



**İĞDIR İLİ SINIRLARINDA ARAS NEHRİNDEKİ BASKIN BALIK
TÜRLERİNİN DOKULARINDAKİ MİKROPLASTİK MİKTARI,
KARAKTERİZASYONU VE DAĞILIMININ BELİRLENMESİ**

Hazırlayan: Kemal BİRGE

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mine KÖKTÜRK

ORGANİK TARIM İŞLETMECİLİĞİ ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

İĞDIR/2023

Her Hakkı Saklıdır

T.C.
İĞDIR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İĞDIR İLİ SINIRLARINDA ARAS NEHRİNDEKİ BASKIN BALIK
TÜRLERİNİN DOKULARINDAKİ MİKROPLASTİK MİKTARI,
KARAKTERİZASYONU VE DAĞILIMININ BELİRLENMESİ**

Kemal BİRGE

ORGANİK TARIM İŞLETMECİLİĞİ ANABİLİM DALI

İĞDIR/2023

Her Hakkı Saklıdır

TAAHHÜTNAME

Dönem projesi içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Kemal BİRGE



ÖZET

İĞDIR İLİ SINIRLARINDA ARAS NEHRİNDEKİ BASKIN BALIK TÜRLERİNİN DOKULARINDAKİ MİKROPLASTİK MİKTARI, KARAKTERİZASYONU VE DAĞILIMININ BELİRLENMESİ

BİRGE, Kemal

Yüksek Lisans Tezi

Organik Tarım İşletmeciliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mine KÖKTÜRK

Şubat 2023, 43 sayfa

Bu tez çalışması, Aras Nehri Iğdır İli sınırlarında yaşayan bazı demersal balık türlerindeki gastrointestinal sistem ve solungaç dokularındaki mikroplastik varlığı ve karakterizasyonu tespiti hakkındadır. Bu tezde, ülkemizde yaygın ticari değeri olan Caner (*Luciobarbus capito*, Walbaum, 1792) ve Yayın (*Silurus glanis*, Linnaeus, 1758) balık türleri incelenmiştir. Mikroplastiklerin, balık dokularından ekstraksiyonu ve karakterizasyonu için balıklar anüsten özafagusa kadar kesilerek sindirim sistemleri çıkartılmış ve kimyasal işlemlerden geçirilmiştir. Dokulardan izole edilen mikroplastikler mikroskop altında incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. Bu tez çalışması ile Aras Nehrinde yaşayan demersal iki balık türünün bazı bireylerinin farklı dokularında mikroplastik bulunduğu tespit edilmiştir. İncelenen balıkların gastrointestinal sistemlerinde toplam 247 mikroplastik ve solungaçlarında ise toplam 180 mikroplastik izole edilmiştir. Belirlenen mikroparçacıkların mikroplastik olduğunun doğrulanması ve polimer tiplerinin belirlenmesi için 105 adet numune ATR-FTIR spektroskopisi ile analiz edilmiştir. Çalışmadan polietilen (PE), polipropilen (PP), poliamid (PA), polibütilen tereftalat (PBT), poliakrilamid (PAM), polikloropren (Neopren) ve poliizobutilen (PIB) olmak üzere 7 farklı polimer tipi balık dokularında bulunmuştur. Çalışmamızda belirlenen mikroplastiklerde baskın renk siyah, baskın şekil fiber ve baskın boyut 101-200 µm olarak belirlenmiştir. Çalışmada, her iki balık türünde benzer oranda mikroplastik bulunmasına rağmen en yüksek oranda mikroplastik yayın balığı türünde olduğu ortaya koyulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik, FTIR, Aras Nehri, Demersal balıklar

ABSTRACT

DETERMINATION OF MICROPLASTIC AMOUNT, CHARACTERIZATION AND DISTRIBUTION IN THE TISSUES OF THE DOMINANT FISH SPECIES IN THE ARAS RIVER IN İĞDIR PROVINCE

BİRGE Kemal

Master's Thesis

Department of Organic Farming Management

Advisor: Assist. Prof. Dr. Mine KÖKTÜRK

February 2023, 43 pages

This thesis study is about the detection and characterization of microplastics in the gastrointestinal tract and gill tissues of some demersal fish species living in the Aras River İğdır Province. In this thesis, Bulatmai barbel (*Luciobarbus capito*, Walbaum, 1792) and Wels catfish (*Silurus glanis*, Linnaeus, 1758) fish species, which have widespread commercial value in our country, were examined. For the extraction and characterization of microplastics from fish tissues, the fish were cut from the anus to the esophagus, their digestive systems were removed, and they were chemically processed. Microplastics isolated from the tissues were examined and photographed under the microscope. In this thesis, it has been determined that some individuals of two demersal fish species living in the Aras River have microplastics in their different tissues. A total of 247 microplastics were isolated in the gastrointestinal tract of the examined fish and a total of 180 microplastics were isolated in their gills. 105 samples were analyzed by ATR-FTIR spectroscopy to confirm that the detected microparticles were microplastic and to determine the polymer types. From the study, 7 different polymer types were found in fish tissues: polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyamide (PA), polybutylene terephthalate (PBT), polyacrylamide (PAM), polychloroprene (Neoprene) and polyisobutylene (PIB). In the microplastics determined in our study, the dominant color was black, the dominant shape was fiber, and the dominant size was 101-200 µm. In the study, it was revealed that although both fish species had similar microplastics, the highest rate of microplastic was found in wels catfish.

Keywords: Microplastic, FTIR, Aras River, Demersal fish

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında bilimsel tecrübesiyle bana yol gösteren, yardım ve ilgilerini esirgemeyen çok kıymetli ve saygıdeğer danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mine KÖKTÜRK'e,

Yüksek lisans tez değerlendirme komisyonumda olan ve tezimi yazma aşamamda desteklerini gösteren hocalarım Sayın Prof. Dr. Muhammed ATAMANALP ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Harbi ÇALIMLI'ya,

Tez çalışmamda kullandığım balık türlerinin teşhis edilmesinde yardımcı olan Sayın Doç. Dr. Cüneyt KAYA'ya,

Yüksek lisans yapmam konusunda bana destek olan Merhum Doç Dr. Ahmet Metin KUMLAY'a, Sayın Doç. Dr. Özcan ÇAĞLAR'a ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Aybek YİĞİT'e,

Yüksek lisans tez çalışmamda kullandığım balıkları yakalayan yerel Amatör balıkçılardan Şerafettin BEYHAN, Engin DAŞTAN, Suat ÇETİNDERE ve Adem TANRIKULU'na,

Çalışmamda desteklerini esirgemeyen ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan başta eşim Neslihan BİRGE, çocuklarım Muhammet BİRGE, Ali Haydar BİRGE ve Elif Ceylin BİRGE'ye çok teşekkür ederim.

Kemal BİRGE

IĞDIR/2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLolar DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tatlı Sulardaki Mikroplastik Kaynakları.....	3
1.2. Türkiye’de Sucul Canlılarda Mikroplastik Kirliliği	3
1.3. Mikroplastiklerin Balık Dokularında Varlığı ve Etkileri	4
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
3.1. Materyal.....	11
3.1.1. Çalışma Alanı	11
3.1.2. Balık Türleri.....	11
3.2. Yöntem	12
3.2.1. Balık örneklerinin alınması.....	12
3.2.2. Mikroplastiklerin izolasyonu	12
3.2.3. Mikroplastiklerin karakterizasyon ve tanımlanması.....	14
3.2.4 İstatistik analiz.....	15
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	16
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	24
KAYNAKLAR	27
EKLER.....	41
ÖZGEÇMİŞ.....	44

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

PE	Polietilen
FTIR	Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
LDPE	Düşük yoğunluklu polietilen
PA	Poliamid
PAM	Poliakrilamid
PBT	Polibütilen tereftalat
PC	Polikarbonat
PET	Polietilen tereftalat
PFTE	Politetrafloroetilen
PIB	Poliizobutilen
PP	Polipropilen
PS	Polistiren

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Balıkların yayılış gösterdiği bölge.....	11
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan balık türleri (A) <i>Luciobarbus capito</i> ve (B) <i>Silurus glanis</i>	12
Şekil 3.3. Mikroplastik izolasyon aşamaları presedürü	14
Şekil 4.1. Demersal balık türlerindeki dokularda mikroplastik miktarlarının karşılaştırılması	17
Şekil 4.2. Caner (A) ve Yayın (B) balıklarının gastrointestinal sistem ve solungaçlarında belirlenen mikroplastiklerin renk dağılımı.....	18
Şekil 4.3. Caner ve Yayın balıklarının gastrointestinal sistem ve solungaçlarında belirlenen fiber mikroplastiklerin mikroskop görüntüleri. Ölçek:0,3 mm.....	19
Şekil 4.4. Caner ve Yayın balıklarının gastrointestinal sistem ve solungaçlarında belirlenen fragman mikroplastiklerin mikroskop görüntüleri. Ölçek:0,3mm	19
Şekil 4.5. Caner ve Yayın balıklarının gastrointestinal sistem ve solungaçlarında belirlenen film mikroplastiklerin mikroskop görüntüleri. Ölçek: 0,3 mm.....	20
Şekil 4.6. Caner (A) ve Yayın (B) balıklarının gastrointestinal sistem ve solungaçlarında belirlenen mikroplastik şekillerinin dağılımı	21
Şekil 4.7. Caner (A) ve Yayın (B) balıklarının gastrointestinal sistem ve solungaçlarında belirlenen mikroplastiklerin boyut dağılımı.....	22
Şekil 4.8. ATR-FTIR analiz sonucunda demersal balıklarda tespit edilen polimer tiplerinin spekturumları.....	23
Şekil 4.9. Demersal balık türlerindeki mikroplastiklerin polimer tiplerine ait yüzde dağılımı	23

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 4.1. Çalışmada kullanılan balıkların ortalama total ağırlık, total uzunluk, gastrointestinal sistem ve solungaç ağırlıkları. Veriler ortalama±standart hata olarak verilmiştir.16

Tablo 4.2. Caner ve Yayın balıklarının gastrointestinal sistem ve solungaçlarındaki mikroplastik miktarları.....17



1. GİRİŞ

Plastikler 1900'lerin ortalarında insanların ve küresel ticaretin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir (Davis and Gaskell, 2009). Seri üretime giren ilk sentetik polimer, 1909'da Belçikalı kimyager Leo Baekeland tarafından geliştirilen bir fenol-formaldehit reçinesi olan Bakalit'tir (Vlachopoulos and Strutt, 2003). Daha sonra 1930'larda polivinil klorür (PVC)'nin modern formları, polietilen tereftalat (PET), poliüretan (PUR) ve daha işlenebilir bir polistiren (PS) geliştirilmiştir (Brandsch and Piringer, 2000). 1950'lerin başında yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polipropilen (PP) polimer tipleride oluşturulmuştur (Lambert, 2013). Plastikler, plajlardaki ve okyanuslardaki atıkların %50-80'ini oluşturmaktadır (Derraik, 2002). Bu durum plastik çöpleri, dünya çapında ekosistemlerde ortaya çıkan en büyük endişelerden biri haline getirmiştir (McNeish vd., 2018). Her yıl yaklaşık 20 milyon ton plastik deniz ortamına giriyor ve plastik çöpün 2050 yılına kadar okyanustaki balıklardan daha fazla olacağı tahmin edilmektedir (Vannela, 2012; MacArthur vd., 2016). Plastiklerdeki bu tür üstel artış oranının nedenleri, düşük maliyetli üretim ve hafiflik, mukavemet ve direnç/dayanıklılık gibi mükemmel özelliklerine dayanan plastik malzemelerin geniş uygulanabilirliğidir (Rodrigues vd., 2018b).

Parçacık boyutu 1 μm ila 5 mm arasında değişen plastik kalıntılar olarak tanımlanan mikroplastikler (MP) (Frias and Nash, 2019), yüksek biyoyararlanımları nedeniyle son on yılda büyük bilimsel ilgi odağı haline gelmiştir (Lam vd., 2022). Mikroplastikler yaygın olarak kullanılan bir terim olmasına rağmen, daha ayrıntılı sınıflandırma makro ve mezoplastikler (>5 mm), mikroplastikler (<5 mm) ve nanoplastikler ($\leq 0,1$ μm) şeklinde yapılmaktadır (Lambert and Wagner, 2018). Mikroplastikler çoğunlukla büyük plastik kalıntıların fiziksel aşınma, fotooksidasyon ve biyolojik bozunma yoluyla aşamalı olarak parçalanması sonucunda oluşmaktadır (Li vd., 2016).

Sayısız insan, çeşitli hayati işlevler için nehirlerle bağımlıdır ve ayrıca nehirler, önemli miktarlarda plastik döküntü ve MP'lerin kara kaynaklarından okyanuslara taşınması için ana yollar olarak gösterilmiştir (Schmidt vd., 2017; Lebreton vd., 2017).

MP araştırmalarının birincil odak noktasının deniz ortamı olmasına rağmen tatlı su ekosistemlerinde mikroplastik kirliliğini araştırmaya olan ilgi sürekli olarak artmaktadır (Khan vd., 2020; Winkler vd., 2022). MP'lerin su ekosistemlerinde yüzey sularında, sedimentte ve balıklarda varlığı daha önceki çalışmalarda bildirilmiştir (Rodrigues vd., 2018a; Mintenig vd., 2020; Wang vd., 2020).

Nehirlerde, MP kaynakları atık su arıtma tesislerinden çıkan atıklar, yollardan ve tarımdan kaynaklanan yüzey akışları, atmosferik serpintilerdir (Dris vd., 2016; Schmidt vd., 2020; Xia vd., 2020). Nehirler MP için denize giden kanallardır, ancak nehre giren tüm MP'ler doğrudan deniz ortamlarına taşınmamaktadır. MP'ler tortularda uzun süre tutulabilir, depolanabilir ve biriktirilebilir (Nizzetto vd., 2016a). Bu durum organizmalara maruz kalmayı ve i hidrolojik ağın tutma potansiyelini artırır (Horton and Dixon, 2018). Bentik gıda ağına MP'lerin dahil edilmesi, birçok bentik organizmanın tortu üzerine yerleşen partikül maddelerle beslendiği göz önüne alındığında, nehir akış dinamiğine de bağlı olabilir (Winkler vd., 2022). Tatlı su ortamındaki MP kirliliğinin potansiyel göstergeleri olarak bentik organizmalardaki MP konsantrasyonlarının araştırılması daha önce tartışılmıştır (Nel vd., 2018). Su ortamında, mikroplastikler, küçük boyutları nedeniyle suda yaşayan organizmalar tarafından daha kolay sindirilir ve hatta besin zincirine aktarılır (Ziino vd., 2021; Cox vd., 2019). Özellikle mikroplastikler, içme suyu, çay, tuz veya mikroplastiklerle kirlenmiş balıkların yutulması yoluyla insan vücudunda birikebilir (Atamanalp vd., 2021; Samandra vd., 2022; Li vd., 2022a; Li vd., 2022b).

Bu tez çalışması ile içsu kaynaklarımızdan Aras Nehri'nde yayılış gösteren demersal türlerden Caner (*Luciobarbus capito*) ve Yayın (*Silurus glanis*) balıklarının farklı dokularındaki mikroplastik varlığı ve karakterizasyonu belirleyerek mikroplastik kirliliğinin boyutu ortaya konulmuş olacaktır. Ayrıca bu tez çalışması ile Aras Nehri'ndeki MP varlığı ortaya konularak yöneticilere tatlı su ekosistemlerinde gerekli mevzuatları oluşturmaları için veri sağlanmış olacaktır.

1.1.Tatlı Sulardaki Mikroplastik Kaynakları

Okyanuslar ve nehirlerdeki mikroplastiklerin birikimi esas olarak endüstriyel imalat, tarım ve belediye katı atık depolama alanı dahil karasal insan faaliyetlerine bağlanmıştır (Driedger vd., 2015; Vandermeersch vd., 2015). Mikroplastiklerin kaynağını ve çevreye girdikleri yolları izlemek, biyosferdeki daha fazla dağılımlarını izlemek için genellikle önemli olarak kabul edilir.

Tatlı su ekosistemlerindeki birincil MP'lerin kaynakları, tekstil ve kozmetik ürünleri, elektronik ekipman, sürüş sırasında lastiklerin aşınması, şehir tozu, yol yapımı, deniz kaplaması olarak bildirilmektedir (Rezania vd., 2018; Prokić vd., 2019; Miloloža vd., 2021). İkincil MP'ler, plastik torbalar, şişeler, balık ağları gibi daha büyük plastiklerin parçalanmasından ve kanalizasyon çamuru uygulaması, vinil kaplamalar gibi tarımsal faaliyetlerden kaynaklanır (Nizzetto vd., 2016b; Prokić vd., 2019; Miloloža vd., 2021).

1.2.Türkiye’de Sucul Canlılarda Mikroplastik Kirliliği

Dünyada yapılan çalışmalar ile kıyasladığımızda ülkemizde sucul canlılardaki mikroplastik miktarlarının belirlenmesine yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Türkiye'nin Akdeniz kıyısı boyunca 18 noktada gerçekleştirilen çalışmada toplamda, 28 türü ve 14 aileyi temsil eden 1337 balık örneklerinin mide ve bağırsaklarından toplam 1822 mikroplastik belirlenmiş olup pelajik balıkların, demersal türlerden daha fazla mikroplastik yuttuğu ortaya konulmuştur (Güven vd., 2017). Yine Akdeniz bölgesinde Türkiye'de ekonomik açıdan önemli birçok limana ev sahipliği yapan oldukça kentleşmiş İskenderun Körfezi’de ticari öneme sahip balık türlerinde toplam 153 balığın sindirim sisteminde 4,22 MPs/balık ve solungaçlarında 2.70 MPs/balık mikroplastik bolluğu belirlendi (Kılıç and Yücel, 2022). Kuzey-doğu Akdeniz'in kıyı bölgesi boyunca yer alan avlanma alanlarında yağışlı mevsim öncesi ve sonrası olmak üzere iki dönemde mikroplastik miktarları değerlendirildiğinde 17 balık türüne ait toplam 2222 örnekte birey başına ortalama 1,3 MP olduğu tespit edildi (Koraltan vd., 2022).

Karadeniz bölgesinde yapılan mikroplastik çalışmalarında ticari öneme sahip birçok balık türünün farklı dokularında mikroplastik varlığı belirlenmiştir (Atamanalp vd., 2021; Eryaşar vd., 2022). Karadeniz sularındaki zooplanton türlerindeki mikroplastik miktarları *Calanus euxinus* türünde ortalama 0,024 MP/zooplankton ve

Acartia (Acartiura) clausi türünde ise 0,008 MP/zooplankton tespit edilmiştir (Aytan vd., 2022).

Marmara denizinde ilk mikroplastik kayıtlarında ise sucul canlılardaki mikroplastik varlığına dair herhangi bir çalışmaya rastlanmamış olup yüzey sularında 1,263 MP/m² olduğu bildirilmiştir (Tunçer vd., 2018).

Ege Deniz’inde farklı iki istasyonda yapılan çalışmada Akdeniz midyesi (*Mytilus galloprovincialis*) ve akivades (*Ruditapes decussatus*) türlerinde 60 midye örneğinde Karşıyaka’dan 895 ve Gülbahçe’den 787 olmak üzere toplam 1682 mikroplastik tespit edilmiştir (Yozukmaz, 2021).

1.3. Mikroplastiklerin Balık Dokularında Varlığı ve Etkileri

Mikroplastikler, tüm trofik seviyelerle olası karşılaşmayı gösteren geniş bir yelpazedeki nötronik, pelajik ve bentik türler için potansiyel bir tehdit oluşturan değişken malzeme özelliklerine sahiptir (Scherer vd., 2018). Tatlı su ekosistemlerinde mikroplastik alımı, kabuklular (Ogonowski vd., 2016), karındanbacaklılar (Akindele vd., 2019), balıklar (Atamanalp vd., 2021; Atamanalp vd., 2022; Kılıç vd., 2022) için rapor edilmiştir. MP'lerin yutulması morfolojik deformasyona, larva çıkışlarında gecikmelere, oksidatif strese, kardiyak aktivitelerde bozulmalara, bağırsakta hasara ve hatta ölüme neden olabilir (Lei vd., 2018; Sun vd., 2022; Wang vd., 2022). Mikroplastiklerin yetişkin zebra balığı lipid metabolizmasının ve enerji metabolizmasının, uzun süreli polistiren stresi altında önemli ölçüde inhibe edildiğini, süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) gibi antioksidan enzimlerin aktivitesinin ise önemli ölçüde inhibe ederek suda yaşayan organizmalarda oksidatif hasara neden olduğu bildirilmiştir (Baumann vd., 2016). Yine benzer şekilde polistiren mikroplastikler, sucul canlılarda oksidatif strese (SOD ve CAT seviyelerinde azalma) ve hücrel detoksifikasyonda (Glutasyon S-transferaz, GST) yer alan genlerin transkript seviyelerinin artmasına neden olabildiği bilinmektedir (De Marco vd., 2022). Ayrıca bazı çalışmalar MP'nin diğer kirleticilerle birlikte maruz kalmasının canlılar üzerinde daha toksik etkileri olabileceğini vurgulamaktadır (Deng vd., 2018; Qi vd., 2021; Chen vd., 2022; Santos vd., 2022).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Plastikler sentetik organik polimerlerdir. Dünya çapındaki ekosistemlerde, sentetik polimerler uzun vadeli dayanıklılıkları, artan üretim ölçeği, yetersiz atık yönetimi sistemleri ile birlikte sürdürülemez kullanımları ile plastik birikimine yol açmıştır (Barnes vd., 2009; Plastics Europe, 2016). Plastik kirliliğin ortaya çıkardığı en önemli tehdit, plastiğin daha küçük parçalara (< 5 mm, mikroplastikler) ayrılmasıdır. Deniz ortamında bu mikroplastik varlığının ortaya çıkması, balıkçılık faaliyetleri ve endüstriyel atık malzemeler gibi çeşitli kaynaklardan atılan atıkların daha fazla girdisi nedeniyle dünya çapında ciddi bir kirlenme sorunu haline geleceğini ortaya koymuştur (Villarrubia-Gomez vd., 2017; Karthik vd., 2018).

Çevredeki mikroplastik kirliliği, endüstriyel ve insan faaliyetleri ile yakından ilişkilidir. Deng vd., (2020) yapmış oldukları çalışmada Çin'in Shaoxing şehrinde bir tekstil sanayi bölgesinden toplanan su ve sediment örneklerindeki mikroplastikleri araştırmışlardır. Mikroplastiklerin yüzey suyu örneklerinde 2,1-71 parçacık/L ve sediment örneklerinde 16,7-1323,3 madde/kg arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Polimer türü olarak hem su (%95) hem de sediment (%79) numunelerinde polyester oranı en yüksek olarak tespit etmişlerdir. Mikroplastiklerin çoğunluğunun boyutu 1 mm'den küçük çaplı lifler olduğunda bildirmişlerdir.

Okyanuslardaki mikroplastiklerin birikimi esas olarak endüstriyel üretim, tarım ve belediye katı atık depolama alanı dahil karasal insan faaliyetlerine bağlanmıştır (Driedger vd., 2015; Vandermeersch vd., 2015). Kirlenmiş ortamlardan mikroplastiklerin uzaklaştırılması neredeyse imkansız olsa da, kirlilik kaynağının etkin kontrolünü içeren bir atık yönetim sisteminin kurulması, mikroplastik kirlilik riskini azaltmak için uygun bir önlem olarak kabul edilmektedir (Anderson vd., 2016; Estahbanati and Fahrenfeld, 2016).

Tüm büyük okyanus havzalarında mikroplastik ve mikrofiber kirlilik belgelenmiştir. Mikrofiberler, kıyı şeritleri boyunca en yaygın mikropartikül kirleticilerinden biridir. Yıllık 9 milyon tondan fazla fiber üretilmektedir. Bunların % 60'ı sentetik yapıda ve % 25'i ise sentetik değildir. Sentetik olmayan ve yarı sentetik mikrofiberler nadiren belgelenir ve tipik olarak deniz ortamı etki analizlerine dahil

edilmez, bu da potansiyel olarak yaygın ve zararlı bir kirleticinin hafife alınmasına neden olur. En kapsamlı küresel kıyı ve açık okyanus örnekleme (n = 1393) sonrası μ FT-IR kullanılarak yapılan analizlerde 100 μ m – 1,5mm uzunluğunda mikrofiberler %77 oranı ile en baskın mikroplastik olduğu belirlenmiştir. Tespit edilen 113 mikroplastik parçanın malzeme karakterizasyonu %57 sentetik, %12 yarı sentetik ve %31 sentetik olmayan olarak bildirilmiştir (Barrows vd., 2018).

Orta ve Doğu Avrupa yüzey sularındaki mikroplastiklerin (MP) ilk tespitinde mikroplastikler FTIR mikroskobu kullanılarak karakterize edilmiştir. Su örneklerinin % 92'si 3,52-32,05 parçacık/m³ arasında değişen MP'ler belirlenirken sediment örneklerinde ise %69'u 46-1,62 parçacık/kg arasında MP'ler saptanmıştır. Su örneklerinde polipropilen (PP) ve polietilenin baskın bolluk gösterirken sedimentte PP ve polistiren baskın olarak belirlendi (Bordós vd., 2019).

Nehirler ve atık sular, karasal kaynakların mikroplastikleri için ana yollar olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, farklı boyutlardaki ve hatta uzak konumlardaki göller, çarpıcı bolluklarda mikroplastikler içerir. Fischer vd., (2016) yapmış oldukları çalışmada, Bolsena Gölü ve Chiusi Gölü (Orta İtalya) mikroplastik parçacık konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Her iki gölde 36 sediment örneği mikroplastik içerik açısından analiz edilmiştir. Yüzey sularında Chiusi Gölünde 2,68-3,36 parçacık/m³ ve Bolsena Gölünde ise 0,82-4,42 parçacık/m³ tespit etmişlerdir. Göller arasındaki mikroplastik temel farklılıkları, yüzey ve havza alanı, derinlik, yerel rüzgâr paternlerinin varlığı ve Bolsena Gölü'ndeki gelgit aralığı gibi göl özelliklerine bağlanmaktadır. Sedimentlerdeki mikroplastik parçacıkların bolluğu ortalama Bolsena Gölünde 112 parçacık/kg kuru ağırlık ve Chiusi Gölünde 234 parçacık/kg kuru ağırlık arasında değişmektedir.

Mikroplastiklerin (5 mm'den küçük plastik) kutup bölgeleri de dahil olmak üzere her kıtada bulunan küresel endişe verici bir kirletici olarak kabul edilmesinden bu yana yirmi yıldan fazla zaman geçti (Andrady, 2017; Auta vd., 2017; Chen vd., 2018). Mikroplastiklerin her yerde bulunması, insanlar da dahil olmak üzere organizmalar için potansiyel riskleri ile ilgili endişeleri ortaya çıkarsa da, gerçek ekolojik etkileriyle ilgili tartışmalar hala devam etmektedir (Imhof and Laforsch, 2016; Wright and Kelly, 2017; Conkle vd., 2018).

Mikroplastikler (MP) kirliliği son birkaç yılda artan bir ilgi görmüştür. Ancak mikroplastiklerin balıklar tarafından yutulmasını belgeleyen çalışma sayısı artmasına rağmen, bu küçük parçacıkların vahşi koşullarda yutulmasından kaynaklanan toksikolojik etkilerine değinen az çalışmanın olduğu bilinmektedir. Barboza vd., (2020) yapmış oldukları bir çalışmada Kuzey Doğu Atlantik Okyanusu'ndan gelen yabani balıklardaki mikroplastikler ve yutmaya maruz kalma ile ilişkili nörotoksik etkilere ve lipid oksidatif hasarını tespit etmeye çalışmış olup MP kontaminasyonu ve etki biyobelirteci olarak Kuzey Doğu Atlantik Okyanusu'ndan ticari açıdan önemli üç balık türünü incelemişlerdir. Analiz edilen 150 balıktan (tür başına 50), % 49'unda MP varlığını belirlemişlerdir. MP'leri 3 tür balığın (*Dicentrarchus labrax*, *Trachurus trachurus*, *Scomber colias*) gastrointestinal sistemleri, solungaçlar ve sırt kasından tespit etmişlerdir.

Hindistan'ın güneydoğu kıyısındaki Tuticorin'den *Harpodon nehereus*, *Chirocentrus dorab*, *Sardinella albella*, *Rastrelliger kanagurta*, *Katsuwonus pelamis* ve *Istiophorus platypterus* türlerinden örnekler toplanarak MP varlığı incelenmiştir. Deniz suyunda ve balıkların gastrointestinal yollarındaki MP'ler FTIR ve SEM-EDAX analizi ile karakterize edilmiştir. MP'lerin bolluğu suda $3,1 \pm 2,3 - 23,7 \pm 4,2$ madde/L ve bağırsaklarda $0,11 \pm 0,06 - 3,64 \pm 1,7$ madde / balık başına şeklinde belirlenmiştir (Sathish vd., 2020).

Güney Afrika bazı su kaynaklarındaki kıyı şeridinin karakteristik balık türlerinin (*Oreochromis mossambicus*, *Terapon jarbua*, *Ambassis dussumier* ve *Mugil sp.*) yavrularındaki mikroplastik miktarı ve karakterizasyonu incelendiğinde örneklenen 174 balığın % 52'si mikroplastik parçacıklar içeriyordu ve balık başına $0,79 \pm 1,00$ parçacık olduğu belirlenmiştir. Bulunan mikroplastiklerde baskın şekiller %68 lifler ve %21 oranında fragmentler olduğu bildirilmiştir. Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ile tanımlanan ana plastik türleri suni ipek (%70,4), polyester (%10,4), naylon (%5,2) ve polivinilklorür (%3,0) olarak bulunmuştur. Ayrıca çalışmada mikroplastiklerdeki baskın renk mavi olarak tespit edilmiştir (Naidoo vd., 2020).

Türkiye'nin Akdeniz kıyısındaki yerler, toplamda 1337 balık örneği, 28 tür ve 14 aileyi temsil eden plastik mikrofiber varlığı açısından incelenmiş olup balıkların mide ve bağırsaklarından toplam 1822 mikropplastik parçacık çıkarılmıştır. Partiküllerin çoğunluğu lifler (%70) ve sert plastik (% 20.8) ile temsil edilirken diğer grupların oranı: naylon (%2,7), kauçuk (%0,8) ve çeşitli plastik (%5,5) olarak tespit edilmiştir. Yine çoğu çalışmada olduğu gibi Akdeniz kıyılarındaki baskın mikropplastik renginin mavi olduğu belirlenmiştir. Çalışmada incelenen tüm balıklarda belirlenen mikropplastiklerin %34'ü midede tespit edilmiştir (Güven vd., 2017).

MP'ler, 2019 baharında Kuzey İtalya'daki Ticino Nehri boyunca toplanan örneklerden mikro-Fourier Dönüşüm Kızılötesi (μ -FTIR) spektroskopisi ile izole edildi ve tanımlandı. *Silurus glanis* türünde mide ve bağırsak içeriklerinde 0,032 MPs/g bulunmuştur. Balıkların %44'ü ve makroomurgasız örneklerinin %61'i MP içeriyordu (Winkler vd., 2022).

İran sınırlarından geçen Karasu nehrindeki 7 farklı balık türündeki (*Leuciscus cephalus*, *Capoeta trutta*, *Alburnus chalcoides*, *Capoeta damascina*, *Barbus capito*, *Cyprinion macrostomum* and *Luciobarbus caspius*) sindirim sistemlerinde bulunan mikropplastik içeriğinin ve karakterizasyonu incelenmiştir. İnceleme sonucunda *Luciobarbus caspius* ve *Alburnus chalcoides* balıklarında polistiren, polietilen ve naylon en yüksek sıklıkta gözlenen mikropplastik tipleri olduğu bildirildi. Balıklardaki en sık rastlanan MP boyutu 0,025–1 mm (25–1000 μ m) aralığında olup en fazla gözlemlenen mikropplastik şeklinin fiber (%85,12) ve fragment (%12,32) olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmadaki balık türlerinde belirlenen mikropplastiklerin renkleri incelendiğinde baskın MP renginin %63 oranı ile siyah olduğu görülmüştür (Heshmati vd., 2021).

McNeish vd., (2018) ABD Michigan Gölü'nün 3 ana kolundan alınan balık örneklerinde yapmış oldukları çalışmada mikropplastik bolluğunu ve bileşiminin ölçmüş olup *Neogobius melanostomus* (yuvarlak kaya balığı, bir zoobentivor) türünde en yüksek bağırsak mikropplastik konsantrasyonuna (19 MP/balık) sahip olduğunu ve vücut boyutu ile mikropplastik parçacıkların sayısı arasında pozitif bir doğrusal ilişki olduğunu bildirmişler.

Dünyanın en uzun nehri olan Nil Nehri'nde mikroplastiklerin (MP'ler) varlığının belirlenmesi amacıyla iki balık türünün (*Oreochromis niloticus* ve *Bagrus bayad*) sindirim sistemlerindeki MP karakterizasyonu ortaya konulmuştur (Khan vd., 2020). Örneklenen balıkların %75'inden fazlası sindirim sistemlerinde MP'ler içerdiği belirlenmiştir. En bol MP tipi lifler (%65), sonraki en bol tip filmler (%26,5) ve kalan MP'ler fragman şekilli olarak gözlemlenmiş olup polimer tipleri ise polietilen (PE), polietilen tereftalat (PET) ve polipropilen (PP) olarak Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi ile tanımlanmıştır. Bu çalışma ile deniz ve tatlı su ortamlarında yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında, bu yüksek düzeyde MP alımının nadiren bulunduğunu ve Kahire'deki Nil Nehri'nden örneklenen balıkların potansiyel olarak dünya çapında MP tüketme tehlikesi en yüksek olanlar arasında olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde Chan vd., (2019) çalışmalarında Hong Kong bölgesinde bulunan İnci Nehrinden alınan bazı demersal balıklardaki (*Evynnis cardinalis*, *Inegocia japonica*, *Repomucenus richardsonii* ve *Solea ovata*) mikroplastik miktarı incelendiğinde balık midelerinin %54'ünün mikroplastik (sert parçalar ve lifler) içerdiğini bildirilmiştir.

Güney Kore'deki Han nehri ve kollarında yayılış gösteren *C. carpio*, *C. cuvieri*, *L. macrochirus*, *M. salmoides*, *S. asotus* ve *C. argus* balık türü'deki mikroplastiklerin dağılımı araştıran Park vd., (2020) balıkların bağırsaklarında 4-48 parçacık/balık (ortalama: $22,0 \pm 16,0$ parçacık/balık) arasında değişen mikroplastik konsantrasyonu tespit etmişlerdir. Balıkların solungaçlarındaki mikroplastik konsantrasyonları ise 1-16 parçacık/balık (ortalama: $8,3 \pm 6,0$ parçacık/balık) arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Çalışmalarında örneklenen balıklarda bulunan en yaygın plastik türleri politetrafloroetilen (PFTE), polietilen (PE) ve suni ipektir ve balıklarda bulunan tüm mikroplastiklerin >%94'ü fragment şeklinde mikroplastiklerdir. Sonuçlar, mikroplastiklerin balıklar tarafından yutulmasının beslenme alışkanlıklarından ziyade habitatla daha yakından ilişkili olduğunu göstermiştir.

Asi Nehrindeki ticari balık türlerinden *Carassius gibelio* (Bloch, 1782), *Planiliza abu* (Heckel, 1843), *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758), *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758), *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) ve *Carassius auratus* (Linnaeus, 1758) gastrointestinal kanallarında ve solungaçlarında mikroplastik oluşumu incelenmiştir (Kılıç vd., 2022). Yapılan çalışmada bu ticari balık türlerinde mikroplastik

miktarının gastrointestinal kanallarında ortalama $5,1 \pm 2$ MP/balık (%95) ve solungaçlarda ise $4,4 \pm 2$ MP/balık (%74) olduğu bildirilmiştir. Asi Nehrindeki balıklardan izole edilen mikroplastiklerin çoğu fiber, siyah ve 1000 µm'den küçük boyutta olduğu görülmüştür. FTIR analiz sonuçlarında ise ana polimer tipleri polyester (%50), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) (%10), polipropilen (PP) (%8) ve polietilen tereftalat (PET) (%5) olarak belirlenmiştir.

Brantas Nehri'nden *Gambusia affinis* (*G. affinis*)'teki mikroplastiklerin akıntı yönünde yakalanan balıklarda nehrin aşağı kısmında ($209,18 \pm 48,85$ parçacık/gram) yukarı kısmına ($24,44 \pm 0,14$ parçacık/gram) göre daha yüksek konsantrasyonlarda mikroplastik bulunduğu rapor edilmiştir (Buwono vd., 2022). Çalışmada *G. affinis* türündeki mikroplastikleri fiber ve fragment şekillerinin daha fazla oldukları ve en baskın renklerin siyah (%45-48) ve mavi (%29-38) olduğu bildirilmiştir. Mikroplastik boyutlarının ise $<0,1$ mm'den küçük olduğu ve polivinilklorür (PVC) ve polistiren (PS), ardından polietilen (PE), polikarbonat (PC) ve poliamid (PA) gibi polimer tipleri *G. affinis* türünde belirlenmiştir.

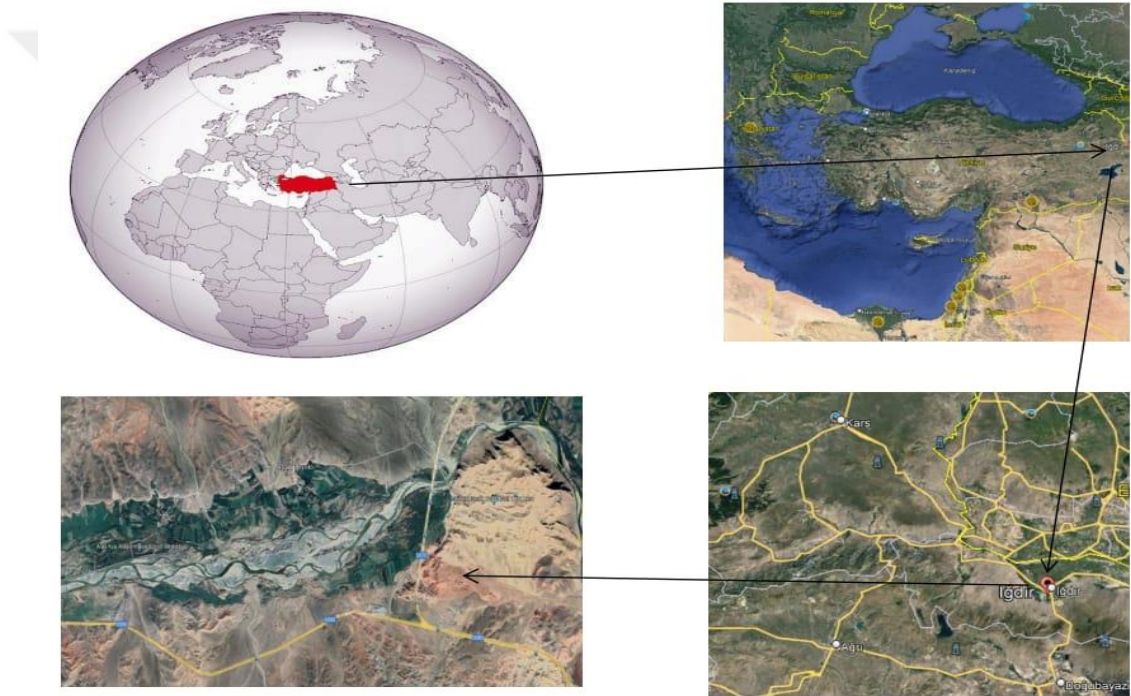
Güney Afrika'daki Vaal Nehri'nde 26 adet sazan balığının (*Cyprinus carpio*) mikroplastik alımı değerlendirilmiş ve tamamında MP (toplam 682 MP) bulunmuştur. Sazan balıklarında ortalama $26,23 \pm 12,57$ MP/balık olduğu bildirilmiştir. Bildirilen mikroplastiklerin %69 oranında iplik şeklinde olduğu renklerinin ise çoğunlukla yeşil, mavi ve siyah olduğu gözlemlenmiştir. Mikroplastik boyutlarına bakıldığında %48 oranında 0,5 mm den küçük parçacıklar olduğu görülmüştür. Polimer tiplerinin belirlenmesinde Raman spektroskopisi kullanılmış olup yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), polipropilen (PP), polietilen tereftalat (PET) ve politetrafloroetilen (PTFE) belirlenmiştir (Saad vd., 2022).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1.Çalışma Alanı

Iğdır il sınırı içindeki iç su kaynaklarından olan Aras Nehrinden yerel balıkçıların avladığı *Luciobarbus capito* (Caner balığı) ve *Silurus glanis* (Yayın balığı) türlerinden her balık türü için 10 örnek alındı. Çalışmada kullanılan balıkların yayılış gösterdiği bölge Şekil 3.1 de harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Balıkların yayılış gösterdiği bölge

3.1.2 Balık Türleri

Bu tezde mikroplastik belirlemek için ülkemizde yaygın ticari değeri olan demersal habitatta yayılış gösteren *Luciobarbus capito* (Caner balığı) (Walbaum, 1792) ve *Silurus glanis* (yayın balığı) (Linnaeus, 1758) balık türleri incelenmiştir (Şekil 3.2). Balıklarda taksonomik tanımlama Kaya vd., (2020) ve Kaya (2020)'ye göre yapılmıştır.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan balık türleri (A) *Luciobarbus capito* ve (B) *Silurus glanis*.

3.2. Yöntem

3.2.1. Balık örneklerinin alınması

2021 Haziran ayı içinde Aras Nehrinde farklı göz açıklığındaki ağlar ve olta yardımı yerel balıkçılar tarafından avlanan 2 balık türüne (*Luciobarbus capito* ve *Silurus glanis*) ait her balık türünden 10 adet olacak şekilde balık örnekleri alınmıştır. Aras Nehri'nden alınan numuneler alüminyum folyo ile sarılmış ve balıklar taşınabilir soğutucu içerisinde buz kasetleri ile de desteklenerek Iğdır Üniversitesi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi (ALUM) birimindeki laboratuvarlara getirilerek analizler yapılncaya kadar derin dondurucuda (-20°C) bekletilmiştir.

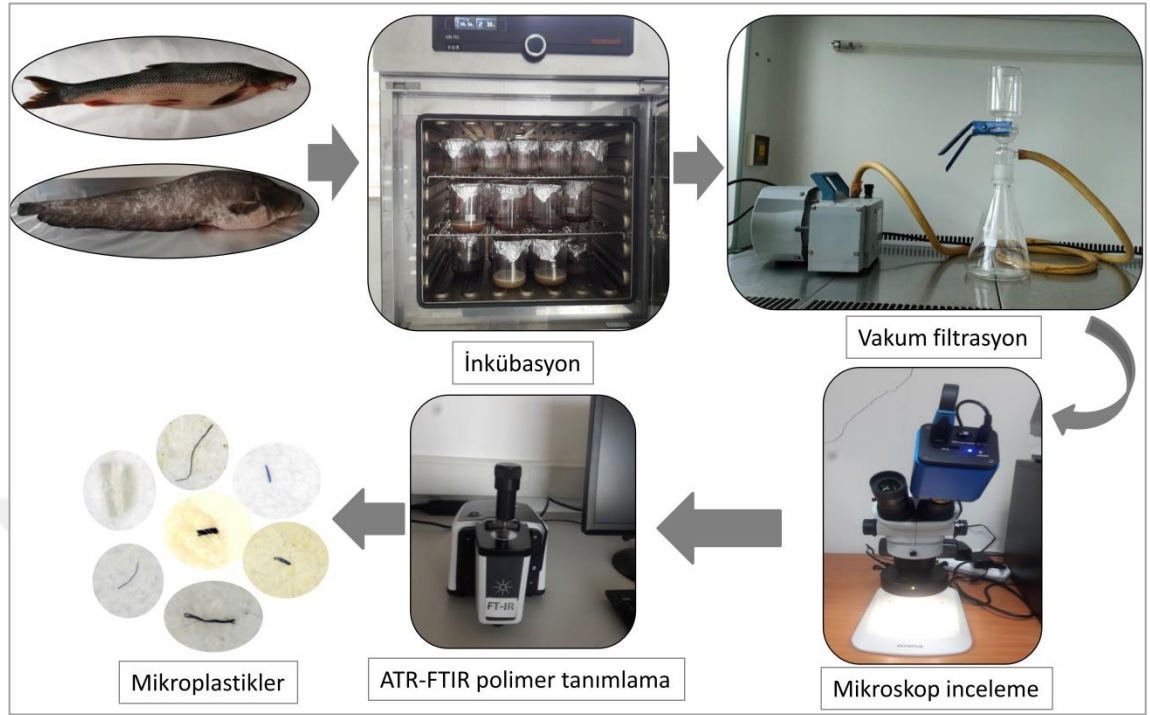
3.2.2. Mikroplastiklerin izolasyonu

Mikroplastiklerin izolasyonunda Zhang vd., (2020) ve Barboza vd., (2020) yöntemleri küçük değişimler yapılarak kullanıldı. Balık numunelerine ait morfolojik özellikleri (boy, ağırlık, gastrointestinal sistem ve solungaç ağırlıkları gibi) belirlendi. Balıklar oda sıcaklığında çözüldükten sonra, balıklar 3 kez saf su ile yıkandı. Gastrointestinal sistem (özafagus'dan anüs'e kadar) ve solungaç dokuları diseksiyon edildi ve tartıldı (Hossain vd., 2019). Daha sonra her bir doku 800 mL cam beherlere aktarıldı ve 200 mL potasyum hidroksil (KOH) (%10, v/v) eklendi. Gastrointestinal

sistem örnekleri 60°C'de 48 saat etüvde (Memmert Peltier-cooled incubator IPP55) inkübe edildi (Dehaut vd., 2016). Solungaç dokuları ise 40°C'de 72 saat inkübe edildi (Karami vd., 2017). Tüm mikroplastik türlerini diğer kil benzeri maddelerden ayırmak için yoğunluk ayrımı yapıldı (Abbasi vd., 2018). Bunun için 400 mL doymuş sodyum klorür çözeltisi (1,2 g / mL NaCl) (gravimetrik yöntem) örneklerle eklenerek 1 gece boyunca oda sıcaklığında bekletildi (Jabeen vd., 2017). Sonrasında filtrasyon düzeneğinde 1,2 µm boyutunda filtre kâğıdı (Whatman cam microfiber filters) kullanılarak süzme işlemleri yapıldı. Filtre kâğıtları, alüminyum folyo ile kaplanmış cam petri kapları içinde oda sıcaklığında kurutuldu. Bu işlemi takiben filtre üzerinde mikroplastikler bir stereomikroskopta 40X büyütmede (Olympus SZ61 mikroskop, ToupTek XP1080HD kamera) fotoğraflandı (Şekil 3.3).

Çalışmamızda herhangi bir kontaminasyonu engellenmek için analizler esnasında pamuklu önlük, eldiven ve maske kullanıldı. Çalışmanın yapılacağı yerler ve malzemeler 3 kez etanol ve saf su ile silindi. Ayrıca tez çalışmasında kullanılan beher ve diğer malzemeler kullanılmadığı zamanlarda alüminyum folyo ile sarılı olarak bekletildi.

Numuneler içindeki mikroplastik kontaminasyonu değerlendirmek için beş prosedürel boşluk (balık dokusu olmayan numuneler) kullanıldı. Kontrol olarak değerlendirilen bu prosedürel boşluklar, 3 adet çalışma esnasında açık olarak tutulan cam petrilereki filtre kâğıtları ve 2 adet 200 mL KOH filter kâğıdından süzülen numuneler değerlendirildi (Joyce and Falkenberg, 2023). Çalışmamızda kontrol numunelerinde (n=5) ortalama $1,8 \pm 1,5$ mikroplastik/numune belirlendi. Kontrolde bulunan mikroplastik miktarları tüm balık numunelerinden çıkarılarak değerlendirmeler yapıldı (Ta vd., 2022).



Şekil 3.3. Mikroplastik izolasyon aşamaları presedürü

3.2.3. Mikroplastiklerin karakterizasyon ve tanımlanması

Stereo mikroskopta fotoğraflanan maddelerin görsel (maksimum uzunluk, renk ve şekil) değerlendirilmesi yapıldı (Frias vd., 2018; Hossain vd., 2019). Balık türlerinden elde edilen mikroplastiklerin morfotipleri renk olarak mavi, siyah, kırmızı/pembe, sarı, yeşil, gri/beyaz ve şekil olarak ise fiber, fragman, film olarak gruplandırıldı. Mikroplastiklerin boyut gruplandırılması 50-100 μm , 101-200 μm , 201-300 μm , 301-500 μm , 501-1000 μm , 1001-2000 μm , 2001-3000 μm and 3001-5000 μm aralıklarında değerlendirilmek üzere bir yazılım programı vasıtasıyla (ImageJ programı) belirlendi. İletim modundaki FTIR ölçümleri 20 μm den büyük parçacıklar için uygun olduğundan tez çalışmasında balık dokularında 50 μm -5000 μm aralığındaki mikroplastiklerin tanımlanması yapıldı. Gastrointestinal sistem ve solungaçlarda polimer tanımlaması Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (ATR-FTIR) (The Agilent Cary 630) kullanarak yapıldı (Şekil 3.3). Her spektrum 4000–650 cm^{-1} dalga sayısı aralığında 8 cm^{-1} çözünürlükte 32 taramada toplanmış şekilde belirlendi (Barboza vd. 2020). Gastrointestinal sistemdeki ve solungaçlardaki mikroplastiklerin sayısı, balık başına mikroplastik madde sayısı (MP/balık) olarak ifade edildi. Tespit edilen toplam

mikroplastiklerin %20'den fazlası ATR-FTIR ile analiz edildi. Agilent Cary 630 FTIR spektrofotometresinde numunelerdeki MP parçacıklar analiz edildiğinde elde edilen spektrumlar için Agilent Micro Lab FTIR yazılım kullanıldı ve polimerlerin tanımlanması, bir standart spektrum kütüphanesi ile karşılaştırılarak yapıldı. Agilent Micro Lab FTIR yazılım kütüphanesindeki %70 ve daha fazla referans spektrumla eşleşen polimerler kabul edildi (Avio vd., 2015).

3.2.4 İstatistik analiz

Çalışmada farklı iki demersal balık mikroplastik miktarı analizler GraphPad Prism 8 programı kullanılarak yapıldı. Bütün veriler ortalama±standard hata olarak değerleri verilmiştir. Gruplar arasındaki farklılık iki yönlü ANOVA varyans analizi ile belirlendikten sonra Bonferroni çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir ($p<0,05$). FTIR analizi sonucu elde edilen polimer tiplerine ait spekturumlar Spectragryph optical spectroscopy yazılım programı ile düzenlenmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmamızda kullandığımız balıkların ortalama total ağırlık, total uzunluk, gastrointestinal sistem (GS) ve solungaç (S) ağırlıkları Tablo 4.1’de verilmiştir. Caner balığı ortalama ağırlık $598,4 \pm 315,9$ g ve ortalama boy $38,0 \pm 9,3$ cm, yayın balıklarında ise ortalama ağırlık $1071,3 \pm 522,0$ g ve ortalama boy $51,8 \pm 9,4$ cm olarak belirlendi.

Tablo 4.1. Çalışmada kullanılan balıkların ortalama total ağırlık, total uzunluk, gastrointestinal sistem ve solungaç ağırlıkları. Veriler ortalama±standart hata olarak verilmiştir.

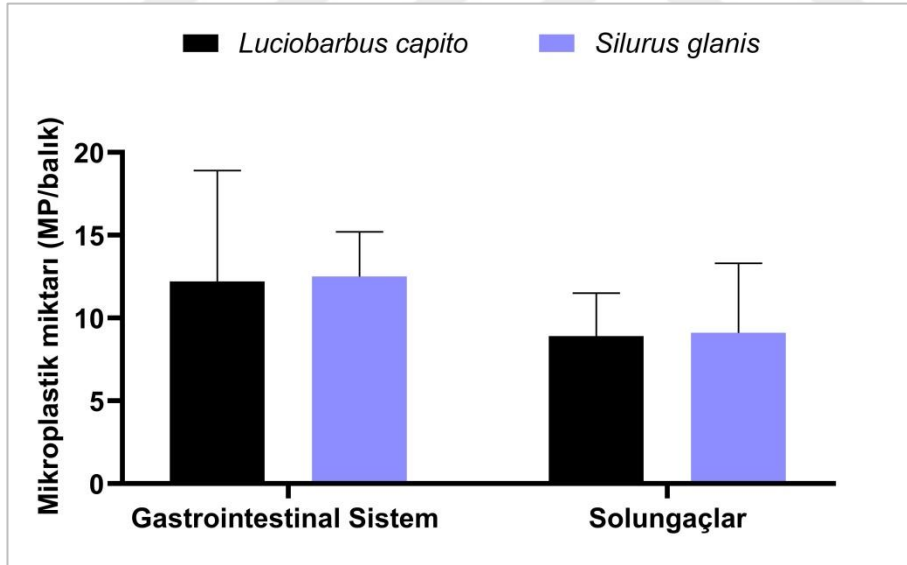
Balık türü (n=10)	Total Ortalama Ağırlık (g)	Total Ortalama Boy (cm)	Gastrointestinal Ortalama Sistem ağırlığı (g)	Solungaç Ortalama Ağırlığı (g)
Caner Balığı (<i>Luciobarbus capito</i>)	$598,4 \pm 315,9$	$38,0 \pm 9,3$	$44,6 \pm 19,8$	$10,4 \pm 5,6$
Yayın Balığı (<i>Silurus glanis</i>)	$1071,3 \pm 522,0$	$51,8 \pm 9,4$	$45,7 \pm 19,4$	$15,0 \pm 7,7$

Mikroplastik (MP) toplam miktarı Caner balıklarında 211 iken yayın balıklarında 216 olarak bulundu (Tablo 4.2). Gastrointestinal sistemlerde ortalama MP miktarı Caner balıklarında $12,2 \pm 6,7$ MP/balık ve yayın balıklarında ise $12,5 \pm 2,7$ MP/balık olarak belirlendi. Solungaçlarda ortalama MP miktarı GS dokusundan daha az olup Caner balıklarında $8,9 \pm 2,6$ MP/balık ve Yayın balıklarında $9,1 \pm 4,2$ MP/balık olarak tespit edildi.

Tablo 4.2. Caner ve Yayın balıklarının gastrointestinal sistem ve solungaçlarındaki mikroplastik miktarları

Balık türü (n=10)	Gastrointestinal sistem toplam mikroplastik (min-max)	Gastrointestinal sistem ortalama mikroplastik (MP/balık)	Solungaçlar toplam mikroplastik (min-max)	Solungaçlar ortalama mikroplastik (MP/balık)	Toplam mikroplastik
Caner Balığı (<i>Luciobarbus capito</i>)	122 (3-22)	12,2 ± 6,7	89 (7-14)	8,9 ± 2,6	211
Yayın Balığı (<i>Silurus glanis</i>)	125 (8-16)	12,5 ± 2,7	91 (2-17)	9,1 ± 4,2	216

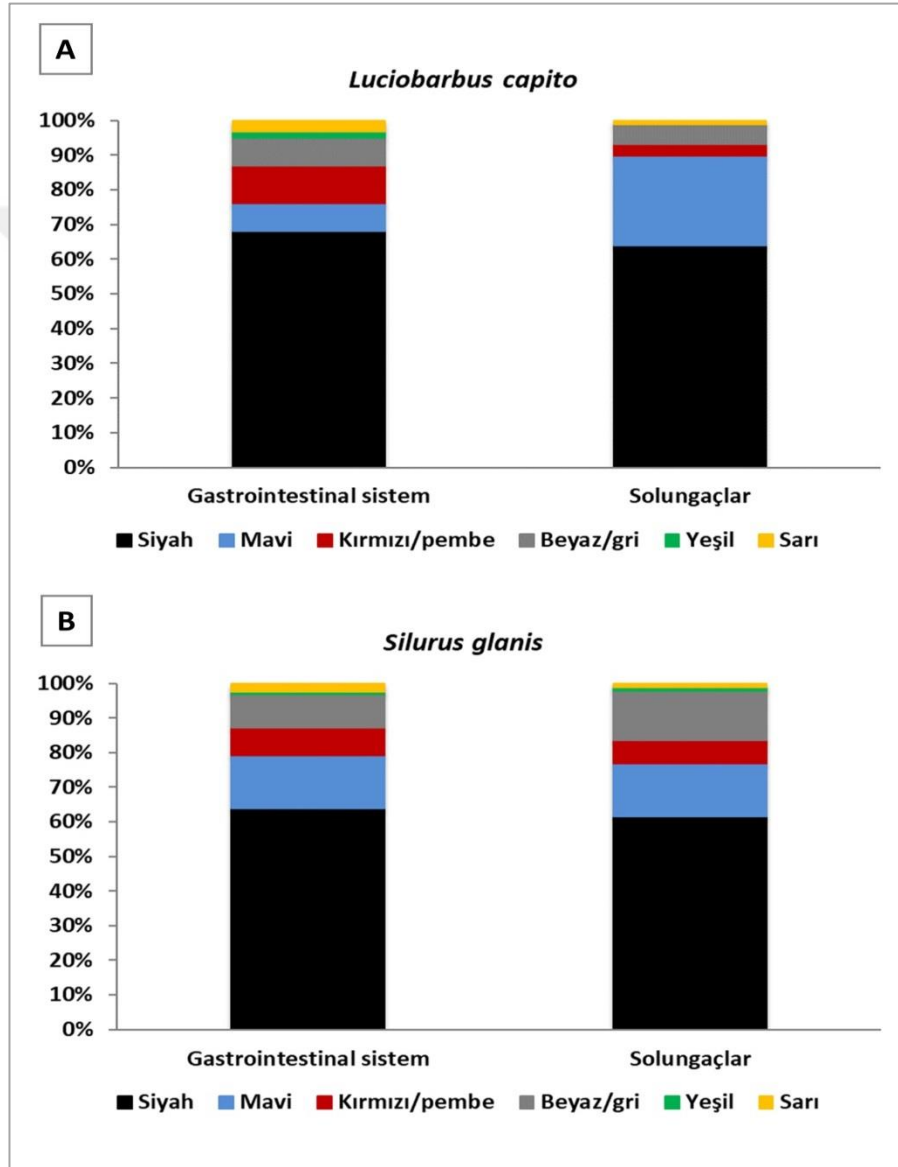
Caner ve yayın balıklarında gastrointestinal sistem ve solungaçlarda belirlenen mikroplastik miktarları karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit edilmedi ($p>0,05$) (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Demersal balık türlerindeki dokularda mikroplastik miktarlarının karşılaştırılması

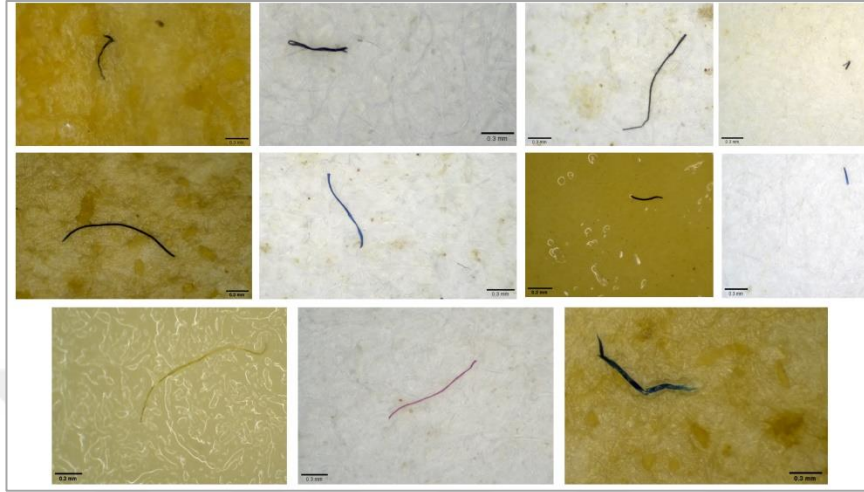
Çalışmamızda Caner balıklarının dokularında belirlenen mikroplastiklerdeki renk dağılımı gastrointestinal sistemde %68,0 siyah, %8,2 mavi, %10,7 kırmızı, %8,2 beyaz/gri, %1,6 yeşil ve %3,3 sarı olup solungaçlarda ise % 64,0 siyah, %25 mavi, %3,4 kırmızı/pembe, %5,6 beyaz/gri, %1,1 sarı olarak belirlendi (Şekil 4.2A). Yayın

balıklarında mikroplastik renk dağılımı gastrointestinal sistemde % 64,0 siyah, %15,2 mavi, %8 kırmızı/pembe, %9,6 beyaz/gri, %0,8 yeşil, %2,4 sarı ve solungaçlarda % 61,5 siyah, % 15,4 mavi, %6,6 kırmızı/pembe, %14,3 beyaz/gri, %1,1 yeşil, % 1,1 sarı olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.2B). Çalışmamızda her iki türde farklı organlarda mikroplastik baskın renk siyah olarak belirlenmiştir.

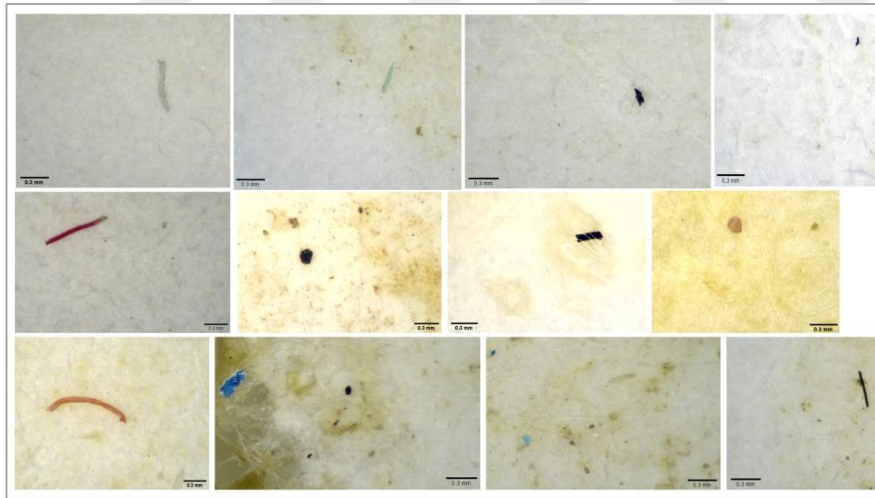


Şekil 4.2. Caner (A) ve Yayın (B) balıklarının gastrointestinal sistem ve solungaçlarında belirlenen mikroplastiklerin renk dağılımı

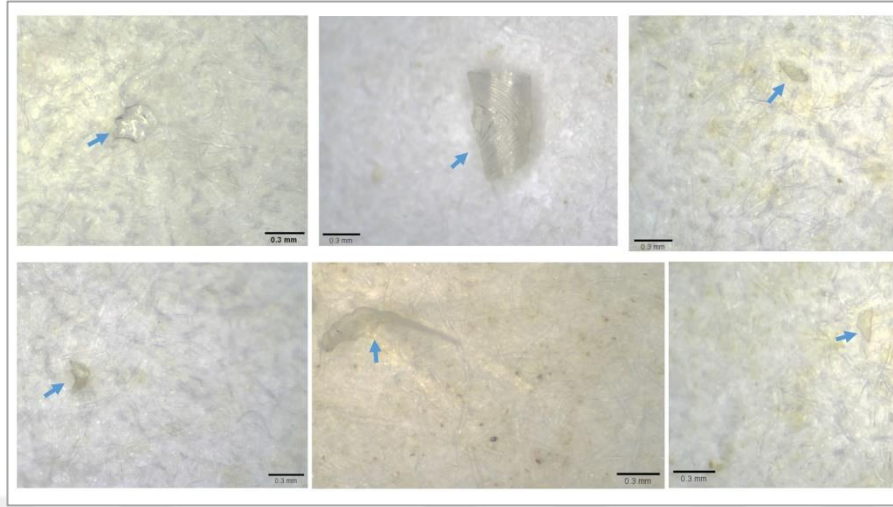
Çalışmamızda tanımladığımız mikroplastiklerin fiber, fragman ve film şekillerinde olduğunu gözlemledik (Şekil 4.3, 4.4, 4.5).



Şekil 4.3. Caner ve Yayın balıklarının gastrointestinal sistem ve solungaçlarında belirlenen fiber mikroplastiklerin mikroskop görüntüleri. Ölçek:0,3 mm

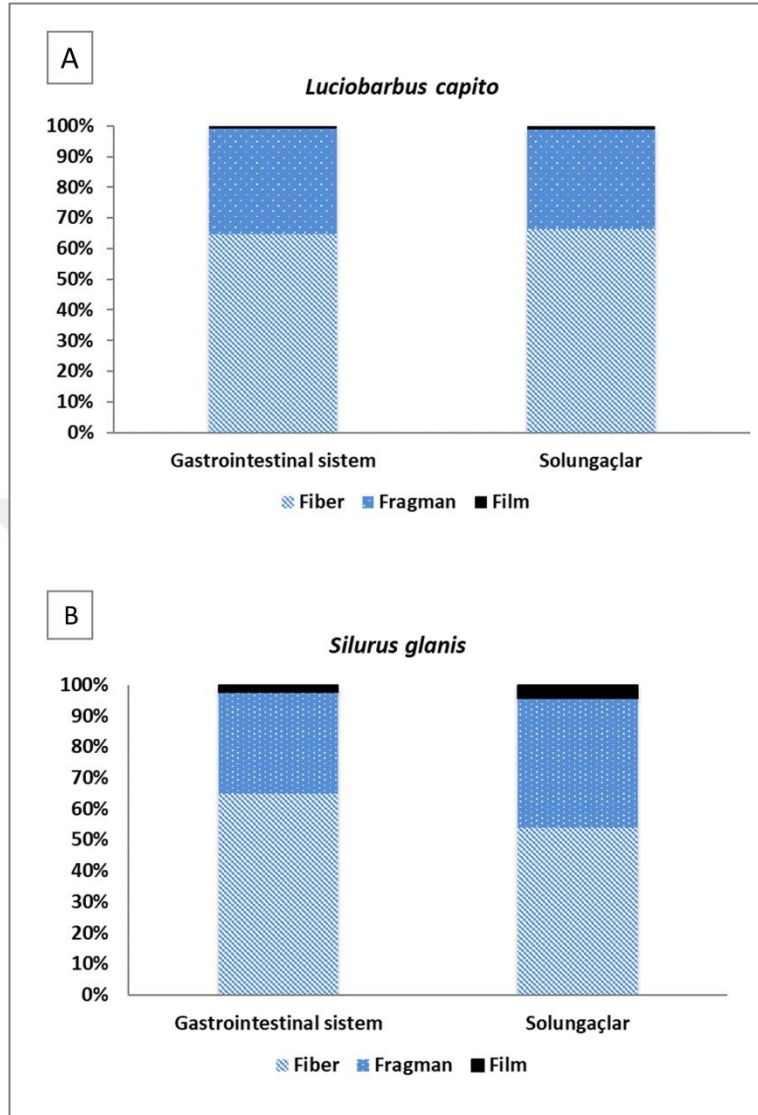


Şekil 4.4. Caner ve Yayın balıklarının gastrointestinal sistem ve solungaçlarında belirlenen fragman mikroplastiklerin mikroskop görüntüleri. Ölçek:0,3mm



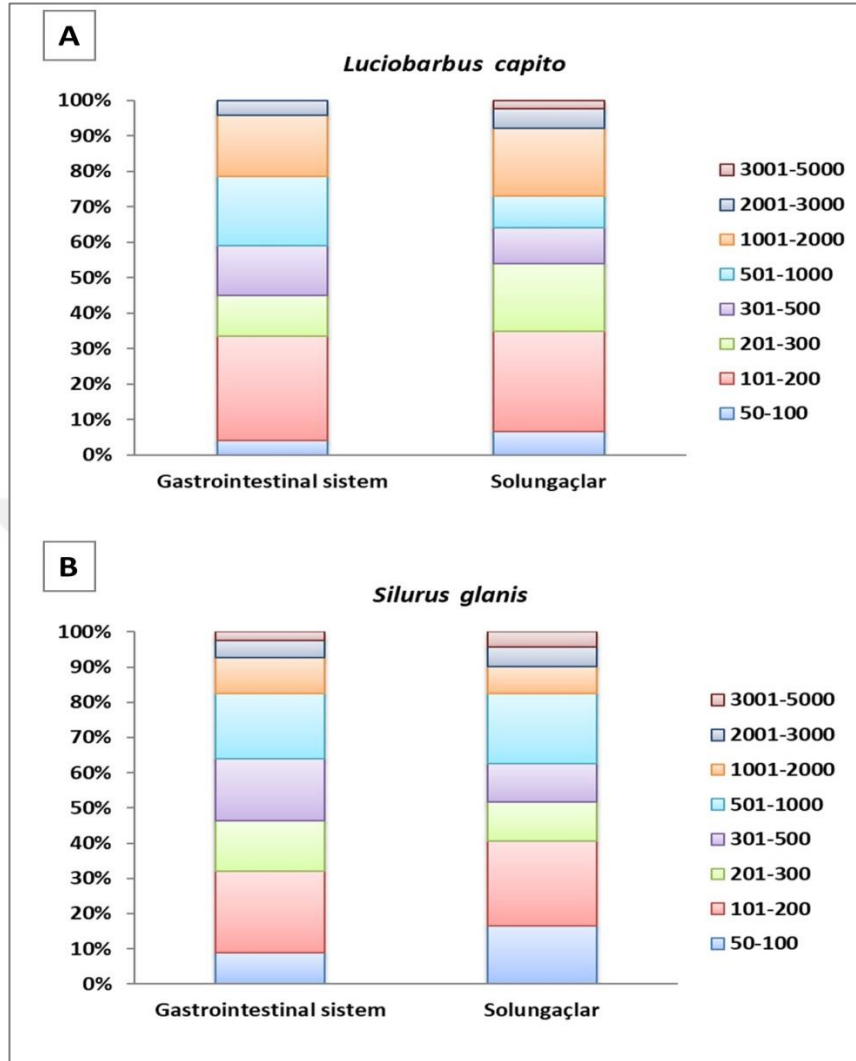
Şekil 4.5. Caner ve Yayın balıklarının gastrointestinal sistem ve solungaçlarında belirlenen film mikroplastiklerin mikroskop görüntüleri. Ölçek: 0,3 mm

Çalışmamızda dokular arası şekilsel dağılım dikkate alındığında *Luciobarbus capito* gastrointestinal dokularda %64,8 fiber, %34,4 fragman ve %0,8 film, solungaç dokularında % 66,3 fiber, %32,6 fragman ve % 1,1 film belirlendi (Şekil 4.6A). *Silurus glanis* türünde ise gastrointestinal dokularda %64,8 fiber, %32,8 fragman ve %2,4 fragment, solungaç dokularında %53,8 fiber, %41,8 fragman ve %4,4 film tespit edildi (Şekil 4.6B). Çalışmamız Aras Nehrin’de yayılış gösteren bu iki demersal türdeki farklı dokularda baskın mikroplastik şeklinin fiber olarak bilinen iplikçikler olduğunu gösterdi.



Şekil 4.6. Caner (A) ve Yayın (B) balıklarının gastrointestinal sistem ve solungaçlarında belirlenen mikroplastik şekillerinin dağılımı

Boyutsal olarak mikroplastikler değerlendirilmelerinde ise Caner ve Yayın balıklarının farklı dokularının tamamında en fazla 101-200 μm boyutunda mikroplastikler belirlenmiştir (Şekil 4.7). Bu boyutun dağılımı ise caner balığı için gastrointestinal dokuda %29,5 ve solungaçlarda %28,1 iken yayın balığı için gastrointestinal dokuda %23,2 ve solungaçlarda %24,2 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.7). Her iki balık türünde en az rastlanan mikroplastik boyutları ise 3001-5000 μm aralığında bulunmuştur (Şekil 4.7).

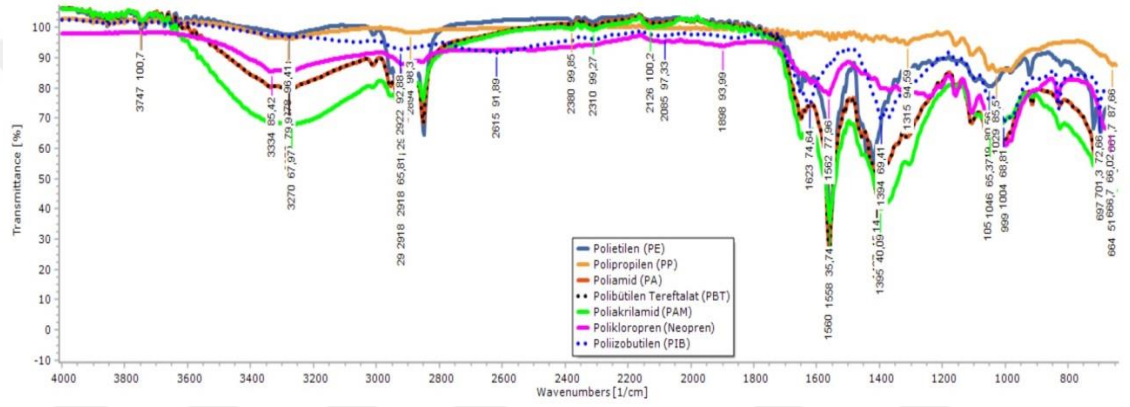


Şekil 4.7. Caner (A) ve Yayın (B) balıklarının gastrointestinal sistem ve solungaçlarında belirlenen mikroplastiklerin boyut dağılımı

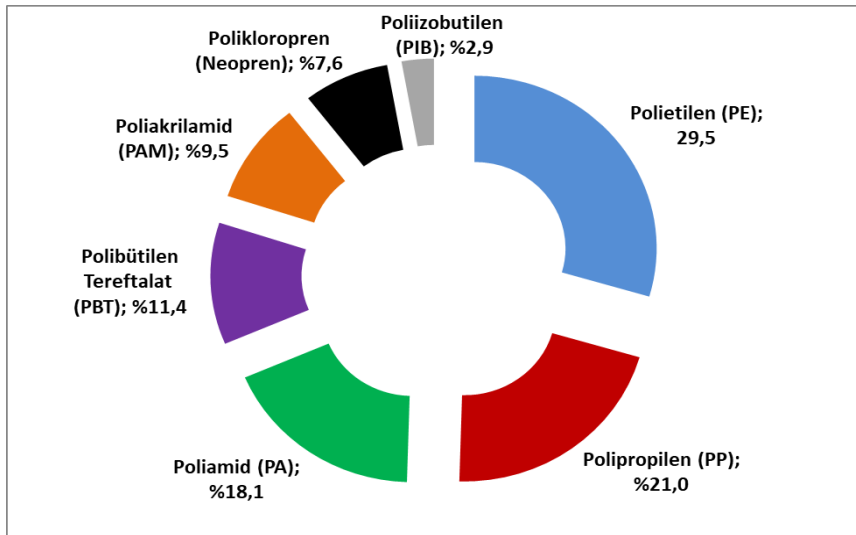
Çalışmamızda daha önce çalışmalara benzer şekilde belirlen toplam mikroplastiğin %10'undan az olmamak koşulu dikkate alınarak, bazı seçilen mikroparçacıkların polimer tipleri tespit edildi. Çalışmamızda demersal türdeki iki balıkta toplam 427 mikroplastik bulunmuş olup 105 tanesi (%24,6) ATR-FTIR ile analiz edilerek polimer tipinin dağılımı belirlendi (Şekil 4.8).

Analiz edilen polimerlerin dağılımı ise % 29,5 Polietilen (PE), % 21,0 Polipropilen (PP), %18,1 Poliamid (PA), % 11,4 Polibütillen Tereftalat (PBT), % 9,5 Poliakrilamid (PAM), % 7,6 Polikloropren (Neopren) ve % 2,9 Poliizobutilen (PIB) olarak hesaplandı (Şekil 4.8, 4.9). Tez çalışmasında yapılan FTIR analizine göre en

yüksek oranlarda belirlenen dört polimer tipinden PE, temel olarak 3746 cm^{-1} , 3277 cm^{-1} , 2917 cm^{-1} , 1557 cm^{-1} , 1049 cm^{-1} , ve 697,4 cm^{-1} 'i içeren FTIR spektrumlarında tepeler ile karakterize edildi (Şekil 4.8). PP için FTIR spektrumlarından tepe yapanlar 3747 cm^{-1} , 3278 cm^{-1} , 2894 cm^{-1} , 2380 cm^{-1} , 1315 cm^{-1} , 1029 cm^{-1} ve 661,7 cm^{-1} olarak karakterize edildi (Şekil 4.8). PA için tepe spektrumlar 3275 cm^{-1} , 2918 cm^{-1} , 1560 cm^{-1} , 1407 cm^{-1} , 1053 cm^{-1} , ve 664 cm^{-1} olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.8). PBT polimer tipi için zirve yapan spektrumlar 3275 cm^{-1} , 2918 cm^{-1} , 1560 cm^{-1} , 1407 cm^{-1} , 1053 cm^{-1} ve 664 cm^{-1} olarak belirlenmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. ATR-FTIR analiz sonucunda demersal balıklarda tespit edilen polimer tiplerinin spekturumları



Şekil 4.9. Demersal balık türlerindeki mikroplastiklerin polimer tiplerine ait yüzde dağılımı

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Tüm dünyada gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde plastik malzemeler, ucuz üretim maliyetleri, kolay şekil almaları ve dayanıklılıkları nedeniyle birçok malzemenin üretiminde yaygın olarak tercih edilmektedir (Gu vd., 2020). Bu nedenle üretim miktarı her geçen yıl daha fazla miktarlarda artmaktadır. Plastikler geri dönüştürülebilir malzemelerdir ancak yetersiz geri dönüşüm politikaları ve atık yönetim sistemleri nedeniyle doğaya karışmaktadırlar (Lebreton and Andrady, 2019). Bu plastikler doğada UV radyasyonu, rüzgâr, dalga, akarsu ile yıpranma gibi fizikokimyasal faktörler ile daha küçük parçalara ayrılarak mikroplastiklere (<5 mm) dönüşmektedirler (Jahnke vd., 2017).

Demersal balıklardan *Catostomus commersonii* türünde mikroplastik varlığı 0-14 MP/balık olarak bildirilmiştir (Wardlaw vd., 2022). Türkiye’de içsulara yaşayan ve zeminden beslenen sucul canlılarda ortalama MP miktarı *Pontastacus leptodactylus* için $11,9 \pm 9,7$ MP/birey olarak belirlenmiştir (Yücel and Kılıç, 2022). Tatlısu sistemleri üzerinde bulunan çiftliklerde yetiştirilen balıklarda da mikroplastik miktarı mide dokularında $12,80 \pm 13,37$ MP/balık olarak belirlenmiştir (Lam vd., 2022). Çalışmamızdaki ortalama mikroplastik miktarlarının (caner balığı; GS: $12,2 \pm 6,7$ MP/balık, S: $8,9 \pm 2,6$ MP/balık ve yayın balığı; GS: $12,5 \pm 2,7$ MP/balık, S: $9,1 \pm 4,2$ MP/balık) yapılan çalışmalara yakın olduğu görülmüştür. Çalışma sonuçlarımız tatlı su balıklarının nispeten yüksek miktarlarda MP'lere ve diğer antropojenik partiküllere maruz kaldığını gösteren diğer çalışmaların sonuçlarıyla tutarlıdır. Bununla birlikte çalışma sonuçlarımız tatlısulara yayılım gösteren bazı balık türlerinde farklılık göstermektedir. Türkiye’de çiftlik balıklarından gökkuşağı alabalıklarında yapılan bir çalışmada sindirim sistemlerinde ortalama MP miktarı $1,2 \pm 1,3$ MP/balık olarak tespit edilmiştir (Kılıç, 2022). Erzurum bölgesinde yapılan bir çalışmada *Squalius cephalus*, *Cyprinus carpio* ve *Alburnus mossulensis* için MPs miktarı sırasıyla $6,18 \pm 7,02$ MP/balık, $7 \pm 5,34$ MP/balık ve $6 \pm 5,60$ MP/balık olarak belirlendi (Atamanalp vd., 2022). Mikroplastik çalışmalarında balık dokularındaki MP miktarlarındaki farklılıklar olması kabul edilir bir durumdur. Çünkü balık dokularında mikroplastik miktarı birçok faktörün etkisi altındadır. Balığın yaşam ortamındaki MP miktarı, balığın beslenme şekli, balığın boyutu ve balığın türü mikroplastiklerin dokularda birikimini

etkilemektedir. Rummel vd., (2016) pelajik sucul canlıların %10,7'si mikroplastik içerdiğinden ve demersal balıkların %3,4'ü mikroplastik içerdiğini belirterek pelajik türlerin daha yüksek oranda mikroplastik alımı olduğunu iddia etmişlerdir. Türkiye'de yapılan bir çalışmada benzer şekilde pelajik balıklar farklı habitatlardaki balıklara göre daha fazla mikroplastik parçacık yuttukları bildirilmiş ve bu durum üzerine habitatın önemli bir etkisi olduğu belirtilmiştir (Güven vd., 2017). Diğer araştırmacılar ise pelajik ve demersal balıklar arasında % yutma oranında bir fark olmadığını bildirmişlerdir (Lusher vd., 2013; Phillips and Bonner, 2015).

Balık solungaçları anatomik yapısı nedeniyle fiber şekilde MP'leri daha fazla toplamaktadır. Ancak yinede balık sindirim sistemlerinde solungaçlardan daha fazla MP biriktirdiği görülmektedir (Harikrishnan vd., 2023). Çalışmamızda solungaçlardaki yüksek orandaki fiber mikroplastiklerin baskın olması solungaçların tarak şeklindeki yapısı ile fiberleri daha kolay toplamasından kaynaklamakta olup her iki balık türünde sindirim sisteminde MP bolluğunun solungaçlardan fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu tür MP'lerin birikmesinin, uzun vadede besin zincirinin istikrarını ve yapısını bozabilir (Meng vd., 2020; Xu vd., 2020). Balık dokularındaki bu birikme özellikle insan tüketimi için olan kaslarda arttığında insan gibi üst düzey tüketicilerde sağlık etkilerine yol açabilir ve gıda güvenliğini etkileyebilir (Alak vd., 2021; Amelia vd., 2021).

Balıklar tarafından yutulan en yaygın plastik türlerinin PE, PP, PS, PA ve PET olduğunu yapılan bir derlemede ortaya konulmuştur (Sequeira vd., 2020). Türkiye'de Rize bölgesinde akarsularda sediment örneklerinde, polipropilen (PP) ve polietilen (PE) baskın kirleticiler olarak bildirilmiştir (Karaoğlu and Gül, 2020). Polietilen birçok endüstride kullanılmaktadır ve tatlı su sistemlerinde varlığı gittikçe artıran, en çok üretilen polimer türlerinden biridir (Digka vd., 2018). Çalışmamızda zemine yakın yaşayan Caner ve Yayın balıklarının farklı dokularındaki polimer tiplerine bakıldığında en yüksek oranların polietilen ve polipropilen olduğu görülmüştür. Bu duruma balıklardaki mikroplastik varlığının balığın yayılım gösterdiği ve beslendiği su bölgesinin etkisinin olduğu söylenebilir. PE karakterizasyonu incelendiğinde sırasıyla –CH₂– 'deki C–H asimetric ve C–H simetric gerilme titreşimleri nedeniyle 2920 ve 2852 cm⁻¹ spektrumları iki büyük absorpsiyon zirvesine sahip olduğu bildirilmiştir (De Geyter vd., 2008). Çalışmamızda PE mikroplastiklerinin FTIR sonuçlarında benzer

şekilde 2917 cm^{-1} spektrumu zirve yaptığı görülmüştür. Bazı çalışmalarda 2918 cm^{-1} dalga numarasında belirgin zirve gözlenmiş olup bu zirve PE tipi polimerde bulunan doğal bağlara karşılık geldiği bildirilmiştir (Gulmine vd., 2002).

Türkiye iç sularında yayılım gösteren ve zeminden beslenen *Pontastacus leptodactylus* kerevit türünde mikroplastik varlığına bakıldığında en baskın mikroplastik rengi siyah ve en baskın şekil fiber olduğu gösterilmiştir (Yücel and Kılıç, 2022). Çalışmamızda her iki demersal balık türünde benzer şekilde baskın mikroplastik rengi siyah ve baskın MP şekli fiber olarak bulunmuştur.

Iran bölgesinde Aras Nehri'nin su ve sediment numunelerinde yapılan bir çalışmada mikroplastik varlığı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda MP boyutu 0,1-5 mm arasında ve fiber (%53,5), siyah renk (%24) ve PE polimeri (%36,6) baskın olduğu bildirilmiştir (Vayghan vd., 2022). Iran bölgesinde yapılan bu çalışma tez çalışmamızdaki balık dokularında tespit edilen mikroplastik varlığını desteklemektedir. Çünkü Aras Nehrin'deki özellikle sediment mikroplastik varlığı dipten beslenen tez çalışmasında kullandığımız *Luciobarbus capito* ve *Silurus glanis* türlerindeki mikroplastik bolluğunu açıklayabilir. Tez çalışmamızda baskın mikroplastik özelliklerine bakıldığında Irandaki çalışma ile benzer sonuçlar (MP boyutu 101-300 μm , MP şekli fiber, MP rengi siyah ve MP polimer tipi PE) elde ettiğimizde de görülmektedir. Çalışmamızdaki MP baskın boyutunun (101-300 μm) Aras Nehrinde rapor edilen boyuttan (0,1-5 mm) küçük olma nedenlerinden biri Aras Nehrinde yayılım gösteren amfipodların (*Gammarus duebeni*) olduğu düşünülmektedir. Çünkü araştırmalar *Gammarus duebeni* türünün mikroplastikleri daha küçük parçacıklara ayırarak hızlı parçalanmaya yol açtığını bildirilmiştir (Brahney vd., 2020; Mateos-Cárdenas vd., 2020).

Bu tez çalışması Aras Nehri'nde yayılım gösteren ticari önemi olan demersal balık türlerinde mikroplastik varlığı tespit edilmiştir. Bu tez çalışması daha sonraki mikroplastik çalışmalarına önemli veri sağlayabilecek öncü niteliğe sahiptir. Ancak Aras Nehri'nden su ve sediment örnekleri, bu nehir sisteminde yayılım gösteren diğer sucul canlılardan örnek popülasyonu artırılarak daha kapsamlı bir mikroplastik tespit etme çalışması yapılmalı ve mikroplastik miktarı, karakterizasyonu ve dağılımı hakkında daha detaylı veriler sunulması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abbasi, S., Soltani, N., Keshavarzi, B., Moore, F., Turner, A., & Hassanaghaei, M., (2018). ***Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf***. Chemosphere, 205, 80-87.
- Akindele, E. O., Ehlers, S. M., & Koop, J. H., (2019). ***First empirical study of freshwater microplastics in West Africa using gastropods from Nigeria as bioindicators***. Limnologica, 78, 125708.
- Alak, G., Köktürk, M., & Atamanalp, M., (2021). ***Evaluation of different packaging methods and storage temperature on MPs abundance and fillet quality of rainbow trout***. Journal of Hazardous Materials, 420, 126573.
- Amelia, T. S. M., Khalik, W. M. A. W. M., Ong, M. C., Shao, Y. T., Pan, H. J., & Bhupalan, K., (2021). ***Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem and humans***. Progress in Earth and Planetary Science, 8(1), 1-26.
- Anderson, J. C., Park, B. J., & Palace, V. P., (2016). ***Microplastics in aquatic environments: implications for Canadian ecosystems***. Environmental Pollution, 218, 269-280.
- Andrady, A. L., (2017). ***The plastic in microplastics: A review***. Marine Pollution Bulletin, 119(1), 12-22.
- Atamanalp, M., Köktürk, M., Parlak, V., Ucar, A., Arslan, G., & Alak, G., (2022). ***A new record for the presence of microplastics in dominant fish species of the Karasu River Erzurum, Turkey***. Environmental Science and Pollution Research, 29(5), 7866-7876.
- Atamanalp, M., Köktürk, M., Uçar, A., Duyar, H. A., Özdemir, S., Parlak, V., Esenbuğa, N., & Alak, G., (2021). ***Microplastics in tissues (brain, gill, muscle and gastrointestinal) of Mullus barbatus and Alosa immaculata***. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 81(3), 460-469.

- Auta, H. S., Emenike, C. U., & Fauziah, S. H., (2017). ***Distribution and importance of microplastics in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potential solutions.*** Environment international, 102, 165-176.
- Avio, C. G., Gorbi, S., & Regoli, F., (2015). ***Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: first observations in commercial species from Adriatic Sea.*** Marine environmental research, 111, 18-26.
- Aytan, U., Esensoy, F. B., & Senturk, Y., (2022). ***Microplastic ingestion and egestion by copepods in the Black Sea.*** Science of The Total Environment, 806, 150921.
- Barboza, L. G. A., Lopes, C., Oliveira, P., Bessa, F., Otero, V., Henriques, B., Raimundo, J., Caetano, M., Vale, C., & Guilhermino, L., (2020). ***Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure.*** Science of the Total Environment, 717, 134625.
- Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M., (2009). ***Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments.*** Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364(1526), 1985-1998.
- Barrows, A. P. W., Cathey, S. E., & Petersen, C. W., (2018). ***Marine environment microfiber contamination: Global patterns and the diversity of microparticle origins.*** Environmental Pollution, 237, 275-284.
- Baumann, L., Schmidt-Posthaus, H., Segner, H., & Wolf, J. C., (2016). ***Comment on “uptake and accumulation of polystyrene microplastics in zebrafish (Danio rerio) and toxic effects in liver”.*** Environmental science & technology, 50(22), 12521-12522.

- Bordós, G., Urbányi, B., Micsinai, A., Kriszt, B., Palotai, Z., Szabó, I., Hantosi, Z., & Szoboszlai, S., (2019). ***Identification of microplastics in fish ponds and natural freshwater environments of the Carpathian basin, Europe.*** Chemosphere, 216, 110-116.
- Brahney, J., Hallerud, M., Heim, E., Hahnenberger, M., & Sukumaran, S., (2020). ***Plastic rain in protected areas of the United States.*** Science, 368(6496), 1257-1260.
- Brandsch, J., & Piringer, O., (2000). ***Characteristics of plastic materials.*** Plastic packaging materials for food: Barrier function, mass transport, quality assurance, and legislation, 9-45.
- Buwono, N. R., Risjani, Y., & Soegianto, A., (2022). ***Spatio-temporal patterns of occurrence of microplastics in the freshwater fish Gambusia affinis from the Brantas River, Indonesia.*** Environmental Pollution, 119958.
- Chan, H. S. H., Dingle, C., & Not, C., (2019). ***Evidence for non-selective ingestion of microplastic in demersal fish.*** Marine pollution bulletin, 149, 110523.
- Chen, C. C., Shi, Y., Zhu, Y., Zeng, J., Qian, W., Zhou, S., Ma, J., Pan, K., Jiang, Y., Tao, Y., & Zhu, X., (2022). ***Combined toxicity of polystyrene microplastics and ammonium perfluorooctanoate to Daphnia magna: Mediation of intestinal blockage.*** Water Research, 219, 118536.
- Chen, Q., Reisser, J., Cunsolo, S., Kwadijk, C., Kotterman, M., Proietti, M., Slat, B., Ferrari, F. F., Schwarz, A., Levivier, A., Yin, D., Hollert, H., & Koelmans, A. A., (2018). ***Pollutants in plastics within the north Pacific subtropical gyre.*** Environmental science & technology, 52(2), 446-456.
- Conkle, J. L., Del Valle, C. D. B., & Turner, J. W., (2018). ***Are we underestimating microplastic contamination in aquatic environments?.*** Environmental management, 61(1), 1-8.
- Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F., & Dudas, S. E., (2019). ***Human consumption of microplastics.*** Environmental science & technology, 53(12), 7068-7074.

- Davis, M. H., & Gaskell, M. G., (2009). ***A complementary systems account of word learning: neural and behavioural evidence.*** Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364(1536), 3773-3800.
- De Geyter, N., Morent, R., & Leys, C., (2008). ***Surface characterization of plasma-modified polyethylene by contact angle experiments and ATR-FTIR spectroscopy.*** Surface and Interface Analysis: An International Journal devoted to the development and application of techniques for the analysis of surfaces, interfaces and thin films, 40(3-4), 608-611.
- De Marco, G., Conti, G. O., Giannetto, A., Cappello, T., Galati, M., Iaria, C., Pulvirenti, E., Capparucci, F., Mauceri, A., Ferrante, M., & Maisano, M., (2022). ***Embryotoxicity of polystyrene microplastics in zebrafish Danio rerio.*** Environmental Research, 208, 112552.
- Dehaut, A., Cassone, A. L., Frère, L., Hermabessiere, L., Himber, C., Rinnert, E., Rivière, G., Lambert, C., Soudant, P., Huvet, A., Duflos, G., & Paul-Pont, I., (2016). ***Microplastics in seafood: Benchmark protocol for their extraction and characterization.*** Environmental Pollution, 215, 223-233.
- Deng, H., Wei, R., Luo, W., Hu, L., Li, B., & Shi, H., (2020). ***Microplastic pollution in water and sediment in a textile industrial area.*** Environmental Pollution, 258, 113658.
- Deng, Y., Zhang, Y., Qiao, R., Bonilla, M. M., Yang, X., Ren, H., & Lemos, B., (2018). ***Evidence that microplastics aggravate the toxicity of organophosphorus flame retardants in mice (Mus musculus).*** Journal of hazardous materials, 357, 348-354.
- Derraik, J. G., (2002). ***The pollution of the marine environment by plastic debris: a review.*** Marine pollution bulletin, 44(9), 842-852.
- Digka, N., Tsangaris, C., Torre, M., Anastasopoulou, A., & Zeri, C., (2018). ***Microplastics in mussels and fish from the Northern Ionian Sea.*** Marine Pollution Bulletin, 135, 30-40.

- Driedger, A. G., Dürr, H. H., Mitchell, K., & Van Cappellen, P., (2015). ***Plastic debris in the Laurentian Great Lakes: a review.*** Journal of Great Lakes Research, 41(1), 9-19.
- Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., & Tassin, B., (2016). ***Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment?.*** Marine pollution bulletin, 104(1-2), 290-293.
- Eryaşar, A. R., Gedik, K., & Mutlu, T., (2022). ***Ingestion of microplastics by commercial fish species from the southern Black Sea coast.*** Marine Pollution Bulletin, 177, 113535.
- Estahbanati, S., & Fahrenfeld, N. L., (2016). ***Influence of wastewater treatment plant discharges on microplastic concentrations in surface water.*** Chemosphere, 162, 277-284.
- Fischer, E. K., Paglialonga, L., Czech, E., & Tamminga, M., (2016). ***Microplastic pollution in lakes and lake shoreline sediments—a case study on Lake Bolsena and Lake Chiusi (central Italy).*** Environmental pollution, 213, 648-657.
- Frias, J. P., & Nash, R., (2019). ***Microplastics: Finding a consensus on the definition.*** Marine pollution bulletin, 138, 145-147.
- Frias, J., Pagter, E., Nash, R., O'Connor, I., Carretero, O., Filgueiras, A., Viñas, L., Gago, J., Antunes, J., Bessa, F., Sobral, P., Goruppi, A., Tirelli, V., Pedrotti, M. L., Suaria, G., Aliani, S., Lopes, C., Raimundo, J., Caetano, M., & Gerdtts, G., (2018). ***Standardised protocol for monitoring microplastics in sediments.*** Deliverable 4.2.
- Gu, Y., Zhao, J., & Johnson, J. A., (2020). ***Polymer networks: from plastics and gels to porous frameworks.*** Angewandte Chemie International Edition, 59(13), 5022-5049.
- Gulmine, J. V., Janissek, P. R., Heise, H. M., & Akcelrud, L., (2002). ***Polyethylene characterization by FTIR.*** Polymer testing, 21(5), 557-563.

- Güven, O., Gökdağ, K., Jovanović, B., & Kıdeys, A. E., (2017). ***Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish.*** Environmental Pollution, 223, 286-294.
- Harikrishnan, T., Janardhanam, M., Sivakumar, P., Sivakumar, R., Rajamanickam, K., Raman, T., Thangavelu, M., Muthusamy, G., & Singaram, G., (2023). ***Microplastic contamination in commercial fish species in southern coastal region of India.*** Chemosphere, 313, 137486.
- Heshmati, S., Makhdoumi, P., Pirsahab, M., Hossini, H., Ahmadi, S., & Fattahi, H., (2021). ***Occurrence and characterization of microplastic content in the digestive system of riverine fishes.*** Journal of Environmental Management, 299, 113620.
- Horton, A. A., & Dixon, S. J., (2018). ***Microplastics: An introduction to environmental transport processes.*** Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 5(2), e1268.
- Hossain, M. S., Sobhan, F., Uddin, M. N., Sharifuzzaman, S. M., Chowdhury, S. R., Sarker, S., & Chowdhury, M. S. N., (2019). ***Microplastics in fishes from the Northern Bay of Bengal.*** Science of The Total Environment, 690, 821-830.
- Imhof, H. K., & Laforsch, C., (2016). ***Hazardous or not—Are adult and juvenile individuals of Potamopyrgus antipodarum affected by non-buoyant microplastic particles?.*** Environmental Pollution, 218, 383-391.
- Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J., & Shi, H., (2017). ***Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China.*** Environmental Pollution, 221, 141-149.
- Jahnke, A., Arp, H. P. H., Escher, B. I., Gewert, B., Gorokhova, E., Kühnel, D., Ogonowski, M., Potthoff, A., Rummel, C., Schmitt-Jansen, M., Toorman, E., & MacLeod, M., (2017). ***Reducing uncertainty and confronting ignorance about the possible impacts of weathering plastic in the marine environment.*** Environmental Science & Technology Letters, 4(3), 85-90.

- Joyce, P. W., & Falkenberg, L. J., (2023). ***Microplastic abundances in co-occurring marine mussels: species and spatial differences***. Regional Studies in Marine Science, 57, 102730.
- Karami, A., Golieskardi, A., Ho, Y. B., Larat, V., & Salamatina, B., (2017). ***Microplastics in eviscerated flesh and excised organs of dried fish***. Scientific reports, 7(1), 1-9.
- Karaoğlu, K., & Gül, S., (2020). ***Characterization of microplastic pollution in tadpoles living in small water-bodies from Rize, the northeast of Turkey***. Chemosphere, 255, 126915.
- Karthik, R., Robin, R.S., Purvaja, R., Ganguly, D., Anandavelu, I., Raghuraman, R., Hariharan, G., Ramakrishna, A., & Ramesh, R., (2018). ***Microplastics along the beaches of southeast coast of India***. Science of The Total Environment, 645, 1388-1399.
- Kaya, C., (2020). ***New record of three freshwater fish species from a western drainage of Lake Urmia for the Turkish fauna***. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37(4), 325-328.
- Kaya, C., Bayçelebi, E., & Turan, D., (2020). ***Taxonomic assessment and distribution of fishes in upper Kura and Aras river drainages***. Zoosystematics and Evolution, 96, 325.
- Khan, F. R., Shashoua, Y., Crawford, A., Drury, A., Sheppard, K., Stewart, K., & Sculthorp, T., (2020). ***'The plastic Nile': First evidence of microplastic contamination in fish from the Nile river (Cairo, Egypt)***. Toxics, 8(2), 22.
- Kılıç, E., & Yücel, N., (2022). ***Microplastic occurrence in the gastrointestinal tract and gill of bioindicator fish species in the northeastern Mediterranean***. Marine Pollution Bulletin, 177, 113556.
- Kılıç, E., (2022). ***Microplastic ingestion evidence by economically important farmed fish species from Turkey***. Marine Pollution Bulletin, 183, 114097.

- Kılıç, E., Yücel, N., & Şahutoğlu, S. M., (2022). ***First record of microplastic occurrence at the commercial fish from Orontes River.*** Environmental Pollution, 307, 119576.
- Koraltan, İ., Mavruk, S., & Güven, O., (2022). ***Effect of biological and environmental factors on microplastic ingestion of commercial fish species.*** Chemosphere, 135101.
- Lam, T. W. L., Fok, L., Ma, A. T. H., Li, H. X., Xu, X. R., Cheung, L. T. O., & Wong, M. H., (2022). ***Microplastic contamination in marine-cultured fish from the Pearl River Estuary, South China.*** Science of The Total Environment, 827, 154281.
- Lambert, S., & Wagner, M., (2018). ***Microplastics are contaminants of emerging concern in freshwater environments: an overview.*** Freshwater microplastics, 1-23.
- Lambert, S., (2013) ***Environmental risk of polymers and their degradation products.*** PhD thesis, University of York.
- Lebreton, L., & Andrady, A., (2019). ***Future scenarios of global plastic waste generation and disposal.*** Palgrave Communications, 5(1), 1-11.
- Lebreton, L., Van Der Zwet, J., Damsteeg, J. W., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J., (2017). ***River plastic emissions to the world's oceans.*** Nature communications, 8(1), 1-10.
- Lei, L., Wu, S., Lu, S., Liu, M., Song, Y., Fu, Z., Shi, H., Raley-Susman, K. M., & He, D., (2018). ***Microplastic particles cause intestinal damage and other adverse effects in zebrafish *Danio rerio* and nematode *Caenorhabditis elegans*.*** Science of the total environment, 619, 1-8.
- Li, H., Wu, Q., Ng, J., Yu, D., Chan, S. H., & Li, A., (2022a). ***Identification and quantification of common microplastics in table salts by a multi-technique-based analytical method.*** Analytical and Bioanalytical Chemistry, 1-10.

- Li, W. C., Tse, H. F., & Fok, L., (2016). ***Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects***. Science of the total environment, 566, 333-349.
- Li, Y., Peng, L., Fu, J., Dai, X., & Wang, G., (2022b). ***A microscopic survey on microplastics in beverages: the case of beer, mineral water and tea***. Analyst, 147(6), 1099-1105.
- Lusher, A. L., Mchugh, M., & Thompson, R. C., (2013). ***Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel***. Marine pollution bulletin, 67(1-2), 94-99.
- MacArthur, D. E., Waughray, D., & Stuchtey, M. R., (2016). ***The new plastics economy, rethinking the future of plastics***. In World Economic Forum. London, UK: Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company.
- Mateos-Cárdenas, A., O'Halloran, J., van Pelt, F. N., & Jansen, M. A., (2020). ***Rapid fragmentation of microplastics by the freshwater amphipod Gammarus duebeni (Lillj.)***. Scientific reports, 10(1), 1-12.
- McNeish, R. E., Kim, L. H., Barrett, H. A., Mason, S. A., Kelly, J. J., & Hoellein, T. J., (2018). ***Microplastic in riverine fish is connected to species traits***. Scientific reports, 8(1), 1-12.
- Meng, Y., Kelly, F. J., & Wright, S. L., (2020). ***Advances and challenges of microplastic pollution in freshwater ecosystems: A UK perspective***. Environmental Pollution, 256, 113445.
- Miloloža, M., Kučić Grgić, D., Bolanča, T., Ukić, Š., Cvetnić, M., Ocelić Bulatović, V., Dionysiou, D. D., & Kušić, H., (2020). ***Ecotoxicological assessment of microplastics in freshwater sources—A review***. Water, 13(1), 56.
- Mintenig, S. M., Kooi, M., Erich, M. W., Primpke, S., Redondo-Hasselerharm, P. E., Dekker, S. C., Koelmans, A. A., & Van Wezel, A. P., (2020). ***A systems approach to understand microplastic occurrence and variability in Dutch riverine surface waters***. Water research, 176, 115723.

- Naidoo, T., Thompson, R. C., & Rajkaran, A., (2020). ***Quantification and characterisation of microplastics ingested by selected juvenile fish species associated with mangroves in KwaZulu-Natal, South Africa***. *Environmental Pollution*, 257, 113635.
- Nel, H. A., Dalu, T., & Wasserman, R. J., (2018). ***Sinks and sources: Assessing microplastic abundance in river sediment and deposit feeders in an Austral temperate urban river system***. *Science of the Total Environment*, 612, 950-956.
- Nizzetto, L., Bussi, G., Futter, M. N., Butterfield, D., & Whitehead, P. G., (2016a). ***A theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments***. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 18(8), 1050-1059.
- Nizzetto, L., Futter, M., & Langaas, S., (2016b). ***Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin?***. *Environ. Sci. Technol.*, 50, pp. 10777-11077.
- Ogonowski, M., Schür, C., Jarsén, Å., & Gorokhova, E., (2016). ***The effects of natural and anthropogenic microparticles on individual fitness in Daphnia magna***. *PloS one*, 11(5), e0155063.
- Park, T. J., Lee, S. H., Lee, M. S., Lee, J. K., Lee, S. H., & Zoh, K. D., (2020). ***Occurrence of microplastics in the Han River and riverine fish in South Korea***. *Science of the Total Environment*, 708, 134535.
- Phillips, M. B., & Bonner, T. H., (2015). ***Occurrence and amount of microplastic ingested by fishes in watersheds of the Gulf of Mexico***. *Marine pollution bulletin*, 100(1), 264-269.
- Plastics Europe., (2016). ***Plastics - The Facts 2016: An Analysis of European Plastics Production***, Demand and Waste Data. Plastics Europe.
- Prokić, M. D., Radovanović, T. B., Gavrić, J. P., & Faggio, C., (2019). ***Ecotoxicological effects of microplastics: Examination of biomarkers, current state and future perspectives***. *TrAC Trends in analytical chemistry*, 111, 37-46.

- Qi, K., Lu, N., Zhang, S., Wang, W., Wang, Z., & Guan, J., (2021). ***Uptake of Pb (II) onto microplastic-associated biofilms in freshwater: adsorption and combined toxicity in comparison to natural solid substrates.*** Journal of Hazardous Materials, 411, 125115.
- Rezania, S., Park, J., Din, M. F. M., Taib, S. M., Talaiekhosani, A., Yadav, K. K., & Kamyab, H., (2018). ***Microplastics pollution in different aquatic environments and biota: A review of recent studies.*** Marine pollution bulletin, 133, 191-208.
- Rodrigues, M. O., Abrantes, N., Gonçalves, F. J. M., Nogueira, H., Marques, J. C., & Gonçalves, A. M. M., (2018a). ***Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a freshwater system (Antuã River, Portugal).*** Science of the total environment, 633, 1549-1559.
- Rodrigues, M. O., Gonçalves, A. M. M., Gonçalves, F. J. M., Nogueira, H., Marques, J. C., & Abrantes, N., (2018b). ***Effectiveness of a methodology of microplastics isolation for environmental monitoring in freshwater systems.*** Ecological Indicators, 89, 488-495.
- Rummel, C. D., Löder, M. G., Fricke, N. F., Lang, T., Griebeler, E. M., Janke, M., & Gerdt, G., (2016). ***Plastic ingestion by pelagic and demersal fish from the North Sea and Baltic Sea.*** Marine pollution bulletin, 102(1), 134-141.
- Saad, D., Chauke, P., Cukrowska, E., Richards, H., Nikiema, J., Chimuka, L., & Tutu, H., (2022). ***First biomonitoring of microplastic pollution in the Vaal river using Carp fish (Cyprinus carpio)“as a bio-indicator”.*** Science of The Total Environment, 836, 155623.
- Samandra, S., Mescall, O. J., Plaisted, K., Symons, B., Xie, S., Ellis, A. V., & Clarke, B. O., (2022). ***Assessing exposure of the Australian population to microplastics through bottled water consumption.*** Science of The Total Environment, 837, 155329.

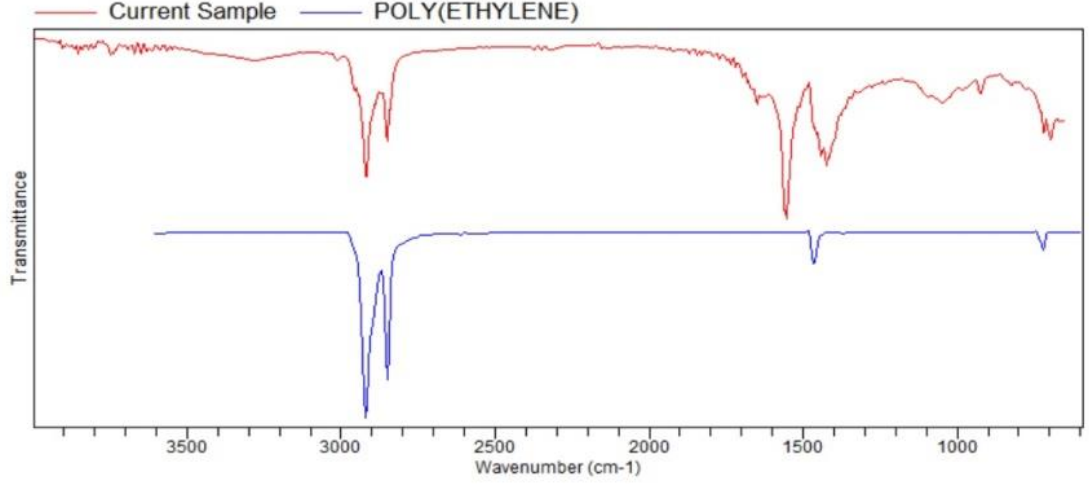
- Santos, D., Perez, M., Perez, E., Cabecinha, E., Luzio, A., Félix, L., Monteiro, S. M., & Bellas, J., (2022). ***Toxicity of microplastics and copper, alone or combined, in blackspot seabream (Pagellus bogaraveo) larvae.*** Environmental Toxicology and Pharmacology, 91, 103835.
- Sathish, M. N., Jeyasanta, I., & Patterson, J., (2020). ***Occurrence of microplastics in epipelagic and mesopelagic fishes from Tuticorin, Southeast coast of India.*** Science of The Total Environment, 720, 137614.
- Scherer, C., Weber, A., Lambert, S., & Wagner, M., (2018). ***Interactions of microplastics with freshwater biota.*** In Freshwater microplastics (pp. 153-180). Springer, Cham.
- Schmidt, C., Krauth, T., & Wagner, S., (2017). ***Export of plastic debris by rivers into the sea.*** Environmental science & technology, 51(21), 12246-12253.
- Schmidt, C., Kumar, R., Yang, S., & Büttner, O., (2020). ***Microplastic particle emission from wastewater treatment plant effluents into river networks in Germany: Loads, spatial patterns of concentrations and potential toxicity.*** Science of the Total Environment, 737, 139544.
- Sequeira, I. F., Prata, J. C., da Costa, J. P., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T., (2020). ***Worldwide contamination of fish with microplastics: A brief global overview.*** Marine Pollution Bulletin, 160, 111681.
- Sun, S., Jin, Y., Luo, P., & Shi, X., (2022). ***Polystyrene microplastics induced male reproductive toxicity and transgenerational effects in freshwater prawn.*** Science of The Total Environment, 842, 156820.
- Ta, A. T., Pupuang, P., Babel, S., & Wang, L. P., (2022). ***Investigation of microplastic contamination in blood cockles and green mussels from selected aquaculture farms and markets in Thailand.*** Chemosphere, 303, 134918.
- Tunçer, S., Artüz, O. B., Demirkol, M., & Artüz, M. L., (2018). ***First report of occurrence, distribution, and composition of microplastics in surface waters of the Sea of Marmara, Turkey.*** Marine pollution bulletin, 135, 283-289.

- Vandermeersch, G., Van Cauwenberghe, L., Janssen, C. R., Marques, A., Granby, K., Fait, G., Kotterman, M.J.J., Diogène, J., Bekaert, K., Robbens J., & Devriese, L., (2015). ***A critical view on microplastic quantification in aquatic organisms.*** Environmental Research, 143, 46-55.
- Vannela, R., (2012). ***Are we “digging our own grave” under the oceans? Biosphere-level effects and global policy challenge from plastic (s) in oceans.*** Environmental Science & Technology, 46, 7932–7933.
- Vayghan, A. H., Rasta, M., Zakeri, M., & Kelly, F. J., (2022). ***Spatial distribution of microplastics pollution in sediments and surface waters of the Aras River and reservoir: An international river in Northwestern Iran.*** Science of The Total Environment, 843, 156894.
- Villarrubia-Gómez, P., Cornell, S. E., & Fabres, J., (2018). ***Marine plastic pollution as a planetary boundary threat–The drifting piece in the sustainability puzzle.*** Marine Policy, 96, 213-220.
- Vlachopoulos, J., & Strutt, D., (2003). ***The role of rheology in polymer extrusion.*** In New Technology for Extrusion Conference (pp. 20-21). Milan: Italy.
- Wang, H., Wang, Y., Wang, Q., Lv, M., Zhao, X., Ji, Y., Han, X., Wang, X., & Chen, L., (2022). ***The combined toxic effects of polyvinyl chloride microplastics and di (2-ethylhexyl) phthalate on the juvenile zebrafish (Danio rerio).*** Journal of Hazardous Materials, 129711.
- Wang, S., Zhang, C., Pan, Z., Sun, D., Zhou, A., Xie, S., Wang, J., & Zou, J., (2020). ***Microplastics in wild freshwater fish of different feeding habits from Beijiang and Pearl River Delta regions, south China.*** Chemosphere, 258, 127345.
- Wardlaw, C. M., Corcoran, P. L., & Neff, B. D., (2022). ***Factors influencing the variation of microplastic uptake in demersal fishes from the upper Thames River Ontario.*** Environmental Pollution, 313, 120095.

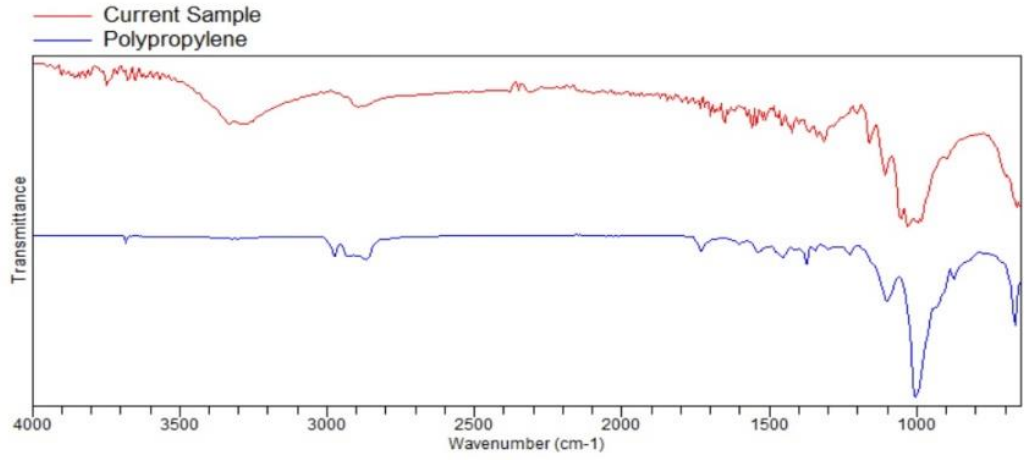
- Winkler, A., Antonioli, D., Masseroni, A., Chiarcos, R., Laus, M., & Tremolada, P., (2022). *Following the fate of microplastic in four abiotic and biotic matrices along the Ticino River (North Italy)*. Science of The Total Environment, 823, 153638.
- Wright, S. L., & Kelly, F. J., (2017). *Plastic and human health: a micro issue?*. Environmental science & technology, 51(12), 6634-6647.
- Xia, W., Rao, Q., Deng, X., Chen, J., & Xie, P., (2020). *Rainfall is a significant environmental factor of microplastic pollution in inland waters*. Science of the Total Environment, 732, 139065.
- Xu, S., Ma, J., Ji, R., Pan, K., & Miao, A. J., (2020). *Microplastics in aquatic environments: occurrence, accumulation, and biological effects*. Science of the Total Environment, 703, 134699.
- Yozukmaz, A., (2021). *Investigation of microplastics in edible wild mussels from Izmir Bay (Aegean Sea, Western Turkey): A risk assessment for the consumers*. Marine Pollution Bulletin, 171, 112733.
- Yücel, N., & Kılıç, E., (2022). *Microplastic contamination in the freshwater crayfish Pontastacus leptodactylus (Eschscholtz, 1823)*. Marine Pollution Bulletin, 185, 114337.
- Zhang, C., Wang, S., Sun, D., Pan, Z., Zhou, A., Xie, S., Wang, J., & Zou, J., (2020). *Microplastic pollution in surface water from east coastal areas of Guangdong, South China and preliminary study on microplastics biomonitoring using two marine fish*. Chemosphere, 127202.
- Ziino, G., Nalbone, L., Giarratana, F., Romano, B., Cincotta, F., & Panebianco, A., (2021). *Microplastics in vacuum packages of frozen and glazed icefish (Neosalanx spp.): A freshwater fish intended for human consumption*. Italian Journal of Food Safety, 10(4).

EKLER

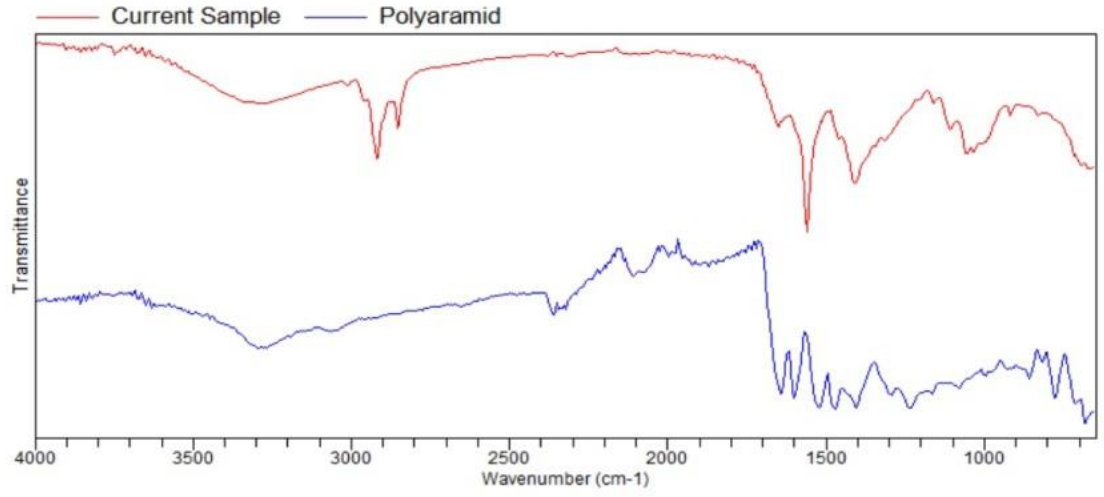
Ek 1 ATR-FTIR kütüphane Polietilen (PE) karşılaştırması



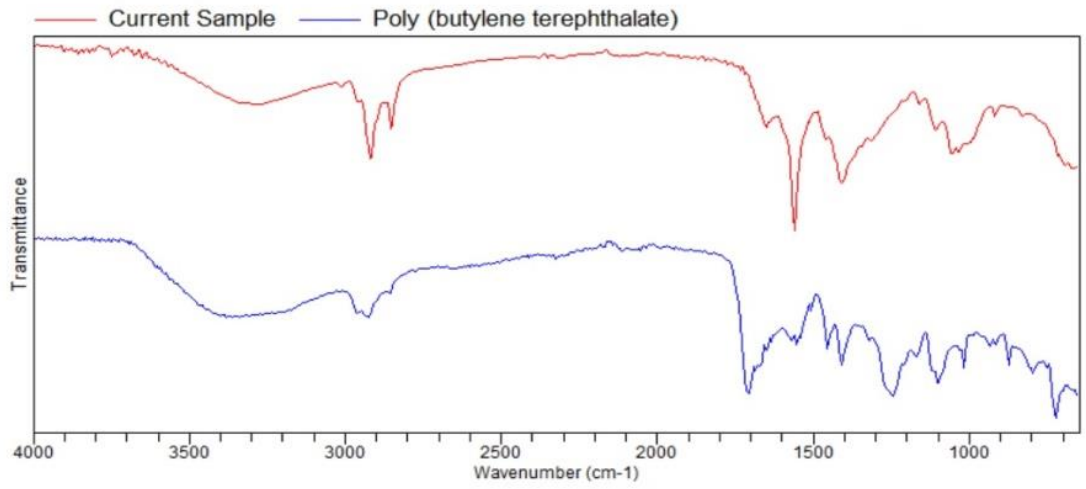
Ek 2 ATR-FTIR kütüphane Polipropilen (PP) karşılaştırması



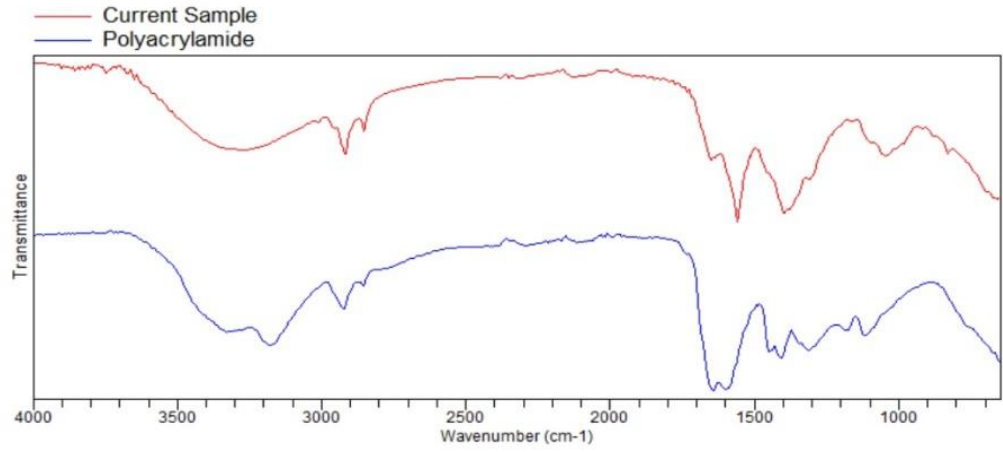
Ek 3 ATR-FTIR kütüphane Poliamid (PA) karşılaştırması



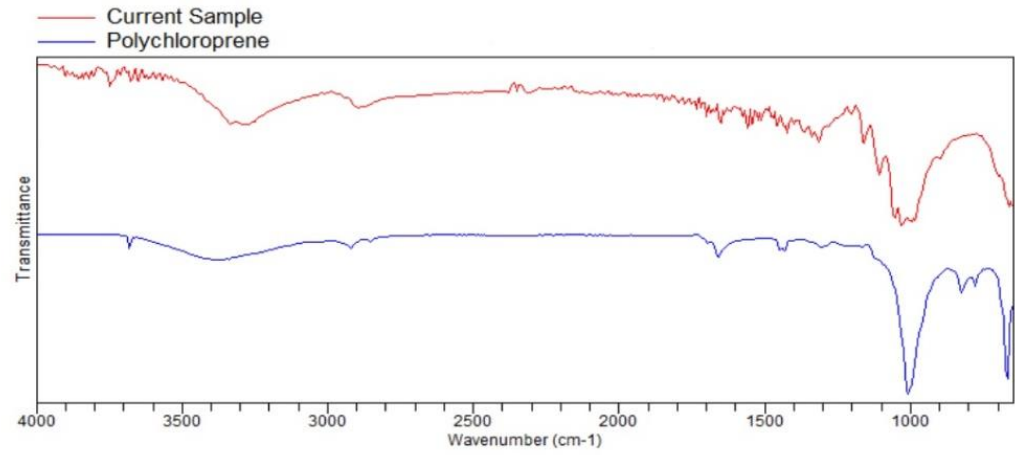
Ek 4 ATR-FTIR kütüphane Polibütilen tereftalat (PBT) karşılaştırması



Ek 5 ATR-FTIR kütüphanesi Poli akrilamid (PAM) karşılaştırması



Ek 6 ATR-FTIR kütüphanesi Polikloropren (Neopren) karşılaştırması



Ek 7 ATR-FTIR kütüphanesi Poliizobutilen (PIB) karşılaştırması

