maddeleri, çamaşır deterjanı ve şampuan şişeleri ve süt şişeleri
PE-LD, LDPE (Polyethylene-low density)	Poliyeten-düşük yoğunluklu yoğunluğu: 0.91 – 0.93 g.cm <sup>-3</sup> ortalama molekül ağırlığı 20–100 kg.mol <sup>-1</sup> Yaygın kullanım. Poşetler, şişeler
PE-LLD (Polyethylene-linear low density)	Poliyeten-doğrusal düşük yoğunluklu
PET, PETE (Polyethylene terephthalate)	Poliyeten tereftalat 1.37-1.45 g.cm <sup>-3</sup> Yaygın kullanım. Su şişeleri, meşrubat şişeleri
PMA (Polymethyl acrylate)	Polimetilakrilat 1.17-1.22 g.cm <sup>-3</sup>
PMMA (Polymethyl methacrylate), Acrylic	Polimetil metakrilat, Akriklik, pleksiglas 1.09-1.2 g.cm <sup>-3</sup> Otomotiv farı, cihaz kapakları, levha, optik ekipmanlar, boya, elyaf, iplik ve ev dekorasyon ürünleri
Polyester	Polyester 1.24-2.3 g.cm <sup>-3</sup> Tekstil endüstrisi
POM (Polyoximethylene)	Polioksümetilen, Asetal 1.41-1.61 g.cm <sup>-3</sup> Elektrik ve sıhhi tesisat bağlantıları
PP (Polypropylene)	Polipropilen 0.83-0.90 g.cm <sup>-3</sup> Yaygın kullanım. Otomobil yan sanayinde, bahçe mobilyalarında
PS (Polystyrene)	Polistiren 0.96–1.05 g.cm <sup>-3</sup> Paketleme, elektronik ve beyaz eşya, izolasyon
PTFE (Polytetrafluoroethylene)	Politetraforetilen (Teflon) Mutfak gereçleri, kaplar
PS-E, EPS (Polystyrene-expandable)	Polistiren- genleştirilebilir
PU, PUR (Polyurethane)	Poliüretan 1.2 g.cm <sup>-3</sup> Dolgu köpükleri, ısı yalıtım köpükleri, yüzey kaplamaları, baskı silindirleri
PVC (Polyvinyl chloride)	Polivinil klorid 1.16-1.58 g.cm <sup>-3</sup> Boru, profil vb. imalatı, plastik film, şişeler, bardaklar
PVDC (Polyvinylidene chloride)	Poliviniliden klorid 1.63 g.cm <sup>-3</sup> Yiyecek paketleme, evsel, endüstriyel gereçler
SAN (Styrene-acrylonitrile)	Stiren-akrilonitril Mutfak gereçleri, Buzdolabı parçaları, raf ayıraçları, ışık kapakları, kozmetik ambalajı

Kaynak: (<http://www.basf.com>; Brien, 2007; Hidalgo-Ruz vd., 2012)

1, 3, 6 ve 7 kodlu plastiklerin kullanımının mümkün olduğunca minimize edilmesi ve bertarafı gerekmektedir. Her ne kadar tekrar kullanımı sağlık açısından uygun olarak görülen 2, 4, ve 5 numaralı plastiklerin çevreye kontrolsüzce terkedilmesi neticesinde su kaynakları ve canlılar açısından yaratağı riskler düşünülmelidir. Plastiklerin kullanımı sırasında herhangi bir risk oluşturmayanları bile yaşam döngüsü analizi yapılarak düşünüldüğünde mikroplastiklere dönüşerek çevrede tehdit oluşturabilir. Özel olarak geliştirilen dayanıklı plastiklerin çevresel

faktörlere ve UV ışınlarına karşı son derece dirençli olanları bulunmaktadır. Günümüzde tüm dünyada kullanılan plastik çeşitlerinin adları ve kullanım alanları [Tablo 2](#)'de verilmiştir. Tablo 2'de görüldüğü gibi günümüzde çok yoğun olarak kullanılan plastiklerin yoğunlukları farklı farklıdır. Bunların parçalanarak tatlı-tuzlu su ortamlarına girmesi neticesinde farklı yoğunluk değerlerinden dolayı yüzeyle, su kolonu boyunca ve sedimentler içinde mikroplastiklere rastlanabilir ([Yurtsever, 2015](#)).

[Hidalgo-Ruz](#) ve arkadaşlarının (2012) yaptığı bir çalışmada deniz ve okyanuslardan alınan su numunelerinde ve sedimentlerde bulunan mikroplastikleri yoğunluk farkına göre ayırabilmek amacıyla yoğunluğu  $1.2 \text{ g.cm}^{-3}$  olan sodyumklorür çözeltisi, yoğunluğu  $1.4 \text{ g.cm}^{-3}$  olan sodyumpolitungstat çözeltisi, musluk suyu ve deniz suyu kullanılmıştır. Polistirenin köpüklü formu, yüksek ve düşük yoğunluklu polietilen ve polipropilen musluk suyunda ve deniz suyunda yüzer. Polistirenin katı formu ise doymuş tuz çözeltisi içerisinde yüzmektedir. Son olarak esnek ve sert polivinil klorür (PVC), polietilen tereftalat (PETs) ve naylon, sodyumpolitungstat çözeltisi içinde yüzer. İki deniz suyu çalışmasında benzer bir yoğunluk ayırma işlemi; süpernatant kısmından yüzen parçacıklar alınıp tatlı su içine konularak gerçekleştirilmiştir ([Corcoran vd., 2009](#); [Zurcher, 2009](#)).

Evlerde kullanılan çamaşır makinesinden alınan örnek atıksu numuneleriyle yapılan çalışmalar tek bir sentetik giysiden bile her yıkama başına >1900 lifin kanalizasyona geçebileceğini göstermiştir ([Browne vd., 2011](#)). Mikroplastiklerin kaynakları ve lavabolardan kanalizasyonlara oradan da habitatlara geçişiyle ilgili olarak yapılan bir çalışmada; yoğun nüfuslu bölgelerde daha fazla polyester, akrilik, polipropilen, polietilen ve poliamid liflerin küresel ölçekteki sahilleri kirlettiği ortaya çıkarılmıştır. Artık kanalizasyonların boşaltıldığı tatlı sular ve karasal habitatlar da dahil olmak üzere nüfus yoğunluğu düşük olan yerlerde de genel bir ilişkiyi göstermek gerekmektedir. Mikroplastik liflerin önemli bir kaynağı, çamaşır yıkama sonrası oluşan sentetik liflerin kanalizasyona boşaltılmasıdır. Yıkama sonrası oluşan sentetik tekstil liflerin oranının doğal tekstil liflerinden (örneğin, pamuk, yün, ipek) >% 170 daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sorunu çözmek için, giyim ve çamaşır makineleri tasarımcılarının liflerin atıksuda serbest bırakılmasını azaltmak ve kanalizasyondaki mikroplastiklerin giderilmesi için yöntemler geliştirmelidir ([Browne vd., 2011](#)).

## 2.5 Rotiferler

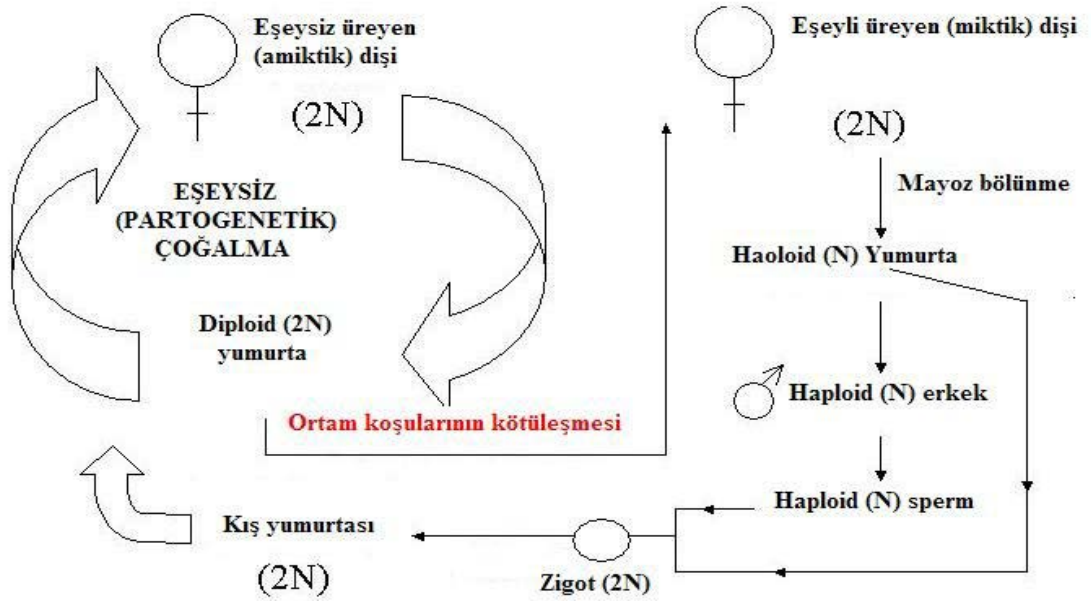
Rotiferler ilk kez 1758 yılında O.F. Müller tarafından protozoan olarak tanımlanmıştır ([Fukusho, 1989](#)). Rotifer, Rotifera şubesi (Phylum), Monogononta sınıfı (Klasis) ve

Brachionidae ailesi (Familya) içinde yer alan *Brachionus plicatilis*, su canlılarının kültüründe kullanılan en önemli türlerdendir. Boyu 99-280 mikron eni ise 66-180 mikron civarındadır. Vücut baş bölgesi, gövde bölgesi ve kuyruk bölgesi olmak üzere 3 kısımdan meydana gelir. Baş bölgesinin uç kısmında (anterior) siller bulunur. Bu siller hem yüzme hem de besin alma organı olarak iş görürler. Gövde bölgesi saydam olduğu için mikroskop altında iç organları rahatlıkla görülebilir. Kuyruk bölgesinde ise yumurtalar bulunur (Şekil 5).



Şekil 5. *Brachionus plicatilis*'in genel görüntüsü

Rotifer uygun koşullarda Partenogenetik (eşsiz) olarak ürer. Bu tip üremede yumurta ve sperm birleşmeden gelişimini devam ettirir ve bir canlı birey oluşturur. Böyle yumurtalar 24-48 saat içinde açılır ve yumurtadan çıkan bireyler kısa sürede ergin hale geçer. Bu ergin bireylerin hepsi dişidir. Bu tip üreme ortam koşulları bozulana kadar devam eder. Ortam koşulları bozulduğunda dişiler tarafından daha küçük yumurtalar bırakılır. Normal kromozom sayısının tam yarısı kromozoma ( $n$  sayıda; yani haploid) sahip bu yumurtalardan haploid erkekler oluşur. Haploid erkekler de yine haploid spermler oluşturur (Şekil 6)



Şekil 6. Rotifer'in yaşam döngüsü

Olumsuz koşullar oluştuğunda normal kromozom sayısına ( $2n$  sayıya) sahip yani diploid dişilerde haploid ( $n$ ) yumurtalar oluşturur. Erkek bireyden gelen haploid sperm ( $n$ ) ile dişiden gelen haploid yumurta ( $n$ ) birleşerek diploid ( $2n$ ) kromozom setine sahip kış yumurtasını oluşturur. Bu yumurtalar kalın kabuklu ve kist karakterlidir. Kötü çevre koşullarını karşı oldukça dayanıklıdır. Bu yumurtalarda gelişme oldukça yavaşlamıştır.

Rotiferler kozmopolit bir gruptur ve üç çeşit habitatı (deniz, tatlı su ve estuarine) olmasına rağmen çoğunluğu tatlısuda yaşar (Pennak, 1989).

Çalışmada mikroplastiklerin rotiferler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bilindiği gibi plastik materyallerin sayısız uygulama alanı vardır. Fakat bunların başında ambalaj sektörü gelmektedir bunu takiben de yapı, otomotiv, elektrik elektronik ve medikal ürünler gibi diğer sektör alanları girmektedir (PlasticsEurope (2009)). Plastik üretiminin son 15 yılda iki katına çıktığı görülmüştür. 2008 verilerine göre dünya plastik üretimi yıllık 245 milyon tonu geçmiştir (PlasticsEurope 2009). Plastikler içerisinde yıllık üretimi en fazla olan plastik türü polietilendir (Lithner vd., 2012). Biyodenyelerde Polietilen mikro küreleri kullanılmıştır.

Rotiferler ile yapılan toksisite testleri ölüm, amiktik dişilerin üretimi, üreme, kist üretimi, tükenme olasılığı, davranış, besleme hızları, yüzme aktivitesi, in vivo enzimatik aktivite ve genetik ekspresyon gibi birçok parametre ile yapılabilmektedir (Snell ve Janssen 1995, Wallace vd., 2006; Pérez-Legaspi vd., 2012). Rotiferler ile yapılan toksikoloji testlerinin

çoğu lethal testler olup beslenme olmaksızın 24 ya da 48 saatlik uygulama ile LC<sub>50</sub> değerinin hesaplanması amaçlanmaktadır (Pérez-Legaspi vd., 2012). Diğer taraftan aynı canlı grubuyla yapılan kronik toksisite testleri ise ksenobiyotiklerin fizyoloji, davranış ve üreme değişiklikleri gibi subletal etkilerinin incelendiği testlerdir (Wallace vd., 2006). *Brachionus* cinsi ya da diğer rotifer biyodeneylelerinde akut ve kronik olarak iki şekilde deney tasarımı yapılabilir. Akut toksisite testinde sonuçlar 1-2 günlük verilere göre, kronik toksisite testinde de 5 günlük verilere göre değerlendirilebilir (Snell ve Persoone 1989).

Biyodeneyleler bir ya da birden çok kirleticinin kontrollü koşullar altında yine bir ya da birden fazla organizma üzerinde meydana getirdiği ve genellikle zararlı olan etkilerin oluşumunu sağlayan konsantrasyonları belirlemek için yapılan deneylerdir. Tatlısu ya da tuzlu su ortamında yapılan bir deneyin amacı, bu ortamda bulunan bir ya da birden fazla maddenin varlığı ve ayrıca atık suların ya da çevre koşullarının tek başına ya da bir arada iken sucul organizmalar üzerine olan etkisini belirlemektedir (Ünsal, 1996).

Toksik maddelerin organizmalar üzerine akut toksisitesinin tayin edilmesinde LC<sub>50</sub> yöntemi kullanılmaktadır. Bu metot ile belirli bir zaman dilimi içerisinde (24, 48 veya 96) toksik madde içeren bir ortamda bulunan canlıların %50 sini öldüren madde miktarı bulunmaya çalışılır (Canyurt, 1989). Toksik maddenin konsantrasyonu suda düşük olduğu zaman ölüm, hiç görülmeyebileceği gibi düşük oranlarda da gerçekleşebilir.

Toksik madde konsantrasyonu arttıkça ölüm oranı da artar ve belli bir konsantrasyondan sonra canlıların tümü ölür. Bu tip denemelerde toksik madde konsantrasyonu (X) ile ölüm oranı (Y) arasında sigmoid bir ilişki vardır, yani 'S' şeklinde bir ilişki görülür. Bu sigmoidal eğri üzerinde interpolasyon yolu ile LC 50 'nin hesaplanması mümkündür. Ancak bu hesaplanacak değer tahmini bir değerdir. Bu nedenle konsantrasyonların logaritmayla ampirik probitler eşlenerek oluşturulan probit regresyon hattının hesaplanması ile LC<sub>50</sub>'nin bulunması daha doğru bir sonuç verir. Çünkü toksik madde konsantrasyonlarının logaritmaları ile ölüm oranlarının probitleri arasında doğrusal(lineer) bir ilişki vardır (Düzgüneş ve Düzgüneş 1958; Canyurt, 1989).

Literatürde plastiklerin toksikolojisiyle alakalı olarak birçok çalışmaya rastlamak mümkündür fakat mikroplastik toksikolojisiyle alakalı olarak kısıtlı bir literatür vardır. Bu nedenle yapılan çalışmayla (mikroplastiklerin rotiferler üzerine etkisi) bu konuya bir nebze de olsa katkı sağlanmış olunacaktır.



### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

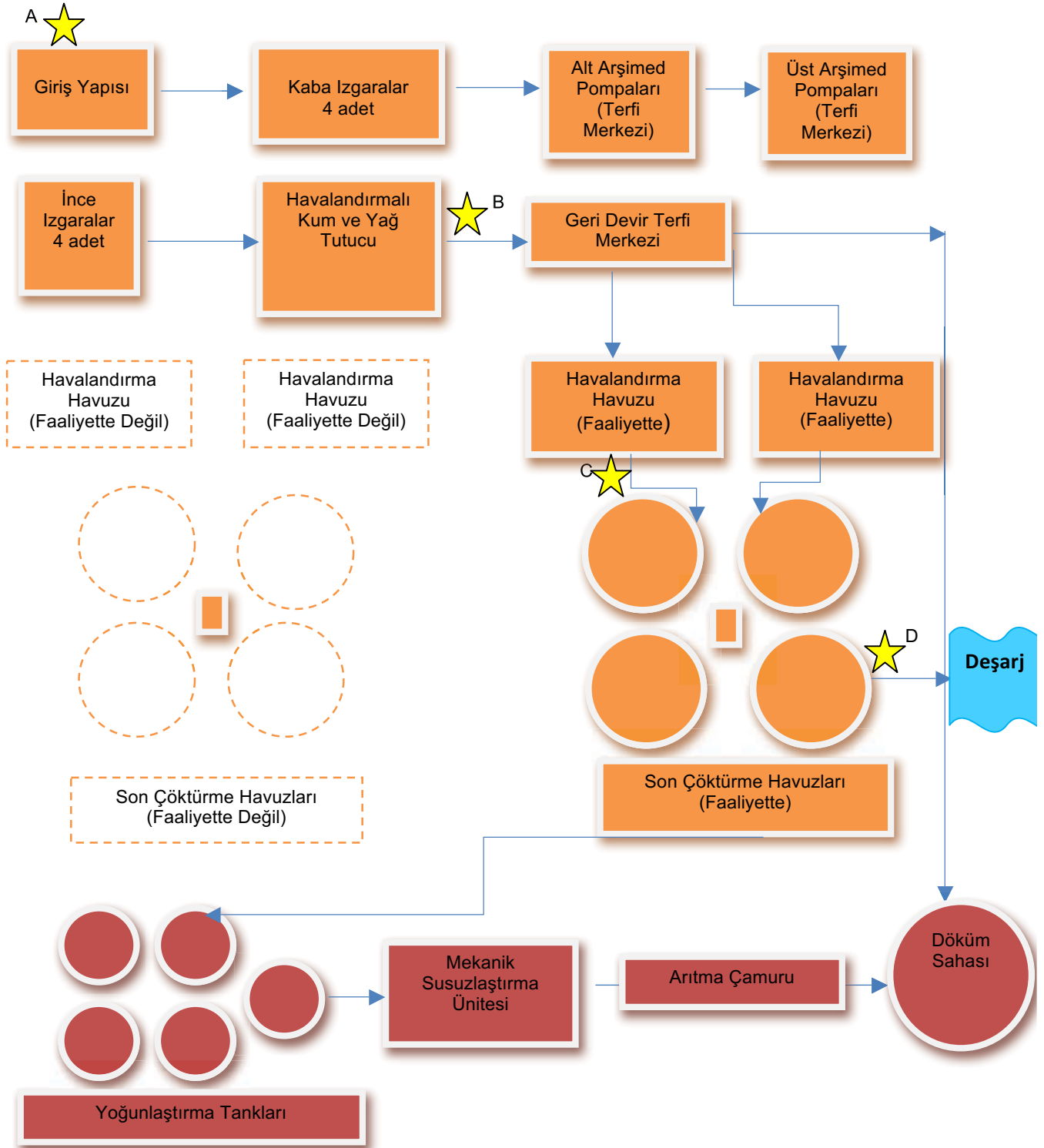
#### 3.1 Tesis Özellikleri ve Numuneler



Şekil 7. Sakarya Karaman Atıksu Arıtma Tesisi

Sakarya ili'nin kuzeyinde yer alan Atıksu Arıtma Tesisi (AAT) konutlardan ve sanayi kuruluşlarından kaynaklanan atıksuları arıtmaktadır. Arıtma tesisinde Sakarya'ya bağlı Adapazarı Merkez, Arifiye, Serdivan, Yazlık, Güneşler, Hanlı, Nehirkent, Sapanca, Kırkpınar, Kurtköy ile Kocaeli'ye bağlı Maşukiye ve Hikmetiye'den kaynaklanan atıksular arıtılmaktadır. Sanayi kuruluşlarından kaynaklanan atıksular da ön arıtmadan geçirilerek tesise gelmektedir. Tesis (Bknz. Şekil 7) kuru havalarda 198.800 m<sup>3</sup>/gün, yağışlı havalarda 271.941 m<sup>3</sup>/gün atıksuyu arıtabilecek kapasitededir. Tesis fiziksel ve biyolojik olmak üzere iki temel arıtma metodu ile işletilmektedir. Arıtılan su "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği"ndeki deşarj değerlerinin çok daha altında deşarj edilmektedir. Tesis 2015 yılına kadar 1.000.000 eşdeğer nüfusa hizmet edecek kapasitede olup 2015 yılından sonra yapılacak ilave inşaatlarla 1.625.767 eşdeğer nüfusa hizmet edebilecek kapasiteye sahiptir. Tesis genel itibariyle; Giriş yapısı, Kaba ve İnce Izgaralar, Havalandırmalı Kum ve Yağ Tutucu, Havalandırma havuzları ve Son Çökeltim Havuzları ünitelerinden oluşmaktadır. Tesiste arıtılan su tesis içinde üstü açık, tesis dışında kapalı olan çıkış kanalı yolu ile Çark deresine deşarj edilir.

Çalışmalarımızda mikroplastikleri incelemek amacıyla tesisten numune alınan yerler; giriş yapısı, havalandırmalı kum ve yağ tutucu çıkışı, havalandırma havuzu çıkışı, son çökeltim havuzu çıkışı noktalarından oluşmaktadır. Bu noktalar sırasıyla A, B, C ve D olarak kodlanmıştır. Numune alım noktaları aşağıdaki Şekil 8'de görüldüğü gibi yıldız ile gösterilerek işaretlenmiştir.



Şekil 8. Sakarya Karaman Atıksu Arıtma Tesisi proses akış şeması

### 3.2 Mikroplastik Ayırma ve Belirleme

AAT üzerinde belirlenen noktalardan (Bknz. Şekil 8) alınan atıksu numunelerinin geçirildiği işlemler, aşağıda maddeler halinde genel olarak verilmiştir;

#### 1) Ayırma işlemleri

A. Numunelerdeki organik safsızlıkları bertaraf etmek amacıyla hidrojen peroksit kullanılmıştır.

B. Aşağıdaki tuzlardan biri kullanılarak ağırlaştırılmış çözelti hazırlanarak yoğunluk farkı oluşturulabilir. Bu işlemlerde en ucuz olan NaCl ile yoğunluğu en fazla  $1.2 \text{ g.cm}^{-3}$  olan (doymuş) sodyum klorür çözeltisi kullanılabilir. Fakat NaCl kullanıldığında en fazla bu yoğunluğa sahip plastikler yüzdürülerek ayrılabilceğinden dolayı buradaki çalışmalarda daha yüksek yoğunluklu çözeltiler hazırlanmış bu sebeple de yoğunluğu  $2,91 \text{ g.cm}^{-3}$  olan ve nispeten diğerlerine göre ucuz olan  $\text{ZnCl}_2$  tuzunun çözeltisi kullanılarak ağır ortam hazırlanıp yoğunluk farkı oluşturulmuştur.

1. Sodyum klorür, NaCl
2. Çinko klorür,  $\text{ZnCl}_2$
3. Sodyum İyodür, NaI
4. Sodyum politungstat (SPT),  $\text{Na}_6(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40})$

C. 4000 rpm' de 5 dakika süreyle santrifüjleme yapılmıştır.

D. Farklı filtreler kullanılarak numunelerin süzülmesi işlemi yapılmıştır.

1. 5000  $\mu\text{m}$
2. 1000  $\mu\text{m}$
3. 250  $\mu\text{m}$
4. 100  $\mu\text{m}$
5. 20  $\mu\text{m}$

E. Yıkama ve petri kabına alma

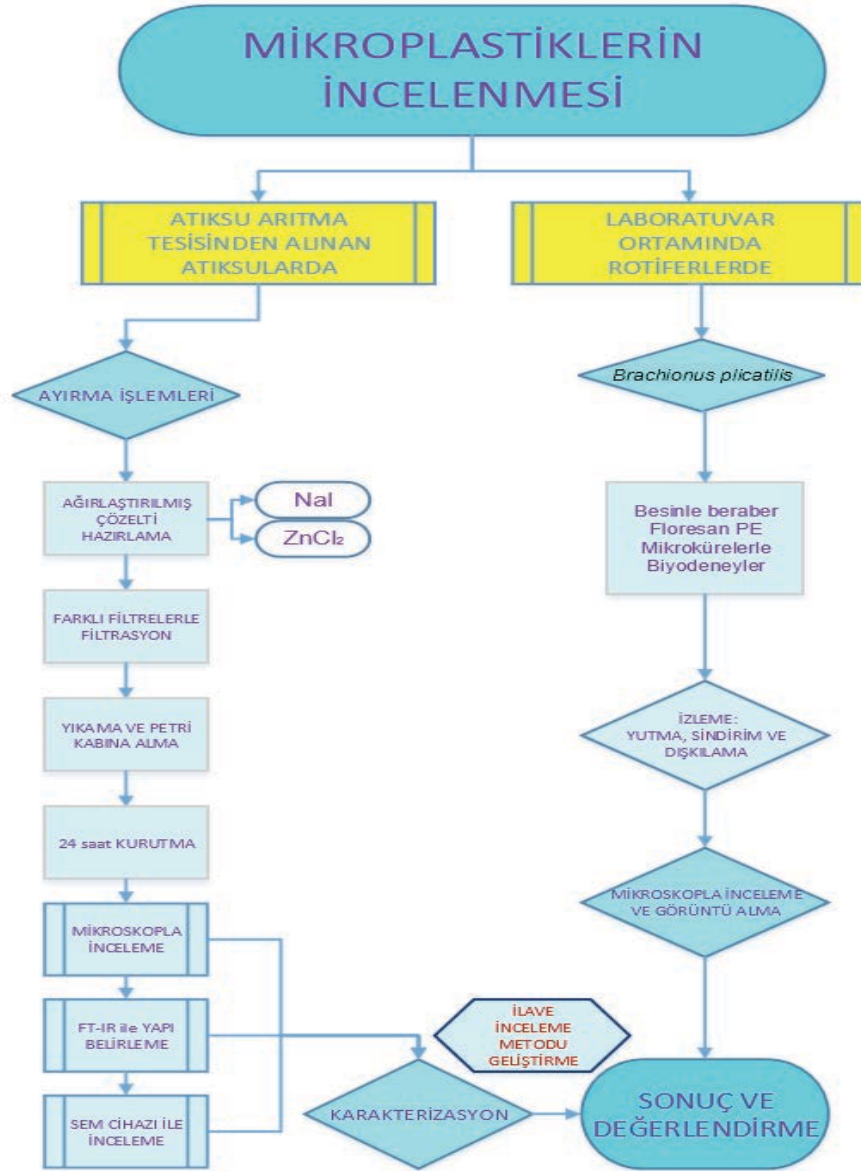
F. 24 saat kurutma

#### 2) Karakterizasyon

A) ATR-FT-IR ile yapı belirleme

B) Mikroskopla inceleme

Yapılan çalışmaları genel olarak gösteren bir iş akış şeması aşağıda Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Mikroplastik inceleme çalışmaları için iş akış şeması

### 3.3 Metot Geliştirme Çalışmaları

Yukarıda belirtilen ve gerçek numunelerde yapılan ayırma işlemlerinden başka, sentetik numuneler hazırlanarak aşağıdaki işlemler de yapılmıştır. Bu işlemlerin yapılmasındaki temel amaçlar; mikroplastiklerin farklı ortamlardaki davranışlarını daha net ortaya koyabilmek ve daha iyi ayırma metodu geliştirebilmektir.

1. Yoğunluğu farklı olan mikroplastiklerin, Atıksu Arıtma Tesislerinde (AAT) sıkça kullanılan koagülantlar karşısındaki davranışını ortaya koyabilmek için koagülant madde-mikroplastik deneyleri yapılmıştır. Günümüzde arıtmada kullanılan koagülantların, neredeyse en yüksek yoğunluklu plastiklerden olan PVC gibi bir plastiği çöktürmedeki etkinliğini anlayabilmek için

çalışmalar 1'er L atıksu içinde yürütülmüştür. Deneysel çalışmalarda kullanılan PVC plastik granüllerinin yoğunluğu  $1.30 \text{ g/cm}^3$ , büyüklüğü  $150 \mu\text{m}$  olup, katkı maddesi içermemektedir. Koagulant madde olarak ise arıtma tesislerinde yaygın bir şekilde kullanılan koagulantlardan olan Merck markalı  $\text{FeCl}_3$  ve Alum kullanılmıştır. PVC ile yapılmış olan çalışmalar ayrıca Düşük yoğunluklu (DYPE-LDPE) plastik türü kullanılarak da yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Çalışmalarda kullanılan LDPE plastiklerin büyüklüğü  $120\text{-}200 \mu\text{m}$  civarındadır.

Atıksu numunelerinden birer Litre alınarak 1g PVC plastiği ile ayrı ayrı yapılan deneylerde kullanılan  $\text{FeCl}_3$  ve Alum koagulant dozları 1mg, 2mg, 5mg, 10mg, 20mg, 30mg ve 50mg' dır. Kolonda sırasıyla dip bölgesine, 100mL, 500 mL, 900 mL ve 1000mL'ye karşılık gelen 0cm, 2cm, 11cm, 20 cm and 22 cm derinliklerden alınan numuneler, ölçekli bir filtre kağıdından ( $0.45\mu\text{m}$ ) geçirilerek süzölmüş ve filtre kağıdı üzerinde her bir karede, iki karede ve 4 karede kalan PVC plastikleri, Olympus BX51 Mikroskop ile incelenerek sayılmıştır. Sayım için deneyler 5 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve sonunda elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak tek bir kare başına düşen ortalama mikroplastik miktarı hesaplanmıştır. Farklı koagulantlar kullanılması durumunda kolon boyunca farklı derinliklerde bulunan mikroplastik sayıları belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar çizilen grafiklerde kıyaslanmıştır. Ayrıca deneylerde pH ve sıcaklık değerleri sürekli takip edilerek genelde pH 7 civarında ve sıcaklık  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak ölçölmüştür. Karıştırma-bekletme süreleri ise 30dk.+30dk. olacak şekilde çalışmalar yürütölmüştür.

**2. Yağ-yağımsı maddelerle mikroplastiklerin etkileşimlerini anlayabilmek amacıyla gerçek numunelerin yanı sıra sentetik numunelerde de mikroplastik-yağ çalışmaları yapılmıştır.**

Su yağ karışımında yağın miktarının az veya fazla olmasının sudaki mikroplastığı tutma kapasitesi açısından önemli olup olmadığını anlamak amacıyla farklı miktarlardaki 0.1, 1,2,5,10 mL yağ 1 L su içerisine konulmuştur. Deneyler su ve atıksu kullanılarak yapılmıştır.

### **3.4 Laboratuvar Ortamı, Kullanılan Cihazlar ve Ekipmanlar**

Bilimadamları son birkaç yıldır özellikle sulardaki mikroplastiklere yoğunlaşmış olsa da artık günümüzde soluduğumuz havada, "atmosferik döküntü"ler içinde bile çok sayıda "mikroplastik" bulunduğu anlaşılmıştır. Günlük hayatta kullandığımız ve artık vazgeçilmezimiz! olan sentetik tekstil ürünlerinden mamül kıyafetlerimizden yaşadığımız ortamlara her an ve her hareketimizle sayılamayacak kadar çok miktarda plastik mikrolif dökölmektedir. İşte böyle bir durumdan dolayı çalışmalarımızda numunemize ortamdan veya havadan ekstra bir kirlenici (mikroplastik) bulaşmasını önlemek adına, laboratuvarında temizlik

ve hijyen kurallarına azami dikkat etmenin yanı sıra pamuklu önlükler kullanılmış, ayrıca işlem yapılan numunelerin üzeri derhal bir kapakla kapatılmıştır. Ekipmanlar yıkama çözeltisinden ve üç defa saf sudan geçirilmiş ve malzemeler kullanılmadan önce gerektiğinde alkolle temizlenmiştir. Emin olmak için mikroskopla incelenerek kontrolden geçirilmiştir.

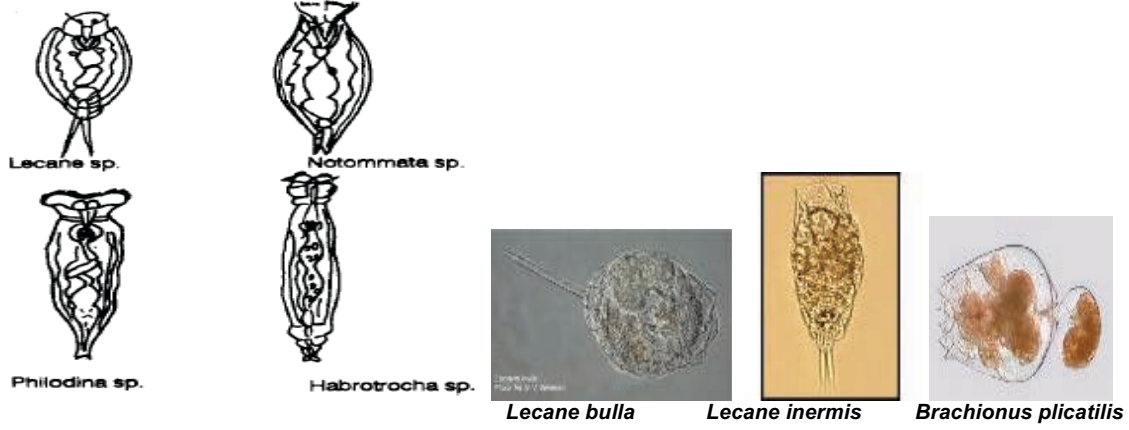
Başta numunelerde bulunması muhtemel organikleri giderebilmek amacıyla H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanılmıştır. Sonra, numune içerisine yoğunluğu sudan fazla olan inorganik tuzlar (ZnCl<sub>2</sub>, NaI) eklenerek ağırlaştırılmış çözelti hazırlanmış ve plastiklerin üst faza geçmesi sağlanmıştır. Çözeltiden ayırma-yıkama yaptıktan sonra farklı gözenek boyutuna sahip filtrelerle filtrasyon işlemi yapılmıştır. Süzme sonrasında her bir filtre üzerinde kalan örnekler OLYMPUS BX51 mikroskop yardımıyla incelenmiş ve FT-IR analizleri yapılmıştır. FT-IR analizleri; üniversitemizin Kimya bölümünde bulunan Mattson Infinity Series FT-IR cihazı ve daha sonraları ise Çevre Mühendisliği bölümüne yeni alınan Bruker Lumos mikroskoplu ATR FT-IR cihazı ile yapılmıştır. Yapılan biyodenyelerde ise Biyoloji bölümündeki OLYMPUS CX41 floresan ataçmanlı Binoküler Floresan mikroskobu kullanılmıştır. Her süzme işleminde yeni ve temiz malzemeler kullanılmıştır. Çalışma esnasında alınan atıksularla ilgili ve gerekli olabilecek bazı fiziko-kimyasal parametreler (örn: KOI, pH, AKM vb.) ölçülmüştür. pH ölçümleri için WTW pH 330 model pH metre kullanılmıştır. Bu çalışmalardan sonra mikroplastikleri morfolojik açıdan incelemek için alınan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri [Tablo 6'](#) da verilmiştir.

### 3.5 Rotiferler

Rotiferler organik detritus, ölü bakteri, alg ve protozoalarla beslenirler. 10 mikrometre büyüklükteki parçacıklara kadar yiyebilirler. Besin döngüsüne katkıda bulunurlar. Balık tanklarında atık parçacık kalıntılarını tüketerek suyu temizlemeye katkıda bulunurlar. Ayrıca rotiferler balıkların larval dönemlerinde kullanılan en önemli besindir. Rotiferlerin besin değeri yüksektir ve özellikle balık larva yetiştiriciliğinde besin kesesi çekilmiş olan yavruların yeme alıştırılma safhasında büyük önem arz ederler. Rotiferin besin değeri kuru ağırlığına, kalori değerine ve kimyasal kompozisyonuna bağlıdır. Rotiferin kuru ağırlığı büyüklüklerine ve besin durumlarına bağlıdır.

Aritma tesislerinde aktif çamur ve damlatmalı filtrelerde en çok gözlenen rotiferler Bdelloidea (*Philodina spp.*, *Habrotrocha spp.*) ve Monogononta (*Lecane spp.*, *Notommata spp.*) sınıflarından olan rotiferlerdir ([Bitton, 2011](#)). Tuzlusu rotiferi olan *Brachionus plicatilis* (150 µm-300 µm) dünyada larva balık beslemek için en yaygın kullanılan türdür. Yüksek besin değerine sahip, küçük ve yavaş yüzen bir örohaline (euryhaline değişik tuzluluklara adapte olabilen) türdür. Bilimadamları, *Brachionus plicatilis*'in planktonik organizmaları

süzerek beslenen bir polifagoz (birçok hücreyi yutabilen, yiyebilen) olarak sınıflandırmış ve 3-5µm' den 30µ büyüklüğe kadar olan mikroalg, maya, bakteri türleri ve canlı olmayan diğer partikülleri alabildiklerini bildirmişlerdir.



**Şekil 10.** Aktif çamurda en çok rastlanan rotiferler ve balık yemi olarak kullanılan *Brachionus plicatilis* (Bitton, 2011)

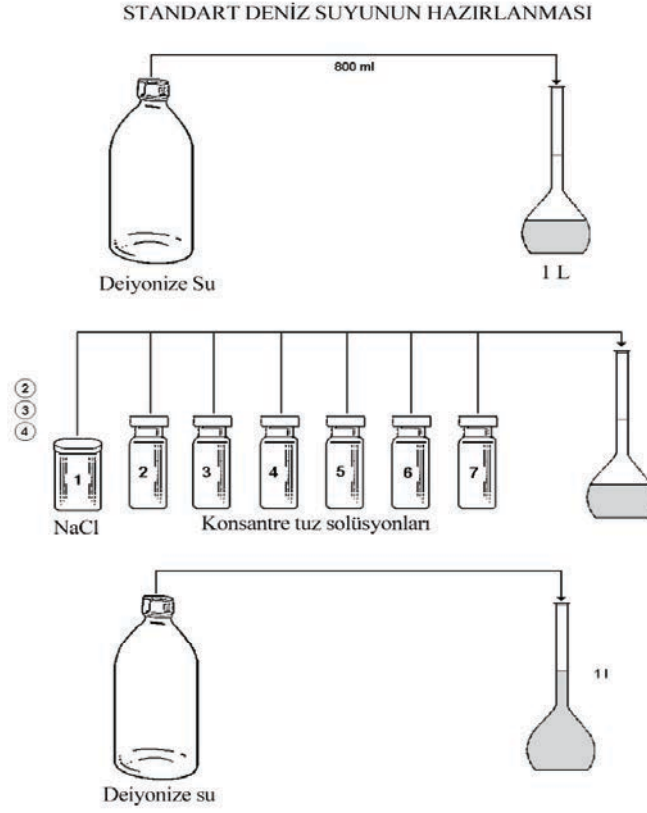
### 3.5.1 Doz seçimi

Poliyeten mikroküreleriyle yapılan bir çalışmada (Rodrigo vd., 2001) poliyeilen mikrokürelerinin (<30 µm) 0,2 mg/mL de Osteokalsin sekresyonunu istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artırdığını belirtmiştir. Bu nedenle de çalışmalarımızda *Brachionus plicatilis* üzerinde poliyeilen mikroplastiklerinin akut toksisite testiyle LC<sub>50</sub> değerinin hesabı için 0,2 mg/mL'nin de dahil olduğu 0,8-0,4-0,2-0,1 ve 0,05 mg/mL'lik dozlar kullanılmıştır. Ayrıca üreme ve gelişmenin test edildiği 5 günlük deneyde de 0,4-0,2-0,1 ve 0,05 mg/mL'lik dozlar kullanılmıştır.

### 3.5.2 Akut toksisite testi protokolü

Bu çalışma için çeşitli hızlı toksisite testlerinde (Snell, 2005) kullanılan ROTOXKIT M™ (Microbiotest Inc.- 9030 Mariakerke, Gent, Belgium) kullanılmıştır. ROTOXKIT kullanılarak yapılan bazı çalışmalarda TiO<sub>2</sub> nanopartiküllerinin (Clément vd., 2013), hormon bozucuların (Rico-Martínez vd., 2016) ve streptomisin sülfat, tetrasiklin hidroklorür ve tilosin tartrat gibi antibiyotiklerin (Araujo ve McNair, 2007) *B. Plicatilis* üzerine toksisitesi araştırılmış ve LC<sub>50</sub> değerleri belirlenmiştir. *Brachionus plicatilis* ile 24 saatlik akut toksikolojisinin incelendiği bu mikrobiyotest ASTM Standart Kılavuzu E1440-91'e bağlıdır. 800 mL deiyonize suya hazır olarak satın alınan kitte yer alan kimyasal maddeler (NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), standart deniz suyunu elde etmek için üzerlerinde belirtilen numara sırasına göre ilave edilir. Burada dikkat edilmesi gereken her bir kimyasal madde sırayla ve

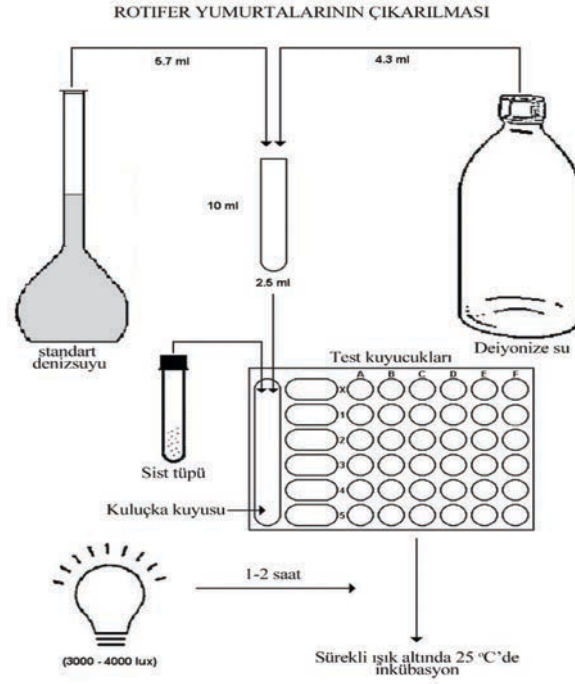
çözünerek diğerine geçilmelidir. Tuzlar çözüldükten sonra çözelti 1000 mL'ye deiyonize suyla tamamlanır ve elde edilen çözelti stok olarak kullanılır (Şekil 11).



Şekil 11. Standart deniz suyunun hazırlanması

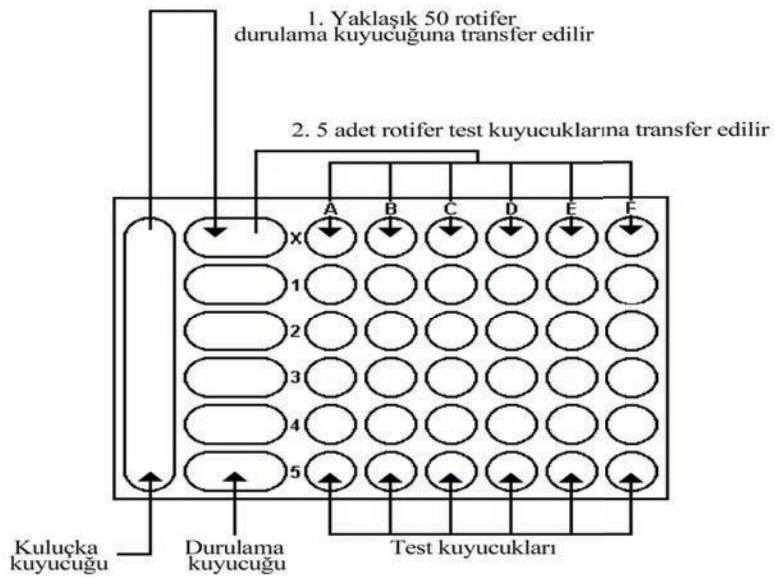
Hazırlanmış olan stok solüsyondan 5,7 mL alınır ve bu standart deniz suyunun üzerine 4,3 mL deiyonize su eklenerek 10 mL bir çözelti elde edilir. Daha sonra hazır kit grubunun içerisinde çıkan şeffaf tepsinin üzerinde bulunan yumurta çıkartma kuyusuna bu 10 mL'lik solüsyondan 2,5 mL eklenir. Bu çözeltinin içerisinde rotifer yumurtaları konulur. Önceden 25 °C'ye getirilmiş ve içerisinde 3000-4000 lüks (3500 lüks 6 Voltluk floresan lambanın kültüre yaklaşık 9-10 cm uzakta olmasıyla elde edilebilir) ışıklandırma sistemi bulunan etüv içerisinde 24- 26 saat arasında kültüre edilmeye bırakılır (Şekil 12). Süre sonunda yumurtadan çıkma yüzdesinin az olduğu belirlenirse süre 28 saate çıkarılabilir.





**Şekil 12.** Rotifer yumurtalarının çıkışı

Kültür işleminden sonra yumurta çıkarma kuyusunun yanında bulunan 5 durulama kuyucuğunun her birine 0,7 mL standart deniz suyu eklenir ve içerisine yumurtadan çıkan rotiferlerden yaklaşık olarak 50 adet birey transfer edilir. Hazırlanan uygulama dozlarından 0,3 mL olacak şekilde test kuyucuklarına (5 adet her bir doz için) test maddesi ekilir. Test maddeleri de standart deniz suyu ile hazırlanmalıdır. Daha sonra durulama kuyucuğundan alınan rotiferler her bir test kuyucuğunda 5 adet olacak şekilde transfer edilir (Şekil 13).



**Şekil 13.** Rotiferlerin test kuyucuklarına transferi

Transfer işlemleri bittikten sonra test kuyucuklarının üzeri parafilm ile kaplanarak 25 °C'de 24 saat karanlık ortamda bırakılır.

### 3.5.3 Sonuçların değerlendirilmesi

İnkübasyondan alınan test plate'i stereo mikroskop altına alınır. Her bir doz için 5 kuyucuk ayrı ayrı incelenerek canlı ve ölü rotiferler kaydedilir. Gözlem esnasında 5 saniye boyunca hareket etmeyen rotiferler ölü olarak değerlendirilir ve kayıt sayfasına eklenir (Şekil 14). Her bir konsantrasyon için ölüm oranı % cinsinden hesaplanır. Ölüm oranı kontrol grubunda %10'u aşarsa çalışma geçersiz sayılır.

Test Tarihi : .....  
Toksikantın adı .....

Test ortamının tuzluluğu: ..... ppt

konsantrasyon 1 = .....  
konsantrasyon 2 = .....  
konsantrasyon 3 = .....  
konsantrasyon 4 = .....  
konsantrasyon 5 = .....

		A	B	C	D	E	F	Total	% mortal.
kontrol	24h							/ 30	
	48h							/ 30	
konsantrasyon 1	24h							/ 30	
	48h							/ 30	
konsantrasyon 2	24h							/ 30	
	48h							/ 30	
konsantrasyon 3	24h							/ 30	
	48h							/ 30	
konsantrasyon 4	24h							/ 30	
	48h							/ 30	
konsantrasyon 5	24h							/ 30	
	48h							/ 30	

Şekil 14. Ölüm oranının kaydedildiği kayıt sayfası örneği

### 3.5.4 *Brachionus plicatilis* ile üreme ve gelişim testi

Kültür ortamı için (Lubzens vd., 1995; Serdar ve Lök, 2002) standart deniz suyu hazırlandı. Tablo 3'de belirtilen kimyasal maddeler tartılarak 1 litre distile suda çözülerek standart deniz suyu elde edildi. Yapılan çalışmada 500 adet *Brachionus plicatilis* 500 mL'lik beherlere yerleştirildi. 5 gün süre boyunca rotiferlerin takibi yapıldı. Rotiferlerin yaşayacağı ortam steril su kullanılarak hazırlandı. Suyun tuzluluğu yaklaşık 20 ppt, sıcaklığı 27-28 °C, pH'ı ise 7-8 civarında olarak ayarlanarak ve sürekli ışık altında kültüre edildi. *Brachionus plicatilis*'e ek olarak *Lecane inermis* ile de üreme ve gelişim testleri yapılması planlanmasına rağmen

oluşan kontaminasyon problemi nedeniyle bu tür birkaç defa denenmesine rağmen kültüre edilememiştir.

**Tablo 3.** Standart deniz suyu hazırlama protokolü

<i>NaCl</i>	26.4 g
<i>KCl</i>	840 mg
<i>CaCl<sub>2</sub></i>	1670 mg
<i>MgCl<sub>2</sub></i>	4600 mg
<i>MgSO<sub>4</sub></i>	5580 mg
<i>NaHCO<sub>3</sub></i>	170 mg
<i>H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub></i>	30 mg

### 3.5.5 Sonuçların Değerlendirilmesi ve İstatistik

Her konsantrasyon 5 örnekleme yapılarak mL'ye düşen ortalama rotifer sayısı hesaplandı ve gelişim için Olympus BX51 marka görüntüleme sistemli mikroskop altında bu bireylere ait resimleri çekildi. Çekilen resimler üzerinden BAB BsPro200 yazılımı ile vücut ölçüleri en ve boy olmak üzere iki farklı parametrede ölçüldü. Elde edilen verilerin istatistiksel analizi esnasında üreme testi sonuçları z-testi, büyüme-gelişme ve regresyon analizleri ise SPSS 22 paket programıyla yapılmıştır.

## 4. BULGULAR

### 4.1 Atıksudaki Mikroplastikler'in İncelenmesi

Bu çalışmada mikroplastikleri incelemek amacıyla alınan atıksu numunelerinde ilk önce organik safsızlıkları gidermek için peroksitle muamele yapılmış daha sonra yoğunlukları farklı olan inorganik tuz çözeltileri ( $ZnCl_2$ , NaI) ile ağırlaştırılmış çözelti hazırlanmıştır. Ayrılan üst faz filtrelerden geçirilerek süzölmüş ve mikroskop ile incelendikten sonra FT-IR cihazı ile tanımlanmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan; mikroplastikleri atıksulardan ayırmanın ve tanımlamanın oldukça zor olduğu, incelenen mikroplastığın boyutu küçükse (<50  $\mu m$ ) bu işlerin daha da zorlaştığı, hatta incelenen numunede bu projedeki gibi özellikle kanalizasyonda bol miktarda bulunan mikroplastik lifler bulunuyorsa, onları belirlemenin ve sınıflandırmanın çok daha zor olduğu ve yeni tekniklerin geliştirilmesinin gerekliliği anlaşılmıştır. Bundan dolayı özellikle arıtma tesinin farklı noktalarından alınan numunelerde en çok bulunan lifler incelendiğinde bu liflerin arıtmanın farklı kademelerinin hepsinde hatta çıkış suyunda bile bulunduğu görülmüştür.

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Yoğunluk Farkı- Santrifüj-Filtrasyon-Optik Mikroskop-ATR FTIR-SEM analizi:

Tesisten alınan tüm A, B, C ve D numunelerine farklı farklı işlemler yapılarak en fazla şekilde plastik ekstraksiyonu sağlanmaya çalışılmış ve hemen sonrasında da numuneler kurutularak belirlenmiştir (5 dk- 4000devirde).

Atıksulardaki mikroplastiklerin mevcudiyetini ve tipini anlamak üzere yapılan çalışmalarda örneğin aşağıdaki **Tablo 4**'deki gibi bir sırayla her bir numune için rastgele tek karede, 2li karede ve yanyana 4lü karede sayım yapılarak bu sayımların aritmetik ortalaması alınmıştır.

**Tablo 4.** Rastgele karede sayım

	A1	A2	A3	A4
1.Kare	5	1 + 1lif (beyaz)	4+1lif (lacivert)	2+3 lif (2sarı/siyah)
2.Kare	3	5	4	3+1lif (sarı)
3.Kare	4 + 1lif (siyah)	1 + 1lif (lacivert)	2+2 lif (kırmızı/beyaz)	4+2 lif (lacivert/sarı)
4.Kare	5 + 3lif (2sarı/beyaz)	3+1lif (lacivert)	3+2 lif (lacivert)	7/3 lif (lacivert/2kahve)
5.Kare	1 + 2lif (siyah)	4	3+2 lif (sarı/gri)	3+2 lif (kahve/pembe)

Numuneler;

- Giriş,
- Havalandırmalı kum ve yağ tutucu çıkışı,
- Havalandırma havuzu çıkışı,
- Son çıkış

Numuneler ölçekli bir filtreden (0.45µm) geçirilerek süzölmüş ve üzerindeki mikroplastikler Olympus BX51 Mikroskop (4X) ile incelenmiş ve sayılmıştır. Bu incelemelere ait mikroplastik görüntüleri (genelde 4X büyütme, ve10X) aşağıda Tablo 7’de verilmiştir. Çalışmalarda kullanılan ATR micro-FT-IR cihazı ile bile atıksulardaki yaklaşık 50 µm’ den küçük plastik parçacıklarının net olarak belirlenemediği görölmüştür. Hatta cihazla inceleme sırasında; numune sabitlenemediği için numunedeki bu küçük parçacıkların ve liflerin ATR (Attenuated total reflectance) -FT-IR teması ve etkisiyle meydana gelen kaydırmalara çok fazla maruz kaldığı, bunun da incelemeyi olumsuz etkilediği görölmüştür. Ayrıca ATR-µFT-IR 500 mikrondan büyük mikroplastikleri belirlemede çok uygun olsa da; ATR otomatik haritalama (automatable mapping) modunda inceleme yapmak hem çok zaman almış hem de küçük parçalar çok doğru tanımlanamamıştır. Mikroplastik belirleme de Fourier transformed infrared (FT-IR), Attenuated Total Reflectance (ATR-FT-IR), Focal Plane Array-Based (FPA) Reflectance Micro-FT-IR Imaging (Tagg vd., 2015) ve Raman spectroscopy (Collard vd., 2015) kullanılabilir. Bunlardan Raman mikroskopuyla daha küçük parçacıklar daha net olarak otomatik haritalama ile belirlenebilir. FPA Reflectance Micro-FT-IR ile otomatik haritalama ATR-FT-IR’ a göre daha hızlı sürede gerçekleştirilebilir.

AAT girişinden alınan atıksuların KOİ değeri ölçümlerimizde 750mg/L’ nin üstüne çıkmamıştır en küçük olarak da 70 mg/L olarak ölçölmüş genelde de ortalama KOİ değeri 315 mg/L civarındadır. AKM değeri ölçümlerimizde 540 mg/L’ yi geçmemiş, en küçük olarak da 36 mg/L olarak ölçölmüş ve ortalama AKM değeri 213 mg/L civarındadır. pH değeri ise genelde 7.80 değeri civarında olup 7.5-8 arasında ölçölmüştür. Çıkış numunelerinde ise ortalama KOİ 30 mg/L, pH 7.5-8 arası olup, AKM 10 mg/L’ den düşüktür.

**Tablo 5.** AATesisinde farklı kademelerde rastlanan mikroplastiklerin bazı görüntüleri (EK 1 Tabloda verilmiştir).

**Tablo 5’te,** atıksuda bol rastlanan mikroplastiklerin mikroskop görüntüleri görölmektedir. Sırasıyla A, B, C ve D olarak kodlanan; giriş yapısı, havalandırılmalı kum ve yağ tutucu çıkışı, havalandırma havuzu çıkışı, son çökeltim havuzu çıkışı noktalarından alınan numunelerde farklı farklı fizikokimyasal işlemler yapılarak MP ayırma çalışmaları yapılmıştır. Bu yapılan işlemler deney 1, 2, 3, ve 4 olarak kodlanmış ve açıklamaları Tablo 7’ deki üst satırda gösterilmiştir. Çalışmalar sonucunda; eklediğimiz kimyasallardan dolayı A, B ve C numunelerinde bazı aşamalarda ara ürünler oluştuğu (örn: yoğun beyaz parçacık vs.) fakat D numunesinde bu parçacıklardan hiç oluşmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca giriş numunesinde çok uzun bir life rastlanmadığı halde havalandırma çıkışında çok uzun liflere rastlandığı olmuştur. Bununla beraber B numunesi oldukça yoğun ve kirli bir çamurumsu yapıda olduğu

için bu metotlarla iyi incelenememiştir. Ayrıca filtrasyon sonucu filtre üstünde kalan mikroplastikleri morfolojik açıdan incelemek için Taramalı Elektron Mikroskobu ile çekilen SEM görüntüleri Tablo 6' da verilmiştir (EK 2 Tabloda verilmiştir).

**Tablo 6.** Çeşitli mikroplastiklerin SEM görüntüleri

Aşağıdaki **Tablo 7'** nin ilk satırında verilen kimyasal ve sıralamalar takip edilerek yapılan ve bunun farklı kimyasallarla farklı versiyonlarını deneyerek yaptığımız çalışmalarda tesis girişine ciddi oranda mikroplastik geldiği ve aktif çamur sistemi ile yapılan arıtma kademeleri boyunca mikroplastik miktarının bazı sayımlarda neredeyse girişte saydığımızdan fazla olduğu da görülmüştür. Bu durum rastgele farklı karelerde çalışmadan kaynaklanmış olabilir. Çalışmalarda çıkış numunelerinde de giriş numunelerinde de bol miktarda mikroplastik bulunduğunu görülmüştür. Bunun sebebi çok küçük boyutta olan mikroplastikleri incelememizden dolayı olabilir. Daha iri boyuttaki mikroplastik parçaları çıkış kısmında fazla bulunmazken lifler maalesef tesisin her yerinde bulunmaktadır.

**Tablo 7.** AAT numuneleri, yapılan işlemler ve sonuçlar

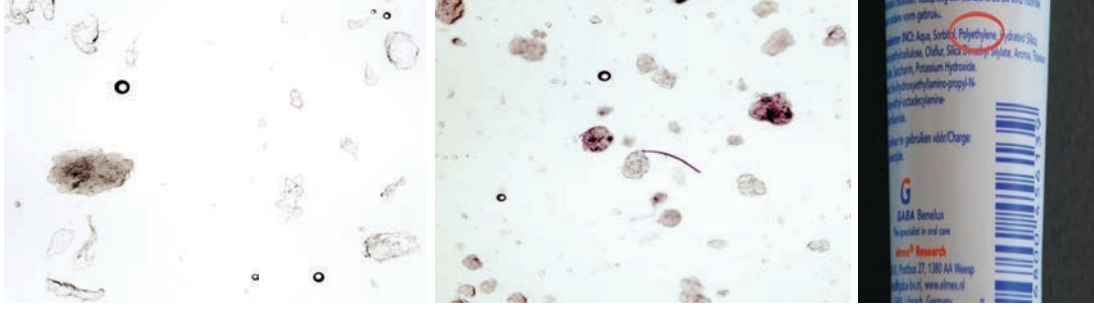
Deney 1	2	3	4
Numune, direkt filtrasyon inceleme ve sayım	FTIRNumune, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ile 1 saat karıştırılarak muamele, sonra filtrasyon	Numune, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ve NaOH 1 saat karıştırılarak muamele, filtrasyon	Numune, ZnCl <sub>2</sub> çözeltisi ekle, karıştır, filtrasyon
<b>A)</b> A1 numunesinde, kirillik bulunuyor ve kirillik tortu şeklinde yoğun kirillik dipte, yüzeyinde çok ince değil katı halde görünüyor. Askıda yabir tabaka halinde kirillik varken askıdaki kirillik olduğu da yüzeyde kirillik yok. Su renkdaha az yoğun olduğu görülmektedir. Yüzeyle kendi renginde, kolon olarak içerisinde farklı bir renk görünmüyor.	A2 numunesinde, dipte askıda ve dipte yüzeyde kirillik olduğu görülmektedir. En yoğunluk, yüzeyden dibe yakınıdır. Bu bölümlerinde de homojendir. Burengi kahvemi ve bulanıktır. kolondaki numune su rengi kahvemi ve bulanıktır.	A3 numunesinde, yüzeyde, dipte ve askıdadığı bulunuyor. Dipte, yüzeyde ve askıdaki kirillik olduğu görülmektedir. Fakat buradave askıda bulunan kirillik arasında daha yoğunluğuyüzeyle devamında kolondaki numune suyoğunluk yüzeyden dibe doğru azalmaktadır. Yine kolon içerisindeki suyun renginde bir ton farklı bulunmamaktadır.	A4 numunesinde, kirillik dağınık halde ve tortular şeklinde birbirinden ayrılıyor. Dipte, yüzeyde ve askıdaki kirillik olduğu görülmektedir. Fakat dipten yüzeye çıktıkça kirillik rengi giderek açılmaktadır. Yüzeyinde 5-6 mm lik kısımda çok ince su katmanı bulunmaktadır.
<b>B)</b> B1 numunesinde, kirillik ve su olarak 2 ayrı fazın net olarak ayrıldığı görülmektedir. Alt kısımda kirillik, üst kısımda ise su olduğu görülmektedir. Üst katmandaki su içerisinde hiçbir dipteki yumaklı kirillik bulunmayıp, duru su olduğu görülmektedir. Askıda ya da yüzeyde hiçbir kirillik bulunmuyor.	B2 numunesinde, tüpün yüzeyinde ve dipte kirillikler olduğu görülmektedir. Askıda da kirillik farklı katman oluşturmuş olabilir. Üst dipte yüzeyden daha az miktarda kirillik koyu kahve rengindedir. Burada kirillik üst kısmında çok ince su katmanı üzerinde küçük bir baloncuk katmanı da görülmemektedir.	B3 numunesinde, tüp içindeki numune köpük ve sarımsak katman olarak 2 farklı katman oluşturmuş denebilir. Üst dipte yüzeyden daha az miktarda kirillik koyu kahve rengindedir. Burada kirillik üst kısmında çok ince su katmanı içerisinde ya da dibinde bir kirillik görülmemektedir.	B4 numunesinde, yüzeyde askıda dipte her yerde kirillik olduğu görülmektedir. Fakat dipten yüzeye çıktıkça kirillik rengi giderek açılmaktadır. Yüzeyinde 5-6 mm lik kısımda çok ince su katmanı bulunmaktadır.
<b>C)</b> C1 numunesinde, yüzeyinde ve askıdaki kısımda hiçbir kirillik bulunmamaktadır. Kirillik sadece dipte de ve katı şekilde siyah renkte yoğun kirillik vardır. Suyun renginin bulunmaması, tüpün içerisindeki sığimsi olmasının dışında kirillik gitmiş rengi ise bulanıktır.	C2 numunesinde, askıda ve yüzeyde kirillik miktarında olmak üzere kirillik mevcuttur. Dipte ise bu bölümlere oranla daha tabakalaşmış kirillik varken, en yoğun kirillik yüzeyde olduğu görülmektedir. Tüp içerisindeki su kendi rengindeyken, askıda denecek kadar az olduğu görülmektedir.	C3 numunesinde, askıdaki kısımda tortular şeklinde az miktarda kirillik görülmektedir. Dipte yüzeyden daha az miktarda kirillik varken, en yoğun kirillik yüzeyde olduğu görülmektedir. Tüp içerisindeki su kendi rengindeyken, askıda ki kirillik suya grimsi renk katmıştır.	C4 numunesinde, yüzeyde hiçbir kirillik bulunmuyorken askıdaki kısımda az miktarda ve her yerinde homojen olmak üzere kirillik vardır. Asıl yoğun olarak kirillik olan yer ise tüpün dip kısmıdır. Buradaki kirillik rengi grimsidir. Tüp içerisindeki su ise bulanık görünmektedir.
<b>D)</b> D1 numunesinde, yüzeyde ve askıda kirillik bulunmamaktadır. Dipte çok az miktarda kirillik vardır, bu kirillikse kirillik tortu bulunmamaktadır. Sadece tüpün içerisindeki suyun rengi sarımsaktır.	D2 numunesinde, hiçbir bölümünde kirillik bulunmamaktadır. Sadece tüpün dibinde sarımsak bir renk vardır.	D3 numunesinde, hiçbir bölümünde kirillik bulunmamaktadır. Sadece tüpün dibinde sarımsak bir renk vardır.	D4 numunesinde, yüzeyde ve askıda kirillik bulunmamaktadır. Dipte de bir tortu yada herhangi bir kirillik bulunmamaktadır. Sadece suyun renginde sarımsaklık vardır.

Bu çalışmalardan çıkış suyu numunesine ait bir ATR-FT-IR analizi görüntüsü [EK 3](#)'te örnek olarak verilmiştir. Kimyasal görüntüleme çalışmasında çıkış suyunda bulunan yeşil renkli lifin polyamid PA6 olduğu anlaşılmaktadır.

Atıksu numunelerinde FT-IR analizlerinde sırasıyla en çok polietilen, polyester, poliamid ve polipropilen türevi mikroplastiklere rastlanmıştır. Renk olarak en çok, beyaz, şeffaf, siyah, sarı, bordo, lacivert plastikler görüşmüştür. Şekilsel olarak ise, tartışmasız en çok plastik liflere rastlanmakla beraber bunu parçacıklar ve filmler takip etmiştir. Atıksulardaki ve arıtma çamurlarındaki sentetik lifler, bu atıkların herhangi bir ortamdaki varlığının indikatörü gibi bilinmeye başlamıştır. Leslie' ye göre bir su kaynağında veya tarım alanında mikroliflere rastlanması demek; neredeyse bu alanlara kanalizasyon veya atık çamur karışmış olmasıyla eş anlama gelmektedir ([Leslie, 2013](#)).

Sentetik tekstillerde kullanılan ve kanalizasyona geçmesi muhtemel plastik lif türleri genel olarak; Polyester (terylene, trevira), polyamide (nylon6, nylon 6.6, nylon 11), polyvinylidene (acrylic, modacrylic, polyvinylchloride, polyvinylidenechloride, polyvinylalcohol, polystyrene), polyolefins (polyethylene, polypropylene, polytetrafluoroethylene-PTFE) ve polyurethane liflerdir. Atıksularda veya kanalizasyonda rastlanan Plastik liflerin türlerini tanımlayabilmek için; ağırlaştırılmış çözeltide yoğunluk farkı yaratarak yapılacak yüzdürme ve filtrasyondan sonra, basit bir bir iğne ile yakma testi uygulanabilir. Bu test; yanan lifin spesifik kalıntısına, kokusuna, yanma şekline ve alevin rengine göre yapılan bir sınıflandırmadır ([Braun, 2013](#); [Levitan, 2016](#)). Plastik tanımlamada "Kızgın İğne Testi-Hot needle test" ([De Witte vd., 2014](#)), Marine & Environmental Research Institute (MERI) tarafından hazırlanan Guide to Microplastic Identification kitabında alternatif plastik belirleme tekniği olarak önerilmiştir ([stjohns.ifas](#)). Tabi ki bu yakma testi, yalnızca hızlı bir tespit için yapılabilir. Sonuçları doğrulayabilmek için ilaveten ATR-FT-IR analizi gibi daha net ve orjinal tanımlama da yapılmalıdır.

Ülkemizde ticari olarak çok yaygın satılan kişisel bakım ve temizlik ürünlerde kullanılan tipik bir mikrobeads parçasının optik mikroskopla ve Taramalı Elektron mikroskobu (Bknz. [Tablo 6](#)) ile görüntüleri alınmıştır. [Şekil 15](#)' te iki farklı kişisel bakım ürününün içinde bulunan mikroplastik parçacıklarının (microbeads) mikroskop (Olympus marka BX51) ile elde edilen görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 15.** Kişisel bakım ve temizlik ürünlerindeki mikroplastik görüntüleri

Görüntülerden, kozmetiklerde kullanılan mikroboncukların yapısının “boncuk” gibi yuvarlak olmadığı, aksine kırıklı, amorf ve renginin genelde saydam veya beyaz olduğu anlaşılmıştır. Günümüzde aşırı tüketilen kişisel bakım ve kozmetik ürünlerinin (PCCPs- personal care and cosmetics products) içeriğinde büyük bir oranda plastik malzeme türevleri bulunmaktadır. “Mikroboncuklar”ın bazıları kozmetiklerin içinde çıplak gözle rahatlıkla görülebilecek büyüklükte iken bazen de görünenden daha fazlası vardır; çeşitli PCCP formülasyonları için piyasadaki mikroboncuklar 1 mikron kadar küçük boyutta olabilmektedir. Çalışmada incelediğimiz mikroboncukların yaklaşık 200 µm büyüklüğünde polietilen (PE) tipi plastikten üretildiği belirlenmiştir.

## **4.2 Mikroplastikler’in İncelenmesi için Metot Geliştirme**

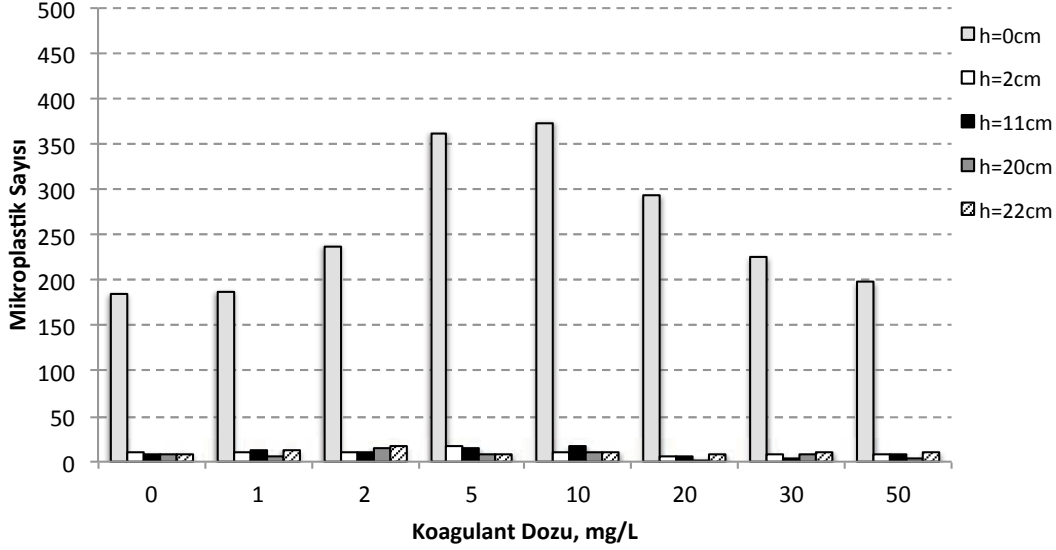
Yapılan çalışmalar sonucunda atıksularda aşırı miktarda olduğu tespit edilen mikroliflerin sayısal olarak veya konsantrasyon bazında ortaya konmasının mevcut durumda zor olduğu anlaşılmıştır. Boyut olarak 500 mikrondan daha büyük olan mikroplastikler zaten mikroskop ve ATR-FT-IR ile kolayca tayin edilebilmektedir. Fakat incelenen mikroplastik boyutu küçüldükçe mikroplastikleri ayırmak ve belirlemek zorlaşmaktadır.

### **4.2.1 Koagülant madde- Mikroplastikler**

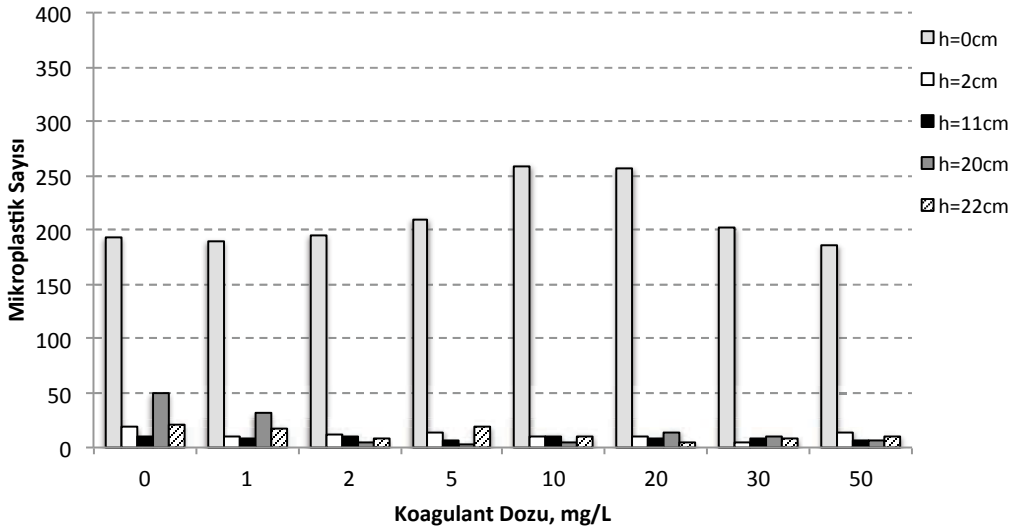
Mikroplastikler; genelde düşük yoğunluklu olma, hafiflik, yüzücülük, hidrofobiklik, mikro-nano boyutundaki küçük parçalara ayrılabilme vb. gibi fizikokimyasal özelliklerinden dolayı, özellikle atıksularda kolay kolay batmazlar. Bu aşamada, atıksularda büyük oranda bulunduğu düşünülen mikroplastiklere arıtma tesislerinde sıklıkla kullanılan koagülant maddelerin ( $FeCl_3$  and Alum) etkisi incelenmiştir. Çalışmalarda özellikle Polyvinyl chloride (PVC) mikroplastiklerinin kullanılma nedeni bu plastiklerin yüksek yoğunluğa sahip olmasından dolayı yüksek yoğunluklu plastikleri temsil edici örnek olarak seçilmesidir.



PVC (Polyvinyl chloride) plastik ile koagulant deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 16 ve 17'de grafik olarak gösterilmiştir. Grafiklerden anlaşılacağı gibi kolondaki farklı derinliklerden alınan numunelerde belirlenen mikroplastik sayısı da farklıdır.



Şekil 16. Atıksudaki PVC mikroplastiklerin çökmesine FeCl<sub>3</sub>'ün etkisi



Şekil 17. Atıksudaki PVC mikroplastiklerin çökmesine Alum'un etkisi

Atıksu arıtma tesisi giriş numunesi kullanılarak yapılan deney sonuçları Şekil 16 ve 17'de verilmiştir. PVC kullanarak atıksu ile yapılan deneylerde; kullanılan farklı koagulant dozlarında bile yüzeyde tespit edilen mikroplastik sayısı, tüm kolondaki 5 farklı derinlikten alınan numunelerdeki toplam MP sayısının yaklaşık 5%-10% civarındadır (optimum doz dahil olmak üzere). Bu da gösteriyor ki PVC gibi yüksek yoğunluklu bir plastik türü bile su kaynaklarında ya da arıtma tesisindeki tanklarda hiç küçümsemeyecek bir miktarda yüzeyde yüzebilmektedir. Grafiklerden; FeCl<sub>3</sub> ile yapılan deneylerde Alum ile yapılanlara

oranla daha fazla MPin dibe çöktüğü fakat her iki durumda da yüzeyde belli miktarda PVC mikroplastığının yüzdüğü görülmektedir. LDPE kullanarak atıksuda yapılan deneylerde; kolonun dibinde ve askıda hiç polietilen bulunmayıp, hepsi kolondaki suyun yüzeyinde toplanmış durumdadır. Kolonun dibinde zamanla bir atıksu tortusu oluşsa da polietilen plastikler bu tortuya karışmadan yüzeyde durmaktadır. Atıksu-PVC deneyinde, özellikle kolonun dibinde yoğun bir tabaka PVC çökmüştür.

Atıksu, polietilen ve koagülant deneylerinde polietilenler su yüzeyinde bulunmaktadır, sudaki polietilen parçacıkları arası boşluklar mevcuttur. LDPE plastiklerle atıksuda koagulantla hazırlanan kolonun dibinde atıksu tortusu oluşmuştur. LDPE kolonunun su yüzeyindeki polietilenlerin alt kısmında da belli bir atıksu tortusu mevcuttur. Atıksu, PVC ve koagülant deneylerinde ise; kolonun dibinde daha yoğun olmak üzere, su yüzeyinde ve askıda da PVCler bulunmaktadır. Su yüzeyinde bulunan PVC yoğunluğu, koagülantsız atıksu deneylerine oranla daha azdır ve Atıksu+PVC deneyinin aksine kolon boyunca askıdaki PVC oranı da daha azdır. Kolonun dip kısmında ise PVClerin atıksu tortusuyla karışık halde bulunduğu, bunların ayrı birer tabaka oluşturmadığı görülmüştür.

#### **4.2.2 Yağ- Mikroplastikler**

Kentsel Atıksularda bulunan ve genel olarak yemeklerden kaynaklanan yağlar ile atıksulardaki mikroplastiklerin etkileşimini anlayabilmek için yapılan çalışmalarda yağların mikroplastikleri çok iyi yakaladığı görülmüştür. Özellikle 4 ve 20 °C sıcaklıklarda yapılan sıvı yağ-su deneylerinde sıcaklık azaldıkça atıksudaki mikroplastiklerin yağ tarafından daha fazla tutulduğu görülmüştür. Bu durumda, kanalizasyon vasıtasıyla ekstra bir yağ tutucusu bulunmayan klasik bir kentsel atıksu arıtma tesisine gelen mikroplastiklerin, ön çökeltim tankı üzerine kurulmuş olan sıyrıcılar vasıtasıyla belli oranda tutulacağı söylenebilir. Evsel atıksulardaki yağın kaynağı; yemek artıklarında bulunan yağlar, artan kızartma yağlarının lavaboya dökülmesi vb. olarak sayılabilir. Bu yağ-su deneylerine ilaveten tuz eklenerek denemeler yapılmış ve yağ-su-tuz karışımındaki plastiklerin yağa daha kolay hapsoldüğü, kıyaslama deneyleri sonucunda görülmüştür. Oluşturduğumuz yoğunluk farkından dolayı tuz tarafından yukarı doğru itirilen mikroplastikler lipofilik özelliklerinden dolayı tutularak yağ içinde toplanmaktadır.

Ayrıca mikroplastikleri yağ içerisinde ve NaOH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> gibi kimyasalların varlığındaki durumun incelenmesi amacıyla hazırlanan deney setlerinden bir örnek aşağıdaki Tablo 8' de verilmiştir.

**Tablo 8.** Mikroplastik ayırma deneyleri

1.KG (0-0per): giriş atıksuyuna; a) 0 pelet NaOH b) 1 küçük kaşık PVC c) 0 ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> d) 0.5 ml yağ e) 1 küçük kaşık ZnCl <sub>2</sub> Sonuç: R.Ö: Yüzeyde toplanma var, az çökme var RS: Değişiklik yok	2.(0- 0.5 per): 20 ml giriş atıksuyuna; a) 0 pelet NaOH b) 1 küçük kaşık PVC c) 0,5 ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> d) 0.5 ml yağ e) 1 küçük kaşık ZnCl <sub>2</sub> Sonuç: R.Ö: Yüzeyde toplanma var, az çökme var RS: Değişiklik yok	3.(1-0.5 per): 20 giriş atıksuyuna; a) 1 pelet NaOH b) 1 küçük kaşık PVC c) 0,5 ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> d) 0.5 ml yağ e) 1 küçük kaşık ZnCl <sub>2</sub> Sonuç: R.Ö: Yüzeyde toplanma var, az çökme var RS: Yüzeyde toplanma var, çok çökme var	4.(1-1 per): 20 giriş atıksuyuna; a) 1 pelet NaOH b) 1 küçük kaşık PVC c) 1 ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> d) 0.5 ml yağ e) 1 küçük kaşık ZnCl <sub>2</sub> Sonuç: R.Ö: Yüzeyde toplanma var, az çökme var RS: Yüzeyde toplanma var, çok çökme var	5.(1-2 per): 20 giriş atıksuyuna; a) 1 pelet NaOH b) 1 küçük kaşık PVC c) 2 ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> d) 0.5 ml yağ e) 1 küçük kaşık ZnCl <sub>2</sub> Sonuç: R.Ö: Yüzeyde toplanma var, az çökme var RS: Yüzeyde toplanma var, çok çökme var
--	---	---	---	---

Bu çalışmalarda peroksit ile sodyum hidroksitin belli oranda beraber kullanılmasıyla başta yüzeye doğru giden mikroplastikler belli bir bekleme süresinden sonra tekrar çökmeye başlamıştır. Bu durum mikroplastikleri ayırma mekanizması geliştirebilmek açısından önemlidir.

### 4.3 Rotiferler

#### 4.3.1 Akut toksisite testi

LC<sub>50</sub> değerinin belirlenmesi için (Rodrigo vd., 2001) çalışmasına göre <30 µm çaplı polietilen mikroküreleri için kullandığı 0,2 mg/mL lik doz dahil olmak üzere bunun üzerinde 0,4 ve 0,8 mg/mL'lik dozlar ve altında ise 0,1 ve 0,05 mg/mL'lik dozlar kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar **Tablo 9'** da verilmiştir.

**Tablo 9.** Polietilen mikroküreler ile akut toksisite testi sonuçları

Test maddesi	Konsantrasyon (mg/mL)	Canlı Rotifer sayısı	Ölen Rotifer sayısı	Mortalite (%)
Kontrol	-	29	1	3,3
Polietilen (10-20 µm)	0,8	15	15	50,0
	0,4	19	11	36,6
	0,2	23	7	23,3
	0,1	25	5	16,6
	0,05	29	1	3,3

RÖ: Reaksiyon sırasındaki inceleme      RS: 4 gün sonraki inceleme

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı üzere polietilen mikroplastikleri için LC<sub>50</sub> değeri 0,8 mg/mL olarak tespit edilmiştir.

Üreme ve gelişim testi (Hindioğlu vd., 2001; Korstad vd., 1989; Harzevili vd., 1998) için 500 mL'lik standart deniz suyu ile hazırlanan kültür ortamına 500 adet *Brachionus plicatilis*

yerleştirildi. 5 gün süre boyunca rotiferlerin takibi yapılarak her gün örnekleme yapıldı. Örneklemede her bir konsantrasyondan 5 tekrar yapılarak mL'de birey sayısının takibi yapıldı. Elde edilen sonuçlara göre her gün kendi içerisinde kontrole göre kıyaslanmış ve tüm konsantrasyonlarda kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ( $p < 0.001$ ). Birinci gün sonunda 0,05 mg/mL'lik dozda başlangıç birey sayısından (500) daha fazla (600 birey) olmasına rağmen bu sayı aynı günün kontrol grubuyla kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı bir azalışın olduğu görülmektedir (Tablo 10).

**Tablo 10.** *Brachionus plicatilis*'e ait 5 günlük üreme sonuçları

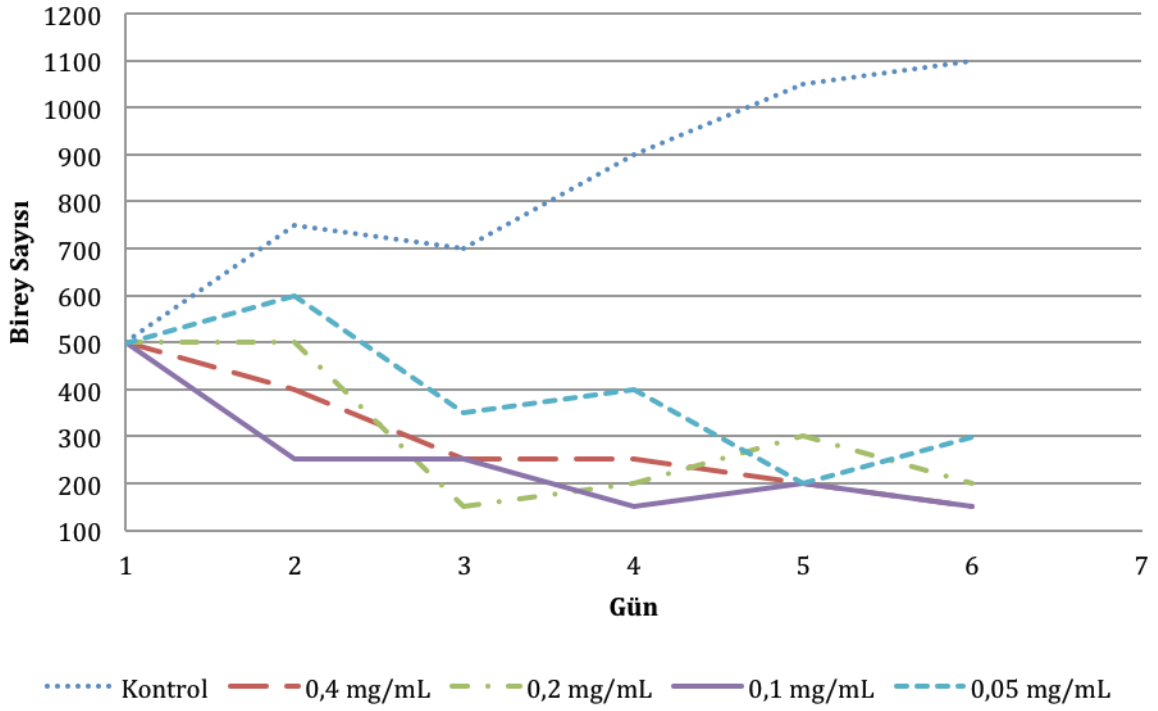
	0.gün		1.gün		2.gün		3.gün		4.gün		5.gün	
	Br/mL	Br/500mL	Br/mL	Br/500mL	Br/mL	Br/500mL	Br/mL	Br/500mL	Br/mL	Br/500mL	Br/mL	Br/500mL
Kontrol	1	500	1,5	750	1,4	700	1,8	900	2,1	1050	2,2	1100
0,4	1	500	0,8	400 <sup>a</sup>	0,5	250 <sup>a</sup>	0,5	250 <sup>a</sup>	0,4	200 <sup>a</sup>	0,3	150 <sup>a</sup>
0,2	1	500	1	500 <sup>a</sup>	0,3	150 <sup>a</sup>	0,4	200 <sup>a</sup>	0,6	300 <sup>a</sup>	0,4	200 <sup>a</sup>
0,1	1	500	0,5	250 <sup>a</sup>	0,5	250 <sup>a</sup>	0,3	150 <sup>a</sup>	0,4	200 <sup>a</sup>	0,3	150 <sup>a</sup>
0,05	1	500	1,2	600 <sup>a</sup>	0,7	350 <sup>a</sup>	0,8	400 <sup>a</sup>	0,4	200 <sup>a</sup>	0,6	300 <sup>a</sup>

Br: birey sayısı,

a=kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiştir ( $p < 0,001$ )

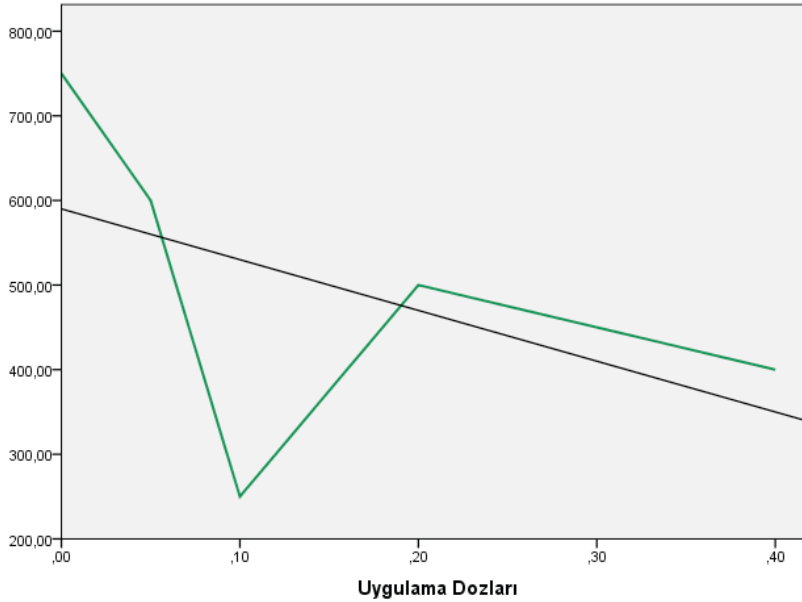
Yapılan üreme testinde Tablo 10' da görüldüğü üzere kontrolde sadece 2. günde bir önceki güne oranla bir düşüş gözlenmiştir fakat bu düşüş başlangıç birey sayısından %40 daha fazladır. Bunun haricinde kontrolde beş günlük zaman periyodunda bir artış görülmüştür.

İlk gün sonunda uygulama dozlarında (0,4, 0,2, 0,1 ve 0,05 mg/mL) 0,2 ve 0,05 mg/mL'lik dozlar hariç diğer iki dozda belirli bir azalış gözlemlenirken 0,2 mg/mL'lik dozda birey sayısı sabit kalmıştır öte yandan 0,05 mg/mL'lik dozda ise %25'lik bir artış gözlenmiştir. İkinci gün sonunda uygulama dozlarının tümünde hem bir önceki güne ve hem de başlangıç konsantrasyonuna göre azalış gözlenmiştir. Üçüncü gün sonunda kontrolde artış devam etmekle birlikte uygulama dozlarının tümünde başlangıca göre düşüşün devam ettiği tespit edilmiştir. Dördüncü ve beşinci günde kontrol başlangıç birey sayısının iki katını geçmiştir. Diğer dozlarda ise farklı oranda olmakla birlikte düşüşler devam etmiştir (Şekil 18).



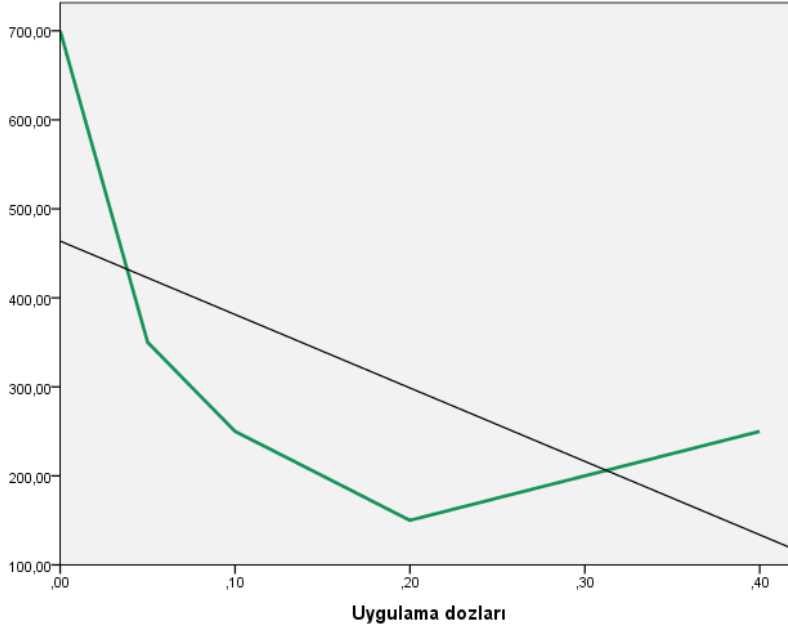
Şekil 18. Üreme yoğunluğunun günlere bağlı olarak uygulama dozlarına göre değişimi

Birinci gün sonunda elde edilen verilere göre doza bağlı olarak azalış tespit edilmiştir ve bu azalışın anlamlı bir korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir ( $r=0,50$ ) (Şekil 19).

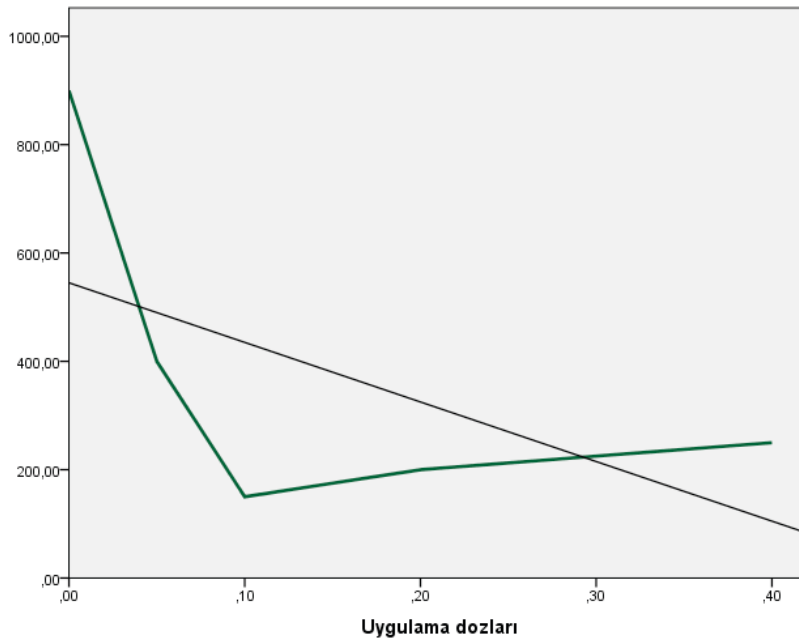


Şekil 19. Birinci gün sonunda elde edilen üreme yoğunluğu verilerinin doza bağlı olarak korelasyonu

İkinci gün sonunda elde edilen veriler kontrol grubuyla kıyaslandığında doza bağılı olarak azalış tespit edilmiştir ve bu azalışın anlamlı bir korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir ( $r=0,61$ ) (Şekil 20).

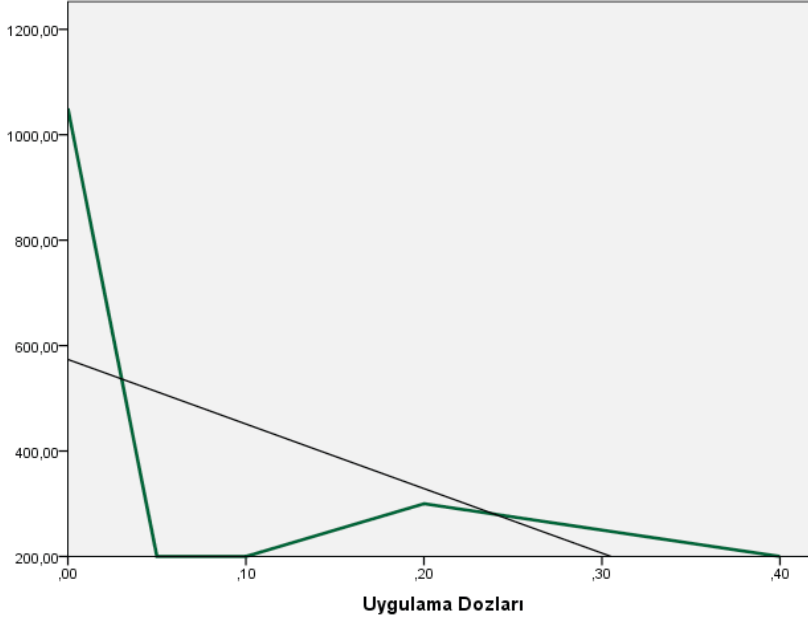


Şekil 20. İkinci gün sonunda elde edilen üreme yoğunluğu verilerinin doza bağılı olarak korelasyonu  
Üçüncü gün sonunda elde edilen verilere göre doza bağılı olarak azalış tespit edilmiştir ve bu azalışın anlamlı bir korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir ( $r=0,57$ ) (Şekil 21).



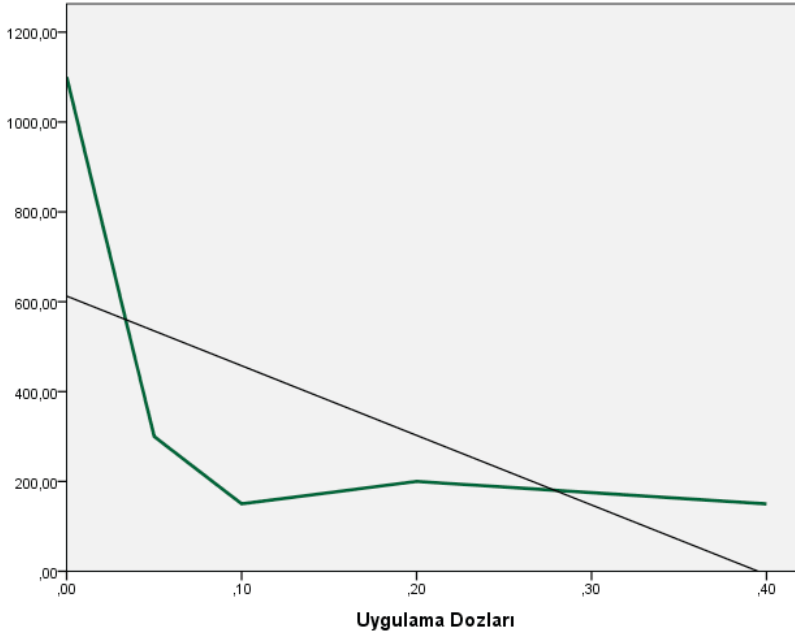
Şekil 21. Üçüncü gün sonunda elde edilen üreme yoğunluğu verilerinin doza bağılı olarak korelasyonu

Dördüncü gün sonunda elde edilen verilere göre doza bağlı olarak azalış tespit edilmiştir ve bu azalışın anlamlı bir korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir ( $r=0,52$ ) (Şekil 22).



Şekil 22. Dördüncü gün sonunda elde edilen üreme yoğunluğu verilerinin doza bağlı olarak korelasyonu

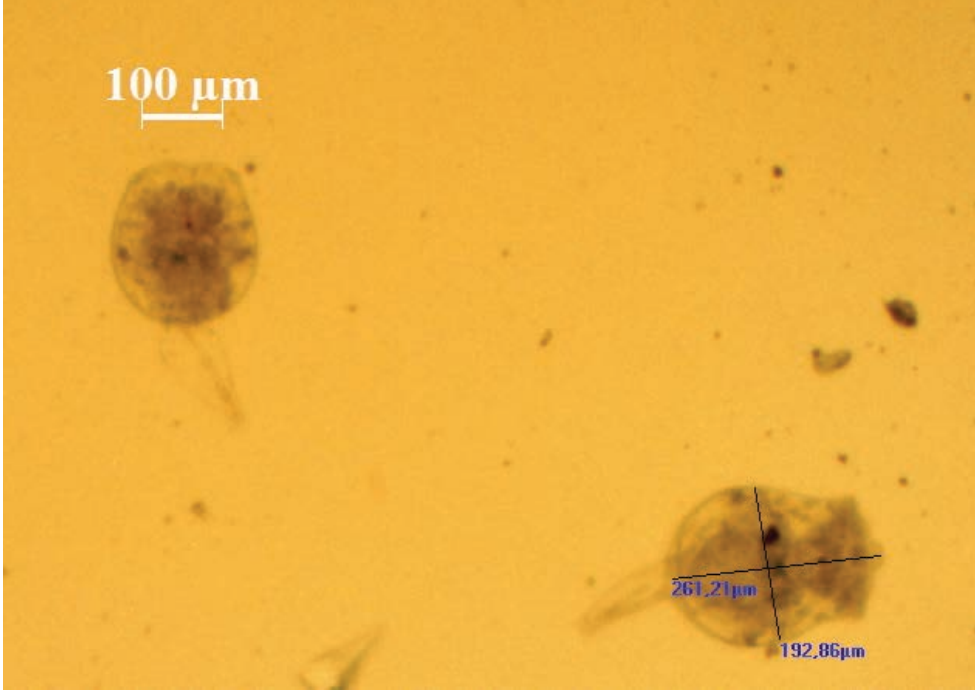
Beşinci gün sonunda elde edilen verilere göre doza bağlı olarak azalış tespit edilmiştir ve bu azalışın anlamlı bir korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir ( $r=0,60$ ) (Şekil 23).



Şekil 23. Beşinci gün sonunda elde edilen üreme yoğunluğu verilerinin doza bağlı olarak korelasyonu

Uygulama dozlarının *Brachionus plicatilis* gelişimi üzerine etkisini incelemek için her gün her bir konsantrasyona maruz kalmış bireylerden 5 adet alınarak mikroskop altında incelenmiş

ve bireylere ait vücut uzunluğu ve vücut genişliği parametreleri değerlendirilmiştir (Şekil 24). Ortalama vücut uzunluğu ve genişliği Tablo 11'de verilmiştir.



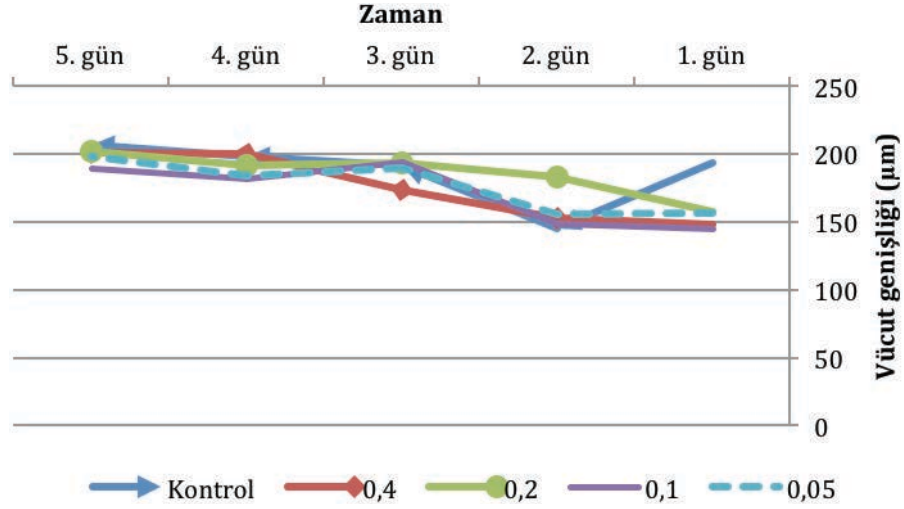
Şekil 24. *Brachionus plicatilis*'in vücut uzunluk ve genişliğinin ölçümü

Yapılan çalışmada polietilen mikroplastiklerin *Brachionus plicatilis*'in gelişmesi üzerine etkisine bakıldığında 1. gün itibariyle kontrol ile kıyaslandığında bireylerin vücut genişliğinde tüm dozlarda istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş gözlenmiştir ( $p < 0,05$ ) (Şekil 25). Boy uzunluğu açısından değerlendirildiğinde tüm dozlarda azalma gözlenmiştir fakat bu azalma sadece 0,1 ve 0,2 mg/mL'lik dozlarda istatistiksel olarak anlamlıdır (Tablo 11) (Şekil 26). Uygulamanın ikinci gününde *Brachionus plicatilis*'in vücut genişliği incelendiğinde uygulama dozlarının tümünün kontrol grubunun genişliğinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 25). Vücut uzunluğu açısından değerlendirildiğinde ise 0,2 ve 0,4 mg/mL'lik dozlarda benzer şekilde kontrol grubundan fazla olduğu tespit edilmiştir (Şekil 26). 0,05 ve 0,1 mg/mL'lik dozlarda ise azalma gözlenmiştir fakat bu azalmalardan sadece 0,1 mg/mL'lik dozda anlamlı olduğu belirlenmiştir (Tablo 11).

Uygulamanın üçüncü gününde vücut genişliği 0,1 ve 0,2 mg/mL'lik dozlarda kontrole göre artmıştır fakat diğer iki dozda (0,4 ve 0,05 mg/mL) kontrole göre azalmıştır (Şekil 25). Bu azalıştan sadece 0,4 mg/mL'lik konsantrasyonun sonuçları istatistiksel olarak anlamlıdır (Tablo 11). Vücut uzunluğu 0,2 mg/mL'lik dozda artış diğer dozlarda ise azalış göstermiştir ve bu azalışlardan sadece 0,4 mg/mL'lik doz kontrole göre istatistiksel olarak anlamlıdır (Şekil 26). Uygulamanın dördüncü gününde vücut genişliği 0,4 mg/mL'lik hariç diğer tüm

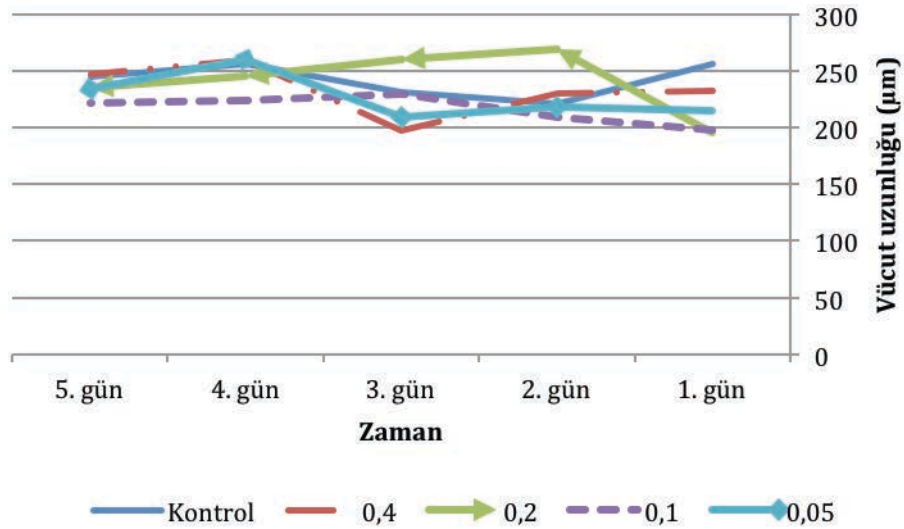


dozlarda kontrole göre azalmıştır ve bu azalışların tümü istatistiksel olarak değerlendirildiğinde anlamlı olduğu belirlenmiştir ( $p<0,05$ ) (Şekil 25). Buna karşın vücut uzunluğu açısından değerlendirildiğinde sadece 0,1 ve 0,2 mg/mL'lik dozlarda azalma görülmüştür fakat bu azalma anlamlı değildir (Tablo 11) (Şekil 26).



Şekil 25. Uygulama dozlarının *Brachionus plicatilis*'in vücut genişliği üzerine etkisi

Uygulamanın son gününde vücut genişliğinde uygulamaların tüm dozlarında kontrole göre azalma gözlenmiştir. Bu azalmalar 0,05, 0,1 ve 0,4 mg/mL'lik dozlarda istatistiksel olarak anlamlıdır ( $p<0,05$ ). Vücut uzunluğu açısından değerlendirildiğinde 0,4 mg/mL'lik doz hariç diğer tüm dozlarda azalma olduğu belirlenmiştir ve bu azalmaların hepsi istatistiksel olarak anlamlıdır (Tablo 11).



Şekil 26. Uygulama dozlarının *Brachionus plicatilis*'in vücut uzunluğu üzerine etkisi

Tablo 11. *Brachionus plicatilis*'ın vücut uzunluk ve genişlik ölçümleri

	1.gün		2.gün		3.gün		4.gün		5.gün	
	Genişlik	Uzunluk	Genişlik	Uzunluk	Genişlik	Uzunluk	Genişlik	Uzunluk	Genişlik	Uzunluk
Kontrol	192,29±3,37	257,10±5,45	144,55±8,51	221,40±4,49	191,17±5,17	232,28±34,02	196,97±4,60	257,46±7,90	205,88±9,34	245,52±10,31
0,4mg/mL	147,75±14,62 <sup>a</sup>	232,32±13,40	151,98±20,23	229,53±20,15	173,12±3,87 <sup>a</sup>	196,87±5,30 <sup>a</sup>	199,73±10,50	259,99±6,00	200,61±5,30 <sup>a</sup>	246,76±12,47
0,2mg/mL	157,41±8,42 <sup>a</sup>	195,33±15,77 <sup>a</sup>	182,22±17,00	270,02±24,42	192,61±3,38	261,31±29,14	191,40±5,04 <sup>a</sup>	246,05±10,83	201,41±10,64	236,51±9,90 <sup>a</sup>
0,1mg/mL	144,11±9,99 <sup>a</sup>	197,84±11,80 <sup>a</sup>	148,06±7,72	208,85±6,71 <sup>a</sup>	193,61±7,61	229,67±7,81	181,32±5,69 <sup>a</sup>	224,39±20,84	188,82±7,90 <sup>a</sup>	221,94±9,81 <sup>a</sup>
0,05mg/mL	156,29±5,50 <sup>a</sup>	215,16±19,98	155,06±10,59	218,58±10,72	189,25±6,45	209,78±5,69	183,80±8,79 <sup>a</sup>	260,83±28,72	197,63±8,92 <sup>a</sup>	234,70±12,46 <sup>a</sup>

a=kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0,05)

Rotiferler sucul ekosistemlerde omurgasız hayvanların, balıkların, zaman zaman da kuşların besin kaynağı olarak önemli derecede rol oynarlar (Altındağ ve Yiğit 1999; Preston vd., 2001). Sucul ekosistemde beslenme zincirinin ikinci halkasını oluşturduklarından özellikle balık ve kabuklu larvalarını da içeren birçok predatör omurgasız için iyi bir gıda kaynağıdır. Bu nedenle yetiştiricilikte larval büyütme aşamasında ilk gıda olarak ideal bir yemdir (Lubzens vd., 2001). Tatlı sularda rotiferler pelajik gıda zincirinde fitoplankton ile bakteriyoplankton ve daha yüksek trofik seviyeler arasında bir link oluştururlar (Gama-Flores vd., 2005).

Zooplanktonik organizmaların çeşitli toksikantlara karşı hassasiyetleri ve ekosistemde oynadıkları rol itibarıyla antropojenik kontaminasyonu belirlemede sıkça kullanılmaktadırlar (Marcial vd., 2005). Rotiferler 3 önemli zooplankton grubundan birisi olup toksisite testlerinin standartlaştırılmasında gün geçtikçe daha fazla kullanılır olmuşlardır (Preston vd., 2001).

Zooplankton toplulukları arasında rotiferler buldukları ortam koşullarına duyarlılık derecelerinin yüksek olmasından dolayı özellikle bazı türlerinin içinde buldukları suların, su kalitesi, kirlilik ve ötrofikasyon düzeyini belirlemede indikatör özellikleri açısından ayrı bir önem taşımaktadırlar. Bu nedenle Avrupa ve Amerika'da yapılan kirlilik çalışmalarında gerek endüstriyel gerekse tarımsal atıkların toksik seviyesini belirlemede biyolojik indikatör

organizma olarak kullanılmaktadırlar (Gama-Flores vd., 1999). Bizde çalışmamızda bu nedenle biyolojik indikatör organizma olan *Brachionus plicatilis* türünü kullandık.

Çalışmada polietilen mikroplastiklerinin (10-20 µm çaplı) *Brachionus plicatilis* türleri üzerinde LC<sub>50</sub> değerinin hesaplanması ve mikroplastiklerin rotifer üreme-gelişmesine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre LC<sub>50</sub> değeri bu çapta polietilen mikroplastikleri için 0,8 mg/mL'dir. Elde edilen LC<sub>50</sub> değeri polietilen mikroplastiklerinin boyutu yoğunluğu gibi değişkenlere göre farklılık gösterebilir. Nitekim bu tarz çalışmalarda kimyasal maddelerin karakteri LC<sub>50</sub> belirlenmesinde farklılık arz ettirebilir.

Literatürde rastlanan bir çalışmada 37nm-3µm arasındaki floresan (sarı-yeşil) özellikli Polistiren (PS) nano-mikropartiküllerin (Fluoresbrite®) *Brachionus manjavacas* rotifer türüne etkileri incelenmiştir (Snell ve Hicks, 2011). Mikroplastiklerin farklı boyut ve konsantrasyonlarının rotiferleri nasıl etkilediğini araştırmak amacıyla; mikroplastiklerin rotifer içindeki durumu (yuttuktan sonra), alışma modu, rotiferin üreme hızı, beslenme davranışı ve yavrulama formu gibi özellikler incelenmiştir. Sonuç olarak; 37 nm PS mikroplastiklerin 0.30 µg mL<sup>-1</sup> sine maruz bırakılan rotiferlerde populasyon büyüme oranında (r) % 50, 1.1 µg mL<sup>-1</sup> konsantrasyona maruz bırakıldığında ise % 89 oranında azalma görülmüştür.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Son yıllarda aşırı plastik kullanımıyla orantılı olarak tüm su kaynaklarında ve çevrede rastlanan mikroplastik miktarı da artmıştır. Mikroplastiklerin kaynakları olarak; çamaşır yıkama işlemlerinden sonra kanalizasyona karışan çoğu sentetik tekstil lifleri, kozmetiklerde deterjan ve dişmacunlarında bulunan mikroboncuklar, plastik fabrikalarının üretim atıkları, otomobil lastiklerinden aşınıp kopan parçacıklar ve çevredeki tüm plastiklerin çevresel vb. olaylarla parçalanarak daha küçük zerreciklere dönüşmesi sayılabilir.

Mikroplastikler, klasik atıksu arıtma tesislerinde Atıksu Arıtma Tesisinde tutulamayıp alıcı ortamlara kontrolsüzce deşarj edilmektedir. Bu yüzden mikroplastikler besin zincirinde önemli basamaklardaki, zooplanktonlar, makroinvertebratlar, balıklar vs. gibi canlıların doku veya organlarında birikebilmektedir. Aslında Ultrafiltrasyon (UF) atıksulardaki mikroplastikleri ve elyafları gidermede kullanılabilecek iyi bir yöntemdir.

Yapılan çalışmalarla PVC plastikleri için (yoğunluğu sudan büyük) belli oranda çöktürme sağlanmış ve optimum dozlar belirlenebilmiş olsa da yoğunluğu sudan az olan PE türü plastikler için durum farklıdır. PE mikroplastiklerle atıksuda ayrı ayrı yapılan deneylerde hızlı karıştırma, yavaş karıştırma, çöktürme işlemlerinden sonra belirlenen mikroplastik miktarları ve kolon boyunca dağılımları neredeyse hiç değişmemiştir. Koagulant dozu ne kadar artırılırsa artırılсын kolondaki PE plastiklerin neredeyse tamamına yakını maalesef yüzeyde bir katman halinde yüzmektedir. Atıksudaki safsızlıkların koagulant ile etkileşimi olmuş fakat bu durum bile polietilen mikroplastiklerin çökmesini sağlayamamıştır.

Mikroplastikler, yağlar tarafından kolayca tutulabilmektedir. Çalışmalardan elde ettiğimiz sonuçlar dahilinde özellikle soğuk havalarda evsel atıksular içerisinde bulunan düşük yoğunluklu mikroplastikler, ön çökeltim tankındaki sıyırıcıların da yardımıyla büyük ölçüde tutulabilir.

Rotiferler üzerinde yapılan üreme ve gelişme testlerinden elde edilen sonuçlara göre 10 µm çaplı polietilen mikroplastiklerinin *Brachionus plicatilis* türleri üzerinde toksik bir etkiye neden olabileceği ve bu toksik etkinin hem üreme hem de gelişme fizyolojisini olumsuz bir şekilde etkileyebileceği söylenebilir.

Arıtma tesislerindeki atıksularda miktar olarak en fazla bulunabilecek mikroplastiklerin mikroliflerden oluşacağı aşıkardır fakat, kanalizasyonlarda bulunabilecek mikroplastiklerin

varlığı, miktarı, tipi ve sayısı ile ilgili olarak istatistiksel bir korelasyondan bahsetmek henüz zordur. Kanalizasyonlarda rastlanan mikroplastik lifler, rayon gibi plastik olmayan selülozik liflerden de oluşabilir. Bu sebeple plastik mikrolifler incelenirken bu duruma özel bir dikkat gösterilmelidir. Mevsimsel değişimlere göre kişisel olarak kullanılan ürünler ve giyilen kıyafetler değişebileceği için kanalizasyona, dolayısıyla Atıksu Arıtma Tesisine (AAT) gelen mikroplastiklerin türleri ve miktarı da değişir. Atıksularda rastlanan mikroplastik tipi özellikle “mikrolifler” ile karakterize edilebilir. Kanalizasyonlara çamaşır makinası yıkama sularından gelen mikrolifler arıtma tesisine oradan da alıcı ortama geçebilmektedir. Kıyafet gibi tekstil ürünlerinden başka, hafif bir silkeleme ile bile atmosfere tüyleri dağılan türdeki battaniye, yorgan (elyaf ve polyamid) gibi ürünler de çamaşır makinalarında yıkanmakta ve her yıkamada milyonlarca mikroplastik lif, kanalizasyona dökülmektedir. Tabi ki sentetik tekstil ürününün yeni olması veya kaçınıcı kez makinada yıkanıyor olduğu konusu, her yıkamada o üründen kanalizasyona ne kadar mikroplastik lif döküleceğini de değiştirmektedir.

Genel olarak mikroplastiklerin incelendiği cihazlara bakıldığında, kullanılan cihazlar incelenen plastik türünün belirlenmesine yardımcı olur. Bunun yanısıra cihazlar birbirlerine göre kıyaslandıklarında; plastiğin içerdiği ilave katkı maddelerinin belirlenip/belirlenmemesi, analizin az/çok zaman alması, numune yapısının bozulması/bozulmaması gibi avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Attenuated total reflectance (ATR-  $\mu$ FT-IR) 500 mikrometreden büyük mikroplastikleri belirlemede çok uygundur fakat ATR-  $\mu$ FT-IR ile küçük parçacıkları ve lifleri Manuel olarak bile belirlemeye çalışmak zordur. Mikroplastik tanımı her ne kadar 5mm'den küçük plastikleri tanımlasa da atıksularda söz konusu olan numunedeki plastiklerin boyutları genelde 1mm' den küçük olan ve nano boyuta kadar olan plastik lif ve parçacıkları içermektedir. Bazen bu liflerin boyu 100-200  $\mu$ m olsa da enleri veya çapları neredeyse ihmal edilecek küçük bir (mikro-nano) boyuttadır. Bu sebeple arıtma tesislerinde bol miktarda bulunan ve bu atıkların herhangi bir ortamdaki varlığının indikatörü gibi bilinen mikroplastik liflerin ATR-FT-IR ile belirlenmesi; diğer en-boy-uzunluk olarak belli ölçülere sahip olan plastik parçacıklarının belirlenmesinden her zaman daha zor olacaktır ve kesinlik oranı da az olacaktır.

Arıtma tesislerindeki mikroplastiklerin durumu ve arıtma çıkışında (birincil, ikincil, ileri arıtma) ne kadar mikroplastığın alıcı ortamlara deşarj edildiği konusunda yapılan çalışmalar kısıtlıdır, bu konuda bir standart teknik veya yönetmeliklerde limit değer bulunmamaktadır. Yapılacak farklı çalışmalarla atıksulardaki mikroplastiklerin incelenmesi, bu konudaki ortalama değerlerin ortaya konulması, atıksulardaki mikroplastikleri ayırma ve inceleme konularında pratik ve standart tekniklerin geliştirilmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Ayrıca arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarında da bol miktarda mikroplastik özellikle de mikro lif bulunduğu

düşünülmektedir. Çamurların içeriğindeki MPlerin de incelenerek bu konuda pratik tekniklerin geliştirilmesi gerekmektedir. Mikroplastiklerin sularda veya havada büyük mesafeler katedebildiği de dikkate alındığında, atmosferik döküntülerdeki mikroplastiklerin incelenmesi konusu da büyük önem arz etmektedir. Ayrıca mikroplastiklerin toksik organik bileşikler ile etkileşimlerinin ve olası ekotoksikolojik etkilerinin araştırılması da çevre ve sağlık açısından oldukça önemli konulardır.

Günlük hayatta çeşitli maksatlarla her alanda yaygın kullanılan plastiklerin, kullanıldığı andan itibaren atıkları da oluşmaya başlamaktadır. Öyleyse su ve çevredeki mikroplastik türleri sınıflandırılırken; üretimi olan ve kullanılan her plastik türünün çevrede bulunmasının kaçınılmaz olacağı bilinmelidir.

Doğal olarak atık oluştuktan sonra atığı bertaraf etmek yerine atığı kaynağında önlemek daha doğru bir yaklaşım olacaktır, özellikle ülkemizde de aşırı miktarda tüketilen tek kullanımlık plastik ürünlerin (tek kullanımlık poşetler, mutfak gereçleri, mikroboncuk içeren kozmetik ürünleri ve akrilik, elyaf, polyester vb. gibi sentetik tekstil ürünleri) kullanımının azaltılması ve önlenmesi gerekmektedir. Bununla ilgili eğitim ve bilinçlendirme çalışmalarına ağırlık verilmeli, yediden yetmişe herkeste farkındalık oluşturulmaya çalışılmalıdır. İlaveten bu konuyla ilgili kurum ve kuruluşların getirebileceği yasaklamalar, vergiler ve caydırıcı cezalar ile aşırı ve kontrolsüzce yapılan plastik tüketiminin önüne geçilebilir. Çevrede mikroplastik kirliliğinin önüne geçmek ve su kaynaklarını korumak için bu konuda çok çeşitli tedbirlerin alınması ve kontrollerin yapılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abu-Hilal, A. H., Al-Najjar, T. H. 2009. "Plastic pellets on the beaches of the northern Gulf of Aqaba, Red Sea", *Aquat. Ecosyst. Health Manage.*, 12, 461-470.
- Altındağ, A., Yiğit, S. 1999. "Akşehir gölü Rotifera faunası üzerine taksonomik bir araştırma", *Turkish Journal of Zoology*, 23: 1, 1-6.
- Andrady, A.L. 2011. "Microplastics in the marine environment", *Mar. Pollut. Bull.*, 62:1596–1605.
- Araujo, A., McNair, J. N. 2007. "Individual-and population-level effects of antibiotics on the rotifers, *Brachionus calyciflorus* and *B. plicatilis*", *Hydrobiologia*, 593(1), 185-199.
- Avio, C. G., Gorbi, S., Regoli, F. 2016. "Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat.", *Mar. Env. Res.*
- Bakir, A., Rowland, S.J., Thompson, R.C. 2014. "Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions", *Environmental Pollution*, 185, 16-23.
- Besseling, E., Wang, B., Lürling, M., Koelmans, A.A. 2014. "Nanoplastic Affects Growth of *S. obliquus* and Reproduction of *D. Magna*", *Environ. Sci. Technol.*, 48, 12336-12343.
- Besseling, E., Wegner, A., Foekema, E. M., van den Heuvel-Greve, M. J., Koelmans, A. A. 2012. "Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm *Arenicola marina* (L.)", *Environmental science & technology*, 47(1), 593-600.
- Bhattacharya, P., Lin, S., Turner, J. P., Ke, P. C. 2010. "Physical adsorption of charged plastic nanoparticles affects algal photosynthesis", *The Journal of Physical Chemistry C*, 114(39), 16556-16561.
- Bitton, G. 2011. *Wastewater Microbiology*. ISBN: 978-1-118-14815-0, 4. Edition, Wiley-Blackwell.
- Braun, D. 2013. *Simple methods for identification of plastics*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.
- Brien, S. 2007. "Vinyls IndustryUpdate. Presentationat theWorldVinyl Forum2007", Retrieved from <http://vinyl-institute.com/Publication/WorldVinylForumIII/VinylIndustryUpdate.aspx>.
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E. L., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R. C. 2011. "Accumulations of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks", *Environ. Sci. Technol.* 45, 9175–9179.
- Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe D. M., Thompson, R.C. 2008. "Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L.)", *Environmental Science & Technology* 42, 5026–5031.
- Browne, M.A., Niven, S.J., Galloway, T.S., Rowland, S.J., Thompson R.C. 2013. "Microplastic moves pollutants and additives to worms, reducing functions linked to health and biodiversity", *Curr. Biol.*, 23, 2388–2392.

Canyurt, M. A. 1989. "Malation'un Pulaterina (*Mugil capito* Cuvier, 1829) için lethal konsantrasyonu (LC50) üzerine araştırmalar", Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. Cilt 26, sayı 2.

Claessens, M., Van Cauwenberghe, L., Vandegehuchte, M. B., Janssen, C. R. 2013. "New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms", Marine pollution bulletin, 70(1), 227-233.

Clément, L., Hurel, C., Marmier, N. 2013. "Toxicity of TiO<sub>2</sub> nanoparticles to cladocerans, algae, rotifers and plants—effects of size and crystalline structure", Chemosphere, 90(3), 1083-1090.

Cole, M., Lindeque, P., Fileman E, Halsband C, Goodhead R, Moger J, Galloway T. S. 2013. "Microplastic Ingestion by Zooplankton". Environmental Science & Technology 47 (12), 6646-6655.

Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Galloway, T. S. 2015. "The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*". Environ. Sci. Technol. 49(2), 1130-1137.

Collard, F., Gilbert, B., Eppe, G., Parmentier, E., Das, K. 2015. "Detection of anthropogenic particles in fish stomachs: an isolation method adapted to identification by Raman spectroscopy". Archives of environmental contamination and toxicology, 69(3), 331-339.

Corcoran, P. L., Biesinger, M. C., Grifi, M. 2009. "Plastics and beaches: a degrading relationship", Mar. Pollut. Bull., 58, 80– 84.

De Witte, B., Devriese, L., Bekaert, K., Hoffman, S., Vandermeersch, G., Cooreman, K., Robbens, J. 2014. "Quality assessment of the blue mussel (*Mytilus edulis*): Comparison between commercial and wild types", Mar. Pollut. Bull., 85(1), 146-155.

Derraik, J. G. B. 2002. "The pollution of the marine environment by plastic debris: a review", Mar. Pollut. Bull., 44, 842–852.

Doyle, M. J., Watson, W., Bowlin, N. M., Sheavly, S. B. 2011. "Plastic particles in coastal pelagic ecosystems of the Northeast Pacific ocean", Mar. Environ. Res., 71, 41-52.

Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., Tassin, B. 2016. "Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment?", Mar. Pollut. Bull., 104(1), 290-293.

Düzgüneş, Z., Düzgüneş, O. 1958. Entomolojide istatistik metotlar. A. Ü. Ziraat Fakültesi yayınları no.140,1-48, Ankara.

Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Amato, S. 2013. "Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes", Marine pollution bulletin, 77(1), 177-182.

Farrel P., Nelson, K. 2013. "Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.)", Environmental Pollution, 177, 1-3.

Filella, M. 2015. "Questions of size and numbers in environmental research on microplastics: methodological and conceptual aspects", Environ. Chem., 12(5), 527-538.

Frias, J. P. G. L., Sobral, P., Ferreira, A. M. 2010. "Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast", Marine Pollution Bulletin, 60(11), 1988-1992.



Gama-Flores, J.L., Sarma, S.S.S., Fernandez Araiza, M. A. 1999. "Combined effects of Chlorella density and methyl parathion concentration on the population growth of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera)", Bulletin Environmental Contam. Toxicol., 62: 769-775.

Graham, E.R., Thompson, J.T. 2009. "Deposit- and suspension-feeding sea cucumbers (Echinodermata) ingest plastic fragments", J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 368, 22–29.

Harrison, J. P., Ojeda, J. J., Romero-González, M. E. 2012. "The applicability of reflectance micro-Fourier-transform infrared spectroscopy for the detection of synthetic microplastics in marine sediments", Science of the Total Environment, 416, 455-463.

Harzevili, A. S., Van Duffel, H., Dhert, P. H., Swings, J., Sorgeloos, P. 1998. "*Brachionus plicatilis* (Muller)", Aquaculture Research, 29, 411-417.

Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., Thiel, M. 2012. "Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification", Environ. Sci. Technol., 46, 3060–3075.

Hindioğlu, A., Serdar, S. 2001. "The Effect of Different Dilution Rates on Rotifer (*Brachionus plicatilis* Müller, 1786) Culture", Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 25(4), 483-487.

[http://5gyres.org/how\\_to\\_get\\_involved/campaigns/](http://5gyres.org/how_to_get_involved/campaigns/)  
Son erişim tarihi: 10 Haziran 2014.

<http://articles.mercola.com/sites/articles/archive/2015/04/04/flushable-wipes.aspx>  
Son erişim tarihi: 2 Mart 2016.

<http://deepseanews.com/2013/12/guest-post-the-invisible-consequences-of-mistaking-plastic-for-dinner/>  
Son erişim tarihi: 20 Ekim 2014.

<http://plasticpollutioncoalition.org/>  
Son erişim tarihi: 20 Mayıs 2014.

<http://plasticsoupnews.blogspot.com.tr/2013/07/stephanie-carrow-in-waters-of-trash.html>,  
Son erişim tarihi: 23 Mayıs 2014.

<http://stjohns.ifas.ufl.edu> (Guide to Microplastic Identification\_MERI)  
Son erişim tarihi: 11 Şubat 2016.

[http://www.basf.com/group/corporate/en\\_GB/function/conversions:/publish/content/investorrelations/](http://www.basf.com/group/corporate/en_GB/function/conversions:/publish/content/investorrelations/)  
Son erişim tarihi: 23 Mayıs 2014.

<http://www.chelsearochman.com/Research.html>  
Son erişim tarihi: 12 Kasım 2014.

<http://www.dailytelegraph.com.au/news/nsw/wet-wipes-blocking-sydney-sewers-as-more-men-flush-them-down-the-toilet/news-story/78fb980d013be63b066c27aaf5a97109?sv=a312ee3fe2f7e7fc6cb69accf29742f4>  
Son erişim tarihi: 20 Ocak 2016.

<http://www.dw.de/insects-benefit-from-plastic-waste/a-16161519>,

Son erişim tarihi: 12 Kasım 2014.

<http://www.inda.org/issues-advocacy/flushability/>

Son erişim tarihi: 8 Mayıs 2016.

[http://www.mcsuk.org/what\\_we\\_do.php/Clean+seas+and+beaches/Reports+and+downloads/Beachwatch+results+2014](http://www.mcsuk.org/what_we_do.php/Clean+seas+and+beaches/Reports+and+downloads/Beachwatch+results+2014)

Son erişim tarihi: 20 Haziran 2015.

[http://www.nature.com/polopoly\\_fs/1.14032!/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/502615a.pdf](http://www.nature.com/polopoly_fs/1.14032!/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/502615a.pdf)

Son erişim tarihi: 22 Ekim 2014.

<http://www.pardos-marketing.com/hot04.htm>,

Son erişim tarihi: 20 Haziran 2014.

<http://www.plasticdisclosure.org/>

Son erişim tarihi: 20 Haziran 2014.

<http://www.symbols.com/group/52>

Son erişim tarihi: 12 Mayıs 2014.

<http://www.wired.co.uk/news/archive/2012-05/09/sea-skaters-plastic>

Son erişim tarihi: 20 Eylül 2014.

<http://wwwtc.pbs.org/strangedays/pdf/StrangeDaysSmartPlasticsGuide.pdf>

Son erişim tarihi: 20 Eylül 2014.

<https://www.sciencenews.org/article/microplastics-lodge-crab-gills-and-guts>

Son erişim tarihi: 5 Eylül 2014.

Huvet, A., Paul-Pont, I., Fabioux, C., Lambert, C., Suquet, M., Thomas, Y., Sussarellu, R. 2016. "Reply to Lenz et al.: Quantifying the smallest microplastics is the challenge for a comprehensive view of their environmental impacts", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201607221.

Isobe, A., Kubo, K., Tamura, Y., Kako, S., Nakashima, E., Fujii, N. 2014. "Selective transport of microplastics and mesoplastics by drifting in coastal waters", *Marine pollution bulletin*, 89(1), 324-330.

Ivar do Sul, J. A., Costa, M. F. 2014. "The present and future of microplastic pollution in the marine environment", *Environmental Pollution*, 185, 352-364.

Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Law, K. L. 2015. "Plastic waste inputs from land into the ocean", *Science*, 347(6223), 768-771.

Katsnelson, A. 2015. "News Feature: Microplastics present pollution puzzle", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(18), 5547-5549.

Korstad, J., Olsen, Y., Vadstein, O. 1989. "Life history characteristics of *Brachionus plicatilis* (Rotifera) fed different algae", In *Rotifer Symposium V* (pp. 43-50). Springer Netherlands.

Lavender-Law, K., Moret-Ferguson, S., Maximenko, N. A., Proskurowski, G., Peacock, E. E., Hafner, J., Reddy, C. M. 2010. "Plastic accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre", *Science*, 329(5996), 1185-1188.

Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., Schludermann, E. 2014. "The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river", *Environmental Pollution*, 188, 177-181.

Leslie, H. A., van Velzen, M. J. M., Vethaak, A. D. 2013. "Microplastic survey of the Dutch environment. Novel data set of microplastics in North Sea sediments, treated wastewater effluents and marine biota".

Levitan, L. 2016. "Identifying Common Plastics Used In Agriculture".

Lithner, D., Nordensvan, I., Dave, G. 2012. "Comparative acute toxicity of leachates from plastic products made of polypropylene, polyethylene, PVC, acrylonitrile-butadiene-styrene, and epoxy to *Daphnia magna*", *Environ Sci Pollut Res.*, 19:1763-1772.

Lubzens, E., Gibson, O., Zmora, O., Sukenik, A. 1995. "Potential advantages of frozen algae (*Nannochloropsis* sp.) for rotifer (*Brachionus plicatilis*) culture", *Aquaculture*, 133(3-4), 295-309.

Lubzens, E., Zmora, O. and Barr, Y. 2001. "Biotechnology and aquaculture of rotifers". *Hydrobiologia*, 446/447:337-353.

Marcial, H.S., Hagiwara, A., Snell, T.W. 2005. "Effect of some pesticides on reproduction of rotifer *Brachionus plicatilis* Müller", *Hydrobiologia*, 546: 569-575.

Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., Kaminuma, T. 2001. "Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment", *Environmental Science and Technology*, 35(2): 318-324.

newspublications/presentations/2007/download/070625\_BASF\_IRDay\_Feldmann\_Plastics.pdf  
Son erişim tarihi: 17 Eylül 2014.

Ogata, Y., Takada, H., Mizukawa, K., Hirai, H., Iwasa, S., Endo, S., Thompson, R. C. 2009. "International Pellet Watch: Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters, 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs", *Marine pollution bulletin*, 58(10), 1437-1446.

Pennak, R.W. 1989. *Freshwater invertebrates of the United States*. 3rd ed. New York: Wiley; 628 p.

Pérez-Legaspi, I.A., Quintanar, J.L., Rico-Martínez, R. 2012. "Comparing toxicity endpoints on *Lecane quadridentata* (Rotifera: Monogononta) exposed to two anticholinesterases pesticides", *Environment Toxicology*, 27; 518-525.

PlasticsEurope (2009) *Compelling facts about plastics. An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2008*. Plastics Europe, Brussels. PlasticsEurope [http://www.plasticseurope.org/Documents/Document/20100225141556-Brochure\\_UK](http://www.plasticseurope.org/Documents/Document/20100225141556-Brochure_UK).

Preston, B.L., Cecchine, G., Snell, T.W. 1999. "Effects of pentachlorophenol on predator avoidance behavior of the rotifer *Brachionus calyciflorus*", *Aquat. Toxicol.*, 44:201-212.

Rico-Martínez, R., Arzate-Cárdenas, M. A., Robles-Vargas, D., Pérez-Legaspi, I. A., Jesús, A. F., Santos-Medrano, G. E. 2016. "Rotifers as Models in Toxicity Screening of Chemicals and Environmental Samples", *Invertebrates-Experimental Models in Toxicity Screening*, 57.

- Rocha-Santos, T., Duarte, A. C. 2015. "A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment", *TrAC Trends in Analyt. Chem.*, 65, 47-53.
- Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., Thompson, R. C. 2013a. Policy: Classify plastic waste as hazardous. *Nature*, 494(7436), 169-171.
- Rochman, C. M., Hoh, E., Hentschel, B. T., Kaye, S. 2013c. "Long-term field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets: implications for plastic marine debris", *Environmental science & technology*, 47(3), 1646-1654.
- Rochman, C. M., Kross, S. M., Armstrong, J. B., Bogan, M. T., Darling, E. S., Green, S. J., Verissimo, D., 2015. "Scientific Evidence Supports a Ban on Microbeads", *Environ. Sci. Technol.*, 49(18), 10759-10761.
- Rochman, C.M., Hoh, E., Kurobe, T., Teh, S.J. 2013b. "Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress", *Sci. Rep.*, 3, 3263.
- Rodrigo A.M., Martinez M.E., Escudero M.L. 2001 "Influence of particle size in the elect of polyethylene on human osteoblastic cells", *Biomaterials*, 22; 755-762.
- Ryan, P. G., Moore, C. J., van Franeker, J. A., Moloney, C. L. 2009. "Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1999-2012.
- Serdar, S., Lök, A. 2002. "Effects of temperature on resting egg formation in the rotifer (*Brachionus plicatilis* Müller, 1786) culture", *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19(1).
- Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V. Lehtiniemi, M. 2014. "Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web", *Environmental pollution*, 185, 77-78.
- Snell, T.W., Janssen, C.R. 1995. "Rotifers in ecotoxicology: a review", *Hydrobiologia*, 313/314: 231-247.
- Snell, T.W., Persoone, G. 1989. "Acute toxicity bioassays using rotifers. II. A freshwater test with *Brachionus rubens*", *Aquatic Toxicology*, 14 (1): 81-92.
- Snell, T. W. 2005. "Rotifer ingestion test for rapid assessment of toxicity", In *Small-scale Freshwater Toxicity Investigations* (pp. 323-335). Springer Netherlands.
- Snell, T. W., Hicks, D. G. 2011."Assessing toxicity of nanoparticles using *Brachionus manjavacas* (Rotifera)", *Environmental toxicology*, 26(2), 146-152.
- Storck, F. R., Karlsruhe, T. Z. W., Kools, S. A. 2015. *Microplastics in fresh water resources*. Global Water Research Coalition, Stirling, South Australia, Australia.
- Tagg, A. S., Sapp, M., Harrison, J. P., Ojeda, J. J. 2015. "Identification and Quantification of Microplastics in Wastewater Using Focal Plane Array-Based Reflectance Micro-FT-IR Imaging", *Analyt. Chem.*, 87(12), 6032-6040.
- Takada, H. 2013. "Microplastics and the Threat to Our Seafood", May 10, *Environmental Organic Geochemist*, Tokyo University of Agriculture and Technology and Founder of International Pellet Watch (IPW).

Takada, S. 2013. "11. International Pellet Watch: Studies of the Magnitude and Spatial Variation of Chemical Risks Associated with Environmental Plastics., in Accumulation: The Material Politics of Plastic", J. Gabrys, G. Hawkins, and M. Michael, Editor. Routledge: Oxon, UK. p. 184-207.

Talvitie, J., Heinonen, M. 2014. "Preliminary study on synthetic microfibers and particles at a municipal waste water treatment plant" Helcom, 1-14.

Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., Takada, H. 2009. "Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2027-2045.

Thompson, R. C. 2015. "Microplastics in the marine environment: Sources, consequences and solutions. In *Marine anthropogenic litter*", Springer International Publishing (pp. 185-200).

Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D., Russell, A. E. 2004. "Lost at sea: where is all the plastic?", *Science*, 304, 838.

Ünsal, M. 1996. "Kirlilik Deneyleri- Yöntemler ve Sonuçların Değerlendirilmesi". ODTÜ Deniz Bilimleri Ens. 77-79, 120-142. Erdemli/Mersin.

Van Cauwenberghe, L., Vanreusel, A., Mees, J., Janssen, C. R. 2013. "Microplastic pollution in deep-sea sediments", *Environmental Pollution*, 182, 495-499.

Wallace, R.L., Snell, T.W., Ricci, C., Nogrady, T. Rotifera. 1: biology, ecology and systematics. In: Dumont HJF, editor. *Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the World*. 2nd ed. The Netherlands: Kenobi Productions and Backhuys Publishers; 2006. p. 299.

Watts, A.J.R. Lewis, C. Goodhead, R.M. Beckett, S.J. Moger, J. Tyler, C.R. Galloway, T.S. 2014. "Uptake and retention of microplastics by the shore crab *Carcinus maenas*", *Environ. Sci. Technol.*, 48 (15) pp. 8823–8830.

Wright, S. L., Thompson, R. C., Galloway, T. S. 2013. "The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review", *Environmental Pollution*, 178, 483-492.

Yurtsever, M. 2015. "Mikroplastikler' e Genel Bir Bakış", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17 (50) 68-83.

Zurcher, N. 2009. "Small plastic debris on beaches in Hong Kong: an initial investigation", Thesis for the degree of Master of Science in Environmental Management, University of Hong Kong.

## **EKLER**





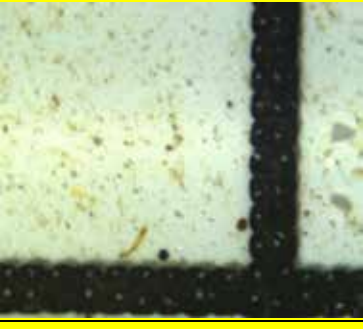



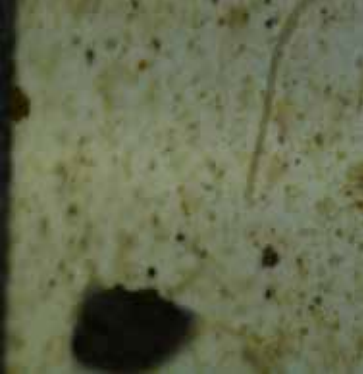


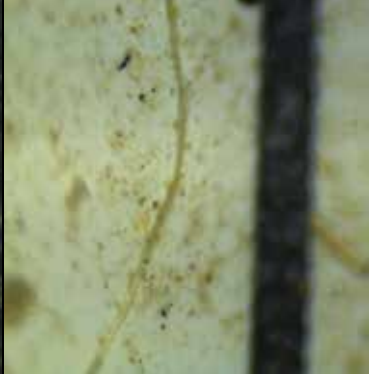


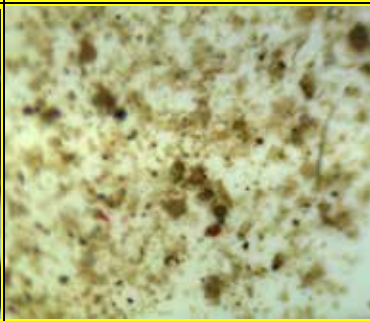

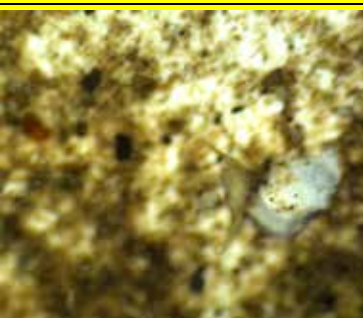
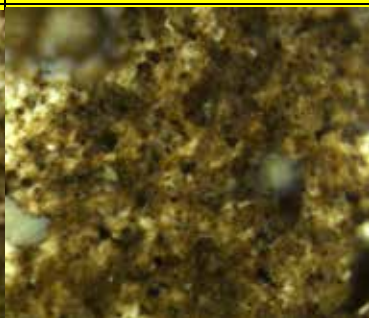
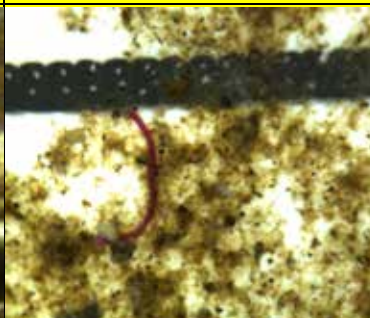

**EK 1**






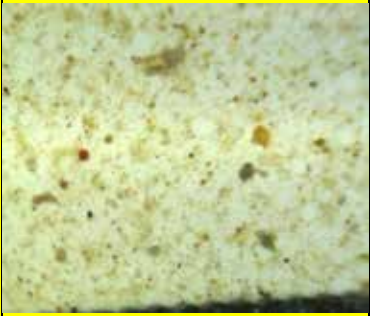


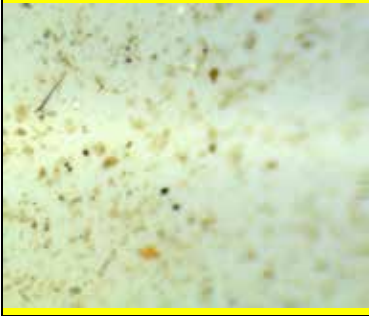
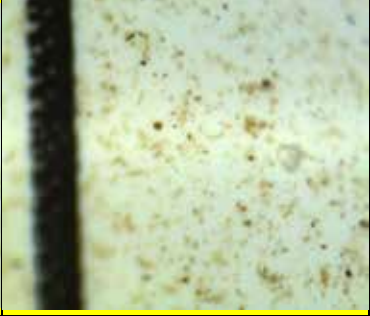








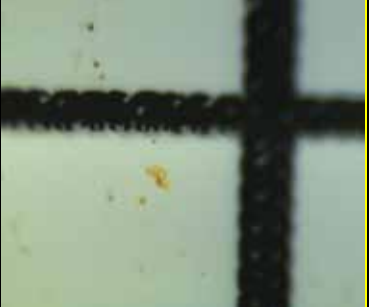

**EK 2**

**EK3**


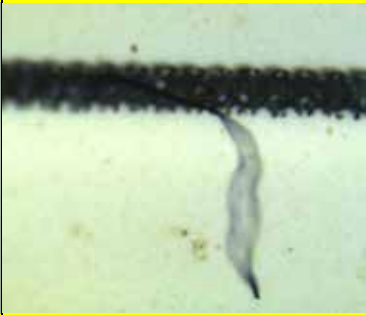

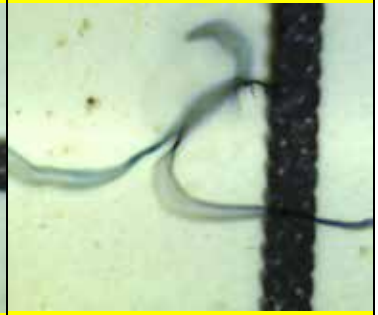




EK1

Tablo 5. AAT numunelerindeki mikroplastiklerin mikroskop görüntüleri

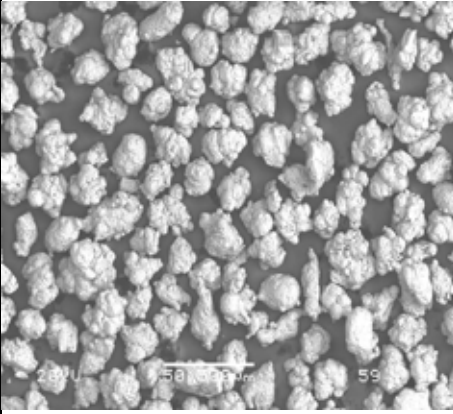
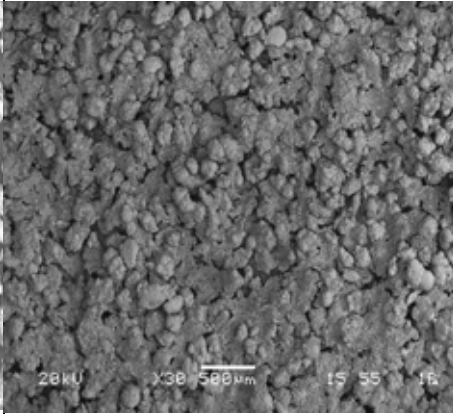
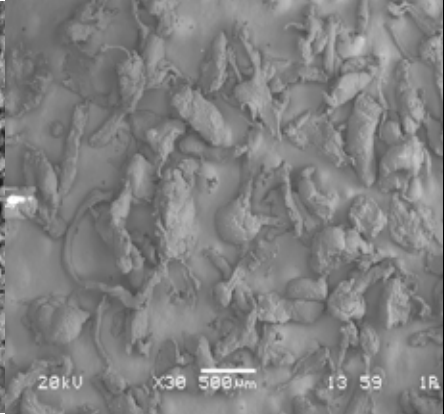
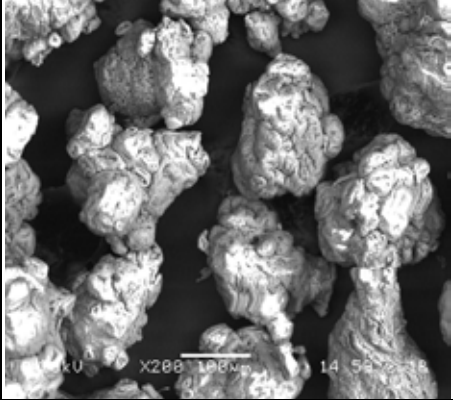
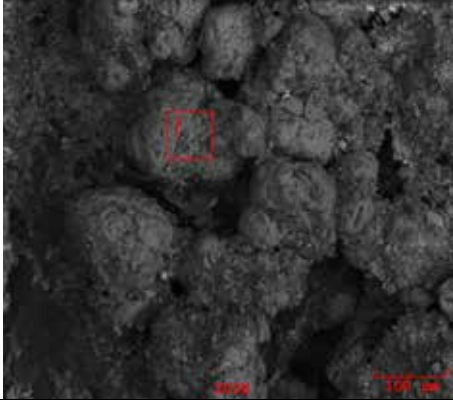
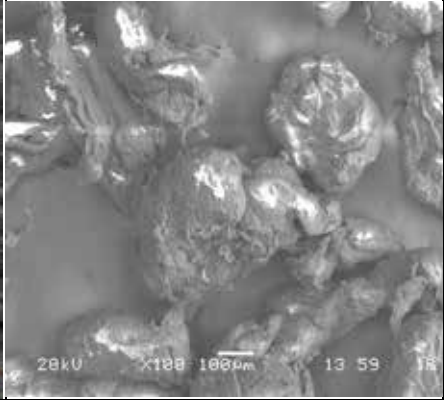
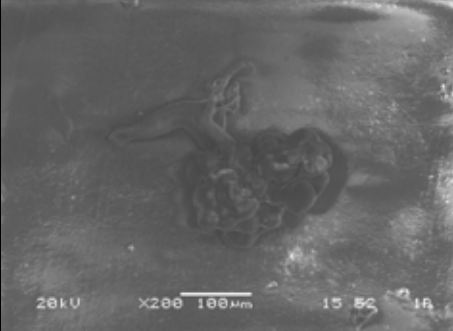

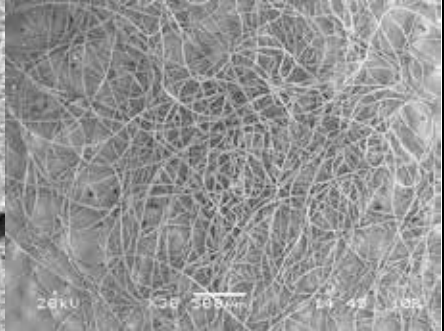
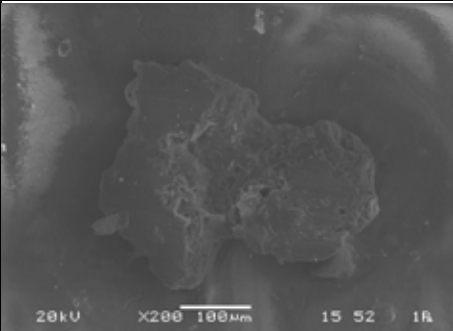
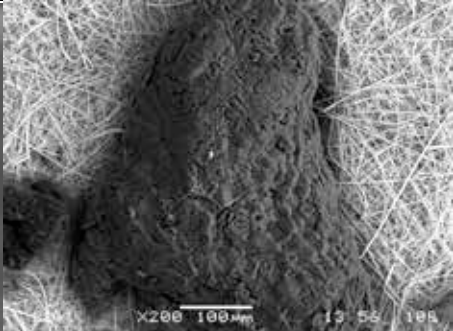
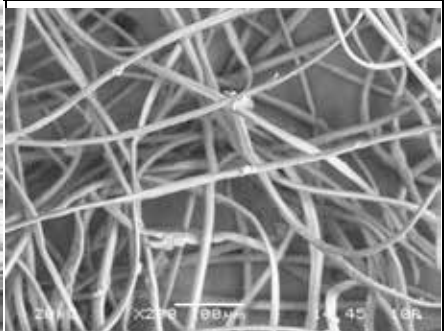
A1 numunesi			
			
A2 numunesi			
			
A3 numunesi			
			
A4 numunesi			
			
C1 numunesi			
			

C2 numunesi			
			
C3 numunesi			
			
C4 numunesi			
			
D1 numunesi			
			
D2 numunesi			
			

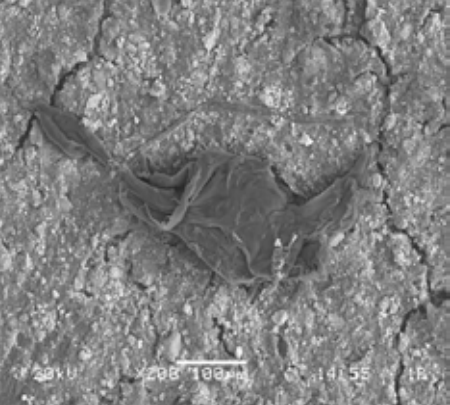
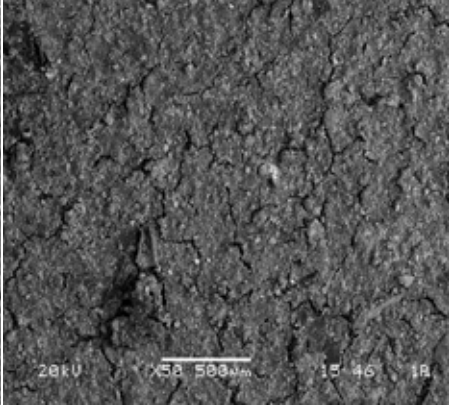
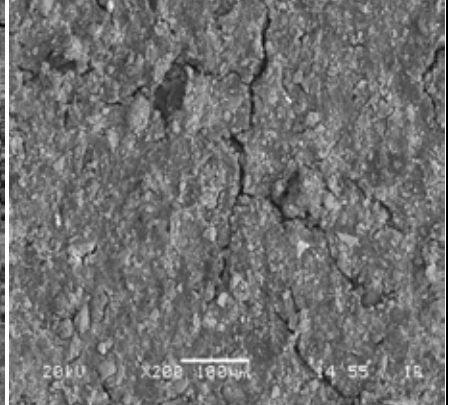
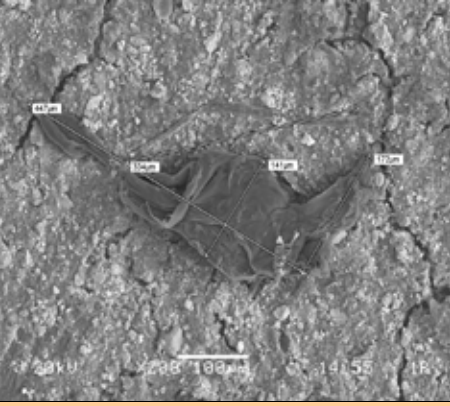
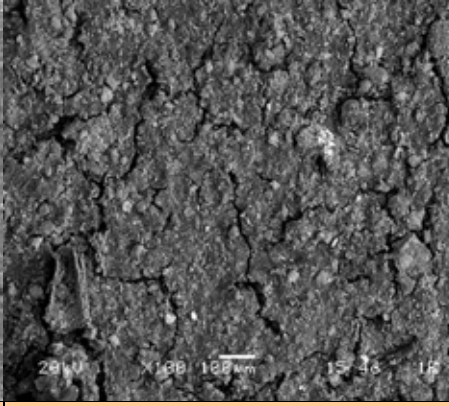
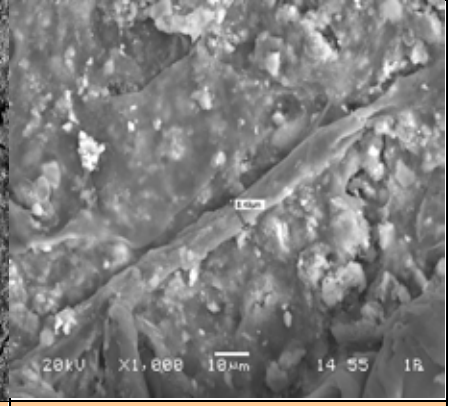
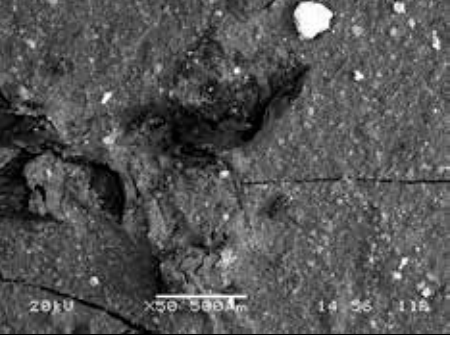
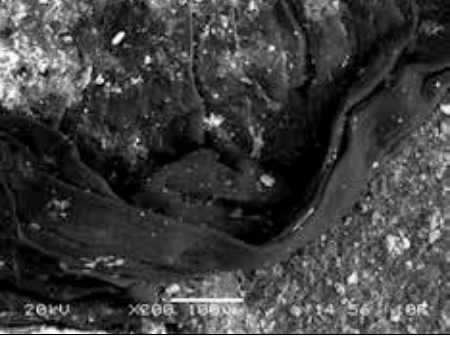


D3 numunesi			
			
D4 numunesi			
			

Tablo 6. Çeşitli mikroplastiklerin SEM görüntüleri

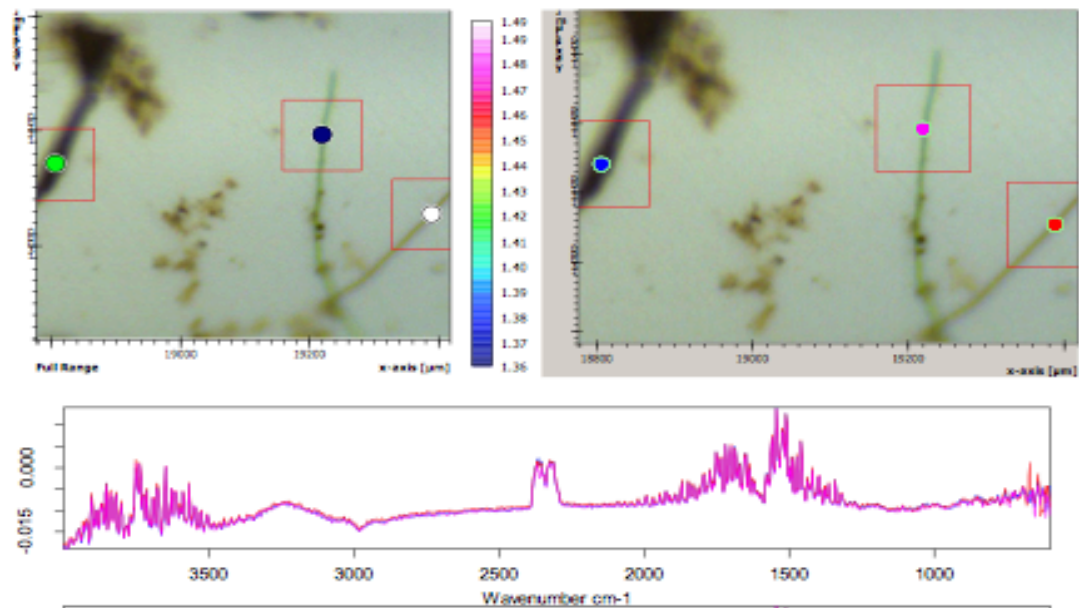
		
a1. Ham PVC mikroplastik	b1. Arıtma Girişi Numunesi içindeki PVC mikroplastik	c1. Ham LDPE mikroplastik
		
a2. Ham PVC mikroplastik	b2. Arıtma Girişi Numunesi içindeki PVC mikroplastik (Altınla Kaplanmış)	c2. Ham LDPE mikroplastik
		
d1. Yüz yıkama jelinde PE (microbeads) mikroplastik	e1. Peeling jelinde PE (microbeads) mikroplastik	f1. %100 Polyester Kıyafet lifleri
		
d2. Yüz yıkama jelinde PE (microbeads) mikroplastik	e2. Peeling jelinde PE (microbeads) mikroplastik	f2. %100 Polyester Kıyafet lifleri

Tablo 6. Çeşitli mikroplastiklerin SEM görüntüleri

		
g1. Arıtma Girişi Numunesi içindeki LDPE mikroplastik (Altınla Kaplanmış)	h1. Arıtma Girişi Numunesi içindeki LDPE mikroplastik (Altınla Kaplanmış)	i1. Arıtma Girişi Numunesi-LDPE mikroplastik (Altınla Kaplanmış)
		
g2. Arıtma Girişi Numunesi içindeki LDPE mikroplastik (Altınla Kaplanmış)	h2. Arıtma Girişi Numunesi (Altınla Kaplanmış)	i2. Arıtma Girişi Numunesi-LDPE mikroplastik (Altınla Kaplanmış)
		
j1. Arıtmanın orta kademesinde bir plastik film		
		
j2. Arıtmanın orta kademesinde bir plastik film		

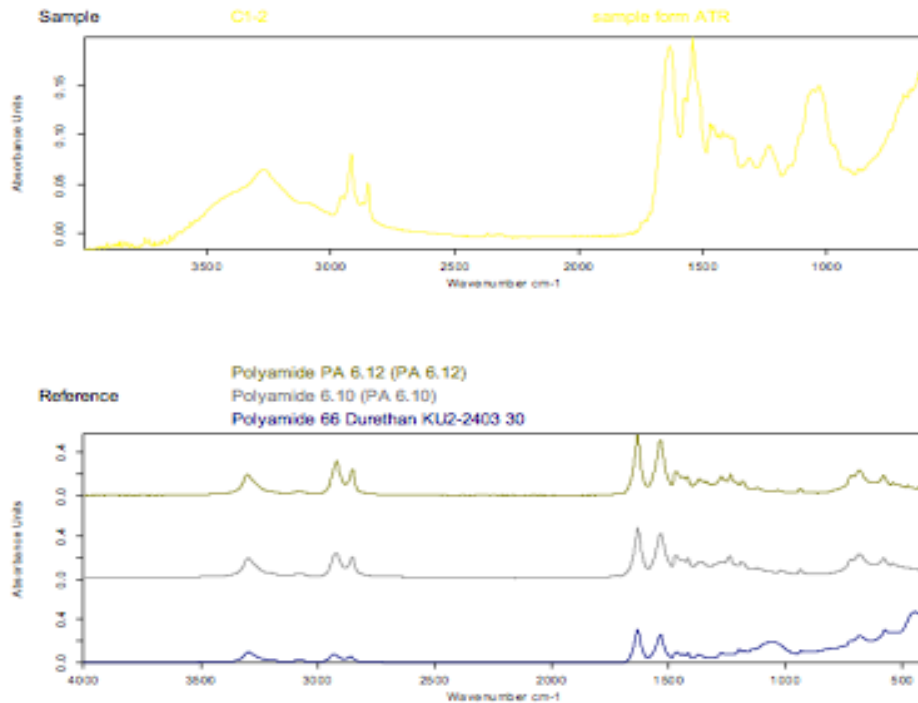
EK 3.

Çıkış suyunda FTIR analizi örneği



Page 1 of 1

### Quick Compare Result



**Result: NOT OK**

Correlation: 68.57 %

Threshold: 98.00 %

Sample: SEARCH\_C1-2.0\_AB\_000002.0

Compared with Reference: Polyamide 6.12 (PA 6.12) bright.0