

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ATIKSULARDAKİ MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berkim CEYLAN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Meral YURTSEVER

Mart 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKSULARDAKİ MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berkim CEYLAN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 14.03.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Yrd. Doç. Dr.
Meral YURTSEVER**

Jüri Başkanı



**Yrd. Doç. Dr.
Nursel KIRATLI
YILMAZÇOBAN**

Üye



**Prof. Dr.
Gülşen ALTUĞ**

Üye



BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Berkim CEYLAN

14.03.2017

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Meral YURTSEVER’e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Laboratuvar çalışmalarında bana yardımcı olan sevgili arkadaşlarım İnci ÇELİK, Elif Özlem KIRKAN, Mesut SEZER ve Yavuz Selim ÜNLÜ’ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarında bana değerli fikirleriyle yardımcı olan Bayram MUTLU, Batuhan SARIKAYA ve Muhammed HAS’a teşekkürlerimi sunarım.

Karaman Atık Su Arıtma Tesisinden numune alımında bize yardımcı olan Sayın Mustafa DURANSOY’a teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan TÜBİTAK’a (Proje No: 115Y112) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	9
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI.....	6
BÖLÜM 3.	
MİKROPLASTİK KAYNAKLARI VE ŞEKİL ÖZELLİKLERİ.....	12
3.1. Mikroplastiklerin Kaynakları	12
3.2. Mikroplastiklerin Şekil Özellikleri	13
BÖLÜM 4.	
NUMUNE SEÇİMİ VE YÖNTEM.....	15
4.1. Numune Seçimi.....	16
4.2. Yöntem	16
4.2.1. Kullanılan araç-gereçler.....	17
4.2.2. Kullanılan kimyasal çözeltiler	17

4.3. Analizler	17
4.3.1. AKM analizi.....	17
4.3.2. KOİ, sıcaklık ve pH analizi.....	18
4.3.3. Işık mikroskop analizi	18
4.3.4. FT-IR analizi.....	25
 BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	27
 KAYNAKLAR	31
ÖZGEÇMİŞ.....	36

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AAT	: Atık su arıtma tesisi
AKM	: Askıda katı madde miktarı
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
MP	: Mikroplastik
NaCl	: Sodyum klorür
NaI	: Sodyum iyodür
NaOH	: Sodyum hidroksit
PAH	: Poliaromatik hidrokarbonlar
PCB	: Poliklorlu bifeniller
ZnCl ₂	: Çinko klorür
H ₂ O ₂	: Hidrojen peroksit
PA	: Polyamid
PVC	: Polivinil klorür
PET	: Polietilen tereftalat

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Vacha barajı plastik kirliliği	2
Şekil 2.1. Atık su arıtma tesisi akış şeması	9
Şekil 3.1. Analiz edilen katı parça kesitinde bulunan mikroplastikler	14
Şekil 3.2. Mikroplastiklerin fotoğrafları	14
Şekil 4.1. Karaman atık su arıtma tesisi akış şeması	17
Şekil 4.2. Lif tipinde olan bir mikroplastığın mikroskop görüntüsü	19
Şekil 4.3. Lif tipinde olan bir mikroplastığın mikroskop görüntüsü	19
Şekil 4.4. Parçacık tipinde olan bir mikroplastığın mikroskop görüntüsü	20
Şekil 4.5. Lif tipinde olan bir mikroplastığın mikroskop görüntüsü	20
Şekil 4.6. Lif tipinde olan bir mikroplastığın mikroskop görüntüsü	21
Şekil 4.7. Lif tipinde olan bir mikroplastığın mikroskop görüntüsü	21
Şekil 4.8. Lif tipinde olan bir mikroplastığın mikroskop görüntüsü	22
Şekil 4.9. Bruker LUMOS model FT-IR mikroskobu	26

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. Ünitelerdeki yüzde mikroplastik giderim oranı ve günlük mikroplastik salınımı.....	10
Tablo 2.2. Farklı derinliklerdeki mikroplastik kirliliğini ölçme çalışmaları	11
Tablo 2.3. 500 gram sulu çamur ve 500 gram askıda katı madde miktarının mikroplastik miktarlarının karşılaştırılması.....	11
Tablo 2.4. Mikroplastiklerin tutulma oranları	11
Tablo 3.1. Mikroplastik tiplerinin tanımlanması ve potansiyel kaynakları	13
Tablo 4.1. Numunelerdeki askıda katı madde miktarları	18
Tablo 4.2. Numunelerin KOİ, sıcaklık ve pH.değerleri	18
Tablo 4.3. Giriş numunesi inceleme sonuçları	22
Tablo 4.4. Giriş numunesi ortalama boyut inceleme sonuçları	23
Tablo 4.5. Kum tutucu numunesi inceleme sonuçları	23
Tablo 4.6. Kum tutucu numunesi ortalama boyut inceleme sonuçları	24
Tablo 4.7. Çıkış numunesi inceleme sonuçları	24
Tablo 4.8. Çıkış numunesi ortalama boyut inceleme sonuçları	25
Tablo 4.9. Karaman atık su arıtma tesisi ünitelerindeki yüzde mikroplastik giderim oranı ve günlük mikroplastik bırakımı.....	29
Tablo 4.10. Atık su arıtma tesislerinin mikroplastik arıtma verimi ve günlük salınan mikroplastik miktarı karşılaştırılması.....	29

ÖZET

Anahtar kelimeler: Atık su Arıtma Tesisleri (AAT); Karakterizasyon; Kirletici; Mikroplastik; Mikrolifler

5 mm'den küçük plastik parçacıkları “mikroplastik” olarak tanımlanmaktadır. Plastikler toksik organik kirleticileri tutabilme potansiyeline sahiptir. Balıklar, çekirgeler, kuşlar, böcekler ve daha küçük boyuttaki canlılar, sulara ve çevreye dağılan mikroplastikleri yiyecek zannederek yutabilmektedir. Böylece mikroplastikler, zehirli kirleticilerin besin zinciri boyunca taşınmasına ve dolayısıyla çevredeki canlıların olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmaktadır.

Bu çalışmada atık su arıtma tesisine gelen mikroplastiklerin giderilip giderilmediği incelenmeye çalışılmıştır. Aktif çamur sistemi ile çalışan bir atık su arıtma tesisinin giriş, kum tutucu çıkışı ve arıtma çıkışı bölümlerinden alınan numunelerde mikroplastiklerin varlığı incelenmiştir. Alınan numunelerdeki mikroplastikleri ayırabilmek amacıyla; tuz ile yoğunluğu artırılmış (ağırlaştırılmış) çözelti hazırlama, yüzdürme, santrifüj, filtrasyon, yıkama, kurutma vb. gibi işlemler yapılmıştır. Bu şekilde ayrılan mikroplastikler; önce bir ışık mikroskobu ile tip, renk ve sayısına göre sınıflandırılarak sayılmış, daha sonra mikroskoplu ATR-FT-IR cihazı ile polimer tipleri belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucu Karaman Atık su Arıtma Tesisinin, atık sudaki mikroplastikleri % 57,51 oranında tutabildiği ve her gün yaklaşık 8415 milyon mikroplastikğin alıcı ortama geçebileceği tespit edilmiştir.

Çamaşır makinelerinin tasarımında sentetik iplikleri tutabilecek bir ünite oluşturulması, klasik arıtma yapan atık su arıtma tesislerine ultrafiltrasyon ünitesi yapılması mikroplastik kirliliğine çözüm olarak önerilebilir. Ayrıca mikroplastikler konusunda “farkındalığı artırma”, vergilerle ve caydırıcı cezalarla tek kullanımlık plastiklerin aşırı kullanımının önüne geçilmesi, plastik geri dönüşümünün ve tekrar kullanımının yaygınlaştırılması, atığı kaynağında önleme, atık minimizasyonu vb. gibi çalışmalar da yapılmalıdır.

INVESTIGATION OF MICROPLASTICS POLLUTION IN THE WASTE WATER

SUMMARY

Keywords: Wastewater treatment plant, Characterization, Pollution, Microplastics, Microfibre

Smaller particles than 5 mm are identified as microplastics has a capacity of holding toxic organic dirties. Fish, grasshopper, birds, insecticides and smallest living creatures can swallow microplasts as a food which scatter around environment and water. So microplastics help poisonous dirties which are carried on food chain and cause living things to be effected in a negative way.

This study, it is deal with microplastics which come to the wastewater refinery system are eliminated. With the active mud system, the samples which are from the entrance of active working wastewater, refinery system, the exit of sand holder and the exit of refinery, microplastics are examined. By the way of purpose of diving microplastics with the salt preparing, sailing, centrifuge, filtration, washing and drying methods are used. Microplastics are classified into its colour, its number. They are counted then polymer types are identified by microscope with ATR FT-IR equipment.

It shows us the fact that, after the studies that has been made in Karaman Wastewater Treatment Plant the ratio of 57,51% of the microplastics in wastewater which is 8415 million microplastics daily, in the wastewater is discharging to clean water sources and polluting them.

As a solution for microplastics, developing a unit that holds the synthetic fabric in washing machines and building a ultrafiltration unit to convantional treatment plant can be made. Furthermore, studies like, “increase the awareness”, to decrease the overuse of plastics with the taxes and deterrent punishments, promoting plastic reuse and recycle, prevent the waste on the source, waste minimisation etc. should be made for microplastics.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Plastikler günümüzde hafif, esnek, kolay işlenebilen ve ekonomik olarak ucuz bir madde olduğundan dolayı çok yaygın kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan plastikler; polietilentereftalat (PET), polyamid (naylon), polyester, polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS) ve polivinil klorür (PVC) dür. Plastiklerin kullanımı son 50 yıldır endüstrinin gelişmesine bağlı olarak aşırı arttığından dolayı çevremizdeki plastik çöpler de artmaya başladı. Dünya’da 1950’lerde yıllık üretilen plastik 1,5 milyon ton iken 2011 yılında yaklaşık 280 milyon ton plastik üretilmiştir (Plastics Europe, 2012).

Sadri, S.S. ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada plastiklerin boyutları incelendiğinde % 82 oranında 5 mm’ den küçük mikropplastikler olduğu tespit edilmiştir. En yüksek bulunan plastik tiplerinin ise; % 40 polietilen, % 25 polistiren, % 19 polipropilen olduğu tespit edilmiştir (Sadri, S.S., ve ark., 2014).

Plastik çeşitleriyle alakalı bir araştırma da 2007 yılında Andrady ve arkadaşları küresel plastik üretiminde en yaygın olarak kullanılan plastik polimerlerin sırasıyla % 24 polipropilen, % 21 polietilen ve % 19 polivinil klorürdür olduğunu tespit etmiştir (Andrady, 2011).

Plastik kirliliği kara ortamının kirletici unsurlardan biri olduğu gibi su ortamını da kirleten başlıca faktörlerden biridir. Buna Şekil 1.1.’deki fotoğraf örnek olarak gösterilebilir. Fotoğraf su ortamındaki kirliliğin ne boyutlarda olduğunu açıklaması açısından anlamlıdır. Kirliliğin olduğu bu yer Bulgaristan’a bağlı Krichim kasabası yakınlarındaki Vacha barajıdır. Fotoğraf Dimitar DILKOFF tarafından 25 Nisan 2009’ da çekilmiştir.



Şekil 1.1. Vacha barajı plastik kirliliği.

Plastikler, fiziksel aşınmaya maruz kaldığında aşamalı olarak parçalanıp mikroplastik denen çok daha küçük parçalara bölünebilmektedir. Mikroplastikler 5 mm'den küçük olan plastiklerdir. (Artur ve ark., 2009; Hidalgo-Ruz ve ark., 2012). Mikroplastikler iki farklı gruba ayrılabilirler. Bunlar birincil mikroplastikler ve ikincil mikroplastikler olarak adlandırılır. Birincil mikroplastikler mikroskopik boyutlarda üretilmekte olup, kozmetik ürünlerinde, yüz temizleme ürünlerinde ve havayla temizleme cihazlarında bulunmaktadır (Gregory ve ark., 2009). İkincil mikroplastikler ise büyük plastiklerin (Thompson ve ark., 2009), güneş ışığı, su, rüzgar ve diğer çevresel etmenlerle küçük parçalara ayrılması neticesinde oluşmaktadır (Singh ve ark., 2008).

Toplumda aşırı plastik kullanımı ve bazı insanların çöplerini kontrolsüz çevreye atmalarıyla beraber önce kara ortamı kirlenmektedir. Oluşan plastik çöpler zamanla yağış, rüzgâr, akarsular ve ırmaklar gibi su kaynakları yardımıyla karalardan su ortamına taşınmaktadır. Bu taşınım esnasında plastikler fiziksel olarak daha küçük parçalara ayrılarak mikroplastik dediğimiz parçaları oluştururlar.

Deniz ve marinalardaki çöplerin % 60-80 oranında plastiklerden oluştuğu ve bunların da çoğunluğunu mikroplastiklerin oluşturduğu bilinmektedir (Browne ve ark., 2010). Marinalardaki mikroplastik çöplerin kaynakları; evsel, endüstriyel, trafik, kullanılmış büyük plastiklerin çevrede parçalanması ve kanalizasyon-atık su arıtma tesisleri gibi çeşitli antropojenik aktiviteler sonucunda oluşmaktadır. Denizel çevrelerde en yaygın bulunan plastik atıklar; olta takımları, granüller, temizlik maddeleri, mikroplastik, filmler ve köpüklerdir (Frias ve ark., 2010).

Endüstride kozmetik ve kişisel bakım ürünlerinde kullanılan mikrobuncukların yaklaşık % 93'ünün polietilenden üretildiği, % 7'sinin ise polipropilen, politereftalat, polimetil akrilat ve naylondan üretildiği tespit edilmiştir (Eriksen ve ark., 2013; Gouin ve ark., 2015).

Kentsel atık su arıtma tesislerine kanalizasyon yoluyla gelen yüksek miktarda sentetik tekstil lifleri ve kozmetik temizleyicilerde bulunan mikrobuncuklar gelmektedir (Browne ve ark., 2011). Bu mikrobuncuklar mikroplastik olarak nitelendirilmektedir. Mikrobuncuklar genellikle kişisel bakım ürünleri kökenli olup yıkanma faaliyetleri sonucu kanalizasyon sistemine geçmektedir. Sudaki canlılar tarafından yutularak besin zincirinde canlılar arasında biyobirikime neden olmaktadır (Setälä ve ark., 2014).

Göl ve deniz ortamında bulunan plastik çöpler yaban hayatı için de bir tehdit unsurudur. Hayvanlar plastikleri yutabilir veya plastiklere dolaşarak hayati tehlikeler yaşayabilir. Plastik çöplere dolaşmış olan bir hayvan boğulabilir, dış yaralanmalara uğrayabilir, avcı hayvanlardan kaçabilme veya besine ulaşabilme kabiliyetini kaybedebilir. Yutulan plastikler ve mikroplastikler iç organlarda hasarlara, yetersiz beslenmeye, sindirim enzim sisteminin, hormon dengesinin veya üremenin bozulmasına neden olabilir (Free ve ark., 2014). Okyanusta yapılan bir araştırmaya göre en az 267 deniz türünün mikroplastik yutma veya dolanma sorunu yaşadığı belirtilmektedir (Derraik, 2002; Moore, 2008). Plastik birikimine ilk kanıt olarak 1960 yılında deniz kuşları bağırsak içeriğinin incelenmesi verilebilir (Kenyon ve ark., 2009). Dünya çapında deniz kuş türlerinin en az % 44'ünün plastik yediği

bilinmektedir (Andrady, 2011). Örnek olarak; siyah ayaklı albatroslar plastik granülleri yemektedir.

Mikroplastikleri besin olarak tüketen küçük boyuttaki canlılarda mikroplastiklerin olumsuz etkileri tespit edilmiştir. Bu çalışmalara örnek olarak; deniz omurgasızları üzerine (Murray ve Cowie, 2011; Cole ve arkadaşları, 2013; Goldstein ve Goodwin, 2013), balıklar üzerine (Boerger ve ark, 2010; Davison ve Asch, 2011), deniz kuşları üzerine (Ryan ve arkadaşları, 2009; Thompson ve diğ., 2009b), ve memeliler üzerine (Eriksson ve Burton, 2003; Fossi ve arkadaşları, 2012, 2014) etkileri incelenmiştir. Mikroplastikle beslenen hayvanların midesinde plastiğin yer kapladığı ve sahte bir doyma hissi yaratarak canlının karnı dolu olduğu halde açlıktan öldüğü, sulardaki plastiklerin canlıların yüzgeç gibi üyelerine vb. takılarak fiziksel yaralanmalara yol açtığı rapor edilmiştir (Von Moos ve ark., 2012; Browne ve ark 2013; Cole ve ark., 2013; Rochman ve ark., 2013; Wright ve ark., 2013a, b).

Yapılan bir araştırmada bilim adamları yengeçlerin denizlerdeki mikroplastik parçaları sadece yiyeceklerle değil, solungaçlarıyla da çekerek solunum sisteminde tutabildiklerini ortaya çıkarmıştır (Watts ve ark., 2014; Yurtsever, 2015).

Plastiklerin, hidrofobik yüzey, yüzücülük, kirleticileri taşıma potansiyelleri, kalıcı organik kirletici (KOK)'leri absorplayabilmeleri ve ultraviyole ışınları etkisiyle foto-oksidatif parçalanma vb. gibi özelliklerinden dolayı mikroplastikler su kaynaklarında büyük tehlike haline gelmiştir.

Plastik atıklar denize ulaştıklarında bozunma sıcaklarının yüksek olması, ultraviyole ışınlarına ve bakterilere karşı dayanıklı olması nedeniyle yüzyıllarca denizlerde varlıklarını sürdürüyor; insanlar, doğal yaşam ve ekosistem için büyük tehlikelere neden olmaktadır. Mikroplastikler su taşınımı esnasında organik kirleticilere maruz kalarak kirlenebilmektedir. Plastikleştiriciler olarak bilinen plastik katkı maddesi toksik özellikteki organik kirleticileri süzebilmektedir. Dolayısıyla toksik özellikteki mikroplastikler besin zinciri yardımıyla birikerek tüm canlıları etkileyebilmektedir (Setälä ve ark., 2014).

Örnek olarak poliklorlu bifeniller (PCB), diklorodifenil trikloroetan (DDT) ve poliaromatik hidrokarbonlar (PAH) toksik özellikteki kimsayalardır (Teuten ve ark., 2007).

Mikroplastikler kara ortamında ultraviyole ışınları etkisiyle karada bozularak parçalanabilirler. (Eriksen ve ark., 2013). Bu parçalara ayrılma işlemleri; antropojenik etkilerle ve/veya su, hava, rüzgâr, güneş (ultraviyole ışını) etkisi gibi doğal etkilerle gerçekleşebilir.

Plastikler zehirli kimyasal maddeleri adsorbe ederek tamamıyla toksik atık haline gelebilir. Toksik bileşik adsorplamış olan bu plastiklerin yutulması sonucunda potansiyel olarak çevre kirleticileri deniz besin zincirine aktarılarak canlı vücudunda birikime uğrayabilir (Mato ve ark., 2001). Bu zehirli kimyasallara örnek olarak pestisitler, poliklorlu bifeniller (PCB), diklorodifenil trikloroetan (DDT) ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) verilebilir (Teuten ve ark., 2007). Bir çalışmada toplanan çapları 1-5 mm olan plastik granüllerin su sütununda polipropilen peleti üzerinde 106 kat poliklorlu bifenil konsantrasyonu arttığı tespit edilmiştir (Mato ve ark., 2001). Deniz sularında mikroplastiklerin miktarında artış vardır ve mikroplastiklerin henüz tam olarak anlaşılamamış ekotoksikolojik etkileri mevcuttur (Goldstein ve ark., 2012).

Yalnızca Amerika’da plastik pelet üretimi 1960 yılında 2,9 milyon iken, 1987 yılında 21,7 milyona yükselmiştir (Pruter, 1987). Dünya çapında plastik üretimi ise 2013 yılında 299 milyon ton olduğu belirtilmiştir (Rochman ve ark., 2013a; Plastic Europe, 2014).

Son on yılda mikroplastiklerle ilgili yapılan çalışmalar neticesinde dünya genelinde plastiklere olan ilgi artmış olup Avrupa’da birçok ülke tarafından naylon poşet yasaklanmış ve Amerika’da kozmetik ürünlerinde kullanılan mikrobuncuklar yasaklanmıştır.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI

Mikroplastiklerin çevresel zararlarının fark edilmesinden dolayı mikroplastikler ile ilgili literatür araştırmaları son yıllarda çok büyük gelişme kat etmiştir. Bunlar aşağıdaki araştırmalarla sıralanıp, gelişip mikroplastik sorununun önemini kavramamıza yardımcı olmuştur.

Gregory, 1977; Yeni Zelanda sahilinde plastik peletlerle yaptığı çalışmada kıyılardaki plastik kirliliğini ortaya çıkarmıştır. Çapı 4-5 mm olan plastik peletlerin olduğunu, aslında mikroplastik çalışmalarının temelleri atılmıştır.

Eriksson ve Burton, 2003; Macquarie Adası'nda plastik peletleri incelediği ve *Electrona subaspera* balık türü tarafından tüketilerek vücudunda birikime neden olduğunu ortaya çıkarmıştır. Yine mikroplastik terimi henüz ortaya çıkmamış olup burada da küçük plastik parçacıklarından bahsedilmektedir.

Thompson, 2004; denizde yaşayan canlılar hakkında çalışma yaparken sucul ortamdaki plastik kirliliği dikkatini çekmiştir, böylece mikroplastik terimi kullanılmaya başlamıştır.

Fendall, 2009; yüz temizliyicilerinde bulunan mikroplastiklerin yıkanma faaliyetleri sonucu kanalizasyona geçtiğini ve buradan da denizleri kirlettiğini ortaya çıkarmıştır.

Browne, 2011; sentetik bir tekstil giysisinden bir yıkamada 1900'den fazla lifin kanalizasyona geçtiğini ve bu mikroplastik liflerinin denizleri kirlettiğini ortaya çıkarmıştır.

Free, 2014; Hovsgol Göl'ünde yaptığı araştırma neticesinde tatlı su kaynaklarındaki mikroplastik kirliliğinin çeşitlerini ve kirliliğe neden olan faaliyetleri ortaya koymuştur.

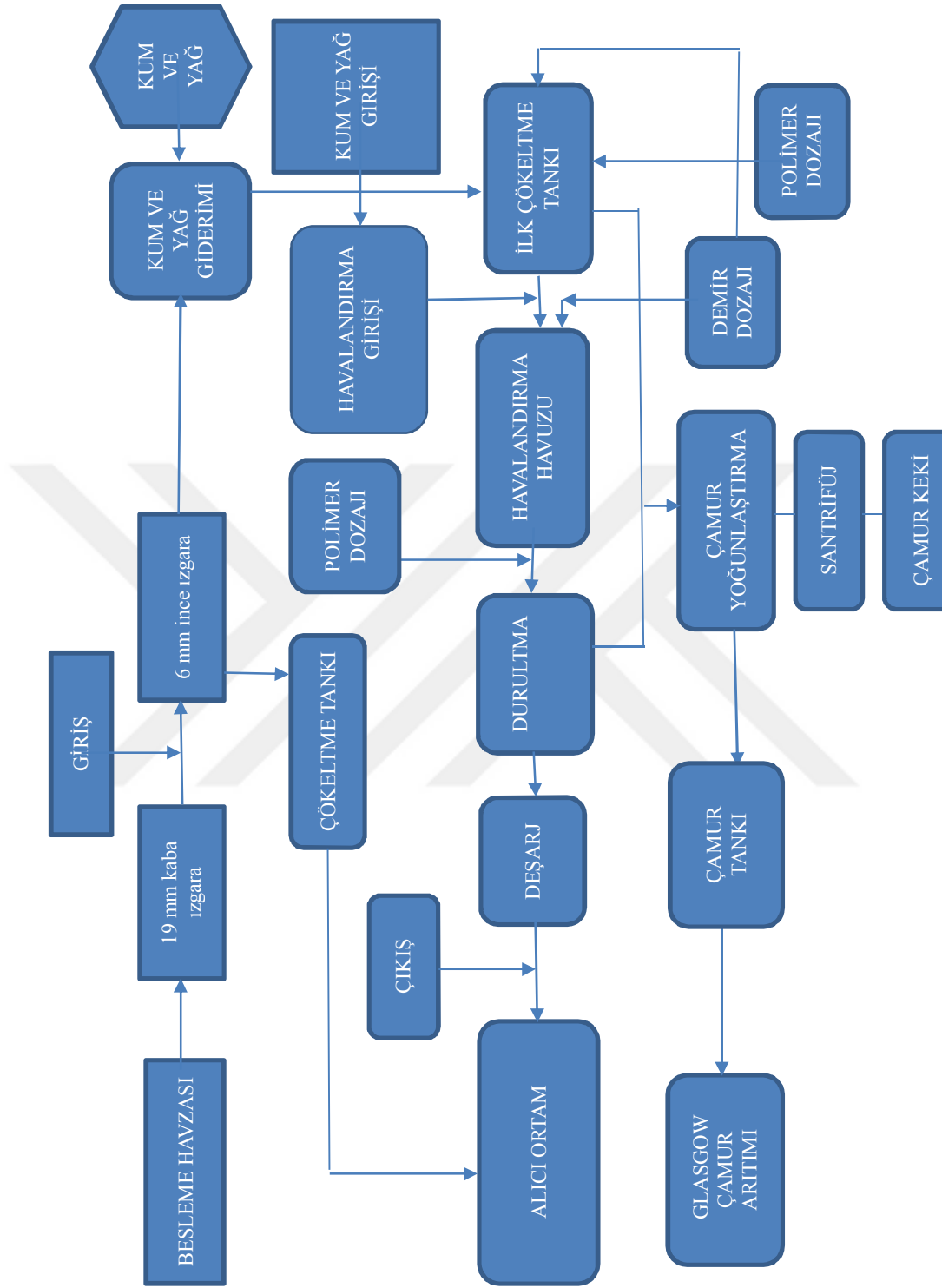
Magnusson, 2014; atık su arıtma tesislerine kanalizasyon yoluyla oluşan mikroplastiklerin tutulma oranının % 99,9 olduğunu ve buna rağmen alıcı ortamlara mikroplastik geçişinin olduğunu ortaya çıkaran ilk çalışmalardan birini gerçekleştirmiştir.

Magnusson ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmaya göre sentetik elyaf üretimi 1975-2014 yılları arasında % 850 artmıştır. 2014 yılında sentetik elyaf üretimi 60 milyon tona ulaşmış olup bunların % 65'ini selülozik, yün ve pamuk gibi sentetik tekstil ürünleri oluşturduğu tespit edilmiştir. Bir tekstil giysisinin yıkanması sonucu >1900 lifin oluştuğu tespit edilmiştir. Yünlü bir ceketin yıkanmasında litre başına >250 tekstil lifi oluşmasına karşın, bir battaniyenin yıkanması sonucu litre başına 130 tekstil lifi oluşmaktadır (CIRFS 2016, Magnusson ve ark., 2016). İsveç'te çamaşırların yıkanmasından oluşan mikroplastiklerin % 30-50'sini sentetik tekstil lifleri oluşturduğu tespit edilmiştir. Tekstil liflerinden oluşan mikroplastik miktarını nüfusa oranladıklarında bir yılda bir kişi ortalama 220-300 kg mikroplastik sentetik tekstil lifine maruz kaldığı ve bir yılda 195- 2216 ton sentetik tekstil lifinin alıcı ortama deşarj edildiği tespit edilmiştir. İsveç Belediyesine bağlı atıksu arıtma tesislerinden çıkan atıksudaki mikroplastik miktarı kişi başına 4,1 kg olduğu ve 9,8 milyon nüfuslu İsveç'te >36 milyon mikroplastığın her yıl alıcı ortamları kirlettiği tespit edilmiştir (Magnusson ve ark., 2016). Magnusson ve Wahlenberg'in yaptığı bir çalışmaya göre İsveç'teki üç atıksu arıtma tesisine gelen atıksuyun metreküpünde >20000 mikroplastik lifinin bulunduğu tespit edilmiştir. Tesisteki arıtmadan sonra çıkış suyunun metreküpünde 150-3300 mikroplastik lifin olabileceği tespit edilmiştir (Magnusson ve Wahlberg 2014).

Magnusson ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmaya göre kişisel bakım ürünlerinden oluşan mikrobuncuklar ve sentetik tekstil liflerinden oluşan plastik partiküllerin yıllık olarak İsveç Belediyesi atıksularına 250-2000 ton olarak boşaltıldığı tahmin

edilmektedir. Bu atıksuların büyük çoğunluğunun tutulmakta olduğu ve 4-30 ton kadarının alıcı ortama geçtiği tahmin edilmektedir. Ve bu parçacıkların büyük çoğunluğunun boyutları $>300 \mu\text{m}$ olduğu bilinmektedir. Ayrıca aynı çalışmaya göre İsveç'te 2012 yılında sıvı sabunlarda bulunan mikroplastik parçacıklarının boyutunun büyük çoğunluğunun $>450 \mu\text{m}$ olduğu ve İsveç'te 2012 yılında sıvı sabunlarda 69 ton mikroplastik olduğu tespit edilmiş olup, ortalama kişi başına 7 gram mikroplastik kullanıldığı hesaplanmıştır (Magnusson ve ark., 2016). Ayrıca Hollanda'da yapılan bir çalışmada diş macunlarındaki mikroplastik boncukların ağırlıklı olarak $<10 \mu\text{m}$ olması ve boyutlarının 2-5 μm arasında olduğu tespit edilmiştir (Verschoor ve ark., 2014b).

Murphy, 2016; atık su arıtma tesislerine kanalizasyon yoluyla ulaşan mikroplastiklerin % 98,41 oranında arıtılmasına rağmen temiz su kaynaklarına günde 65 milyon mikroplastik salınımı olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışmada incelenen atık su arıtma tesisi şeması Şekil 2.1.'deki gibidir.



İskoçya Batı Üniversitesi Çevre Sağlığı Araştırma Enstitüsü tarafından incelenen atık su arıtma tesisindeki giriş, kum tutucu, kum tutucu çıkışı ve çıkış gibi ünitelerdeki mikroplastiklerin giderim oranı ve alıcı ortama bıraktığı mikroplastik miktarı Tablo 2.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Ünitelerdeki yüzde mikroplastik giderim oranı ve günlük mikroplastik salınımı (Murphy ve ark.,2016).

NOKTA	MP/L	milyon MP/gün	% Giderim Verimi
GİRİŞ	15,70	4097	00,00
KUM TUTUCU	8,70	2270	44,59
KUM TUTUCU ÇIKIŞI	3,40	887	78,34
ÇIKIŞ	0,25	65	98,41

Yapılan bu araştırmaya göre kentsel atık su arıtma tesisinden alınan giriş numunesi litresinde 15,7 mikroplastik varken çıkış numunesi litresinde 0,25 mikroplastik olduğu tespit edilmiştir. % 98,41 oranında bir mikroplastik kirliliği arıtımı olmasına rağmen her gün 65 milyon mikroplastik atık su arıtma tesisinden alıcı ortama bırakılmaktadır (Çıkış suyundan alıcı ortama geçen ortalama debi miktarı: 260.954 m³/gün'dür.). Yani atık su arıtma tesisi etkili bir mikroplastik giderimi yapmasına rağmen, mikroplastik boyutu arıtma tesisinin filtresinden küçük olan milyonlarca mikroplastik temiz su kaynaklarına karışıp alıcı ortamı kirletmektedir (Murphy ve ark, 2016).

İsveç Araştırma Enstitüsünde Magnusson ve arkadaşlarının yaptığı araştırmaya göre gelen atık su konsantrasyonun metreküp başına saatte 15000 mikroplastik parçacık içerdiği tespit edilmiştir. Arıtma çamurunda % 99 verimle mikroplastik tutulması olduğu görülmüş olup, çıkış suyu konsantrasyonunun saat başına 1770 mikroplastik parçacığı içerdiği tespit edilmiştir (Magnusson ve ark., 2014).

İsveç Araştırma Enstitüsünde numune tüpleriyle alıcı su ortamından 20, 50 ve 200 metre derinliklerinden numuneler alınmıştır. Çıkış suyunun atık su arıtma tesisi tarafından etkilenmediğini varsaydığımız nokta alıcı referans noktası seçilmiştir. Ve bu alıcı referans noktası numunelere, 3500 metre uzaklıktadır. Tabloda 2.2.'de görüldüğü üzere 200 metre derinliğinde (su sütunu boyunca) bile mikroplastiklere rastlanmıştır.

Tablo 2.2. Farklı derinliklerdeki mikroplastik kirliliğini ölçme çalışmaları (Magnusson ve ark., 2014).

Nokta	Plastik lif	Plastik parçacık	Plastik film	Toplam
Giriş suyu	$10,7 \pm 0,39 \cdot 10^3$	$2,67 \pm 0,77 \cdot 10^3$	$1,78 \pm 0,80 \cdot 10^3$	$15,1 \pm 0,89 \cdot 10^3$
Çıkış suyu	$4,00 \pm 0,58$	$3,75 \pm 1,25$	$0,50 \pm 0,50$	$8,25 \pm 0,85$
20 metre derinlik	$1,82 \pm 0,45$	$0,08 \pm 0,08$	$0,08 \pm 0,08$	$1,97 \pm 0,30$
50 metre derinlik	$1,29 \pm 0,68$	0	0	$1,29 \pm 0,68$
200 metre derinlik	$1,14 \pm 0,38$	0	0	$1,14 \pm 0,38$
Referans derinlik	$0,45 \pm 0$	0	0	$0,45 \pm 0$
Katı Çamur	521 ± 76	146 ± 45	53 ± 4	720 ± 112
Çamur Hacmi	$12,1 \pm 1,23 \cdot 10^3$	$3,37 \pm 0,94 \cdot 10^3$	$1,28 \pm 0,17 \cdot 10^3$	$16,7 \pm 1,96 \cdot 10^3$

1 m³ giriş atık suyunda olduğu bilinen 500 gram sulu çamur ve 500 gram askıda katı maddenin mikroplastik miktarları Tablo 2.3.'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.3. 500 gram sulu çamur ve 500 gram askıda katı madde miktarının mikroplastik miktarlarının karşılaştırılması (Magnusson ve ark., 2014).

Numune	Plastik lif	Plastik parçacık	Plastik film	Toplam
Giriş suyu	$10,7 \pm 0,39 \cdot 10^3$	$2,67 \pm 0,77 \cdot 10^3$	$1,78 \pm 0,80 \cdot 10^3$	$15,1 \pm 0,89 \cdot 10^3$
Sulu Çamur	$6,04 \pm 0,62 \cdot 10^3$	$1,69 \pm 0,47 \cdot 10^3$	$0,64 \pm 0,082 \cdot 10^3$	$8,36 \pm 0,98 \cdot 10^3$

Atık su arıtma tesisine gelen atık sulardaki mikroplastiklerin tiplerine göre yüzde tutulma oranları Tablo 2.4.'de verilmiştir. (Gelen atık su-Çıkan atık su) / (Gelen atık su)*100

Tablo 2.4. Mikroplastiklerin tutulma oranı (Magnusson ve ark., 2014).

Plastik lif	Plastik parçacık	Plastik film	Toplam
%99,96	%99,75	%99,63	%99,90

Ülkemizde mikroplastiklerle alakalı yapılan çalışmalar çok az sayıdadır (Yurtsever, 2015) ve bu konuda ilave çalışmalara ihtiyaç vardır. Çünkü mikroplastikler su kaynaklarını ve çevreyi kirleten önemli bir kirleticidir ve her an su ve çevreye aşırı miktarda mikroplastik kirliliği karışmaktadır. Kaynakların sürdürülebilir açıdan kullanımının ve korunmasının sağlanması gerekmektedir.

BÖLÜM 3. MİKROPLASTİK KAYNAKLARI VE ŞEKİL ÖZELLİKLERİ

3.1. Mikroplastiklerin Kaynakları

Endüstriyel ve evsel faaliyetler neticesinde doğada biriken plastikler çeşitli fiziksel aşınmalar sonucu daha küçük parçalara ayrılarak mikroplastikleri oluşturur. Çevresel zararları oldukça fazla olan mikroplastikleri oluşturan kaynaklar şu şekilde sıralanmaktadır.

1. Tüketici ürünlerinden kaynaklananlar: Kozmetiklerdeki mikroboncuklar; yüz temizleme ve peeling jelleri, şampuan ve sabunlar, diş macunu, eyeliner, rimel, dudak parlaticısı, deodorant ve güneş kremleridir.
2. Tekstil Ürünleri: Kıyafetlerde vb. kullanılan polyester, polyamid (nylon) ve polar tekstil malzemelerdir.
3. Endüstriyel hammaddeler, artıkları ve döküntüleri: Plastik üretim, işleme ve şekillendirme işlemlerinden kaynaklanan malzemelerdir. Örnek olarak; paletler, plastik filmler, straforlar, iplik-lifler, köpüklü plastikler vb. çevremizi kirleten başka unsurlardır.
4. Ulaşımdan kaynaklananlar: Araç lastiği döküntüleridir (Yurtsever, 2015).

Bunlardan mikroboncuklar direkt kullanım neticesinde oluşan birincil mikroplastikleri oluşturur. Çamaşır yıkamadan kaynaklanan tekstil lifleri, diğer plastik atıkları, lastik atıkları ve çevredeki plastiklerin parçalara ayrılması belli bir parçalanma işleminden sonra oluştuğu için dolaylı kirletici veya ikincil mikroplastiklerdir (Chang ve ark., 2015).

Hidalgo-Ruz ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada mikroplastiklerin türleri ve oluştuğu kaynakları araştırılarak sonuçları Tablo 3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Mikroplastik tiplerinin tanımlanması ve potansiyel kaynakları (Hidalgo-Ruz ve ark., 2012).

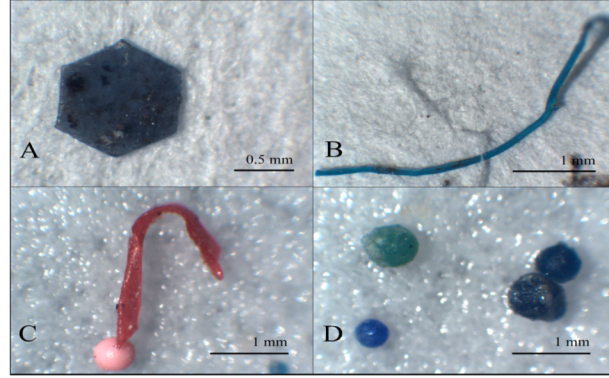
Mikroplastik Tipi	Tanımı	Potansiyel Kaynağı
Parçacık	Sert, sivri plastik parçacık	Şişeler; sert, sağlam plastikler
İplik	İnce ve dayanıklı lif parçacık	Balık ağları; sentetikler ve giysiler
Pelet	Sert, yuvarlak plastik parçacık	Yüz temizleme malzemeleri
Film	İnce, hafif yüzey parçacık	Plastik çantalar, kâğıt, ambalaj kağıdı
Köpük	İnce, hafif köpük plastik	Yüzen köpükler, plastik köpükler

3.2. Mikroplastiklerin Şekil Özellikleri

Mikroplastik parçacıklar, peletler, iplik lifler, plastik filmler, köpüklü plastikler, granüler plastikler, straforlar olarak farklı şekillerde olabilmektedir. Genellikle kozmetikler ve kişisel bakım ürünlerinde kullanılan mikrobuncuklar peletlere benzer şekildeyken, sentetik tekstil ürünlerinden de mikrolifler oluşmaktadır. Diğer mikroplastik çeşitleri olarak sanayi ve ulaşımdan kaynaklanan plastikler sayılabilir. İsveç'te yapılan bir araştırmada, ulaşımdan kaynaklanan mikroplastiklerin oranının da ciddi boyutlarda olabildiğine dikkat çekilmektedir. (Magnusson ve ark., 2016). Yapılan bir çalışmaya göre her yıl lastiklerden yaklaşık 13000 ton mikroplastik oluşmaktadır. Yağmur sularına yaklaşık yılda 2300-3900 ton arasında olduğu tahmin edilmektedir. Endüstriyel olarak üretilen plastik topakların kaybının ise yılda 300-530 ton arasında olduğu tahmin edilmektedir (Magnusson ve ark., 2016).

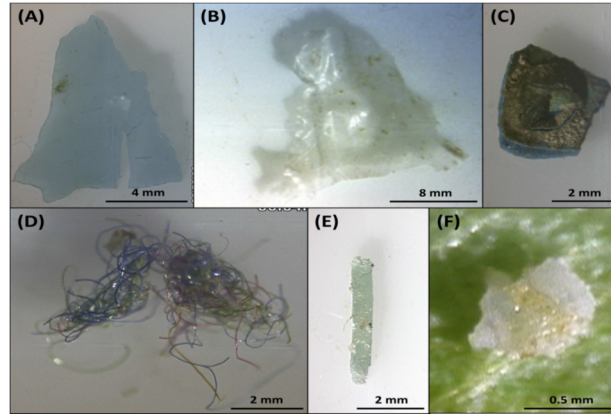
Mikroplastikler ışık mikroskop, elektron mikroskobu, raman spektroskopisi ve FT-IR spektroskopisi kullanılarak tespit edilebilmektedir (Gregory, 1996; Fendall ve Sewell, 2009).

İskoçya Batı Üniversitesi Çevre Sağlığı Araştırma Enstitüsü ve Biyomedikal Enstitülerinin ortak yaptığı çalışmalar sonucu katı parça kesiti analiz edilen mikroplastik görüntüleri Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Analiz edilen katı parça kesitinde bulunan mikroplastikler; (A) Çamur keki örneğinden alınmış alkid parçacığı, (B) Kum örneğinden alınmış elyaf polipropilen, (C) Yağ örneğinden alınmış kırmızı PET parçacığı ve polietilen mikroböncüğü, (D) Yağ örneğinden alınan dört polietilen mikroböncüğü (Murphy ve ark., 2016).

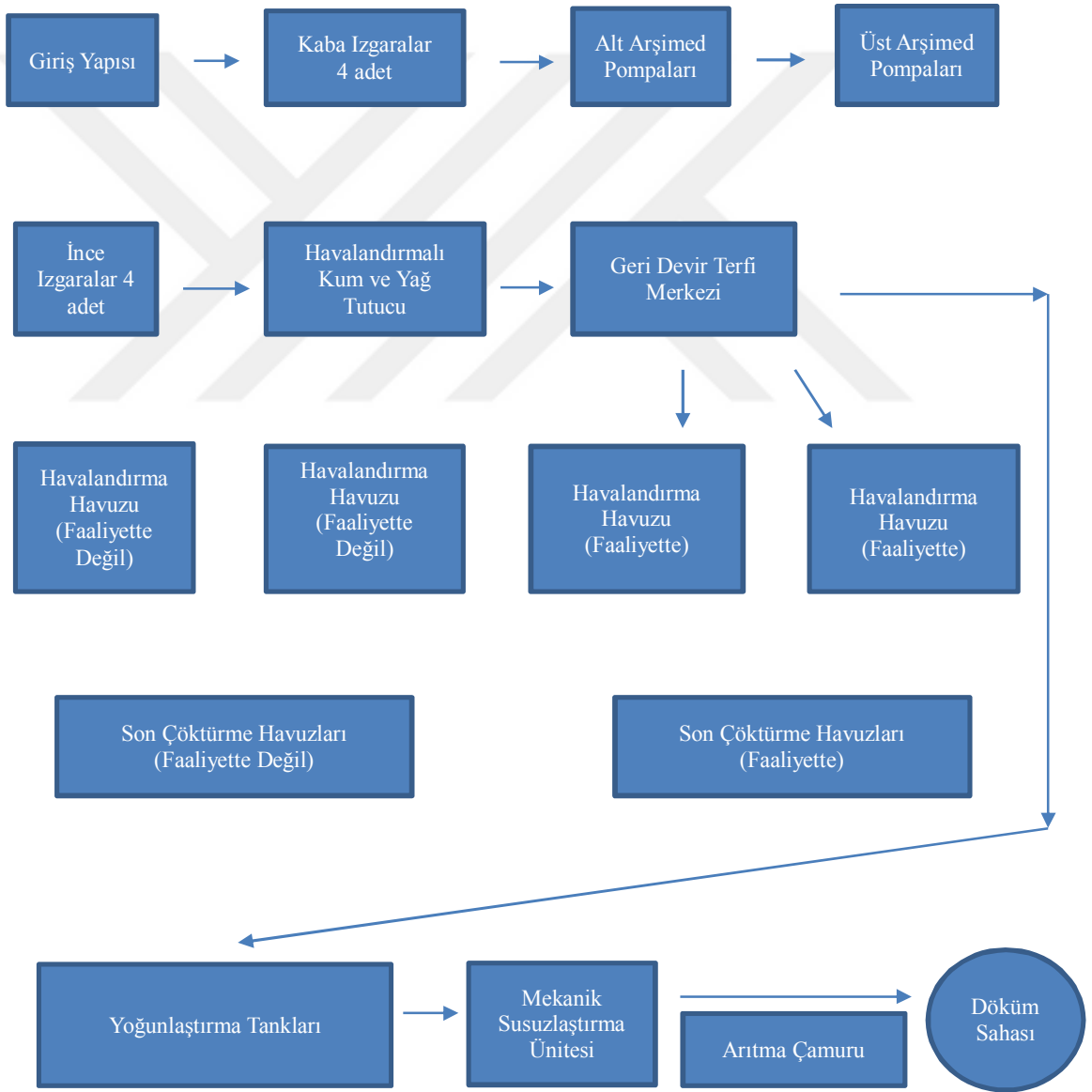
Rutgers Üniversitesi Deniz ve Kıyı Bilimleri Enstitüsü tarafından yapılan atık sudaki mikroplastik kirliliğinin incelendiği görüntüler Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Mikroplastiklerin fotoğrafları (Free ve ark., 2016). (A; parçacık, B; film, C; köpük, D; lif, E; iplik, F; pellet).

BÖLÜM 4. NUMUNE SEÇİMİ VE YÖNTEM

Çalışmaların yürütülmesi amacıyla numunelerin alındığı Karaman Atık su Arıtma Tesisi'nin akış şeması Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Karaman atık su arıtma tesisi akış şeması.

4.1. Numune Seçimi

Bu çalışma için Karaman Atık su Arıtma Tesisi'nin giriş, havalandırma, kum tutucu ve çıkış ünitelerinden numuneler alınmıştır. Fakat havalandırma numunesi çok yoğun ve karmaşık yapıda bir atık su olduğundan dolayı sağlıklı bir şekilde incelenememiştir.

4.2. Yöntem

Bu çalışmadaki temel amaç su ortamındaki mikroplastikleri gözlemleyebilmek, ayırma yöntemi ve inceleme teknikleri geliştirebilmektir. Bunun için de geçmişteki literatür çalışmalarına bakıldığında genellikle yöntem olarak tuz çözeltisi ile yoğunluk farkı yaratarak ayırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem için yaygın olarak NaCl, NaI ve $ZnCl_2$ gibi tuzlar kullanılmaktadır.

Yoğunluğu artmış olan suyun içindeki mikroplastikler yukarı yükselerek yüzeyde toplanmaktadır. Fakat bu tuzlar yardımıyla doymuş çözelti hazırlansa bile bütün mikroplastiklerin yüzeyde toplanmadığı ve çöken mikroplastiklerin de olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla yoğunluk farkı oluşturarak sudaki tüm plastikleri yüzdürebilmek için yoğunluğu çok yüksek bir çözelti hazırlamak gerekmektedir. NaCl ile yoğunluğu en yüksek 1.2 g/cm^3 değerinde olabilecek çözelti hazırlanabilir. Diğer tuzlarla hazırlanan çözelti daha yüksek yoğunluklu olabilmektedir. Bu sebeple bu çalışmalarda yüzdürme işlemi NaI ve $ZnCl_2$ tuzları kullanılmıştır.

Bu amaçla atık su arıtma tesisinin giriş, kum tutucu ve çıkış bölümlerinden alınan atıksular 50 mikronluk çelik filtrelerden geçirilmiştir. Daha sonra inorganik tuz (NaI ve $ZnCl_2$) kullanılarak ağırlaştırılmış çözelti hazırlanmış ve plastiklerin yüzdürülmesi sağlanmıştır. Filtre üzerindeki saf suyla ters yıkama yapılarak saf suyla beraber 100 mL olacak şekilde alınmıştır. Daha sonra numunelerin her birine % 35 saflıkta 20 mL H_2O_2 eklenerek muamele edilmiş ve numune içinde mevcut organik maddelerin oksidasyonu gerçekleştirilmiştir. 60 dakika bekledikten sonra filtrasyon düzeneği yardımıyla 50 mikron gözenekli planktonnet kullanılarak filtre

edilmiştir. Son olarak da filtre malzemesi üzerinde kalan mikroplastik lif, film ve parçacıklar incelenerek kaydedilmiştir.

4.2.1. Kullanılan araç-gereçler

Çalışmada kullanılan başlıca ekipmanlar, Bruker LUMOS model ATR-FT-IR, Olympus BX51 model ışık mikroskobu, Olympus DP-20 kamera, DOA-P704 Shown model filtrasyon seti, Pharo 300 model spektrofotometre, Heraeus model etüv, Termo Scientific model otomatik pipet, ES 225 SM-DR model hassas terazi, Mettler Toledo S210-U masa tipi pH metre, millipore 0,45 mikro metre çapında cam elyaf filtre kâğıdı, 50 µm gözenek çapında çelik filtre, 20 ve 50 µm gözenek çapında fitoplankton netidir.

4.2.2. Kullanılan kimyasal çözeltiler

Çalışmalarda Merck marka kimyasallar kullanılmıştır. 1000' er ml alınan atık su numunelerine sırasıyla % 35 saflıkta H₂O₂ katılmıştır.

4.3. Analizler

4.3.1. AKM analizi

Giriş, kum tutucu ve çıkış numuneleri için 3 tane Whatman cam elyaf filtre kâğıdı etüvde 103-105°C'de bir saat kurutulmuş ve havadaki nemden etkilenmemesi ve tam kuruması için desikatörde yarım saat tutulmuştur. Sabit tartıma gelmiş olan filtre kağıtları tartılıp darası kaydedilmiştir. Daha sonra giriş, kum tutucu, çıkış bölümlerinden 100' er ml atık su alınıp filtre edilmiştir. Filtre edilen filtre kağıtları tekrar etüve yerleştirilmiştir (103-105°C'de bir saat kurutulur). Daha sonra filtre kağıtları desikatörde yarım saat soğumaya bırakılmıştır. En sonunda analitik terazide filtre kağıtlarının ağırlığı tartılıp, son tartım ve ilk tartım arasındaki fark askıda katı madde miktarı olup hesaplanmıştır. Numunelerdeki askıda katı madde miktarları Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Numunelerdeki askıda katı madde miktarları.

Numuneler	Filtre kağıdı darası	Filtre kağıdı dara+AKM	AKM
Giriş Numunesi	0,1305 gr	0,1447 gr	0,0142 gr = 142 mg/L
Kum Tutucu Numunesi	0,1326 gr	0,1589 gr	0,0263 gr = 263 mg/L
Çıkış Numunesi	0,1299 gr	0,1305 gr	0,0006 gr = 6 mg/L

4.3.2. KOİ, sıcaklık ve pH analizi

Giriş ve çıkış numunelerinden alınan atık suyun KOİ analizi yapılmıştır. Numunelerin KOİ, sıcaklık ve pH analizi Tablo 4.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Numunelerin KOİ, sıcaklık ve pH değerleri.

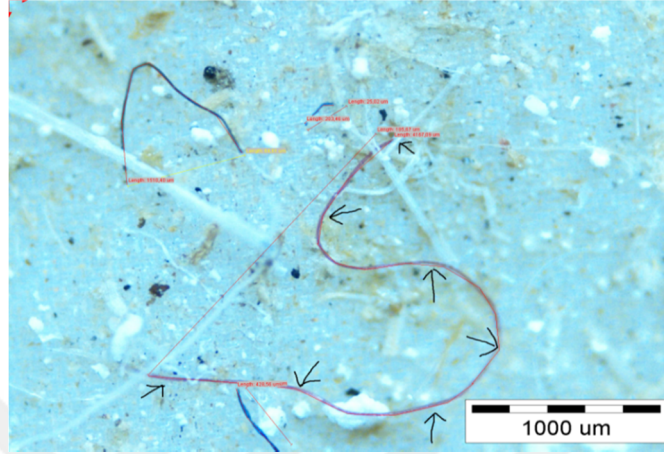
Numune	KOİ (mg/L)	Sıcaklık	pH
Giriş Numunesi	300	21,5	7,5
Kum Tutucu Numunesi	-----	21,7	7,38
Çıkış Numunesi	120	21,6	7,43

4.3.3. Işık mikroskop analizi

Işık mikroskop yardımıyla filtre edilen filtre kâğıdındaki mikroplastiklerin sayılarını, şekillerini, renklerini, büyüklüklerini hesaplamak mümkündür. Işık lensi sayesinde mikroplastiklere 4x, 10x, 20x ve 50x gibi yakınlaşma seçenekleri de mümkündür. Çalışmalarımızın filtrasyon işlemi ön denemelerinde 0,45 mikro metre cam elyaf filtre kâğıdı denenmiştir. Küçük gözenekli filtrelerdeki bazı güçlüklerden dolayı literatürdeki çalışmalardan da yararlanılarak (Murphy, 2016, 65 µm çaplı fitoplankton neti kullanılmıştır.) 50 µm gözenek aralığına sahip fitoplankton neti ile çalışmanın da uygun olacağına karar verilmiştir.

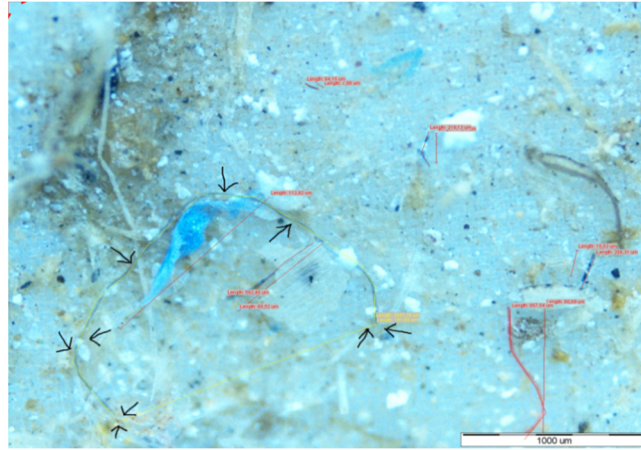
İncelenen numunelere ait bazı mikroskop görüntüleri aşağıda örnek olarak gösterilmiştir.

Giriş bölümünden alınan, ışık mikroskopta 4x büyütme ile incelendiğinde Şekil 4.2.'deki lif tipinde mikroplastik görüntüsü çekilmiş olup en yüksek boyutu 4167,09 μm olarak ölçülmüştür.



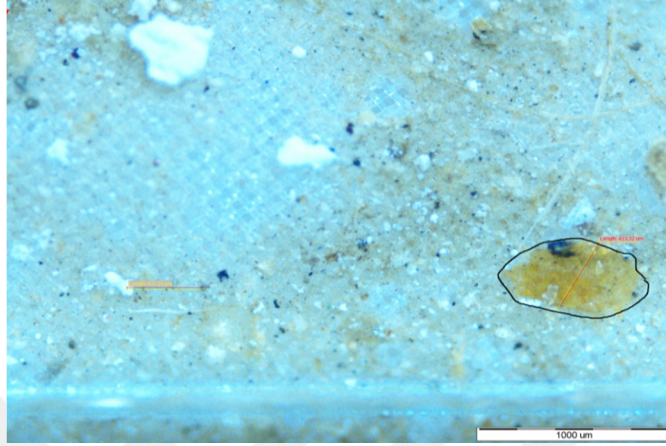
Şekil 4.2. Lif tipinde olan bir mikroplastığın mikroskop görüntüsü (Orijinal fotoğraf, Ceylan ve Kırkhan, 2017).

Giriş bölümünden alınan, ışık mikroskopta 4x büyütme ile incelendiğinde Şekil 4.3.'deki lif tipinde mikroplastik görüntüsü çekilmiş olup en yüksek boyutu 3057,30 μm olarak ölçülmüştür.



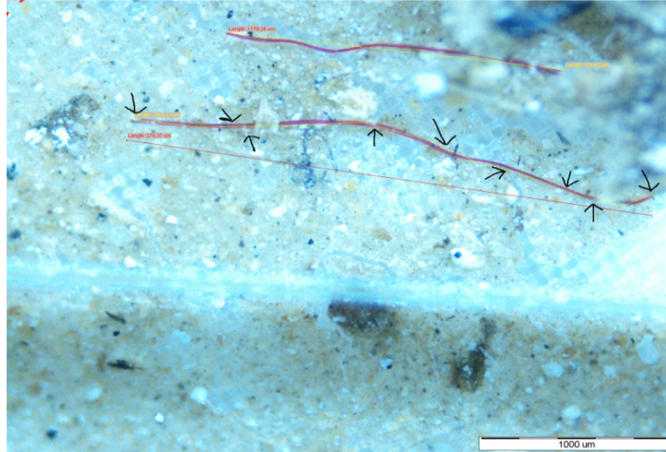
Şekil 4.3. Lif tipinde olan bir mikroplastığın mikroskop görüntüsü (Orijinal fotoğraf, Ceylan ve Kırkhan, 2017).

Kum tutucu bölümünden alınan, ışık mikroskopta 4x büyütme ile incelendiğinde Şekil 4.4.'deki parçacık tipinde mikroplastik görüntüsü çekilmiş olup en yüksek boyutu 423,32 μm olarak ölçülmüştür.



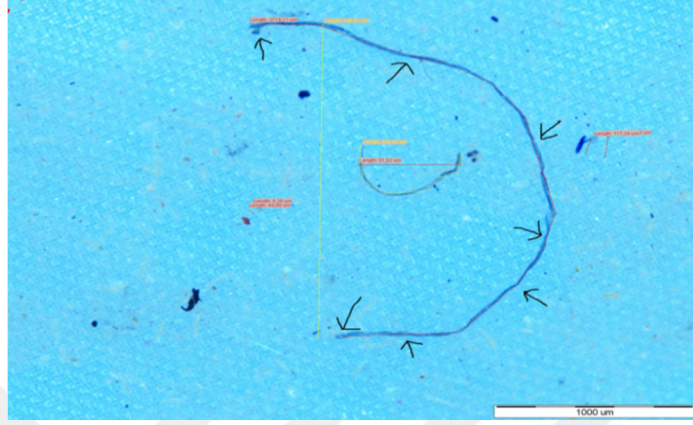
Şekil 4.4. Parçacık tipinde mikroplastığın mikroskop görüntüsü (Orijinal fotoğraf, Ceylan ve Kırkhan, 2017).

Kum tutucu bölümünden alınan, ışık mikroskopta 4x büyütme ile incelendiğinde Şekil 4.5.'deki lif tipinde mikroplastik görüntüsü çekilmiş olup boyutu 2886,13 μm olarak ölçülmüştür.



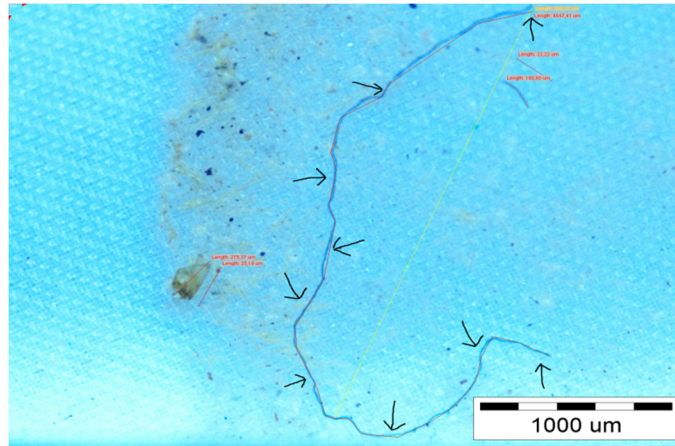
Şekil 4.5. Lif tipinde olan bir mikroplastığın mikroskop görüntüsü (Orijinal fotoğraf, Ceylan ve Kırkhan, 2017).

Çıkış bölümünden alınan, ışık mikroskopta 4x büyütme ile incelendiğinde Şekil 4.6.'daki lif tipinde mikroplastik görüntüsü çekilmiş olup boyutu 3718,11 μ m olarak ölçülmüştür.



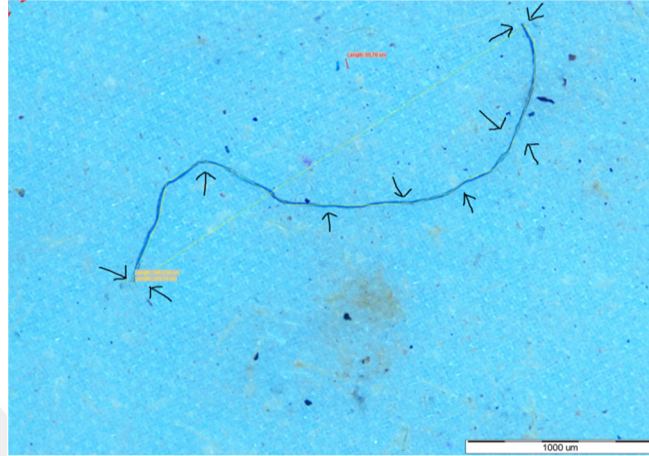
Şekil 4.6. Lif tipinde olan bir mikroplastığın mikroskop görüntüsü (Orijinal fotoğraf, Ceylan ve Kırkhan, 2017).

Çıkış bölümünden alınan, ışık mikroskopta 4x büyütme ile incelendiğinde Şekil 4.7.'deki lif tipinde mikroplastik görüntüsü çekilmiş olup boyutu 4647,41 μ m olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.7. Lif tipinde olan bir mikroplastığın mikroskop görüntüsü (Orijinal fotoğraf, Ceylan ve Kırkhan, 2017).

Çıkış bölümünden alınan, ışık mikroskopta 4x büyütme ile incelendiğinde Şekil 4.8.'deki lif tipinde mikroplastik görüntüsü çekilmiş olup boyutu 3453,50 μm olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.8. Lif tipinde olan bir mikroplastığın mikroskop görüntüsü (Orijinal fotoğraf, Ceylan ve Kırkhan, 2017).

Mikroskopta zoom ayarı 4x olarak ayarlandığında mikroplastiklerin şekil ve boyutlarının daha iyi incelendiği sonucuna varılmıştır.

Giriş numunesindeki mikroplastik çeşitleri ve mikroplastik sayıları Tablo 4.3.'de verilmektedir.

Tablo 4.3. Giriş numunesi inceleme sonuçları.

Giriş Numunesi	Lif	Parçacık	Film
Lacivert	76	3	-
Mavi	47	14	-
Siyah	33	-	-
Kırmızı	13	5	-
Kahve	10	4	-
Şeffaf	8	-	1
Beyaz	5	-	-
Gri	2	-	-
Sarı	-	9	-
Turuncu	-	4	-
Toplam	233		

Giriş numunesinde sayısı en yüksek olan mikroplastik çeşitlerine bakıldığında, lacivert ve mavi ve siyah renkteki mikroplastik liflerin sayısının diğer renkteki mikroplastik liflere göre yüksek olduğu görülmektedir.

Giriş numunesindeki mikroplastiklerin çeşitleri ve boyutları Tablo 4.4.'de verilmektedir.

Tablo 4.4. Giriş numunesi ortalama boyut inceleme sonuçları.

Lacivert-Mavi	Lif (µm)	Parçacık (µm)
Lacivert-Mavi	575,2	90,4
Lacivert-Mavi	2728,2	272,8
Lacivert-Mavi	2349	254,1
Lacivert-Mavi	250,9	1228,2
Lacivert-Mavi	911,6	180,7
Ortalama	1363	405,2

Lacivert ve mavi renkli numuneler birbirine çok yakın tonda renkler olduğu ve ayrımının yapılmasının güçlüğünden dolayı en yüksek boyuttaki bu renklerin ortalaması verilmiştir.

Kum tutucu numunesindeki mikroplastik çeşitleri ve mikroplastik sayıları Tablo 4.5.'de verilmektedir.

Tablo 4.5. Kum tutucu numunesi inceleme sonuçları.

Kum Tutucu Numunesi	Lif	Parçacık	Film
Lacivert	16	8	-
Mavi	8	9	-
Siyah	12	-	-
Kırmızı	3	5	-
Beyaz	9	-	-
Gri	-	1	-
Sarı	-	3	-
Turuncu	-	8	-
Mor	-	1	-
Pembe	1	-	-
Kahve	-	6	-
Şeffaf	-	1	8
Toplam	99		

Kum tutucu numunesinde sayısı en yüksek olan mikroplastik çeşitleri incelendiğinde lacivert ve mavi renkteki mikroplastik lif ve parçacıkların diğer renklerdeki lif ve parçacıklara göre daha yüksek miktarda olduğu görülmektedir.

Kum tutucu numunesindeki mikroplastiklerin çeşitleri ve boyutları Tablo 4.6.'de verilmektedir.

Tablo 4.6. Kum tutucu numunesi ortalama boyut inceleme sonuçları.

Lacivert-Mavi	Lif (μm)	Parçacık (μm)
Lacivert-Mavi	2973,7	79,3
Lacivert-Mavi	1780,2	46,7
Lacivert-Mavi	316,8	101,8
Lacivert-Mavi	348,7	88,6
Lacivert-Mavi	390,9	128,1
Ortalama	1162	88,9

Lacivert ve mavi renkli numuneler birbirine çok yakın tonda renkler olduğu ve ayrımının yapılmasının güçlüğünden dolayı en yüksek boyuttaki bu renklerin ortalaması verilmiştir.

Çıkış numunesindeki mikroplastik çeşitleri ve mikroplastik sayıları Tablo 4.7.'de verilmektedir.

Tablo 4.7. Çıkış numunesi inceleme sonuçları.

Kum Tutucu Numunesi	Lif	Parçacık
Lacivert	48	-
Mavi	34	7
Siyah	25	-
Kırmızı	2	1
Beyaz	-	2
Gri	-	1
Sarı	-	2
Turuncu	-	4
Mor	5	29
Pembe	-	2
Toplam	99	

Çıkış numunesinde lacivert ve mavi ve siyah renkteki mikroplastik liflerin ve mor renkli parçacıkların diğer renkteki mikroplastik lif ve parçacıklarına göre yüksek bulunduğu görülmektedir.

Çıkış numunesindeki mikroplastik çeşitleri ve mikroplastik sayıları Tablo 4.8.'de verilmektedir.

Tablo 4.8. Çıkış numunesi ortalama boyut inceleme sonuçları.

Lacivert-Mavi	Lif (μm)	Parçacık (μm)
Lacivert-Mavi	235,3	251,9
Lacivert-Mavi	757,7	147,1
Lacivert-Mavi	148,7	125,9
Lacivert-Mavi	1243,6	67,8
Lacivert-Mavi	609,5	99,3
Ortalama	599	138,4

Lacivert ve mavi renkli numuneler birbirine çok yakın tonda renkler olduğu ve ayrımının yapılmasının güçlüğünden dolayı en yüksek boyuttaki bu renklerin ortalaması verilmiştir.

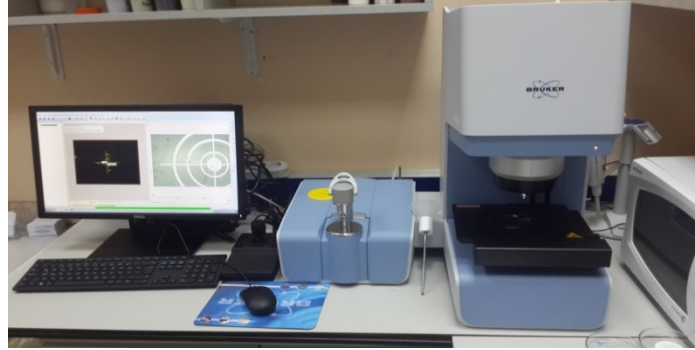
4.3.4. FT-IR analizi

İncelenen mikroplastığın hangi plastik türünde olduğunun belirlenmesi amacıyla ATR-FT-IR cihazı kullanılmaktadır (Hidalgo-Ruz ve ark., 2012).

FT-IR katı, sıvı veya gaz numunelerden kızılötesi spektrumu elde edilen bir tekniktir. Analiz edilen mikroplastiklerin hangi maddeden yapıldığını anlamak için mikroplastik parçacıkları kızılötesi radyasyona maruz bırakılarak atomlar arasındaki kimyasal bağlara karşılık olarak bir spektrum meydana gelir. FT-IR cihazı kızılötesi spektroskopi spektrumları sayesinde bilinmeyen mikroskopik plastik parçacıklarını bir dizi yaklaşımı kullanarak tanımlamaktadır.

ATR-FT-IR cihazı incelenen numuneye ATR (elmas) kristali ile temas ederek numunedeki plastik kompozisyonunu ölçmektedir. FT-IR mekanizmasının içinde sentetik polimer kütüphanesi bulunmakta olup, malzemelerin türünü yüksek doğrulukla belirleyebilmektedir.

Laboratuvarımıza proje kapsamında alınan Bruker LUMOS model FT-IR mikroskop fotoğrafı Şekil 4.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Bruker LUMOS model FT-IR mikroskopu (Ceylan, 2017).

Atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış numunelerinde yapılan ATR-FT-IR analizi sonucu bulunan plastik çeşitleri; çoğunlukla polyamid6, polyamid66 olmak üzere; PET, polyester, akrilik ve PE plastik tiplerine de rastlanmıştır.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Plastikler kolay işlenebilir ve ucuz anılan bir maddedir. Bundan dolayı doğaya kontrolsüz olarak atılan atıklar kara ve su ortamını çok fazla kirletmektedir. Fakat dünyada son yıllarda yapılan çalışmaların da etkisiyle plastiklere olan farkındalık artmakta olup; Amerika’da Washington, New York, California gibi eyaletler olmak üzere şehirlerde plastik poşet yasaklanması ve vergilendirmesi gibi birçok tedbir alınmıştır. Avrupa ülkeleri de başta olmak üzere birçok ülkede plastik poşetlerin yasaklanması ve ücretlendirilmesi gibi tedbirler alınmıştır. Çin, Fransa, İsviçre, Makedonya ve Avustralya’da plastik poşet ve naylon torba kullanımı yasaklanmıştır. Kanada, Almanya, İngiltere, Danimarka, Hollanda ve İrlanda’da naylon torba kullanmak isteyen vatandaşlar vergi ödemektedir.

Kozmetik ve temizlik ürünlerinde bulunan mikrobuncuklar yıkanma faaliyetleri sonucu kanalizasyon sistemine geçmektedir. Sudaki canlılar tarafından yutulan mikroplastikler birincil üreticilerden yırtıcılara doğru besin zinciri boyunca geçerek canlı vücudunda birikime uğrayabilir. Kozmetiklerde bulunan mikroplastikler 2014 yılında İllinoi’de, 2015 yılında Californiya’da ve ABD federal hükümeti tarafından 28 Aralık 2015’te “Microbead Free Waters Act of 2015” yasası imzalanarak, 1 Temmuz 2017’de üretimi yasaklanmıştır. Avrupa’da da İngiltere 2017 yılı sonunda, Fransa ise 1 Ocak 2018 yılında kozmetiklerde kullanılan mikrobuncukları yasaklamaya hazırlanıyor. Sabun, diş macunu, tıraş köpüğü, banyo köpüğü, şampuan ve yüz temizleyici içeren mikroplastikler ve zehirli kimyasallar yerine sünger taşı, pomza, yulaf ezmesi, kayısı ve ceviz kabuğu gibi doğal malzemeler kullanılmalıdır (Fendall ve Sewell, 2009).

Sentetik tekstil ürünleri ucuz olduğundan dolayı çok kullanılmaktadır. Evlerde kullanılan çamaşır makinesinden alınan örnek atık su numuneleriyle 18 bölgede yapılan çalışmaya göre, tek bir sentetik giysiden her yıkamada >1900 lifin kanalizasyona geçebileceğini kanıtlanmıştır. Kanalizasyon deşarj noktasına yakın olan bir bölgede alınan numunelerde sentetik mikroplastik liflerin akrilik ve polyester olduğu analiz edilmiştir ve yıkama sonrası oluşan sentetik tekstil liflerin oranının doğal tekstil liflerinden (örneğin, pamuk, yün, ipek) % 170 daha fazla olduğu belirlenmiştir (Browne, 2011). Mikroplastik kirliliğini önlemek için yapılması gerekenler; kanalizasyona gelen mikroplastiklerin kullanımının azaltılması, çamaşır makinalarının sentetik tekstil iplikçiklerini tutacak bir ünite oluşturmak ve klasik arıtma yapan atık su arıtma tesislerine bir ultrafiltrasyon ünitesi eklenmesi gibi çözümler önerilebilir (Yurtsever, 2015).

Mikroplastik kirliliği konusunda yapılan bir çalışmada derin deniz tortularında her 25 mL'de 1 mikroplastik bulunduğu ve 1176 metre ve 4843 metre derinliklerde bile mikroplastiklere rastlanmıştır. Bu değerler mikroplastiklerin denizlere, okyanuslara aşırı miktarda karıştığını ve mikroplastiklerin yalnızca su yüzeylerinde değil, su kolonu boyunca ve denizin derin kısımlarında mikroplastiklerin bulunduğunun kanıtıdır (Cauwenberghe ve ark., 2013; Yurtsever, 2015).

Yukarıda sözü edilen çalışmalar bu zamana kadar bilim dünyası literatürüne geçen mikroplastiklerle alakalı sorunlar ve çözüm önerileridir. Bu tezin yapılmasındaki amaç mikroplastiklerin alıcı ortamlardan uzaklaştırılması, su ortamına geçişinin engellenebilmesi ve mikroplastik kirliliğini su ortamında gözlemleyebilmektir.

Karaman Atık Su Arıtma Tesisinden alınan ve incelenen atık su numunelerindeki mikroplastiklerin ortalama sayısı ve arıtılması sonucu yüzde giderim oranları Tablo 4.9.'da gösterilmiştir. (Tesisin ortalama günlük debisi: 85000 m³/gün'dür).

Tablo 4.9. Karaman atık su arıtma tesisi ünitelerindeki yüzde mikroplastik giderim oranı ve günlük mikroplastik salınımı (Ceylan, 2017)

NOKTA	MP/L	MİLYON MP/GÜN	% GİDERİM
GİRİŞ	233	19805	00,00
KUM TUTUCU	99	8415	57,51
ÇIKIŞ	99	8415	57,51

Yapılan araştırma neticesinde Karaman Atık Su Arıtma Tesisi'nden alınan giriş numunesinin litresinde 233 mikroplastik varken çıkış numunesinin litresinde 99 mikroplastik olduğu tespit edilmiştir. % 57,51 oranında bir mikroplastik kirliliği arıtımı olmuştur ve her gün atık su arıtma tesisinden alıcı ortama 8415 milyon mikroplastik geçebilmektedir. Böylece atık su arıtma tesisinden deşarj edilecek mikroplastikler temiz su kaynaklarına karışıp alıcı ortamı kirletecektir.

Tablo 4.10. Atık su arıtma tesislerinin mikroplastik arıtma verimi ve günlük alıcı ortama salınan mikroplastik miktarlarının karşılaştırılması

(Murphy, 2016) / (Ceylan, 2017)			
NOKTA	MP/L	milyon MP/gün	% Giderim
GİRİŞ	15,70 / 233	4097 / 19805	00,00 / 00,00
KUM TUTUCU	8,70 / 99	2270 / 8415	44,59 / 57,51
ÇIKIŞ	0,25 / 99	65 / 8415	98,41 / 57,51

Murphy'nin yaptığı araştırmaya göre klasik atık su arıtma tesisi yapan bir tesiste mikroplastiklerin % 98,41 oranında arıtılmasına rağmen her gün 65 milyon mikroplastik alıcı ortamlara geçebilmektedir. Bu çalışmaya göre ise tesisin mikroplastikleri ancak % 57,51 oranında arıtılabildiği sonucu elde edilmiştir. Buna göre alıcı ortama günde 8415 milyon mikroplastik geçebilmektedir. Tabi ki burada yapılan çalışma ve elde edilen sonuçlar bu konuda yapılmış ilk çalışmaları içermekte olup bu sonuçların kesinliği ve güvenilirliği için çok daha büyük hacimlerdeki mikroplastik varlığı incelenmelidir. Mikroplastiklerin atıksulardaki durumunda zamana göre (haftalık, günlük, saatlik), hatta günün belli saatlerinde bile büyük oynamalar olmaktadır. Bu çalışmaların güvenilir olabilmesi için anlık numuneler değil sürekli akım şartlarındaki akıştan bir filtre ile alınabilecek temsil edici numunelerdeki mikroplastik varlığı incelenebilir. Ayrıca bu incelemelerin çok hızlı ve doğru şekilde yapılabilmesi için literatürde de büyük boşluk bulunmaktadır. Bu açıdan atıksulardaki mikroplastikleri ayırma ve inceleme işleri doğal su

kaynaklarında yapılan işlemlere göre daha zordur. Ayrıca atıksularda mikroplastik olarak çoğunlukla gözle bile görülebilen parçacıklar değil, aşırı miktarda mikron boyutta liflerin bulunması da incelemeyi güçleştiren esas konulardan biridir.

Dünyada tonlarca üretilen plastiklerden kaynaklanan mikroplastik kirliliği canlı hayatını korkunç boyutta etkilemektedir. Mikroplastikler ayrıca zehirli maddeleri adsorblayabilmeleri, suda rahatça hareket edebilmeleri, bozunma sıcaklıklarının yüksek olması, ultraviyole ışınlarına ve bakterilere karşı dayanıklı olması nedeniyle yüzyıllarca varlıklarını sürdürüp, insanlar, doğal yaşam ve ekosistem için büyük tehlikelere neden olmaktadır.

Çevrede, yüzeysel tatlı ve tuzlu su kaynaklarında dağılmış halde bulunan mikroplastikleri ayırma, temizleme veya inceleme konusunda çok yaygın ve ucuz bir teknoloji bulunmaması, bu konunun dikkatle ele alınması gereken bir konu olduğunu göstermektedir.

Mikroplastik kirliliğine çözüm olarak; çamaşır makinelerinin sentetik iplikçiklerini tutabilecek bir ünite oluşturulabilir, klasik arıtma yapan atık su arıtma tesislerine ultrafiltrasyon ünitesi dahil edilebilir. Ayrıca mikroplastikler konusunda “farkındalığı artırma”, vergilerle ve caydırıcı cezalarla tek kullanımlık plastiklerin aşırı kullanımının önüne geçilmesi, plastik geri dönüşümünün ve tekrar kullanımının yaygınlaştırılması, atığı kaynağında önleme, atık minimizasyonu vb. gibi çalışmalar da yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 62(8), 1596-1605.
- Arthur, C.; Baker, J.; Bamford, H. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris, NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R30; NOAA Marine Debris Program, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce: Silver Spring, MD, 2009.
- Boerger, C.M., Lattin, G.L., Moore, S.L., Moore, C.J., 2010. Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific central gyre. *Mar. Pollut. Bull.* 60, 2275-2278.
- Bogers, W. M., Oostermeijer, H., Mooij, P., Koopman, G., Verschoor, E. J., Davis, D., ... & Otten, G. R. (2014). Potent immune responses in rhesus macaques induced by non-viral delivery of a self-amplifying RNA vaccine expressing HIV-1 envelope with a cationic nanoemulsion. *Journal of Infectious Diseases*, jiu522.
- Browne, M. A., Galloway, T. S., & Thompson, R. C. (2010). Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environmental Science & Technology*, 44(9), 3404-3409.
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental science & technology*, 45(21), 9175-9179.
- 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.
- Chang, M. (2015). Reducing microplastics from facial exfoliating cleansers in wastewater through treatment versus consumer product decisions. *Marine pollution bulletin*, 101(1), 330-333.
- CIRFS European Man-made Fiber Association (2016). <http://www.cirfs.org/KeyStatistics/WorldManMadeFibresProduction.aspx>. Retrieved 2016-01-11.
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., et al., 2013. Microplastic ingestion by zooplankton. *Environ. Sci. Technol.* 47, 6646-6655.

- Davison, P., Asch, R.G., 2011. Plastic ingestion by mesopelagic fishes in the North Pacific subtropical gyre. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 432, 173-180.
- Derraik, J. G. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine pollution bulletin*, 44(9), 842-852.
- Eriksson, C., & Burton, H. (2003). Origins and biological accumulation of small plastic particles in fur seals from Macquarie Island. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 32(6), 380-384. particles in fur seals from Macquarie Island. *Ambio* 32, 380-384.
- 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.
- Fendall, L. S., & Sewell, M. A. (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Marine pollution bulletin*, 58(8), 1225-1228.
- Fossi, M.C., Panti, C., Guerranti, C., Coppola, D., Giannetti, M., et al., 2012. Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Mar. Pollut. Bull.* 64, 2374-2379.
- Fossi, M.C., Coppola, D., feeding marine organisms as indicators of microplastic in the pelagic environment: the case studies of the Mediterranean basking shark (*Cetorhinus maximus*) and fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Mar. Pollut. Bull.*
- Free, C. M., Jensen, O. P., Mason, S. A., Eriksen, M., Williamson, N. J., & Boldgiv, B. (2014). High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine pollution bulletin*, 85(1), 156-163.
- 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.
- Goldstein, J., Newbury, D. E., Echlin, P., Joy, D. C., Romig Jr, A. D., Lyman, C. E., & Lifshin, E. (2012). *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis: a text for biologists, materials scientists, and geologists*. Springer Science & Business Media.
- Goldstein, M. C., & Goodwin, D. S. (2013). Gooseneck barnacles (*Lepas* spp.) ingest microplastic debris in the North Pacific Subtropical Gyre. *PeerJ*, 1, e184.
- Gouin, T., Mackay, D., Jones, K. C., Harner, T., & Meijer, S. N. (2004). Evidence for the “grasshopper” effect and fractionation during long-range atmospheric transport of organic contaminants. *Environmental pollution*, 128(1), 139-148.
- Gregory, A. W., & Hansen, B. E. (1996). Residual-based tests for cointegration in models with regime shifts. *Journal of econometrics*, 70(1), 99-126.

- Gregory, M. R. Environmental implications of plastic debris in marine settings entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philos. Trans. R. Soc., B* 2009, 364 (1526), 2013–2025.
- Gregory, M. R. (1977). Plastic pellets on New Zealand beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 8(4), 82-84.
- 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. *Environmental science & technology*, 46(6), 3060-3075.
- Kenyon, K. W. & Kridler, E. 1969 Laysan Albatross swallow indigestible matter. *Auk* 86, 339–343.
- Magnusson, K., & Norén, F. (2014). Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant.
- Magnusson, K., & Wahlberg, C. (2014). Mikroskopiska skräppartiklar i vatten från avloppsreningsverk. *Rapport NR B*, 2208, 33.
- Magnusson, K., Eliasson, K., Fråne, A., Haikonen, K., Hultén, J., Olshammar, M., Voisin, A. (2016). Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment. A review of existing data. *IVL, C*, 183.
- 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 & technology*, 35(2), 318-324.
- Moore, C. J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental research*, 108(2), 131-139
- Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. (2016). Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environmental science & technology*.
- Murray, F., & Cowie, P. R. (2011). Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). *Marine pollution bulletin*, 62(6), 1207-1217.
- Natasha Geiling, 2015. Think Progress. [Çevrimiçi] Available at: <https://thinkprogress.org/canada-wants-to-ban-the-tiny-plastic-microbeads-found-in-toothpaste-heres-why-6ffbbeb28399#.m8ezo8j6i> [Erişim Tarihi: 07.08.2015]
- PlasticsEurope, 2012. *Plastics e the Facts 2012: an Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data for 2011* [Erişim Tarihi: 10.10.2012].
- PlasticsEurope, 2014. *Plastics e the Facts 2014. An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data* [Erişim Tarihi: 10.10.2012].

- Plastics Soup Foundation, 2016. [Çevrimiçi] Available at: <http://www.plasticsoupfoundation.org/en/2016/09/european-ban-on-personal-care-products-containing-microplastics/> [Erişim Tarihi: 07.08.2015].
- Pruter, A. T. (1987). Sources, quantities and distribution of persistent plastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 18(6), 305-310.
- Rochman, C.M., Hoh, E., Kurobe, T., Teh, S.J., 2013. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Sci. Rep.* 3, 3263.
- Rochman, C.M., Browne, M.A., Halpern, B.S., Hentschel, B.T., Hoh, E., Karapanagioti, H.K., Rios-Mendoza, L.M., Takada, H., Teh, S., Thompson, R.C., 2013a. Classify plastic waste as hazardous. *Nat. Comments* 494, 169e171.
- Ryan, P.G., Moore, C.J., van Franeker, J.A., Moloney, C.L., 2009. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philos. Trans. R. Soc. Lond B: Biol. Sci.* 364, 1999-2012.
- Sadri, S. S., & Thompson, R. C. (2014). On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England. *Marine pollution bulletin*, 81(1), 55-60.
- Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., & Lehtiniemi, M. (2014). Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental pollution*, 185, 77-83.
- Singh, B.; Sharma, N. Mechanistic implications of plastic degradation. *Polym. Degrad. Stab.* 2008, 93 (3), 561–584.
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic?. *Science*, 304(5672), 838-838.
- Thompson, R.C., Moore, C.J., vom Saal, F.S., Swan, S.H., 2009b. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philos. Trans. R. Soc. Lond B: Biol. Sci.* 364, 2153-2166.
- Teuten, E. L., Rowland, S. J., Galloway, T. S., & Thompson, R. C. (2007). Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. *Environmental science & technology*, 41(22), 7759-7764.
- Van Cauwenberghe, L., Vanreusel, A., Mees, J., & Janssen, C. R. (2013). Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environmental Pollution*, 182, 495-499.
- Von Moos, N., Burkhardt-Holm, P., Köhler, A., 2012. Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environ. Sci. Technol.* 46, 11327-11335.

Watts AJR, Lewis C, Goodhead RM, Beckett SJ, Moger J, Tyler CR, Galloway TS. Uptake and Retention of Microplastics by the Shore Crab *Carcinus Maenas*, *Environmental Science&Technology*, Cilt. 48, No. 15, 2014, s. 8823–8830.

Wright, S.L., Rowe, D., Thompson, R.C., Galloway, T.S., 2013a. Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms. *Curr. Biol.* 23, R1031-R1033.

Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S., 2013b. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environ. Pollut.* 178, 483-492.

Yurtsever, M., Mikroplastikler'e Genel Bir Bakış, *Cilt:17, Sayı:50, Sayfa:68-83*, Mayıs 2015.



ÖZGEÇMİŞ

Berkim CEYLAN, 03.09.1990'da Gebze'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Gebze'de tamamladı. 2007 yılında Gebze Lisesi'nden mezun oldu. 2009 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nü 2013 yılında bitirdi. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliğinde yüksek lisans eğitimine başladı.