



T.C.
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



VAN GÖLÜ SU EKOSİSTEMİNDE
MİKROPLASTİK BİRİKİMİ

Hande GÖK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Güvenliği Anabilim Dalı

Temmuz-2023
MUŞ
Her Hakkı Saklıdır



T.C.
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VAN GÖLÜ SU EKOSİSTEMİNDE
MİKROPLASTİK BİRİKİMİ

Hande GÖK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Güvenliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Harun ÖNLÜ

Temmuz-2023
MUŞ
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL ve ONAYI

Hande Gök tarafından hazırlanan “Van Gölü Su Ekosisteminde Mikroplastik Birikimi” adlı tez çalışması 20/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Güvenliği Anabilim Dalı’nda olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Esin KAYA
MAUN, Eğitim Fakültesi,
Matematik ve Fen Bilimleri

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Harun ÖNLÜ
MAUN, TBMYO, Gıda İşleme

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Mine KÖKTÜRK
İğdır Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi
Organik Tarım İşletmeciliği

Yukarıdaki sonuç;
Enstitü Yönetim Kurulu / / Tarih ve / nolu kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Sedat BOZARI
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Muş Alparslan Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Proje Koordinasyon Birimi tarafından BAP-22-TBMYO-4902-03 numaralı proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Hande GÖK

Tarih: 20.06.2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

VAN GÖLÜ SU EKOSİSTEMİNDE MİKROPLASTİK BİRİKİMİ

Hande GÖK

Muş Alparslan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Güvenliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Harun ÖNLÜ

Plastiklerin 5 mm'den daha küçük partikülleri olan mikroplastiklerin ekosistemlere ve canlılara etkisi her geçen gün artan bir merak konusudur. Bu çalışma kapsamında Ekim 2021'de Van Gölü kıyısındaki 4 ilçenin 3 farklı istasyonundan sediment (göl tabanı tortusu) örnekleri toplanmış ve ilgili örneklerde piyasada yaygın olarak kullanılan; LDPE, PP, PS ve PET olmak üzere 4 farklı tip plastiğin/mikroplastığın varlığı araştırılmıştır. Alınan örneklerde mikroplastiklerin izolasyonu için elekten süzme, organik madde giderimi, yoğunluk ayırma gibi işlemler uygulanmıştır. Örneklerden mikroplastik izolasyonu yapıldıktan sonra ilgili örneklerde; gözle görülebilen mikroplastikler tespit edilip fotoğraflanmıştır, mikrobiyolojik analiz yapılarak bakterial yoğunluk ölçülmüştür, hassas terazi ile mikroplastik partiküllerin miktar tayini yapılmıştır, stereo mikroskopu kullanılarak mikroplastiklerin renk ve formları incelenmiştir, FTIR spektroskopisi kullanılarak mikroplastik partiküllerin kimlik tespiti yapılmıştır. İnceleme sonucunda analiz ettiğimiz Van Gölü su ekosisteminin unsuru olan sediment örneklerinde mikroplastik partiküller tespit edilmiştir. İncelenen sediment örneklerinden elde edilen FTIR spektrumları KnowItAll (Informatics System John Wiley) sanal kütüphanesindeki referans pikler ve Spectroscopy Online sitesindeki pikler ile karşılaştırılmış, bu karşılaştırma sonucunda baskın polimer tipi PS olarak tespit edilmiştir. Mikroskoplara yapılan morfolojik inceleme sonucunda mikroplastik formları arasında baskın mikroplastik formunun fragment olduğu, baskın rengin ise beyaz/şeffaf olduğu tespit edilmiştir. Mikroplastiklerin boyut olarak incelenmesi sonucunda baskın boyutun 3-5 mm aralığındaki mikroplastik partiküllerin olduğu görülmüştür. Mikrobiyolojik analiz neticesinde incelen örneklerden Van1 ve Erciş1 göl suyu örneklerinde *E. coli* varlığı tespit edilmiştir (6/2 100ml/kob), total koliform sayısının ise Erciş2'de en fazla olduğu tespit edilmiştir. Türkiye iç sularında avlanan balık miktarının yaklaşık 1/3'ü temin edilen; yöre halkı için önemli bir geçim ve gıda kaynağı olan Van Gölü su ekosisteminde yaşayan endemik bir tür olan İnci kefalinde habitatında mikroplastik tespit edilmesi oldukça endişe vericidir. Bu tez çalışmasında Van Gölü su ekosisteminin unsurlarından olan sedimentte mikroplastiklerin varlığı ile ilgili bilgiler elde edilmiştir. Mikroplastiklerin Van Gölü sedimentindeki kesinleşmiş varlığı Van Gölü su ekosisteminde çevre, gıda güvenliği ve insan sağlığı açısından dikkatle araştırılmalıdır.

2023, 86 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Balık, FTIR, gıda güvenliği, İnci Kefali, insan sağlığı, mikroplastik, sediment, su ekosistemi, Van Gölü

ABSTRACT

MASTER THESIS

MICROPLASTIC ACCUMULATION IN LAKE VAN AQUATE ECOSYSTEMS

Hande GÖK

Muş Alparslan University
Natural and Applied Science
Department of Food Safety

Advisor: Assist. Prof. Dr. Harun ÖNLÜ

The impact of microplastics, plastic particles smaller than 5 mm, on ecosystems and living organisms is an issue of increasing concern. As part of this study, sediment samples were collected from 3 different stations in 4 counties on the shore of Lake Van in October 2021 and analyzed for the presence of 4 different types of plastics/microplastics, LDPE, PP, PS, and PET. In the collected samples, methods such as sieve filtration, organic matter removal, and density separation were used to isolate microplastics. After isolation of microplastics from the samples, visible microplastics were detected and photographed in the samples concerned, bacterial density was measured by microbiological analysis, microplastic particles were quantified by precision balance, color and shape of microplastics were examined by stereomicroscope, microplastic particles were identified by FTIR spectroscopy. As a result of the investigation, microplastic particles were detected in the sediment samples we studied, which are elements of the Lake Van aquatic ecosystem. The FTIR spectra obtained from the studied sediment samples were compared with the reference peaks in the KnowItAll virtual library (Informatics System John Wiley) and the peaks on the Spectroscopy Online website, and as a result of this comparison, PS was identified as the dominant polymer type. During the morphological examination with a microscope, it was found that fragments dominate among the microplastics and the color is white/transparent. Examination of the size of the microplastic revealed that microplastic particles with a size of 3-5 mm dominated. Microbiological analysis showed that in the examined water samples of lakes Van1 and Erciş1 *E. coli* was detected (6/2 100ml/kob), with the total number of coliform bacteria being highest in Erciş2. About 1/3 of the fish caught in the inland waters of Turkey is landed; the detection of microplastics in the habitat of the pearl barbel, an endemic species living in the aquatic ecosystem of Lake Van, which is an important source of life and food for the local population, is of great concern. In this work, information was obtained on the presence of microplastics in the sediment, one of the elements of the aquatic ecosystem of Lake Van. The definite presence of microplastic in the sediment of Lake Van should be carefully studied in the aquatic ecosystem of Lake Van in terms of the environment, food safety and human health.

2023, 86 Pages

Keywords: Aquatic ecosystems, *Chalcalburnus tarichi*, fish, food safety, FTIR, human health, Lake Van, microplastic, sediment

TEŐEKKÖR

Ne yapacağım hakkında hiçbir fikrimin olmadığı, hayatımın en karmaŐık ve zor dōneminde bu tez ruhuma bir Őeyler yapma gōcū verdi. Umarım bu alanda çalıŐma yapacaklara katkı sağlar.

AraŐtırmanın bōtūn aŐamalarında anlayıŐı, sabrı, bilgi ve deneyimleri ile yol gōsterdiđi için danıŐman hocam Dr. Harun ŐNLÖ' ye; bu sōreteki destekleri için, anneme, babama, kardeŐlerim, Sehem ve canım arkadaŐlarıma teŐekkōrlerimi sunuyorum.

Hande GÖK
MUŞ-2023



İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| TEŞEKKÜR | vi |
| İÇİNDEKİLER | vii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR..... | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | x |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | xi |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI | 3 |
| 2.1 Plastikten Mikroplastığe | 3 |
| 2.1.1 Plastiklerin mikroplastiklere bozunması..... | 3 |
| 2.2 Plastik Çeşitleri | 6 |
| 2.3 Mikroplastiklere Eklenen Katkı Maddeleri | 6 |
| 2.4 Mikroplastiklerin Yüzeyine Tutunan Kirleticiler | 7 |
| 2.5 Su Ekosistemlerinde Mikroplastik Birikimi | 9 |
| 2.5.1 Deniz ve okyanuslarda mikroplastik birikimi..... | 9 |
| 2.5.2 Tatlı su ekosistemlerinde mikroplastik birikimi | 10 |
| 2.5.3 Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastik birikimi | 10 |
| 2.6 Balıklarda Mikroplastik Birikimi..... | 11 |
| 2.6.1 Mikroplastiklerin balıklarda yarattığı etki | 14 |
| 2.6.2 Mikroplastiklerin balıklar üzerindeki fizyolojik etkileri | 14 |
| 2.6.3 Mikroplastiklerin balıklar üzerindeki biyolojik etkileri | 16 |
| 2.7 Mikroplastikler ve Antibiyotik Direnç Genleri İlişkisi..... | 17 |
| 2.7.1 Antibiyotik direnç genleri taşıyan mikroplastikleri içeren balık tüketiminin insanlar üzerindeki zararlı etkileri..... | 19 |
| 2.7.2 Mikroplastikler aracılığıyla taşınan antibiyotik direnç genlerinin insan bağırsağı üzerinde etkileri..... | 20 |
| 2.8 İnsan Sağlığı için Bir Tehdit: Mikroplastikler | 21 |
| 2.9 Mikroplastiklerin Çevreden Uzaklaştırılması | 24 |
| 2.10 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) nedir | 27 |
| 2.11 Van Gölü Su Ekosistemi ve İnci Kefali (<i>Chalcalburnus tarichi</i>)..... | 28 |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM | 30 |
| 3.1 Van Gölü'nde Örneklem Toplanan İstasyonlar ve Örnek Toplama Usulü | 30 |
| 3.2 Sediment örneklerinden mikroplastik izolasyonu..... | 31 |
| 3.2.1 Elekten geçirme ve organik maddelerin giderilmesi | 31 |
| 3.2.2 Örneklerin kimyasallardan arındırılması ve filtrasyon işlemi | 33 |
| 3.3 Sediment Örneklerinden Mikroplastik Partiküllerin Kloroform ile İzolasyonu ve Miktar Tayini | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 3.4 Örneklerin Mikroskop ile İncelenmesi | 33 |
| 3.5 Fourier Dönüşümlü Kıızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi..... | 34 |
| 3.6 Göl Suyu Örneklerinde Jenerik <i>Escherichia coli</i> ve Total Koliform Popülasyonlarının Membran Yöntemiyle Sayımı..... | 34 |
| 3.7 İstatistiksel Analiz..... | 34 |
| 4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA | 35 |
| 4.1 Van Gölü'nde Örneklem Toplanan İstasyonlar ve Örneklerin Toplanması..... | 35 |
| 4.2 Örneklerden Mikroplastik İzolasyon Sonuçları | 36 |
| 4.2 Örneklerin Stereo Mikroskop ile İncelenmesi | 38 |
| 4.3 Sediment örneklerinin Fourier Dönüşümlü Kıızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi | 46 |
| 4.4 Göl suyu örneklerinde Jenerik <i>Escherichia coli</i> ve total koliform Popülasyonlarının Membran Yöntemiyle Sayımı..... | 51 |
| 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER..... | 52 |
| 5.1 Sonuçlar | 52 |
| 5.2 Öneriler | 52 |
| KAYNAKLAR | 54 |
| EKLER | 74 |

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

| | | |
|----|---|-----------|
| μ | : | mikron |
| mm | : | milimetre |
| ml | : | mililitre |
| gr | : | gram |

Kısaltmalar

| | | |
|-------|---|--|
| AAT | : | Atık su Arıtma Tesisleri |
| ADB | : | Antibiyotik Dirençli Bakteriler |
| ADG | : | Antibiyotik Direnç Genleri |
| BPA | : | Bisfenol-A |
| DBP | : | Dibütil Ftalat |
| DDT | : | Dikloro Difenil Trikloroetan |
| DEHP | : | Di Etilheksil Ftalat |
| FTIR | : | Fourier Transform İnfrared Spectroscopy (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi) |
| HCB | : | Heksa Kloro Benzen |
| HCH | : | Hekza Klorsiklo Hekzanlar |
| HDPE | : | Yüksek Yoğunluklu Polietilen |
| LDPE | : | Düşük Yoğunluklu Polietilen |
| MBS | : | Metil Bütadien Stiren |
| MMP | : | Monometil Ftalat |
| PA | : | Poliamid |
| PAH | : | Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar |
| PBDE | : | Polibromlu Difenil Eterler |
| PCB | : | Poliklorlu Bifeniller |
| PE | : | Polietilen |
| PS | : | Polyester |
| PET | : | Polietilen Tereftalat |
| PP | : | Polipropilen |
| PS | : | Polistiren |
| PVC | : | Polivinil Klorür |
| SEM | : | Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskopi) |
| TNP | : | Trimetilolpropan |
| WWF | : | World Wide Fund for Nature (Dünya Doğayı Koruma Vakfı) |
| q-PCR | : | quantitative Polymerase Chain Reaction (kantitatif Polimeraz Zincir Reaksiyonu) |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1 Plastiklerin mikroplastiklere bozunması | 4 |
| Şekil 2.2 Mikroplastik şekilleri | 4 |
| Şekil 2.3 Balıklarda mikroplastik birikimi | 12 |
| Şekil 2.4 Antibiyotik direnç genlerinin oluşumu ve insanlara geçişi | 18 |
| Şekil 2.5 Mikroplastiklerin degradasyonu | 24 |
| Şekil 3. 1 Mikroplastik analizi için örneklem alınan istasyonların haritadaki konumları | 31 |
| Şekil 3. 2 Örnekleri boyutlarına göre kategorize etmek için oluşturulan dört aşamalı elek sistemi | 32 |
| Şekil 4. 1 Gözle görülebilen plastik kirliliği | 35 |
| Şekil 4. 2 Toplanan örneklerin elekten geçirilmesi sırasında gözle görülebilen mikroplastikler | 36 |
| Şekil 4. 3 Bazı sediment örneklerinden izole edilen mikroplastikler | 37 |
| Şekil 4. 4 Stereo mikroskopuyla incelenip fotoğraflanan mikroplastikler | 39 |
| Şekil 4. 5 İstasyonlarda tespit edilip mikroskopla tespit edilen mikroplastiklerin sayısı | 40 |
| Şekil 4. 6 İstasyonlara göre mikroplastiklerin formlarına ilişkin oransal veriler | 40 |
| Şekil 4. 7 İstasyonlarda tespit edilen bütün mikroplastiklerin formlarına ilişkin oransal veriler | 41 |
| Şekil 4. 8 Mikroplastik renklerinin istasyonlara göre oransal verileri | 42 |
| Şekil 4. 9 Sediment örneklerinde tespit edilen bütün mikroplastik renklerinin oransal verileri | 43 |
| Şekil 4. 10 Van istasyonlarında tespit edilen mikroplastiklerin boyut kategorizasyonu | 44 |
| Şekil 4. 11 Tatvan istasyonlarında tespit edilen mikroplastiklerin boyut kategorizasyonu | 44 |
| Şekil 4. 12 Gevaş istasyonlarında tespit edilen mikroplastiklerin boyut kategorizasyonu | 45 |
| Şekil 4. 13 Erciş istasyonlarında tespit edilen mikroplastiklerin boyut kategorizasyonu | 45 |
| Şekil 4. 14 Sediment örneklerinden elde edilen FTIR spektrumları | 47 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Çizelge 2. 1 Bazı plastik polimer türleri ve kullanım alanları..... | 6 |
| Çizelge 2. 2 Plastik polimerlere eklenen polimer katkı maddeleri..... | 7 |
| Çizelge 2. 3 Plastiklere eklenen bazı kimyasal katkı maddeleri ve kullanım amaçları.... | 8 |
| Çizelge 2. 4 Plastiklerin yüzeyinde tutulan bazı kirleticiler..... | 8 |
| Çizelge 2. 5 Mikroplastiklerin bazı balık türleri üzerindeki etkileri | 15 |
| Çizelge 2. 6 Mikroplastikler ve bağlantılı kirleticilerin insan sağlığına etkileri | 22 |
| Çizelge 2. 7 Genel olarak salınan ve mikroplastiklere yapışan kimyasallar | 23 |
| Çizelge 2.8 Bazı mikroorganizmaların biyodegrade ettiği plastik polimerler..... | 26 |
| Çizelge 2.9 Yıllara göre avlanan İnci kefali miktarları | 29 |
| Çizelge 3. 1 Mikroplastik analizi için örneklem alınan istasyonlar ve koordinat bilgileri..... | 30 |
| Çizelge 4. 1 Sediment örneklerinden izole edilen mikroplastik partiküllerin hassas terazi ile mikrogram (μg) cinsinden tartımı..... | 38 |
| Çizelge 4. 2 Mikroplastiklerin boyutlarına göre kategorize edilmesi | 43 |
| Çizelge 4. 3 Sediment örneklerinin FTIR analizi sonucu LDPE mevcudiyeti ve benzerlik oranları | 47 |
| Çizelge 4. 4 Sediment örneklerinin FTIR analizi sonucu PP mevcudiyeti ve benzerlik oranları | 48 |
| Çizelge 4. 5 Sediment örneklerinin FTIR analizi sonucu PS mevcudiyeti ve benzerlik oranları | 48 |
| Çizelge 4. 6 Sediment örneklerinin FTIR analizi sonucu PET mevcudiyeti ve benzerlik oranları | 48 |
| Çizelge 4. 7 Sediment örneklerine ait FTIR analizinin ANOVA testi sonuçları..... | 49 |
| Çizelge 4. 8 Sediment örneklerine ait FTIR analiz sonuçlarının Bonferroni post -hoc testine göre farkları | 49 |
| Çizelge 4. 9 Göl suyu örneklerinin mikrobiyolojik analizi | 51 |

1. GİRİŞ

Bazı bilim insanları tarafından ‘plastik çağı’ olarak nitelendirilen günümüzde, dünyanın çeşitli yerlerinden alınan su numunelerinde ve balıklarda mikroplastik parçacıklara rastlanmıştır. Plastiklerin ve plastiklerin 5 mm’den daha küçük parçacıkları olan mikroplastiklerin ekosistemlere ve canlılara etkisi her geçen gün artan bir merak konusudur (Frias ve ark., 2019; Guzzetti ve ark.,2018).

Su ekosistemlerindeki mikroplastikleri besin olarak tüketen bazı balık türlerinde beslenme, üreme ve metabolizmada birtakım bozukluklar gözlenmiştir. Bu alanlarda mikroplastik maruziyetinin ne derece olduğu, bu maruziyetin ortaya çıkarabileceği olası gıda güvenliği sorunlarının yanı sıra insanlara trofik transferi, bu transferin neden olabileceği olası sağlık sorunları endişe vericidir (Huang ve ark.,2020; Wan ve ark.,2019; Yu ve ark.,2020)

Mikroplastik parçacıkların ayrıştığı ana plastik maddesinin farklı türleri mevcuttur. Plastiğe çeşitli özellikler kazandırmak için kimyasal katkı maddeleri eklenmektedir (Lithner, 2011; Yurtsever, 2017). Eklenen bu katkı maddeleri detaylı şekilde incelenmelidir. Mikroplastığın içeriğinin yanı sıra, mikrolastiklere tutunan bazı kirleticilerin insan sağlığına verebileceği zararlar endişe konusudur (Mato ve ark.,2001; Teuten ve ark.,2009). Mikroplastiklerin yüzeyinde plastifer adı verilen mikrobiyal bir habitat oluşmaktadır. Bu habitat antibiyotik direnç genlerinin (ADG'lerinin) ve patojenlerin taşınmasına sebep olup adeta bir vektör görevi üstlenmektedir (Liu ve ark.,2021). Yapılan araştırmalarda mikroplastik parçacıklar üzerinde antibiyotik dirençli bakterilerin ve çeşitli patojenlerin var olduğu tespit edilmiştir (J. H. Wang ve ark.,2018; Y. Yang ve ark.,2019). Bu durum oldukça önemlidir çünkü antimikrobiyal dirence karşı ciddi önlemler alınmazsa gelecek 30 yıl içinde tüm dünyada 10 milyona yakın insanın ölebileceği ve her sene 1 trilyon dolara yakın mali harcamanın olabileceği öngörülmektedir (Plastic Europe, 2019). Bazı mikroorganizmalar kullanılarak mikroplastiklerin çevreden uzaklaştırılabileceği yönünde umut verici çalışmalar mevcuttur (Yuan ve ark.,2020).

Mikroplastiklerin su ekosistemlerinde ve balıklardaki kesinleşmiş varlığı çevre, gıda güvenliği ve insan sağlığı açısından dikkatle araştırılmalıdır. Türkiye’de Marmara denizi başta olmak üzere Akdeniz, Karadeniz ve Ege denizinde çeşitli araştırmalar yapılmıştır ancak ülkenin en büyük gölü olan Van Gölü ile ilgili yapılan araştırmalar

sınırlıdır. Van Gölü su ekosisteminde mikroplastik maruziyetinin ne derece olduğu, bu maruziyetin ortaya çıkartabileceği olası gıda güvenliği sorunlarının yanı sıra insanlara trofik transferi, bu transferin neden olabileceği olası sağlık sorunları araştırılmalıdır.

Bu tez çalışmasında Van Gölü sedimentinde mikroplastiklerin varlığı ile ilgili bilgiler elde edilmiştir. Araştırma neticesinde elde edilen sonuçlar Van Gölü su ekosisteminin korunması açısından ilgili yöneticiler tarafından gerekli önlemlerin alınmasına katkı sağlaması amaçlanmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

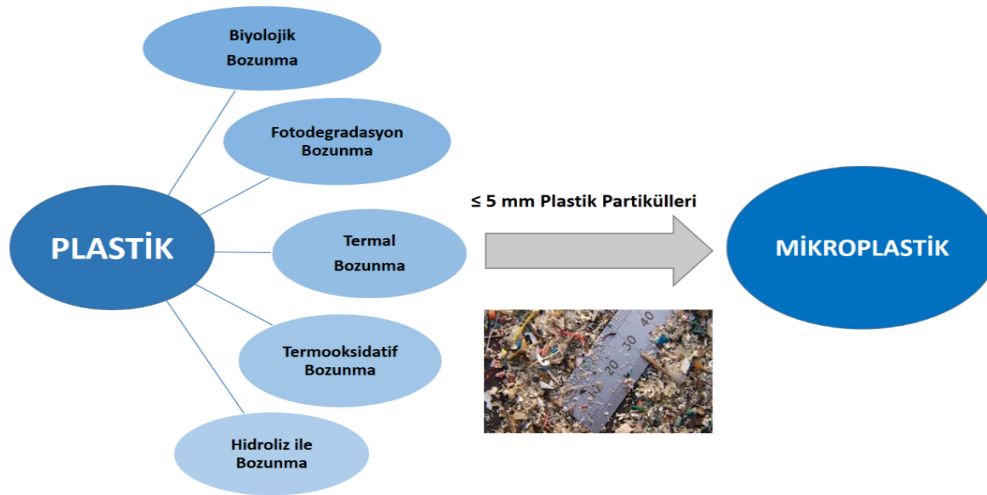
2.1 Plastikten Mikroplastığe

Plastikler, petrol ve türevlerinden elde edilen sentetik polimerlerdir. Plastikler günlük yaşantımızda sıkça kullanılan hammaddelerdendir. Plastiklerin; kolayca işlenebilir olması, kimyasallara karşı dirençli olması, başka ham maddelere oranla daha ucuz ve üretimlerinin kolay olması sıkça tercih edilme nedenlerindedir. Hemen her alanda plastiklere sıklıkla rastlamak mümkündür. Otomotiv endüstrisinden inşaata, medikalden ambalaja, spor aletleri, ev ve mutfak aletleri gibi geniş kullanım alanları mevcuttur. Bu yüzden bazı bilim insanları tarafından günümüz ‘plastik çağı’ olarak nitelendirilmektedir (Cózar ve ark.,2014). Plastiklerle ilgili çalışmalar 19. yüzyılın ilk yarısında başlamıştır, ancak asıl gelişimi 20. yüzyılda olmuştur (Andrady ve Neal, 2009). Ciddi anlamda plastik üretiminin başladığı 1940'lı yıllardan beri, küresel plastik üretimi her yıl istikrarlı bir şekilde artmaktadır ve gelecek yıllarda da hızla artması beklenmektedir (Tamara S. Galloway, 2015). Küresel plastik üretimi yıllık 390 milyon tona ulaşmıştır (Plastic Europe, 2022). Plastiklerin doğada çözünmeye dayanıklı yapısı ve yanlış atık yönetimi yüzünden doğada hemen her yerde yoğun plastik birikimi olmuştur (Barnes ve ark.,2009). Yapılan bazı araştırmalarda plastik partiküllerin; havada (Cole ve ark.,2011), buzullarda (Önder ve ark.,2020), toprakta (Scheurer ve Bigalke, 2018), sofrta tuzunda (Hyemi Lee ve ark.,2019), hemen hemen tüm yüzey sularında (Llorca ve ark.,2020) hatta dünyanın en derin noktası olarak bilinen (10.994 m) Mariana Çukuru'nda bile plastiklere rastlanmıştır (Yurtsever, 2017).

2.1.1 Plastiklerin mikroplastiklere bozunması

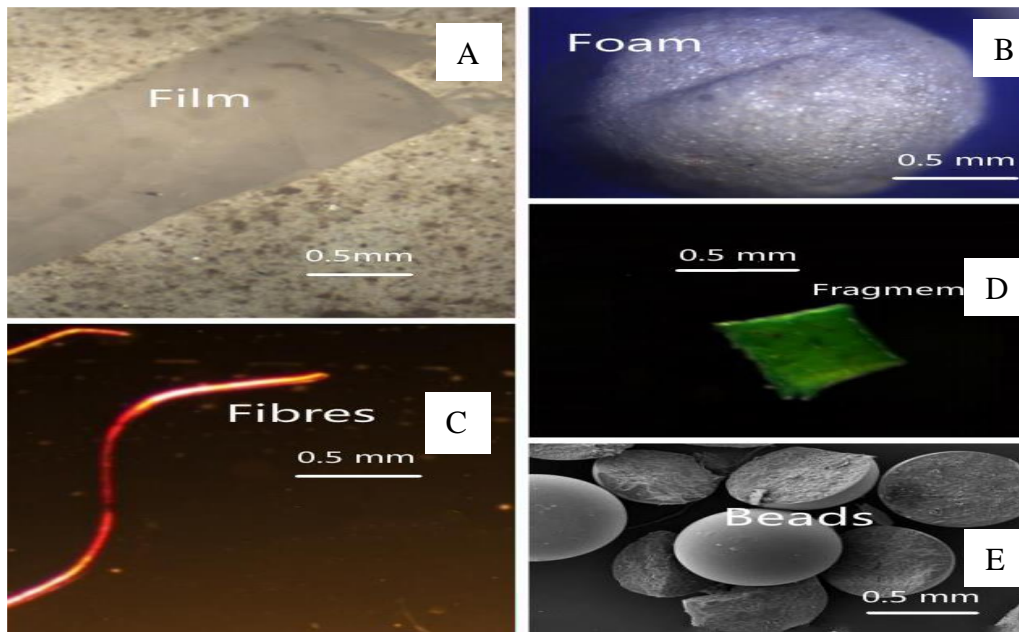
Doğaya atılan plastik parçacıklar zamanla dış faktörlerin etkisiyle daha küçük parçacıklara ayrışmaya başlar. Plastiklerin bu 5 mm'den küçük plastik parçacıkları, mikroplastik olarak tanımlanmaktadır. Plastiklerin bozunma süresi ana plastiğin ebatı ve polimerin türüne bağlıdır (Rodrigues ve ark.,2019). Plastiklerin mikroplastığe bozunma biçimleri beş ana başlığa ayrılabilir bunlar: biyolojik bozunma (mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılması), fotodegradasyon (UV ışık etkisiyle), termal bozunma (yüksek sıcaklıkla), termo-oksidatif bozunma (yavaş oksidatif bozunma) ve hidroliz (su ile reaksiyon sonucu) olmak üzere şekil 2.1' de şematize edilmiştir. Bunun yanında

ortamdaki nem, oksijen, pH gibi birçok dış etmen de bozunmayı etkileyebilir (Lusher ve ark.,2015; Ranjani ve ark.,2021).



Şekil 2. 1 Plastiklerin mikroplastiklere bozunması

Mikroplastikler şekillerine göre; lifler, köpükler, filmler, parçalar ve mikro boncuklar olarak şekil 2.2’de gösterildiği üzere beş kategoriye ayrılabilir (Wagner ve ark.,2014). Mikroplastikler çevremizde gördüğümüz renkli plastiklerden de anlaşılacağı üzere birçok renkte olabilmektedir bu parçacıklar optik ve elektron mikroskopları, raman spektroskopisi, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi spektroskopisi (FTIR) kullanılarak incelenebilir (Yurtsever, 2015).



Şekil 2. 2 Mikroplastik şekilleri (A:Film, B:Köpük, C:Lif, D:Parça, E:Mikroboncuk) (Katsnelson, 2015)

Mikroplastikler kaynaklarına göre birincil mikroplastikler ve ikincil mikroplastikler olarak ayrılır. Birincil mikroplastikler, mikroskobik boyutlardaki üretim döküntüleri ve mikroboncuklardır. Mikroboncuklar genellikle kozmetik ve sağlık ürünlerinde kullanılan, çapları 5 mm'den küçük olan polietilen ve polipropilen plastiklerdir. Diş macunları, deterjanlar, yüz temizleme jelleri, deodorant, güneş kremleri, şampuanlar ve sabunlar birincil mikroplastik içermektedir (Önder ve ark.,2020). İkincil mikroplastikler ise büyük plastik parçalarının güneş ışığı, su ve rüzgâr gibi çevresel etkilerle aşınması ve küçük boyutlara ayrışmasıyla ortaya çıkar (Gregory, 2009). Plastik birikiminin yoğun olduğu alanlardan biri de su ekosistemleridir (Chae ve An, 2017). Yıllık sekiz milyon metrik tona yakın plastiğin okyanuslara geçtiği ve 5,25 trilyon mikroplastik partikülün okyanus yüzey sularında olduğu tahmin edilmektedir (Eriksen ve ark.,2014). Mikroplastikler okyanusa çeşitli yollardan girebilir. Okyanusa geçen plastiğin büyük oranda karasal kaynaklı olduğunu söylemek mümkündür. Buralara plastiklerin taşınmasında akarsular ve rüzgarlar etkili rol oynamaktadır (Besseling ve ark.,2017; Kayan, 2020). Kıyafet yapımında kullanılan polyester gibi sentetik polimerler tekstil endüstrisini mikroplastik kirlilik kaynağı haline getirir. Üretim aşamasında kullanılan sentetik malzemeler ve ürünün yıkandıkça çevreye mikroplastik lifler saçtığı, bu mikroplastik liflerin kanalizasyon sistemine buradan da deniz ve okyanuslar gibi sucul ekosistemlere geçtiği düşünülmektedir (Belzagui ve ark.,2019; Guerranti ve ark.,2019; Henry ve ark.,2019; Hernandez ve ark.,2017; Morrill ve ark.,2014; Napper & Thompson, 2016). Yapılan bir çalışmada çamaşır makinelerinin atık su örnekleri incelendiğinde, tek giysinin bile her yıkama sonucu yaklaşık 1900 mikroplastik lifin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir (Aslan, 2018). Denizcilik faaliyetleriyle de okyanusa mikroplastik geçişi mümkündür. Atık sular arıtıldıklarında filtrelenmezler ve genellikle doğrudan okyanus, deniz gibi su ortamlarına salınırlar, bu da su ekosistemlerine bir başka mikroplastik geçiş yoludur (Jambeck ve ark.,2015). Mikroplastikler, okyanuslara geçtikten sonra yoğunluklarına göre yüzme ya da batma eğilimindedir. Sudan daha yoğun mikroplastikler büyük olasılıkla okyanus tabanında birikir (Boucher & Friot, 2017; Pollution & Safety, 2015). Biriken bu mikroplastik parçacıklar zaman içinde besinlere geçen, su ekosistemine ve dolayısıyla besin zincirine dahil olan kirleticilerdir. Mikroplastikler planktonlara buradan balıklara geçiş sağlayabilir. Balıklar mikroplastikleri besin sanıp yutabilmektedir (Lusher ve ark.,2015). Farklı su ekosistemlerinde yaşayan balık türlerinde yapılan incelemelerde mikroplastik varlığı gözlenmiştir. Bu durum insanların küresel çapta yılda 156 milyon ton balık tükettiği düşünülünce besin zincirinde muhtemelen son basamak

olan insanları etkilemektedir. Balık ve insanların mikroplastığe maruziyeti, trofik transferi ve sağlık arasındaki ilişki incelenmesi gereken bir konudur (FAO, 2020).

2.2 Plastik eşitleri

Günümüzde üretilen yüzlerce farklı polimer çeşitidi mevcuttur. Küresel olarak en çok üretilen plastik polimer çeşitleri; yüksek ve düşük yoğunluklu polietilen (HDPE / LD-PE), polietilen tereftalat (PET), polipropilen (PP), polistiren (PS) ve polivinil klorür (PVC) olarak sayılabilir. Bunun yanında, olta takımlarının yapımında kullanılan poliamid lifler (nylon) sıkça rastlanan plastik polimerlerindendir (European Commission, 2013; Thompson, 2004). Küresel çapta yaygın kullanılan polimerler ve kullanım alanları çizelge 2.1’de gösterilmiştir. Akarsular, rüzgar, denizcilik faaliyetleri sonucu deniz ortamına geçen mikroplastikler genel olarak peletler, parçalar veya lifler olarak bulunur (Hidalgo-Ruz ve ark.,2012).

Çizelge 2. 1 Bazı plastik polimer türleri ve kullanım alanları

| Polimer Türü | Kullanım Alanları |
|-------------------------------------|---|
| Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) | Pipet, dondurulmuş yiyecek paketleri, plastik torba, oyuncak imalatı (GESAMP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, 2015) |
| Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) | Beyaz eşya, yalıtkan kablo, elektrik ve elektronik eşya imalatı (GESAMP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, 2015) |
| Polietilen tereftalat (PET) | Plastik içecek şişeleri (Kayılı & Çelebi, 2020) |
| Polistiren (PS) | Tek kullanımlık bardak, tabak, yoğurt kapları, ayran kapları, saklama kapları, yiyecek kapları, otomobil parçaları (GESAMP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, 2015; Uttaravalli ve ark.,2020) |
| Polipropilen (PP) | Şişe kapakları, balık ağları, laboratuvar ekipmanları, ambalajlama, bavul, halat, mikrodalga tepsileri (Aslan, 2018; GESAMP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, 2015) |
| Polivinil klorür (PVC) | Pencere profilleri, kaplar, boru imalatı, çatı malzemesi (Asrasal ve ark.,2018) |
| Poliamid (PA) | Otomobil lastiklerin, emniyet kemeri yapımı, tekstil (Guler, 2018) |

2.3 Mikroplastiklere Eklenen Katkı Maddeleri

Plastik polimerler yüksek sıcaklık, yük, basınç altındaki uygulama alanlarında kullanılmak için çoğunlukla tek başlarına elverişli değildir. Üretim sırasında, plastiklere belirli özellikler kazandırmak için katkı maddeleri eklenir. Polimerlerin mukavemet değerlerini arttırmak, özellik eklemek ya da iyileştirmek için kullanılan katkılar yardımıyla yeni malzemeler elde edilir (Lithner, 2011; Yurtsever, 2017). Polimerlere karakterlerinde olmayan özellikler kazandırmak için kullanılan birçok farklı polimer

katkı maddesi vardır bunlardan bazıları çizelge 2.2 'de ve plastıklere eklenen bazı kimyasal katkı maddeleri ve kullanım amaçları çizelge 2.3'te verilmiştir.

Kullanılan kimyasal katkı maddeleri insan, hayvan ve çevre sağlığı için tehlikeli olabilir. Mikroplastikler aşamalı olarak bozundukça, yüzey alanı / hacim oranı artmakta ve içinde bulunan kimyasal katkı maddelerini dış ortama sızdırmaktadır. Sızan kimyasallar deniz suyundan balıklara geçip biyolojik olarak birikebilir. Mikroplastiklerde bulunan bu kimyasal katkı maddelerinin toksik etkileri olabilir.

Çizelge 2. 2 Plastik polimerlere eklenen polimer katkı maddeleri

| Polimer Türü | Kullanım Alanları |
|------------------------------------|---|
| Plastikleştiriciler | Polimerin akışkan, daha esnek ve ayrılmaz bütün bir yapı olmasını sağlamaktadır. |
| Stabilizatörler | Üretim esnası ya da sonrasındaki proseslerde polimerleri dışardan gelebilecek ısı ışık UV, kimyasalları oksijen gibi degradasyona sebep olacak etkilere karşı koruma sağlar. |
| Darbe Arttırıcılar | Polimerden daha düşük yumuşama sıcaklığına sahiptirler. Plastiğe elastikiyet kazandırmak için kullanılmaktadır. |
| Alev Geciktiriciler | Alev karşısında plastikten önce bozularak reaksiyon verir ve farklı söndürme mekanizmaları ile yanma dayanıklılığı artırır. Alev uzaklaştığında kendiliğinden sönmeyi sağlar. Polibromlu difenil eterler (PBDE'ler) buna örnektir. |
| Elektrik ve Isıl İletken Katkıları | Metallerin yerine kullanılabilirler oldukça düşük özdirence sahip malzemeler üretebilmektedir. Elektriksel iletkenliğe sahip plastik malzemeler elde edilebilir. |
| Yüzey Katkıları | Farklı bir yüzeyle temas halinde olan plastik parçalarda sürtünme katsayısını sürtünme katsayısını düşürmek ve aşınmaya karşı dayanıklılığını arttırmak için bu katkıları kullanılmaktadır. Bunlar plastik parça yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturarak çizilmelere ve aşınmalara direnç sağlar. |

2.4 Mikroplastiklerin Yüzeyine Tutunan Kirleticiler

Mikroplastiklerle eklenen kimyasal katkı maddelerinin yanında, su ekosistemlerindeki mikroplastik partiküllerinin yüzeyine, poliklorlu bifeniller (PCB'ler), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar), diklorodifeniltrikloroetan (DDT), heksaklorobenzen, organoklorlu pestisitler gibi kalıcı organik kirleticiler tutunabilir (Mato ve ark.,2001; Teuten ve ark.,2009). Çizelge 2.4'te plastiklerin yüzeyine tutunan bazı kirleticiler ve özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2. 3 Plastiklere eklenen bazı kimyasal katkı maddeleri ve kullanım amaçları

| Katkı Maddesi | Kullanım Amacı |
|-----------------------------------|---|
| Bisfenol A (BPA) | Polikarbonat ve epoksi reçine üretiminde kullanılan bir monomer |
| Ftalat Esterleri | Esneklik ve dayanıklılık geliştirici |
| Monometil Ftalat (MMP) | Plastikleştirici |
| Di-2- Etilheksil Ftalat (DEHP) | Plastikleştirici |
| Metil Bütadien Stiren (MBS) | Darbe arttırıcı |
| Tetrabromobisfenol-A (TBBPA) | Alev geciktirici |
| Polibromlu Difenil Eterler (PBDE) | Alev geciktirici |
| Dibutil Ftalat (DBP) | Yüzey katkısı |
| Tris Nonilfenil Fosfit (TNP) | Stabilizatör |

Çizelge 2. 4 Plastiklerin yüzeyinde tutulan bazı kirleticiler

| Kirletici Adı | Kirletici Özelliği | |
|--|---|----------------------------|
| Dikloro Difenil Trikloroetan (DDT) | Pestisit, Kalıcı Organik Kirletici | (Ferreira ve ark.,2020) |
| Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH) | Yanma Ürünleri, Muhtemel Kanserojen, Kalıcı Organik Kirletici | (Parajuli ve ark.,2017) |
| Poliklorlu Bifeniller (PCB) | Soğutma ve Yalıtım Sıvıları, Kalıcı Organik Kirletici | (Kayan, 2020) |
| Hekza Klorsiklo Hekzanlar (HCH) | Böcek ilacı, Kalıcı Organik Kirletici | (Gündoğdu ve Çevik, 2017) |
| Hekza Klor Benzenler (HCB) | Muhtemel Kanserojen, Kalıcı Organik Kirletici | (Esmeray ve Armutcu, 2020) |
| Bisfenol A (BPA) | Kimyasal Katkı Maddesi, Endokrin Bozucu, Sentetik Organik Bileşik | (Barnes ve ark.,2009) |

İçeriğindeki ve yüzeyindeki mikroplastikleri balıklar için kimyasal kirleticilerden oluşan bir karışım haline dönüştürmektedir. Su bitkileri tarafından absorbe edilen ya da balıklar tarafından yutulan mikroplastikler besin zincirinde taşınarak biyolojik birikime neden olmaktadır. Mikroplastiklerin besin zincirindeki taşınması

insanlarda son bulmaktadır. Burada mikroplastikler adeta kirleticiler için vektör olarak görev yapmaktadır (Aslan, 2018; Lusher ve ark.,2015).

2.5 Su Ekosistemlerinde Mikroplastik Birikimi

Su ekosistemlerinde mikroplastiklere rastlanmıştır (Y. Ding ve ark.,2021; Russell & Webster, 2021; Tošić ve ark.,2020). Bu alanlarda mikroplastik birikiminin olası kaynakları arasında atık su arıtma tesisleri, sahile atılan çöpler, balıkçılık esnasında kullanılan olta takımları, ağlar, kargo nakliyesi ve liman atıkları sayılabilir (Anthony Browne et al., 2011; Dubaish & Liebezeit, 2013.; Frias & Nash, 2019; Magri ve ark.,2021). Mikroplastikler sucul ekosistemde yaşayan, fitoplankton, zooplankton, balıklar, deniz memelileri ve deniz kuşları gibi su ekosisteminde yaşayan birçok farklı türde canlıyı tehdit etmektedir (Andrady & Neal, 2009). Suyun hareketiyle hareket eden, çok ya da tek hücreli canlılara “plankton” denilmektedir. Suyun güneş ışığı alan üst kısımlarında yaşayıp fotosentez yapan, canlılara “fitoplankton” denilmektedir. Bu canlıların mikroplastikleri absorbe edip, içerebildiği bildirilmiştir. Bu bilgi doğrultusunda henüz birinci tüketiciden itibaren mikroplastik birikiminin başladığı sonucuna varılmıştır (Yurtsever, 2019).

2.5.1 Deniz ve okyanuslarda mikroplastik birikimi

1960’tan beri plastik üretimi yıllık yaklaşık %8.7 oranında artmaktadır. Yaklaşık 8 milyon ton plastik yıllık olarak deniz ve okyanuslara ulaşmaktadır ve ihtiyatlı tahminlere göre 5.2 trilyon plastik parçacığı şu an okyanusların yüzey sularında dolaşmaktadır. Bu partiküllerin %80’inin karasal kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Kıyı şeridine ulaşan plastik partiküllerin deniz ve okyanuslara taşınması akarsu, rüzgar ve atık suların bu alanlara deşarj edilmesiyle gerçekleşmektedir (GESAMP, 2015). Dünya Doğayı Koruma Vakfı’nın (WWF) Akdeniz’de bulunan atıklar ile ilgili yaptığı bir çalışmada atıkların %95’inin kaynağının plastik olduğu tespit edilmiştir. Habitatı Akdeniz olan 134 türün plastik atık yuttuğu raporlanmıştır. Akdeniz’de 1 kilometre kare suda 1.25 milyon mikroplastik partikül bulunmaktadır. Günlük olarak Akdeniz’e plastik atan ülkeler ve atıkların miktarı şöyledir; İtalya 90 ton, Fransa 66 ton, İspanya 126 ton, Mısır 77 ton, Türkiye ise günlük 144 ton plastik atık ile ilk sıradadır (Önder ve ark.,2020). Akdeniz kıyılarında 2016 senesinde yapılan bir çalışmada deniz tabanında ve suyunda en çok tespit edilen plastik türlerinin; fiber, polyester ve naylon olduğu raporlanmıştır, bunların kaynağının kıyafetler olabileceği düşünülmektedir (Aslan, 2018).

2.5.2 Tatlı su ekosistemlerinde mikroplastik birikimi

Denizlere oranla tatlı su ekosistemlerinde mikroplastik varlığı hakkında daha az çalışma yapılmıştır. Yapılan araştırmalarda tatlı su ekosistemlerinde mikroplastiklere rastlanmıştır (H. Deng ve ark.,2020; Kapp & Yeatman, 2018; G. Wang ve ark.,2020). Kaliforniya'nın incelenen 3 nehrinde ağ kullanılarak yapılan bir çalışmada ortalama olarak 30-109 adet mikroplastik parçacık bulunmuştur. Bir incelemede ise Los Angeles Nehri'nin günlük 1 milyarın üzerinde mikroplastik partikülü Pasifik Okyanusu'na boşalttığı düşünülmektedir (Moore ve ark.,2011). Yapılan bir başka çalışmada Tuna Nehri'ndeki mikroplastikler sabit ağlar ve görsel olarak incelenmiş ve sonuç olarak yıllık 1.500 ton plastiğin Karadeniz'e taşındığı tespit edilmiştir (Lechner ve ark.,2014).

Mikroplastikler göl ortamları için bir stres faktörüdür. Bu düzeltilmesi gereken bir durumdur. Mikroplastiklerle mücadele etmek için göl nispeten daha küçük su ekosistemlerinden olduğundan dolayı su ekosistemleri araştırma ve iyileştirme stratejileri için kullanılabilir (Karbalaee ve ark.,2019; Wong ve ark.,2020).

2.5.3 Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastik birikimi

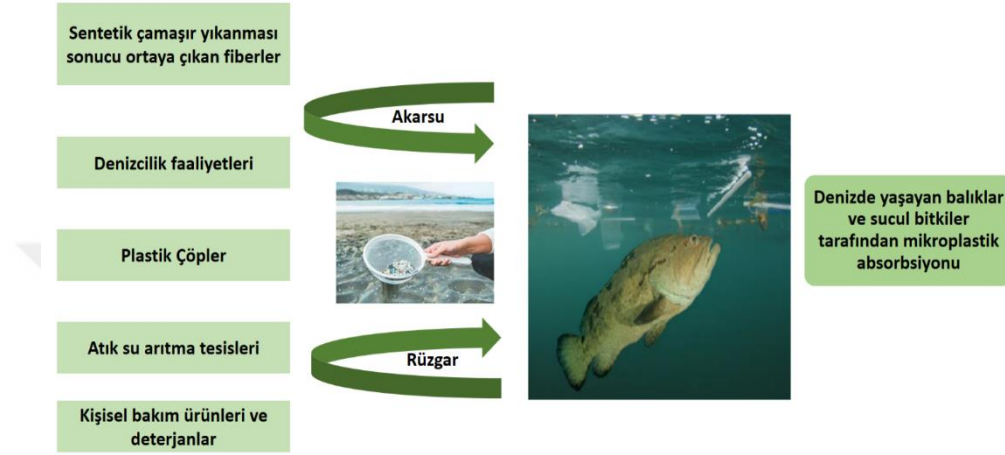
Yapılan araştırmalarda atıksu arıtma tesislerinin (AAT'lerin) mikroplastiklerin çevreye yayılmasında etkili olduğu gözlemlenmiştir (Talvitie ve ark.,2017). AAT'ler diğer su ekosistemleri için mikroplastik kaynağıdır (Bretas Alvim ve ark.,2020). Birçok ülkede bulunan AAT çıkışlarında mikroplastik varlığı tespit edilmiştir (Akarsu ve ark.,2020; Leslie ve ark.,2017; Mason ve ark.,2016; Mintenig ve ark.,2017). AAT'lerde birçok farklı kaynaktan mikroplastik bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak kişisel bakım ve temizlik ürünlerinde kullanılan mikro boncuklar (Fendall & Sewell, 2009), çamaşırların yıkanması sonucu ortaya çıkan sentetik (polyester) mikroplastik lifler (De Falco & Di, 2019), çevrede bulunan yağmur suyu vasıtasıyla taşınan mikroplastik partiküller verilebilir (W. Xia ve ark.,2020). Kişisel bakım ürünlerinin bir dozunda (cilt temizleme ürünü) yaklaşık olarak 360.000 adet polietilen mikroboncuk bulunabilmektedir. Bu gibi ürünler kullanıldıkça AAT'lere mikroplastik karışmaktadır (Aslan, 2018). AAT'ler su ekosistemlerine deşarj edilirken mikroplastik partikülleri de beraberinde götürür.

2.6 Balıklarda Mikroplastik Birikimi

Su ürünleri insanlar için önemli bir besin kaynağıdır. 2018'de küresel balık üretimi yaklaşık 179 milyon tona ulaşmıştır ve bunun 156 milyon tonu insanoğlu tarafından tüketilmiştir. Balıklardan elde edilen protein küresel nüfusun hayvansal protein alımının % 17'sini ve tüm protein alımının % 7'sini karşılamaktadır (FAO, 2020). Mikroplastiklerin balıklarda ne zaman birikmeye başladığına dair bilgi boşluğu vardır. Bu bilgi boşluğunu doldurmak için yapılan çalışmada beş farklı ABD nehrinden 20. ve 21. yüzyıla ait olan 185 adet yaklaşık olarak aynı boyutta, yedi farklı balık türü fosili incelenmiş ve numunelerin yalnızca üçünde mikroplastik parçacık bulunmuştur. Mikroplastik içeren balıklar günümüze yakın tarihli balıklar olmuştur. Bulgulardan yola çıkılarak mikroplastik birikiminin çok eskiye dayanmadığı sonucuna ulaşılabılır (Toner & Midway, 2021). Yapılan bir araştırmada Hong Kong'un doğu kıyılarında 30 adet doğal deniz kefali ile 30 adet çiftlik kefal balığının sindirim sistemlerindeki mikroplastik miktarları karşılaştırılmış ve sonuç olarak doğal balıklarda daha fazla mikroplastik bulunmuştur (O Cheung ve ark.,2018). Bu da doğal ortamdaki mikroplastik maruziyetinin ciddi boyutlara ulaştığını göstermektedir. Balıkların maruz kaldığı mikroplastik kaynakları şekil 2.3'te gösterilmiştir.

Balık besini olan su bitkileri tarafından absorbe edilen ya da su ortamında serbest dolaşan mikroplastikleri besin sanıp yutan balıklarda mikroplastik partiküllerin genellikle sindirim sistemi organlarında bulunduğu gözlemlenmiştir. Yapılan *in-vivo* çalışmalarda organizmalarda mikroplastiklerin doku ve organlar arası yer değiştirebildiği gösterilmiştir. Mikroplastik parçacıklar balıkların vücudunda kalabilir ve bağırsak yoluyla dolaşım sistemine oradan da çeşitli doku ve organlara yerleşebilir (Bouwmeester ve ark.,2015; Fonseca ve ark.,2017; Kalčíková, 2020). Boyutu <10 µm küçük olan mikroplastikler bağırsak bariyerinden geçerek kana ve akabinde vücudun geri kalanına ulaşabilmektedir (Ribeiro ve ark.,2019). Balıkların mikroplastikleri besinlerden ayırt edip edemeyeceği ve mikroplastikleri yutmadan önce bir besin kaynağı olarak uygunluğunun nasıl değerlendirildiği, balıkların mikroplastikleri kolayca ret edip ret etmeyeceği, yutmanın kasıtlı olup olmadığı gibi önemli sorular üzerinde tartışmalar sürmektedir. Mikroplastiklerin boyutu ve şekli balıklar tarafından yutulma durumunu etkileyebilir (Huuskonen ve ark.,2020; B. Li ve ark.,2020).

Bazı çalışmalar sindirim sistemi organları dışında mikroplastiklerin solungaçlarda da biriktiğini göstermiştir. Bu nedenle solungaç yüzey alanı, solungaç yapısı gibi balık özellikleri, solungaçlardaki mikroplastik birikimiyle ilişkili olabilir (Collard ve ark.,2017; Roch ve ark.,2019). Zebra balıkları (*Danio rerio*) üzerinde yapılan bir çalışmada balıkların solungaçlarında, sindirim sistemlerinde ve karaciğerinde mikroplastiklerin olduğunu gözlemlenmiştir (Yifeng Lu, 2016).



Şekil 2. 3 Balıklarda mikroplastik birikimi

Avrupa levreği ve kaya balığında (*Pomatoschistus microps*) mikroplastik partiküllerin varlığı belgelenmiştir (Ranjani ve ark.,2021). Balıklarda mikroplastik maruziyeti sonucu verilen tepkiler, maruziyet derecesine, balık özelliklerine, maruz kalınan polimerin türüne ve yüzeyine tutunmuş kirletici oranı ve çeşidine bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Wan ve ark.,2019). Ülkemizdeki balıklarda mikroplastik varlığına dair çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bunlardan bir tanesi Akdeniz'in sadece Türkiye'ye ait kıyılarında 2016 yılında aylık numunelerle yapılan bir çalışmada, 28 farklı türde toplam 1137 adet balığın büyük bir kısmının sindirim sisteminde mikroplastik partikül tespit edilmiştir. Tespit edilen mikroplastığın kaynağının genel itibarıyla kıyafetlerde bulunan, çamaşır makinelerinden geldiği tahmin edilen fiber olduğu düşünülmektedir (Aslan, 2018). Marmara, Akdeniz ve Ege denizleri incelenerek Ekim 2019 tarihinde yayımlanan bir raporda; istavrit, kefal, mırmır, barbun, tekir balıklarının sindirim kanallarında mikroplastik incelemesi yapılmıştır. Çalışma sonucu, balıklarda tespit edilen mikroplastik miktarı Marmara Denizi'nde 0.85 adet/balık, Ege Denizi'nde 1.7 adet/balık ve Akdeniz'de 0.74 adet/balık olmuştur (Gündoğdu & Çevik, 2017).

Yapılan bir deneyde çipura balıklarının mikroplastik yutması sağlanmıştır. Çipura balıklarının sindirim sistemi organlarında ve dokularında mikroplastik birikimi laboratuvarında incelenmiştir. 75 günlük deney boyunca mikroplastiklerin yutulmasının balıklar üzerinde strese, büyüme oranı değişimine, patolojik hastalığa ya da sindirim sistemi organlarında birikime neden olmamıştır. İncelenen balıkların mide, bağırsak, karaciğer, pankreas ve mezenter dokularında mikroplastik etkisine bağlı olarak ortaya çıkan önemli bir lezyon ile karşılaşılmamıştır. Bu deneyden yola çıkılarak mikroplastiklerin balık sindirim sisteminde birikim seviyesinin az olması, balıkların mikroplastikleri vücutlarından atabildiği yani birikime uğramadığı kanısına varılabilir (Ahmet & Kidey, 2017). Benzer sonuç bir başka çalışmada da gözlenmiştir. Japon balıkları (*Carassius auratus*, Cyprinidae), üzerinde yapılan çalışmaya göre, mikroplastiklerin yutulmasının ardından 10 saat içinde mikroplastiklerin % 50'sini, yutulmanın ardından 33 saatte ise % 90'lık bir kısmını vücuttan atıldığı gözlemlenmiştir (Rainieri & Barranco, 2019). Buna karşın levrek balıklarının tükettiği yemde bulunan 1-5 µm boyutundaki mikroplastiklerin, kas dokusuna çok düşük seviyelerde de olsa geçebildiği tespit edilmiştir. Bu geçişin nasıl gerçekleştiği tam olarak bilinmemekle birlikte literatürdeki çalışmalar göz önüne alındığında bağırsak yoluyla geçtiği tahmin edilmektedir (Zeytin ve ark.,2020). Balıklarda, mikroplastikler ve bunlarla ilişkili kirleticiler karaciğer, kas ve beyin gibi bölgelerde tespit edilmiştir. Bu çalışma da mikroplastiklerin traslokasyonunu kanıtlar niteliktedir (Abbasi ve ark.,2018; J. Ding ve ark.,2020; Su ve ark.,2019).

Karami ve arkadaşları yaptıkları bir deneyde solungaç ve iç organları çıkarılmış balıkta et (Kas) ve iç organların mikroplastik içeriği karşılaştırmış ve yaptıkları incelemeler sonucunda balık etinde, iç organ içeriğinden daha fazla sayıda mikroplastik tespit edilmiştir (Karami ve ark.,2017). Mikroplastiklerin balıkların vücudunda yenilebilir kas dokuya geçebiliyor olması gıda güvenliği açısından gelecekte yapılacak araştırmalarda mikroplastiklerin organizmanın vücudundaki translokasyonunun daha detaylı incelenmesini gerektirmektedir (Zeytin ve ark.,2020). 13 ülkeden, 20 farklı markaya ait piyasada satılan sardalya ve çaça türündeki balık konserveleri analiz edilmiş, sonuç olarak balık konservelerinde düşük miktarda da olsa mikroplastik varlığı gözlemlenmiştir (Karami ve ark.,2017). Benzer bir çalışmada da incelenen 7 farklı markaya ait ton ve uskumru balık konservelerinin %80'inde en az 1 adet mikroplastik partiküle rastlanmıştır. Balık konservelerindeki mikroplastığın, üretim aşamasında kullanılan katkı maddelerine ait olabileceği bildirilmiştir (Akhbarizadeh ve ark.,2020).

Sucul kaynaklardan gelen birçok ticari üründe mikroplastik partiküllere rastlamak olasıdır. İnsanların besin olarak tüketmediği balık ununda, PS ve PET polimerleri tespit edilmiştir (Castelvetto ve ark.,2021). Bu tespit doğrultusunda yapılan çalışmalarda, mikroplastik partikül içeren balık unu ile beslenen balıklara mikroplastik geçişi olduğu gözlemlenmiştir (Hanachi ve ark.,2018).

2.6.1 Mikroplastiklerin balıklarda yarattığı etki

Balıklarda mikroplastik maruziyetinin etkilerini araştırmak amacı ile birçok çalışma yapılmıştır, yapılan çalışmaların bazıları çizelge 2.5'te verilmiştir. Mikroplastığın yutulması balıkları 2 farklı şekilde etkileyebilir:

1. Mikroplastikler balıklara fiziksel olarak hasar verebilir. Belli bir hacme sahip oldukları için sindirim sistemini tıkayabilir ve yalancı doygunluğa sebep olup besin alımını düşürebilir. Ayrıca sindirim sistemi organlarında hasarlara neden olabilir (Jovanović, 2017).
2. Plastiklere üretim esnasında eklenen kimyasallar ve bazı katkı maddeleri ayrıca su ortamda mikroplastiklerin yüzeyine tutunan patojenler ve bazı kirleticileri vücutlarına alan balıkların fizyolojisine, biyolojisine hatta ve hatta hayatta kalma davranışlarına etki edebilir (Jovanović, 2017; Strungaru ve ark.,2019; W. Wang ve ark.,2020). Mikroplastik yutmanın veya bununla ilişkili kimyasalların deniz hayvanları için bir tehdit oluşturduğunu gösteren kanıtlar bulunmaktadır (Rochman ve ark.,2015; Smith ve ark.,2018).

Yapılan bazı deneylerde balıklarda mikroplastik translokasyonu karaciğerde, hepatik strese yol açarken (Rochman et al., 2013), bazı balıklarda; enflamasyona, lipid birikimine, karaciğere mikroplastik translokasyonuna ve oksidatif strese sebep olmuştur (W. Wang ve ark.,2020; Yifeng Lu, 2016). Mikroplastik maruziyeti sonrası olumsuz etki gözlemlenmeyen balıklar da olmuştur (Avio ve ark.,2015).

2.6.2 Mikroplastiklerin balıklar üzerindeki fizyolojik etkileri

Balıklarda mikroplastik maruziyetinin etkilerinden biri düşük seviyede de olsa protein aktivitesi değişimidir. Mikroplastik yapısında bulunan ya da yüzeyine yapışmış kimyasal maddeler yutulmanın ardından balığın vücudunda salınıp aktivite gösterebilir. Alınan kimyasal maddelere tepki olarak; değişen bağışıklık aktivitesi, ekspresyon, kan

biyokimyasında değişiklik gibi yanıtlar verilebilir. Mikroplastikler ya da bununla ilişkili kimyasalların immün yanıtı indüklediği, lokalize hücre hasarına ve fizyolojik yapıların morfolojisinin değişmesine neden olabildiği belirtilmiştir. Mikroplastikler gastrointestinal sistemde oksidatif strese, doku ve organ seviyesinde histolojik hasara da neden olabilir (Wan ve ark.,2019; Yu ve ark.,2020). Mikroplastik kaynaklı kimyasallar kan bileşiminde değişikliklere, anemiye, bağışıklığın düşmesine neden olabilir (Hatami ve ark.,2019; Roda ve ark.,2020).

Çizelge 2. 5 Mikroplastiklerin bazı balık türleri üzerindeki etkileri (Parker ve ark.,2021)

| Balık Türü | Gözlemlenen Etkiler | |
|--|--|---|
| Japon medaka balığı (<i>Oryzias latipes</i>) | Hepatik stres | (Rochman ve ark.,2013) |
| Yeşil diskus (<i>Symphysodon aequifasciatus</i>) | Oksidatif stres | (Wen ve ark.,2018) |
| Nil Tilapyası (<i>Oreochromis niloticus</i>) | Genç balıklarda protein seviyeleri değişimi | |
| | Anemi kaynaklı kan ve vücut kimyası değişimi | (J. Ding ve ark.,2020; Hamed ve ark.,2019) |
| | Yetişkin balıklarda beyin aktivitesi ve metabolizması değişimi | |
| Gölgeli cam levrek (<i>Ambassidae</i>) | Genç balıklarda büyüme, hayatta kalma ve vücut kondisyonunda azalma | (Naidoo & Glassom, 2019) |
| Sazan (<i>Cyprinus carpio</i>) | Gastrointestinal sistem hasarı | (X. Xia ve ark.,2020) |
| | Büyümede azalma | |
| | Protein seviyeleri değişimi | |
| <i>Pimephales promelas</i> | Yan etki gözlemlenmeyen balıklar | (Laplaca & Peter Van Den Hurk, 2020; Malinich ve ark.,2018) |
| | Yetişkin balıklarda protein seviyeleri değişimi | |
| | Yetişkinlerde bazı ölümler | |
| Japon balığı (<i>Carassius auratus</i>) | Gastrointestinal sistem hasarı, Oksidatif stres | (H. Yang ve ark.,2020) |
| Zebra balığı (<i>Danio rerio</i>) | Yetişkin balıklarda ölümlere yol açan gastrointestinal sistem hasarı | (Boyle ve ark.,2020; Duan ve ark.,2020; LeMoine ve ark.,2018) |
| | Davranış değişiklikleri | |

| | | |
|--|---|-------------------------|
| <i>Asya deniz levreği (Lates calcarifer)</i> | Beslenme ve yüzme davranışlarında bozukluk | (Güven ve ark.,2018) |
| <i>Prochilodus lineatus</i> | DNA hasarı; Kan biyokimyası değişimi Beyin ve protein aktivitesi değişimi | (Roda ve ark.,2020) |
| <i>Bayağı levrek (Dicentrarchus labrax)</i> | Protein seviyeleri değişimi Ölümler | (Mazurais ve ark.,2015) |

Kan biyokimyası ve bağışıklık biyobelirteçleri, balıkların gastrointestinal sistem dışındaki doku ve organ disfonksiyonunu ve hasarını tanımlamak için kullanılacak yararlı göstergelerdir. Ayrıca bu göstergeler mikroplastikler ve bununla ilgili kimyasal maddelerin bağırsaktaki emilimini ve translokasyonunu gösterebilir (Hamed ve ark.,2019; Qiao ve ark.,2019; Roda ve ark.,2020). Mikroplastikler karaciğer, böbrekler ve beyin gibi organları etkileyebilir. Bu organların işlevsel olarak bozulması, vücut sıvısı bileşimini, nörotransmitterleri etkileyebilir (Walpitagama ve ark.,2019; X. Wang ve ark.,2019). Beyine geçebilen mikroplastikler; büyüme ve gelişmeyi, hayatta kalmayı etkileyebilecek beslenme, üreme gibi endokrin ve merkezi sinir sistemine zarar verebileceği öne sürülmüştür (Athey ve ark.,2020; Laplaca & Peter Van Den Hurk, 2020).

2.6.3 Mikroplastiklerin balıklar üzerindeki biyolojik etkileri etkileri

Mikroplastik ve bununla ilişkili kimyasal madde maruziyetinden kaynaklanan davranış değişiklikleri genellikle balıklarda yüzme aktivitesi değişimi ve hayatta kalmayı olumsuz etkileyebilecek şekilde beyindeki veya merkezi sinir sistemindeki hücreleri etkilediğinde meydana gelir (Mak ve ark.,2019; Qiang & Cheng, 2019; H. Yang ve ark.,2020). Balıklarda bu yüzme davranışındaki bozukluklar geçici olabilir (Duan ve ark.,2020; Pannetier ve ark.,2020). Erken gelişim döneminde mikroplastik maruziyetinin daha zararlı etkileri olabilir. Mikroplastikler ve daha küçük parçacıklar olan nanoplastikler balık yumurtalarına bağlanıp gaz değişimini ve kuluçka sürelerini etkileyebilir (Batel ve ark.,2020; Duan ve ark.,2020).

Mikroplastiklerin hayvanlara trofik transferini izlemek ve balık organlarında mikroplastikleri izlemek, zararsız tekniklerin geliştirilebilmesi için mikroplastik karbon izotoplarının potansiyel olarak kullanılabilir niteliğe sahip olduğu düşünülmektedir (Schür ve ark.,2019; Taipale ve ark.,2019).

Mikroplastiklerin balıklar üzerindeki toksik etkileri plastik türüne, kimyasal bileşimine ve mikroplastik yüzeyine tutunmuş kirleticilere bağlıdır (Zhang ve ark.,2017). Ayrıca mikroplastik miktarının balık büyüklüğü ile doğru orantılı bir artış oranı bulunduğu rapor edilmiştir. Bu bağlamda büyük balıklara mikroplastik maruziyetinin daha fazla olduğu söylenebilir (O Cheung ve ark.,2018). Balıkların vücudundaki sıcaklık ve pH'ların farklılık göstermesi mikroplastiklerin vücuttaki aktivitesini değiştirebilir, mikroplastiklerin yapısında ya da yüzeyindeki zararlı kimyasal maddelerin salınmasına yol açabilir (Coffin ve ark.,2019; Hwang Lee ve ark.,2019; Wu ve ark.,2020). Balıklarda mikroplastiklerin varlığı bu kadar kesinleşmişken daha üst trofik düzeyde olan insanların mikroplastiklere ve beraberindeki kirleticilere maruz kaldığı sonucuna varılabilir (Huang ve ark.,2020). Bu da gıda güvenliği ve bulunabilirliği açısından ciddi risk teşkil etmektedir.

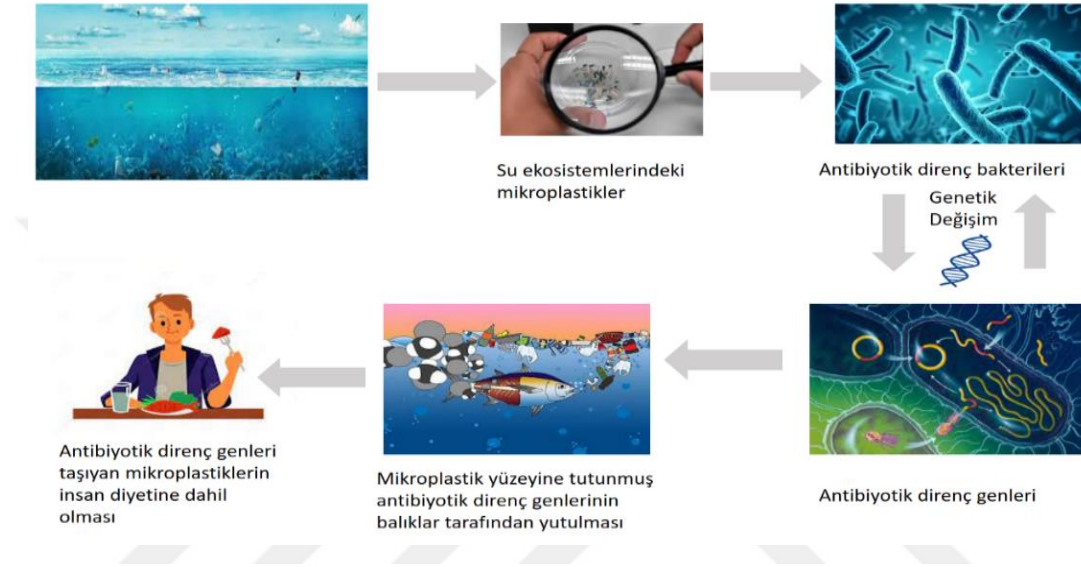
2.7 Mikroplastikler ve Antibiyotik Direnç Genleri İlişkisi

Antibiyotik direnç genleri (ADG), özellikle son zamanlarda su ekosistemlerinde sıklıkla tespit edilmiştir. Çin haliçlerinde metagenom veya Kantitatif Polimeraz Zincir Reaksiyonu (q-PCR) kullanılarak farklı ortamlarda 200'den fazla ADG alt türü gözlemlenmiştir. Bu tespit doğrultusunda, su ekosistemlerinin ADG'lerinin ortaya çıkmasında ve yayılmasında etkili olabileceği düşünülmektedir (C. Q. Chen ve ark.,2017; Gao ve ark.,2018; Y. G. Zhu ve ark.,2017). Mikroplastiklerin, su ürünleri yetiştiriciliği alanlarında ve denizlerde bulunduğu bilinmektedir (M. Chen ve ark.,2018; J. Zhu ve ark.,2019).

Mikroplastiklerin spesifik bir yüzey alanı vardır bundan dolayı ağır metalleri, organik kirleticileri, çeşitli mikroorganizmaları ve antibiyotikleri absorbe etme eğilimindedirler (Dong ve ark.,2021; Sathicq ve ark.,2021). Mikroplastiklerin yüzeyindeki mikrobiyal çeşitlilik suya oranla çok daha yüksektir. Mikroplastiklerin yüzeyindeki *intI 1* geni miktarının, sudakinden 2-3 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Plastic Europe, 2019). Mikroplastikler, denizde ADG'ler için potansiyel bir vektör ve önemli bir konaktır (Liu ve ark.,2021). Mikroplastikler, mikroorganizmaları çevresel etmenlere karşı koruyabilir, böylece daha stabil ve uzun süreli bir yaşam alanı sağlayabilir (Jiang ve ark.,2018). Yapılan bazı deneylerde, mikroplastiklerin buldukları su ortamında bakterileri, antibiyotikleri ve ADG'lerini bulundurabildiği gözlemlenmiştir (J. H. Wang ve ark.,2018; Y. Yang ve ark.,2019). ADG taşıyan mikroplastik partüküller, denizlerde genetik kirliliğe neden olabilir. Bunu yutan balıklar aracılığıyla besin zincirine

dahil olabilir. Böylece ADG taşıyan mikroplastik partiküller insan vücuduna taşınabilir ve öngörülemeyen zararların ortaya çıkmasına sebep olabilir (Q. Chen ve ark.,2019). Bu translokasyon aşamaları şekil 2.4'te şematize edilmiştir.

Mikroplastiklerin yüzeyinde antibiyotik dirençli bakterilerin (ADB) birikmesi, antibiyotik kullanımını tetikleyip arttırabilir ve sonuç olarak ADG'lerin ortaya çıkmasına neden olarak kısır döngü oluşmasına ve dolayısıyla toplum sağlığı, gıda güvenliği gibi alanlarda ciddi risklerin ortaya çıkmasına neden olabilir.



Şekil 2. 4 Antibiyotik direnç genlerinin oluşumu ve insanlara geçişi

Yapılan araştırmalarda mikroplastiklerin, mikrobiyal toplulukların evrimine etki ettiği ve farklı bakteriler arasında ADG'leri de dahil olmak üzere gen alışverişini arttırabileceği sonucuna varılmıştır (Arias-Andres ve ark.,2018). ADB ve ADG'lerin mikroplastiklere tutunması suda yaşayan canlıların toksikolojik etkisini artırır. Mikroplastiklerin su akıntısı ile yayılması gen kirliliğine neden olabilir. Bu nedenle mikroplastik ve ADG etkileşim mekanizması detaylı şekilde incelenmelidir. Bu konu sağlıklı ve kaliteli su ürünleri yetiştirmek ve ekolojik dengeyi koruma açısından da önem taşımaktadır (Arias-Andres ve ark.,2018).

Kültür balıkçılığı ortamlarında hem ADB'ler hem de ADG'lerin var olduğu tespit edilmiştir. Çeşitli bakteri türlerine sahip suyun değişkenliği göz önüne alındığında, birkaç bakteri türü ve birden fazla ilacın kombine kullanımından kaynaklı çoklu direnç genleri oluşmuş olabilir (C. Deng ve ark.,2020). Mikroplastiklerin hidrofobik yüzeyi, mikroorganizmaların yaşaması için uygun ortam sağlar. Mikrobiyal yaşam için "plastisfer" adı verilen biyofilm oluşumuna katkı sunar. Mikroplastik yüzeyindeki

biyofilm oluşumu, mikroorganizmalar için ve yüksek besin içerikli ortamlarla etkileşim sağlayabilir (Dong ve ark.,2021). Yapılan araştırmalarda, mikroplastiklerin yüzeyindeki mikrobiyal nişin sudan daha yüksek olduğunu zaten gözlemlenmiştir. Denizde yüzen bir gram ağırlığa denk mikroplastığın, bulunduğu çevredeki bin litrelik suya göre daha fazla mikroorganizma barındırabileceği tespit edilmiştir (Bianco ve ark.,2020; L. Wang ve ark.,2021). ADG'lerin varlığı PVC, PE, PP ve PS türevli mikroplastiklerde farklı yoğunlukta oluşmaktadır. PE türevli mikroplastiklerde daha yüksek miktarda ADG gözlenmiştir (Liu ve ark.,2021). Mikroplastiklerin yer değiştirmesiyle mikroorganizmalar diğer ekosistemlere taşınabilir ve taşındıkları ekosistemlerdeki mikroorganizmalarda farklılıklara sebep olabilir. Bu durum kolera, tifo gibi su kaynaklı salgın hastalıkları tetikleyebilir ve dünya genelinde ciddi salgınlar oluşturabilir (Caminade et al., 2018; Filho et al., 2019). Mikroplastik yüzeyinde tespit edilen *Aspergillus fumigates* mantarı su güvenliğini ve dolayısıyla insan sağlığını tehdit eder (Zettler ve ark.,2013). Mikroplastikler su ortamında ADG'lerin miktarını artırabilir. Yapılan bir deneyde nehir suyuna eklenen PVC ve PVA türevli mikroplastiklerin nehirdeki ADG miktarlarını önemli ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir (Liu ve ark.,2021). Kuzey Pasifik okyanusundan toplanıp incelenen mikroplastiklerdeki ortalama ADG miktarlarının deniz suyuna oranla 5,69 kat daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Zettler ve ark.,2013). Ayrıca yapılan bir başka ölçümde mikroplastiklerdeki *tet* genlerinin miktarları sudakinden 2200-6600 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Lu ve ark.,2019). Mikroplastikler vasıtasıyla taşınan ADG'lerin organizmalarda genetik toksisiteye ve mikroeolojik dengesizliğe neden olabilmektedir (Q. Chen ve ark.,2017).

2.7.1 Antibiyotik direnç genleri taşıyan mikroplastikleri içeren balık tüketiminin insanlar üzerindeki zararlı etkileri

Güney Kore'nin batı denizinde yapılan bir çalışmada kabuklu deniz ürünleri örneklerinden 24 çeşit *Shewanella putrefaciens* izole edilmiş bu mikroorganizmanın 16 çeşit antibiyotiğe dirençli olduğu tespit edilmiştir (Kang et al., 2013; Menéndez-Pedriza & Jaumot, 2020). Mikroplastikler ADG'lerin yer değiştirmesini sağlar, tüm sucul ekosistemde geri dönüşü olmayan hasara ve hatta birçok ülke için ekosistemin antibiyotik direnç genleriyle kirlenmesine neden olabilir (Y.-G. Zhu et al., 2012). Bu duruma karşı önlemler alınmalıdır, alınabilecek ilk önlem plastikleri deniz ve diğer ekosistemlere atmamak ve plastik kullanımını azaltıp mikroplastikleri çevreden uzaklaştırmaktır. Bir

diğer önlem ise kültür balıkçılığında hastalıkları önlemek ve kontrol altına almak için ekolojik sağlıklı teknolojileri kullanıp antibiyotik kullanımı azaltmaktır. Böylece ADG'lerin oluşma ihtimali azaltılmış olacaktır (Arslan, 2018). ADG'lerin bakterilerde birikmesi ve yayılması, kalıcı hastalıkların önlenmesi ve tedavisi için ciddi sorunlara neden olmaktadır (Dadgostar, 2019). Antimikrobiyal dirence karşı etkili bir önlem alınmazsa 2050 yılına kadar dünya çapında yaklaşık 10 milyon insanın ölebileceği ve her yıl 300 milyar ila 1 trilyon dolardan fazla maliyetin oluşabileceği tahmin edilmektedir (Laxminarayan ve ark.,2013).

2.7.2 Mikroplastikler aracılığıyla taşınan antibiyotik direnç genlerinin insan bağırsağı üzerinde etkileri

Mikroplastikler yüzeyinde Antibiyotik Direnç Genlerini (ADG) bulundurabilmektedir. Bu ADG'leri balık tüketimiyle insan bağırsağına geçebilmektedir. Yapılan bir deneyde insan bağırsak koşulları simüle edilip gözlemler yapılmış, sonuç olarak mikroplastiklerin bağırsaktaki salınım oranının deniz suyundan 30 kat daha fazla olduğunu raporlanmıştır (Bakir ve ark.,2014). İnsanların sıklıkla ADG'lere maruz kalması, antibiyotiğe direnç geliştirme ihtimalini artırabilir, sonuç olarak antibiyotiğe direnç geliştiren hastalıklar ortaya çıkabilir (Manage, 2018). Mikroplastikler *Vibrio parahaemolyticus* gibi patojen bakterilerin taşıyıcısı olabilir bu bakteri bağırsak florasında değişikliklere neden olabilir (Wagner et al., 2014). Bir başka araştırmada bu vasıta ile insan vücuduna alınabilecek kirleticiler bağırsaklara girerek florasının değişmesine sebep olmakta, bunun yanında bağışıklık sistemini etkilemekte; diyabet, hepatotoksisite, obezite gibi ciddi hastalıklara sebep olduğu raporlanmıştır (Jin ve ark.,2017). Mikroplastik partiküller oral alımdan sonra bağırsaktan dolaşım sistemi aracılığıyla karaciğer, safra kesesi, beyin ve akciğere taşınabilmektedir. *In-vitro* olarak yapılan bazı çalışmalarda karaciğer, akciğer ve beyin hücrelerinde toksisite gözlemlenmiştir (Liebezeit & Liebezeit, 2013). Mikroplastik maruziyetinin sistemik dağılımının etkileri şöyle sıralanabilir: genotoksisite, oksidatif stres, kardiyopulmoner yanıtlarlar, endojen metabolizmada değişiklik, inflamatuvar yanıtlar, besin emiliminde değişiklik, bağırsak mikrobiyomunda değişiklikler (Dubaiş & Liebezeit, 2013; GESAMP, 2015). Mikroplastiklere maruziyet aynı zamanda bununla ilgili kimyasallara maruz kalmaya da neden olabilir (GESAMP, 2015.). Yapılan bir araştırmada mikroplastiklere tutunan kimyasallardan biri olan Poliklorlu Bifenillerin (PCB'lerin)

diyetle alımını ölçmek için araştırmalar yapmış ve kişilerde günlük 1-83 ng PCB / kg vücut ağırlığı aralığında alındığını raporlamıştır (Rojin Tavakoli, 2021). İnsanlara Bisfenol A (BPA) maruziyeti, mikroplastik kaynaklı olabileceği gibi paketlenmiş gıda ve içeceklerden de kaynaklanabilir. İdrarda llen BPA düzeyleriyle diyabet ve kardiyovasküler hastalıklar arasında korelasyon tespit edilmiştir (Melzer ve ark.,2015).

2.8 İnsan Sağlığı için Bir Tehdit: Mikroplastikler

Mikroplastikler su ekosistemlerinde her geçen gün daha fazla birikmektedir. Bu birikimin neticesinde balıkların mikroplastik partikülleri yutabildiği tespit edilmiştir. Küresel olarak balık tüketimi düşünüldüğünde, mikroplastiklerin insan diyetine dahil olduğu çıkarımında bulunulabilir. Bu konuda bazı çalışmalar yapılmıştır, mikroplastikler ve bağlantılı kirleticilerin insan sağlığına etkileri izelge 2.6'da özetlenmiştir. İnsan vücuduna alınan mikroplastiklerin %90'nın boşaltım sisteminden dışkı yoluyla attığı gözlemlenmiştir. (Smith ve ark.,2018; Wright & Kelly, 2017).

Mikroplastiklerin polimer türü, şekli, boyutu, yapımında eklenen kimyasal katkılar tutulma ve klirens oranını etkileyebilir. Mikroplastikler içeriğinin yanı sıra yüzeyinde de birçok kimyasal madde taşıyabilir (Lusher ve ark.,2015). Fareler ve insanlar üzerinde yapılan tıbbi araştırmalarda PS ve PVC parçacıklarının, bu canlıların bağırsak boşluğundan lenf ve dolaşım sistemine kadar ulaşabileceği tespit edilmiştir (Carbery ve ark.,2018).

İnsan vücudunun mikroplastik maruziyetine verebileceği tepkiler henüz tam olarak anlaşılamamış bir konudur. n çalışmalarda mikroplastiklerin insanlarda artmış enflamatuar yanıt, toksisite, bağırsak mikrobiyotasının bozulması gibi etkilerin olduğu gözlemlenmiştir. Bu etkiler maruz kalma konsantrasyonuna, bireysel duyarlılığa, mikroplastik yüzeyine tutunmuş olabilecek kimyasal kirleticilere göre değişkenlik gösterebilmektedir (Carbery ve ark.,2018). Bazı çalışmalarda mikroplastiklerin insan vücudunda dolaşım ve lenf sistemi aracılığıyla yer değiştirip bazı ikincil organlarda birikebileceği, M hücreleri ve dendritik hücreler gibi bağışıklık sistemiyle ilişkili hücelere etki edebileceği ne sürülmektedir (Anderson ve ark.,2016; Brown ve ark.,2001; Lomer ve ark.,2021; Powell ve ark.,2010; Tanaka ve ark.,2013). Genel olarak salınan ve mikroplastiklere yapışan kimyasallar izelge 2.7' de gösterilmiştir.

Çizelge 2. 6 Mikroplastikler ve bağlantılı kirleticilerin insan sağlığına etkileri

| Plastik Türü | Polimer | İnsan Sağlığına Etkileri | |
|------------------------------------|----------------|---|---|
| Polyester (PES) | | Deri döküntüleri Gözlerde ve solunum yollarında tahriş Meme kanseri hücrelerinin çoğalmasına neden olur | (Giller, 2019) |
| Poliyeten tereftalat (PET) | | Kanserojen etki Erkek bebeklerde yüksek yağlanma ve insülin direnci Cinsel hormonlarda azalma | (Allafi, 2020) |
| Poliyeten (PE) | | Cilt tahrişine, astıma ve hatta kansere neden olabilir. Solunması halinde poliyeten proksimal sklerodermaya neden olabilir | (McCormick ark.,2016) ve |
| Yüksek Yoğunluklu Poliyeten (HDPE) | | Endokrin bozucu Doğurganlığa etkiler Kanserojen Nörotoksik etkiler. | (Y. Li ve ark.,2008) |
| Düşük yoğunluklu poliyeten (LDPE) | | Kanser ve üreme sorunları | (Kumar Sen & Raut, 2015) |
| Polivinil klorür (PVC) | | Kanser kanda birikebilir Genetik değişikliklere Kronik bronşit Ülser Cilt hastalıkları Görme sorunları Karaciğer fonksiyon bozuklukları | (Basiglini ve ark.,2018; Karbalaei ve ark.,2019) |
| Polistiren (PS) | | Üreme anormalliklerine sebep olan toksik monomerlerin salınımına neden olabilir İnsan mide hücrelerinin canlılığını, morfolojisini etkileyebilir. Artmış lenfatik ve hematopoetik Kansere neden olabilir | (Kerstin H. Wyssusek, 2019) |
| Polipropilen | | Hafif düzeyde cilt tahrişi Astım Skleroderma | (Paul Das & Kumar, 2018) |

Çizelge 2. 7 Genel olarak salınan ve mikroplastiklere yapışan kimyasallar

| Mikroplastiklere Yapışan Kimyasal Türü | İnsan Sağlığına Etkileri | |
|--|--|--|
| PCB | Kanserojen etkiye sahip olabilir Beyin, deri ve iç organlarda hastalıklarına neden olabilir Üreme sistemini etkileyebilir Sinir sistemini etkileyebilir Bağışıklık sistemini etkileyebilir | (F. Wang, Wang, ve ark.,2018) |
| DDT | Hormonal salgınlarda bozulma Karaciğer fonksiyonlarına etki Kanserojen özellikler | (Furio ve ark.,2015) |
| PBDE | Organizmalar ve insanlar üzerinde toksik etkileri vardır, Tiroid hormonu bozucular | (Heindel ve ark.,2015) |
| BPA | Fetüsün sağlığını tehdit eder ve hatta kansere neden olur, Endokrin bozukluklarına yol açar. | (Schür ve ark.,2019; Vermeirssen ve ark.,2018) |
| NP | Östrojeni taklit edebilen çevresel hormonlar; organizmanın cinsel gelişimi üzerinde etkisi vardır; ve organizmaların endokrinine müdahale eder | (Vermeirssen ve ark.,2018) |
| Ftalatlar | Gelişimsel anormalliklere neden olabilir Erkek üreme sağlığı, gebelik ve solunum sağlığına etkileri olduğu tespit edilmiştir | (Rist ve ark.,2018) |
| PAH | Güçlü kanserojen etki, temas halinde insanlarda kansere neden olabilir | (Rist ve ark.,2018) |
| Polibromludifenil eterler (PBDE) ve Tetrabromobisfenol A (TBBPA) | Tiroid hormonunun aktivitesini bozduğu insanlarda hormon bozukluğuna neden olabilir. | (Rist ve ark.,2018) |

150 µm ve daha büyük plastik partiküllerin bağırsak sistemi tarafından emilemediği bildirilmiştir. Yenilebilir kas dokusunda ve farklı organlarda bulunan mikroplastiklerin ise mideye alınan <20 µm mikroplastikler olduğu varsayılmaktadır. Yapılan çalışmalarda sahillerde örneklenen plastiklerde poliklorlu bifeniller gibi kalıcı organik kirleticiler tespit edilmiştir. (Akhbarizadeh ve ark.,2020; Can Tuncelli & Erkan, 2021; Rochman ve ark.,2015).

Geçtiğimiz yıl yapılan bir çalışmada, ilk defa insan kanında mikroplastik partiküller tespit edilmiştir. Çalışmada sağlıklı 22 gönüllü insandan kan örnekleri alınmış ve alınan bu örnekler ≥700 nm boyutundaki filtrelerden geçirilip; küresel ölçekte en çok üretilen PMMA, PP, PS, PE ve PET türevlerinden mikroplastik partiküllerin varlığının

tespit edilmesi amaçlanmıştır. Kanında mikroplastik partikül analizi yapılan gönüllülerden %77'sinin (22 kişiden n = 17'si) kanında mikroplastik partikül tespit edilmiştir. Bu tespit mikroplastiklerin insan kanına kadar geçebileceğini göstermesi açısından literatürde bir ilki teşkil etmektedir (Leslie ve ark., 2022). Söz konusu çalışma plastik ve mikroplastik atık konusunun bir çevre sorununun ötesinde, bir insan sağlığı sorunu olduğunu kanıtlar niteliktedir.

İnsan kanında tespit edilen mikroplastik parçacıklarının; kandan diğer organlara, özellikle kalın dokusal bir bariyer ile korunan beyne ulaşım ulaşamayacağı belirsizdir (Parker, 2022).

İnsanların plastikler/mikroplastikler ile ilişkisi malignite ve kanserogenez ile ilişkilendirilmiş ancak şimdiye kadar bu hipotez kanıtlanamamıştır. Mikroplastiklerin insan vücudundaki varlığının sebep olduğu kronik iltihaplanma ve tahribatın DNA'ya zarar vererek kansere sebep olabileceği iddia edilmektedir (Prata ve ark.,2018).

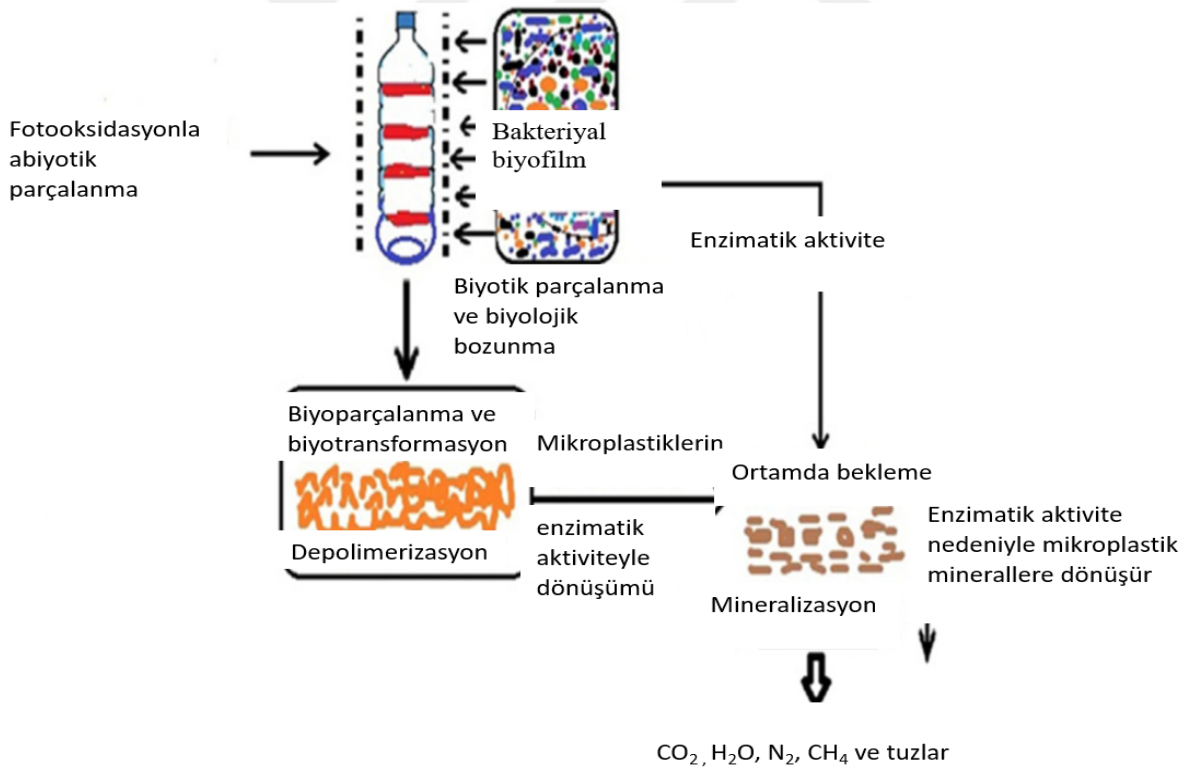
Mikroplastiklerin insan biyolojik dokusuyla nasıl etkileşime girdiği tam olarak bilinmemektedir. Bunun tam olarak anlaşılması için kapsamlı epidemiyolojik çalışmalar, standartlaştırılmış ve tekrarlanabilir yöntemler gerekmektedir.

2.9 Mikroplastiklerin Çevreden Uzaklaştırılması

Mikroplastik kirlilik küresel çapta endişe verici düzeyde artmaktadır. Mikroplastikler su ekosistemlerinin flora ve faunası üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Mikroplastiklerle ilgili çalışmalar genel olarak oluşum süreci, dağılımı ve canlılara olası etkileri hakkında olmuştur. Bunların bozunması ve çevreden uzaklaştırılma yöntemleriyle ilgili az sayıda çalışma mevcuttur. Plastikler, dış etmenlere karşı dayanıklı olacak bir biçimde imal edildikleri için su ekosistemlerinde uzun süre kalmaktadır. Mikroplastikleri çevreden uzaklaştırmak için yeni metodolara ihtiyaç vardır. Mikroplastikler ısı, ışık, oksidasyon ve hidroliz ile yavaş bir biçimde bozunabilmektedir. Bunun yanında mikroplastik partiküller bazı mikroorganizmalar tarafından da bozunabilmektedir (Yuan ve ark.,2020). Mikroplastikleri biyolojik olarak parçalayabilen mikroorganizmalara *Phormidium* sp. ve *Pseudoalteromonas* sp. örnek verilebilir.

HDPE, LDPE, PE ve PP 12 ay boyunca bu bakterilerle deniz suyu içerisinde bekletilmesinin ardından ağırlıklarının sırayla % 1.6,% 1.9,% 0.69 ve % 0.65 azaldığı gözlemlenmiştir (Artham ve ark.,2009). Bu sonuç bakterilerin mikroplastikleri çevreden uzaklaştırmak için umut verici bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Bakterilerin/mikroorganizmaların mikroplastığı bozarken mikroplastığın kimyasal içeriğini kullanım durumu hakkında yeterli araştırma bulunmamaktadır (Agathokleous ve ark., 2021). Bir başka çalışmada ise PE, PS, PET ve PP'den oluşan, kaynakları farklı mikroplastiklerin, *Bacillus cereus* ve *Bacillus gottheilii* bakterileri ile etkileşimi incelenmiştir. Mikroplastiklerin biyolojik bozunması taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda polimer yüzeyinde çatlaklar, delikler ve aşınmalar gözlenmiştir (Sowmya ve ark. 2014). FTIR ile incelenen iki bakteri türünün mikroplastikler üzerindeki bağ ayrışması ve kimyasal değişiklikleri karşılaştırıldığında, *B. gottheilii* suşunun daha iyi bir potansiyel mikroplastik bozucu olduğu düşünülmektedir (Auta ve ark., 2017; Sowmya ve ark., 2020). Şekil 2.5'te mikroplastiklerin degradasyonu, çizelge 2.8'de ise bazı mikroorganizmaların biyodegrede ettiği plastik polimerler verilmiştir.



Şekil 2. 5 Mikroplastiklerin degradasyonu (Chandra ve ark., 2020)

Çizelge 2.8 Bazı mikroorganizmaların biyodegrade ettiği plastik polimerler (Chandra ve ark.,2020)

| Mikroorganizma | Plastik Türü | |
|--|------------------------------|--------------------------------|
| <i>Erythrobacter sp.</i> | Plastik peletler | (Curren & Leong, 2019) |
| <i>Bacillus sp. BCBT21</i> | Plastik poşetler | (Dang ve ark.,2018) |
| <i>Zalerion maritimum</i> | PE | |
| <i>Pseudomonas sp., Clonostachys rosea, Trichoderma sp., Rhodococcus sp.</i> | PCL | (Urbanek ve ark.,2018) |
| <i>Proteobacteria, Bacteroides</i> | Mikroplastik LLDPE | (De Tender ve ark.,2015) |
| <i>Vibrio alginolyticus, Vibrio parahemolyticus</i> | PVA LLDPE | (Raghul ve ark.,2014) |
| <i>Arcobacter sp. and Colwellia spp.</i> | LDPE | (Harrison ve ark.,2014) |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | LDPE | (Priyanka, 2011) |
| <i>Bacillus cereus, Bacillus megaterium, Bacillus subtilis, and Brevibacillus borstelensis</i> | LDPE ve LLDPE | (Abrusci ve ark.,2011) |
| <i>Pseudomonas sp., Bacillus subtilis, Staphylococcus aureus, Streptococcus lactis, Proteus vulgaris, and Micrococcus luteus</i> | Parçalanabilir plastik | (Priyanka, 2011) |
| <i>Pseudomonas sp., Staphylococcus sp., and Bacillus sp.</i> | LDPE Tozu | (Usha ve ark.,2011) |
| <i>Bacillus cereus C1</i> | LDPE | (Suresh ve ark.,2011) |
| <i>Pseudomonas sp., Alcanivorax sp., Tenacibaculum sp.</i> | PCL'nin monofilament lifleri | (Sekiguchi ve ark.,2011) |
| <i>Shewanella, Moritella sp., Psychrobacter sp., Pseudomonas sp.</i> | PCL | (Miller & Sekiguchi Yu, 2010) |
| <i>Pseudomonas aeruginosa, Pseudomonas putida, and Bacillus subtilis</i> | Polietilen torbalar | (Nwachukwu ve ark.,2010) |
| <i>Staphylococcus epidermis</i> | LDPE | (Chatterjee ve ark.,2010) |
| <i>Arthrobacter sp. and Pseudomonas sp.</i> | HDPE | (Balasubramanian ve ark.,2010) |
| <i>Pseudomonas sp. (P1, P2, and P3)</i> | Doğal ve sentetik polietilen | (Nanda ve ark.,2010) |
| <i>Rhodococcus rhodochorus ATCC 29672</i> | HDPE, LDPE ve LLDPE | (Fontanella ve ark.,2010) |
| <i>Serratia marcescens</i> | Polietilen taşıma çantaları | (Sangale, 2012) |

| | | |
|---|--|--|
| <i>Bacillus sp.</i> , <i>Staphylococcus sp.</i> , <i>Streptococcus sp.</i> , <i>Diplococcus</i> <i>sp.</i> , <i>Micrococcus sp.</i> , <i>Pseudomonas</i> <i>sp.</i> , and <i>Moraxella sp.</i> | Polietilen taşıma çantaları ve bardakları | (Vijaya & Mallikarjuna Reddy, 2008) |
| <i>Bacillus cereus</i> , <i>Pseudomonas</i> <i>sp.</i> | Polietilen taşıma çantaları | (Sangale, 2012) |
| <i>Bacillus sp.</i> , <i>Micrococcus sp.</i> , <i>Listeria sp.</i> | HDPE ve LDPE | (Kumar Sen & Raut, 2015) |
| <i>Bacillus mycoides</i> | Bozunabilir polietilen | (Arutchelvi ve ark.,2008) |
| <i>Rhodococcus ruber</i> C208 | LDPE | (Sivan ve ark.,2006) |
| <i>Brevibacillus borstelensis</i> 707 | LDPE | (Hadad ve ark.,2004) |
| <i>Pseudomonas stutzeri</i> | LDPE | (Sharma & Sharma, 2004) |
| <i>Streptococcus sp.</i> , <i>Staphylococcus</i> <i>sp.</i> , <i>Micrococcus sp.</i> , <i>Moraxella sp.</i> , and <i>Pseudomonas sp.</i> | Polietilen torbalar ve plastik bardaklar | (Balasubramanian ve ark.,2010) |
| <i>Rhodococcus rhodocorrous</i> ATCC 29672 and <i>Nocardia</i> <i>steroids</i> GK 911 | Bozunabilir polietilen | (Bonhomme ve ark.,2003) |
| <i>Nocardia sp.</i> DSMZ43191, <i>Streptomyces coelicolor</i> , <i>Streptomyces griseus</i> , <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> , and <i>Xanthomonas sp.</i> | Doğal kauçuk | (Bode ve ark.,2000) |
| <i>Bacillus sp.</i> | Poliüretan | (Howard & Blake, 1998) |

2.10 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) nedir

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) bir tür titreşim spektroskopisi olup organik ve inorganik maddelerin kimliklerini tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır (Ono ve ark., 2011). Maddeyi oluşturan atom ve molekül bağlarından kaynaklı titreşimlerle oluşan frekanslar vardır. Bu frekanslara karşılık gelen absorpsiyon pikleri mevcuttur ve bu piklerden yola çıkarak kimliği belirlenmek istenen maddenin tespiti yapılmaktadır (Lin & Wang, 2012). Organik madde spektrumlarının özellikle de 2000 cm^{-1} den sonra gelen kısmı daha ayırt edicidir bu yüzden bahsi geçen bölge parmak izi bölgesi olarak adlandırılmaktadır. FTIR maddelerin kimliklerini tespit etmek amacıyla kullanılabilen oldukça hızlı, hassas, güvenilir, az örnek gerektiren ve ucuz bir yöntemdir (Bhat, 2013).

2.11 Van Gölü Su Ekosistemi ve İnci Kefali (*Chalcalburnus tarichi*)

Van Gölü, Türkiye'nin en büyük gölü olup, ülkenin doğusunda yer almaktadır. Rakımı 1648 metredir. Van Gölü'nün su hacmi 576 km³tür, ayrıca yüzey alanı 3522 km² olup ortalama derinliği 171 m ve maksimum derinliği 450 metredir. Van Gölü suyunun pH değeri 9.7-9.8 arasındadır. Göl %0.22'lik tuzluluk oranı ile Türkiye iç suları arasında yüksek tuzlu olarak sınıflandırılmaktadır (Kempe ve ark., 1991; Reimer ve ark., 2009). Van Gölü Türkiye'nin en büyük gölü olmanın yanı sıra dünyanın en büyük sodalı gölü olma özelliğini taşır (Kadioğlu, Batur ve ark., 1997). Van Gölü'nde takribi 36 zooplankton, 103 fitoplankton türü ve endemik bir balık türü olan İnci Kefali (*Chalcalburnus tarichi*) yaşamaktadır (Çelebi ve Oğuz, 2020). İnci Kefalinin yanında bu ekstrem şartlarda yaşamayı başaran bir diğer tür ise Van Gölü Küçük mercan balığı (*Oxynoemacheilus ercisianus*) dır. Van Gölü Küçük Mercan balığı gölde mikrobiyalit adı verilen oluşumların üzerinde yaşamını sürdürmekte olup ekonomik olarak öneme sahip değildir. Ancak ekolojik dengeyi sağlama açısından önemli bir türüdür. İnci kefali, Van Gölü'ndeki ekonomik değere sahip tek balık türüdür (IUCN 2013).

İnci kefali (*Chalcalburnus tarichi*) sadece Van Gölü'nde yaşayan, bu gölün yüksek derecede tuzlu ve sodalı ekstrem su koşullarına adapte olmuş sazangiller ailesine ait endemik bir balık türüdür (Kuru, 1975).

Van Gölü İnci kefali ülkemiz iç sularındaki balık stoku en fazla olan türdür. Van Gölü etrafında yaşamını sürdüren yaklaşık 15000 yöre insanının geçim kaynağını oluşturur. 2020 yılında Türkiye iç sularında avlanan toplam 33119 ton balığın, toplamda 9734 tonluk bölümünü İnci kefali oluşturur. (TUİK,2020). Bu sayısal veriler ışığında İnci kefali Türkiye'deki balık üretimin yaklaşık 1/3'lük kısmının karşıladığı söylenebilir. Böylesine önemli bir balık stokunun, insan sağlığına uygun bir şekilde devamlılığının sağlanması, Türkiye'nin ekonomisi ve gıda temini açısından çok önemlidir. Bu sebeple bütüncül olarak Van Gölü su ekosistemi sürdürülebilir varlığı ve İnci kefalinin tüketim devamlılığı ciddi önem teşkil etmektedir (Akkus,2021; FAO, 2009).

Van Gölünde yıllara göre avlanan İnci kefali miktarı ton cinsinden çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.9 Yıllara göre avlanan İnci kefali miktarları TÜİK (2022).

| Yıl | Avlanan İnci Kefali Miktarı (Ton) |
|------|-----------------------------------|
| 2018 | 9 790 |
| 2019 | 9 850 |
| 2020 | 9 600 |
| 2021 | 9 800 |



3. MATERYAL ve YÖNTEM

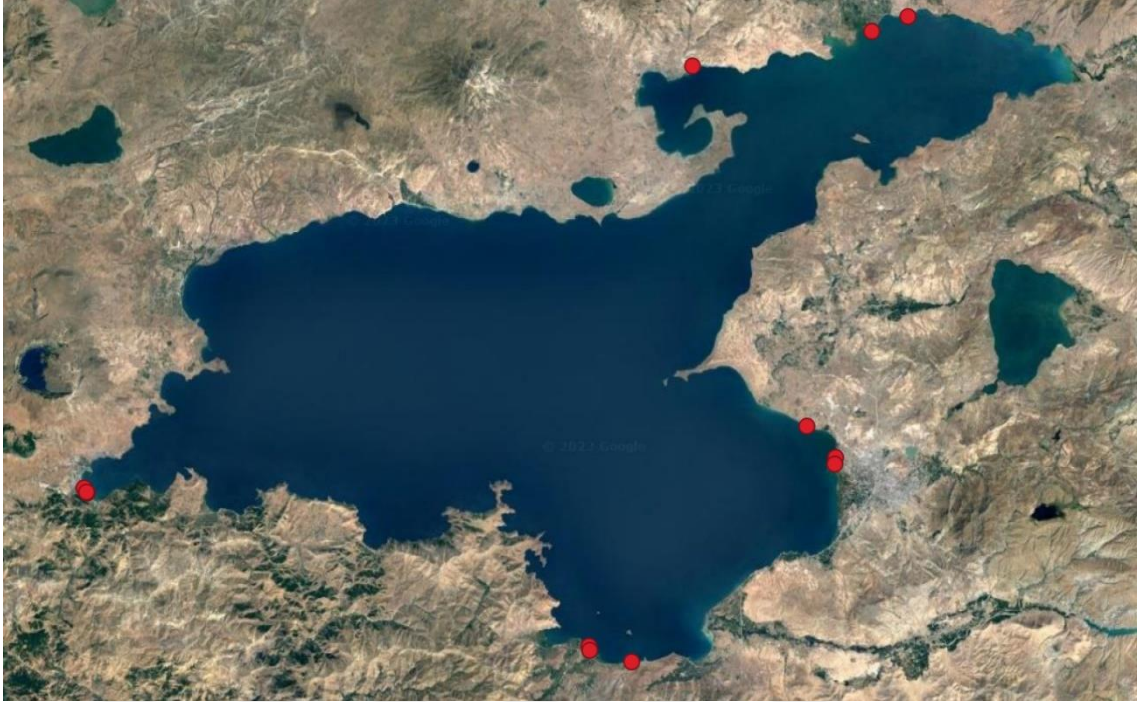
3.1 Van Gölü'nde Örneklem Toplanan İstasyonlar ve Örnek Toplama Usulü

2021 yılı Ekim ayında Van Gölü'ne kıyısı olan 4 yerleşim yeri/ ilçe seçilmiştir. Bu yerleşim yerleri; Van, Tatvan, Gevaş ve Erciş'tir. Belirlenen yerleşim yerlerinin 3 farklı istasyonundan 3 paralel olacak şekilde sediment (göl tabanı tortusu) örnekleri toplanmıştır. Ayrıca aynı istasyonlardan mikrobiyolojik analiz için göl suyu örnekleri de toplanmıştır. İstasyonların GPS koordinatları çizelge 3.1'de, harita üzerindeki görüntüsü ise şekil 3.1'de gösterilmiştir. Örneklem toplanırken insan faaliyetlerinin yoğun olabileceği noktalar seçilmiştir.

Çizelge 3. 1 Mikroplastik analizi için örneklem alınan istasyonlar ve koordinat bilgileri

| İstasyon Kodu | İstasyon Adı | Koordinat Bilgisi |
|----------------------|--------------------------------------|---|
| Van1 | Tuşba Kordon | 38.52761144383133, 43.318230138529074 |
| Van2 | Kampüs Sahil | 38.5609453442602, 43.2790568411033 |
| Van3 | 15 Temmuz Şehitler Parkı | 38.520585642191335, 43.31729835508139 |
| Tatvan1 | Sahil Park | 38.497232820531806, 42.29422033001634 |
| Tatvan2 | Fuar/ Lunapark | 38.490247419736285, 42.29543363584693 |
| Tatvan3 | İskele | 38.491262849295374, 42.29507234720348 |
| Gevaş1 | Akdamar İskelesi | 38.309167373747485, 43.039822639428195 |
| Gevaş2 | Çetin Kamping | 38.32611257271536, 42.981734766231185 |
| Gevaş3 | Akdamar Piknik | 38.32233056345922, 42.98220946253595 |
| Erciş1 | Öğretmenevi/Lunapark (Gezi bandı) | 38.997562023632256, 43.4174109224879 |
| Erciş2 | Eriş Atık Su Arıtma tesisi | 38.984043604949335, 43.366443760223206 |
| Erciş3 | Bitlis Van Yolu | 38.9441994483381, 43.1226463036969 |

Örnekler toplanırken plastik kontaminasyonu önlemek için pamuklu giysiler ve nitril eldivenler kullanılmıştır. Kıyıda toplanan sediment örnekleri metal kaşıkla, 1 kilogramlık metal kapaklı, cam kavanozlarda soğuk zincir korunarak laboratuvara taşınmıştır. Toplanan her bir göl suyu örneğinden 100 ml alınmıştır.



Şekil 3. 1 Mikroplastik analizi için sediment örneği toplanan istasyonların haritadaki konumları

3.2 Sediment örneklerinden mikroplastik izolasyonu

3.2.1 Elekten geçirme ve organik maddelerin giderilmesi

Belirlenen 4 yerleşim yerinin 3 istasyonundan toplanan 12 adet olmak üzere 1 kilogramlık sediment örneklerindeki plastik/mikroplastik parçacıkları boyutlarına göre kategorize etmek için paslanmaz çelik eleklerden geçirilmiştir. Buradaki öncelikli amaç mikroplastik tanımında ölçüt olan 5 mm'den büyük olan partikülleri dışlamaktır. Kullanılan eleklerdeki gözenek büyüklükleri; 5 mm, 1 mm, 0.3 mm ve 0.125 mm'dir. Örnek işleme ve analiz adımlarında plastik kontaminasyonunu önlemek için çeşitli tedbirler alınmıştır. Laboratuvar ekipmanları kullanılmadan önce distile suyla detaylı şekilde durulanmıştır. Plastik kontaminasyonunu önlemek için pamuklu laboratuvar önlükleri giyilmiştir ayrıca çalışılan alanda pencere ve kapı açılmamıştır. İstisnalar dışında mümkün olduğunca plastik malzemeler yerine cam ve metal malzemeler kullanılmıştır. Analizin ilk adımında eleklerin gözenekleri büyükten küçüğe doğru üst üste yerleştirilip bir elek sistemi oluşturulmuştur. Elek sistemi şekil 3.2'de gösterilmiştir. Sediment örnekleri buldukları kaptan 4 aşamalı elek sistemine boşaltılmadan önce kuvvetli şekilde çalkalanmıştır ayrıca cam kavanozlar distile su püskürtülüp durularak var olan bütün materyalin elek sistemine aktarımı sağlanmıştır. Plastik olmadığı aşıkır olan taş, ot, cam gibi maddeler fiziksel olarak ayıklanmıştır. Sediment örnekleri alındıkları yerleşim yeri ve istasyonun koduna göre isimlendirilmiştir. Örnekler elek

sistemine boşaltılıp 1 mm, 0.3 mm ve 0.125 mm boyutlarına göre kategorize edildikten sonra eleklerin yüzeyinde kalan tortular, distile su püskürtülerek cam kavanozlara alınmıştır. 5 mm'lik elek yüzeyi üzerinde kalan tortular mikroplastik tanımındaki boyut sağlanmadığı için incelemeye alınmamıştır.



Şekil 3. 2 Örnekleri boyutlarına göre kategorize etmek için oluşturulan dört aşamalı elek sistemi

Sediment tortularının içerisindeki organik materyalleri gidermek için Budimir ve ark. (2018), Sainio ve ark. (2021) ve Thiele ve ark. (2019) yöntemleri modifiye edilerek kullanılmıştır. Buradaki en önemli kısım mikroplastik partiküllere zarar vermeyecek yoğunlukta ve uygun ısıda kimyasallar kullanarak organik maddeyi gidermektir. Toplanan örnekler numune başına %10'luk 30 ml potasyum hidroksit (KOH) ile 40 °C ve 450 rpm'ye ayarlanmış ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda 60 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra sediment örnekleri numune başına %30'luk 5 ml hidrojen peroksit (H₂O₂) ile 40 °C ve 450 rpm'ye ayarlanmış ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda 15 dakika karıştırılmıştır. Akabinde örnekler 0.05 mol 20 ml demir sülfat (Fe₂SO₄) ile 40 °C ve 450 rpm'ye ayarlanmış ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda 60 dakika karıştırılmıştır. Organik materyallerden arınan sediment örnekleri bu işlemlerden sonra buldukları cam kavanozlarda 50 °C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurumaya bırakılmıştır (Budimir ve ark., 2018; Sainio ve ark., 2021; Thiele ve ark., 2019).

3.2.2 Örneklerin kimyasallardan arındırılması ve filtrasyon işlemi

Büyük oranda kuruyan sediment numuneleri kimyasallardan arındırılmak için filtre kağıtlarına alınıp distile su ile yıkanmıştır. Bu işlemin yapılmasında, örneklere FTIR analizi yapılacağından plastik/mikroplastik kimliğinin belirlenmesinde doğru ölçümler alınması amaçlanmıştır. Sediment örnekleri filtre kağıtlarında süzölmeye bırakılmıştır. Tamamen süzölen örnekler filtre kağıdıyla birlikte 50 °C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutulmuştur. Örnekler bu şekilde incelenmeye hazırlanmıştır.

3.3 Sediment Örneklerinden Mikroplastik Partiküllerin Kloroform ile İzolasyonu ve Miktar Tayini

Organik maddeleri giderilen, kimyasallardan arındırılan ve filtre kağıdında kurutulan sediment örneklerinden geriye kalan tortudaki mikroplastik partiküllerini yüzeye çıkartmak için kloroform kullanılmıştır. Bu analizde Papini ve ark. (2022) yöntemi modifiye edilerek kullanılmıştır (Papini ve ark., 2022). Örnekler kloroform ile muamele edilerek çözülmüş ve cam tüplerin içerisine alınmıştır. Tüpler 1-2 dakika vortekslenmiş ardından kloroformun oluşturduğu gradiyent farkı sayesinde yüzeye çıkmaları için 2 dakika beklenmiştir. Tortunun tamamen dibe çöktürölmesi için 5000 rpm'de 5 dakika santrüfuj işlemi gerçekleştirilmiştir. Kloroform içerisinde kalan mikroplastiklerin toplaması için üst faz mikropipet yardımıyla dikkatlice alınmış ve yeni tüplerin içerisine aktarılmıştır. Kloroformun giderilmesi için 1/1 oranında ultra saf su ilave edilmiş ve santrüfuj işlemi tekrarlanmıştır. Kloroform tamamen giderilinceye kadar birkaç kez santrüfuj işlemi tekrarlanmıştır. Kloroformdan arındırılan örnekler 50°C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutulmuş ve ardından ağırlıkları hassas terazi ile ölçölmüştür.

3.4 Örneklerin Mikroskop ile İncelenmesi

Sediment örneklerinden izole edilen mikroplastikler TT-TECHNI-C Binoküler Stereo marka model mikroskop ile analiz edilmiştir. Sediment numunelerinden izole edilen mikroplastikler lam üzerine alınmış ve boyut ölçümü için milimetrik bir cetvel yardımı ile ölçölmüştür. Örnekler ışık mikroskopunda x2 büyütmede incelenmiştir. Mikroplastikler adet, renk ve form olarak kategorize edilmiştir. Mikroplastiklerin boyut gruplandırılması için; <0,5 mm, 0,5-1 mm, 1-3 mm ve 3-5 mm aralıkları belirlenmiştir. Mikroplastikleri belirlenen boyutlarda kategorize etmek üzere ImageJ (National Institutes of Health) programı kullanılmıştır.

3.5 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi

Plastiklerin fonksiyonel gruplarının tespiti için FTIR analizi yapılmıştır. FTIR analizi için sediment numunelerinden elde edilen örnekler Agilent Cary 630 marka cihaza yerleştirilerek Attenuated total reflection-fourier transform infrared tekniği ile analiz edilmiştir. Cihaz parametreleri, spektral aralık 4000-500 cm^{-1} , arka plan taraması 16 kez, örnek taraması 16 kez ve çözünürlük 8 cm^{-1} olacak şekilde ayarlanmış ve analiz gerçekleştirilmiştir. Toplanan sediment örneklerinin incelenmesi için FTIR spektroskopisi kullanılmış ve örneklerde mevcut olan mikroplastik polimer cinsinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen spektrumlar Origin 2021 version (OriginLab Corporation, USA) adlı programda işlenerek grafikler elde edilmiştir. Elde edilen bu grafiklerde LDPE, PP, PS, PET türevli mikroplastiklerin varlığı incelenmiştir. Bahsi geçen mikroplastiklerin varlığı Spectroscopy online sitesinden elde edilen veriler referans pikler olarak kullanılmıştır (Smith, 2022).

3.6 Göl Suyu Örneklerinde Jenerik *Escherichia coli* ve Total Koliform Popülasyonlarının Membran Yöntemiyle Sayımı

Toplanan her bir göl suyu örneğinden 100 ml alınmıştır. Örnekler ile 3 tekrar çalışılmıştır. Örnekler vakum uygulanarak 0.45 μm gözenek büyüklüğündeki selüloz filtre kağıtlarından (Millipore, Billerica, MA, USA) geçirilmiştir. Daha sonra bu filtre kağıtları CHROMagar™ (ECC, Paris, France) üzerine sterilize edilmiş pens yardımıyla yerleştirilmiştir. Örnekler bu haliyle 24 saat boyunca 35-37°C'de inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrası seçici besi yerleri üzerinde oluşan belirgin koloniler jenerik *E. coli* ve Total koliform olarak tanımlanıp sayım yapılmıştır.

3.7 İstatistiksel Analiz

İncelenen örneklerdeki polimerlerin kimliğini tespit etmek için kullanılan FTIR spektroskopisi analizi sonucunda elde edilen spektrumlar Origin (2021Version Massachusetts, USA) adlı program kullanılarak işlenmiştir. Ayrıca spektrumlara JAPS programı kullanılarak iki yönlü varyans (Two-way ANOVA) analizi yapılmıştır. Yapılan istatistiksel analizler için $p < 0.05$ anlamlı sonuç olarak kabul edilmiştir.

4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Mikroplastiklerin su ekosistemlerindeki varlığı, neden olduğu çevre kirliliğinin yanı sıra besin zincirine dahil olarak son tüketici olan insanın diyetine transferi, oldukça endişe verici bir konudur (FAO, 2020). Van Gölü su ekosistemi yöre halkı için gıda temini açısından önemli bir yere sahiptir (Akkuş, 2021). Van Gölü su ekosisteminin başlıca bileşenlerinden olan sedimentte mikroplastik varlığının araştırılması bu bakımdan oldukça önem arz etmektedir. Türkiye’de mikroplastiklerin deniz ortamlarındaki varlığı hakkında birçok araştırma yapılmasına rağmen göl ekosistemlerindeki çalışmalar sınırlıdır (Aslan, 2018; Gündoğdu & Çevik, 2017).

Mikroplastikler durağan olan göl ortamları açısından ciddi bir stres faktörüdür (Karbalaeei ve ark.,2019). Bazı araştırmalarda mikroplastiklerin, su ortamına geçtikten sonra yoğunluklarına göre yüzme ya da batma eğiliminde olduğu, sudan daha yoğun mikroplastiklerin büyük olasılıkla su tabanında birikebileceği öne sürülmektedir (Boucher & Friot, 2017; Pollution & Safety, 2015). Sediment örneklerinin incelenmesi bu bakımdan önemlidir. Yapılan bu çalışmada deniz ve akarsu ekosistemlerine göre daha durağan olan göl ekosisteminin başlıca öğelerinden olan sedimentte mikroplastik birikimi tespit edilmeye ve konu ile ilgili literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

4.1 Van Gölü’nde Örneklem Toplanan İstasyonlar ve Örneklerin Toplanması

Bu tez çalışmasında 2021 yılı Ekim ayında Van Gölü’ne kıyısı olan 4 yerleşim yeri/ ilçe seçilmiştir. Bu yerleşim yerleri; Van, Tatvan, Gevaş ve Erciş’tir. Belirlenen yerleşim yerlerinin 3 farklı istasyonundan göl suyu, sediment (göl tabanı tortusu) örnekleri toplanmış göl suyu örneklerinde mikrobiyolojik analiz; sediment örneklerinde ise mikroplastik varlığı araştırılmıştır. Gözle görülebilen plastik kirliliği şekil 4.1 de verilmiştir.



Şekil 4. 1 Gözle görülebilen plastik kirliliği

4.2 Örneklerden Mikroplastik İzolasyon Sonuçları

Toplanan sediment örneklerinde gözle görünür şekilde mikroplastik partiküllere rastlanmıştır. Gözle görülebilen mikroplastiklere dair örnekler şekil 4.2’te verilmiştir. Plastik ve mikroplastik partiküller incelendiğinde; bu partiküllerin kaynağının insan faaliyetleri sonucunda su ekosistemine geçtiği düşünülebilir. Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Pollution’ın (2015) (GESAMP) çalışmalarına göre sucul ortamdaki mikroplastik partiküllerin %80’inin karasal kaynaklı olduğu tespit edilmiştir (GESAMP, 2015).

Toplanan örneklerin elekten geçirilmesi sırasında gözle görülebilen mikroplastikler şekil 4.2’ te gösterilmiştir. Organik madde giderimi yapılan sediment örneklerinden mikroplastik partiküller kloroform ile izole edilip hassas teraziyle tartılmak suretiyle mikrogram (μg) cinsinden miktar tayini yapılmıştır bu işlem sonucunda elde edilen bazı mikroplastikler şekil 4.3’te gösterilmiştir. Sediment örneklerinden izole edilen mikroplastikler stereo mikroskop ile sayımı yapılmış ayrıca morfotipleri renk ve form olarak kategorize edilmiştir.



Şekil 4. 2 Toplanan örneklerin elekten geçirilmesi sırasında gözle görülebilen mikroplastikler



Şekil 4. 3 Bazı sediment örneklerinden izole edilen mikroplastikler

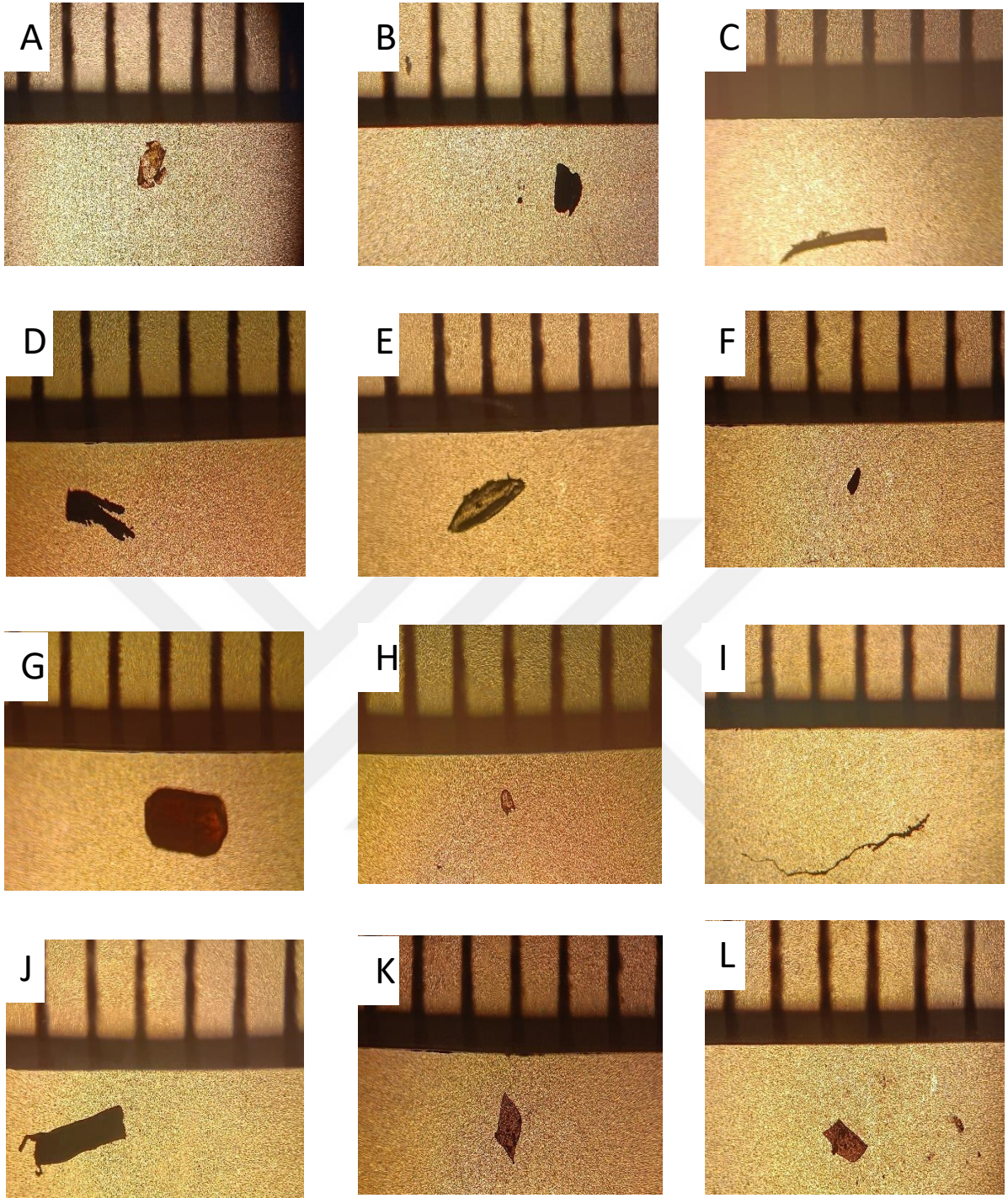
Sediment örneklerinden kloroform kullanılarak izole edilen mikroplastik partiküllerin hassas terazi ile tartılıp ortalamasının alınması sonucunda elde edilen veriler çizelge 4.1’de verilmiştir. Veriler incelendiğinde en fazla ağırlık Tatvan bölgesinde ölçülmüştür. Karşılaştırılan yerleşim yerlerinin nüfusu göz önüne alınıp literatürdeki çalışmalar incelendiğinde bu şaşırtıcı bir sonuçtur çünkü mikroplastik miktarı ile nüfus pozitif korelasyona sahip olduğunu tespit eden çalışmalar mevcuttur (Sainio ve ark., 2021; Nel ve ark., 2017). Bu sonucun; Tatvan’ın günlük olarak çevre illerden fazlaca ziyaretçi alması, oldukça popüler olması, sahil bölgesinde pek çok kafe restoran ve parkın bulunması bu ziyaretçilerin genellikle belirli bölgelerde yoğunlaşması, toplanan örneklerin de bu yoğun bölgelerden alınmasından kaynaklı olabileceği düşünülebilir. Van Gölü su ekosisteminde plastik birikiminin çıplak gözle bile net bir biçimde görülecek kadar yoğun olmasının nedenlerinden biri de çevre bilincinin yetersiz olmasıdır.

Çizelge 4. 1 Sediment örneklerinden izole edilen mikroplastik partiküllerin hassas terazi ile mikrogram (μg) cinsinden tartımı

| İstasyon Kodu | Elek Gözenek Çapı | | |
|------------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------|
| | 1 mm | 0.3 mm | 0.125 mm |
| Van1 | 1.8 μg | 1.1 | 0.7 μg |
| Van2 | 30.5 μg | 5.4 μg | 3.9 μg |
| Van3 | 17.4 μg | 3.1 μg | 2.9 μg |
| Van Ortalama | 7.4 μg | | |
| Tatvan1 | 324.5 μg | 6.4 μg | 0.7 μg |
| Tatvan2 | 74 μg | 10.3 μg | 0.5 μg |
| Tatvan3 | 27.5 μg | 1.4 μg | 0.3 μg |
| Tatvan Ortalama | 49.5 μg | | |
| Erciş1 | 3.9 μg | 1.6 μg | 0.1 μg |
| Erciş2 | 12.3 μg | 1.2 μg | 0.1 μg |
| Erciş3 | 4.7 μg | 1.6 μg | 0.4 μg |
| Erciş Ortalama | 2.8 μg | | |
| Gevaş1 | 18.8 μg | 2.2 μg | 1.4 μg |
| Gevaş2 | 41.3 μg | 1.3 μg | 1.1 μg |
| Gevaş3 | 1.9 μg | 1.4 μg | 1.0 μg |
| Gevaş Ortalama | 7,8 μg | | |

4.2 Örneklerin Stereo Mikroskop ile İncelenmesi

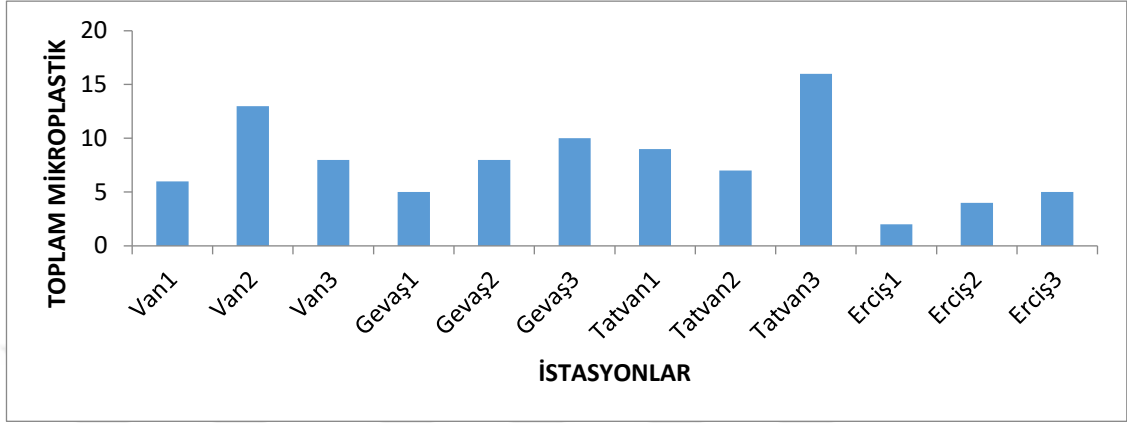
Organik madde giderimi yapılan sediment örneklerinden izole edilen mikroplastik partiküller stereo mikroskopuyla incelenip fotoğraflanmıştır buna ilişkin bazı fotoğraflar ve örneklerin alındıkları istasyon kodlarının verileri şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. 4 Stereo mikroskopuyla incelenip fotoğraflanan mikroplastikler

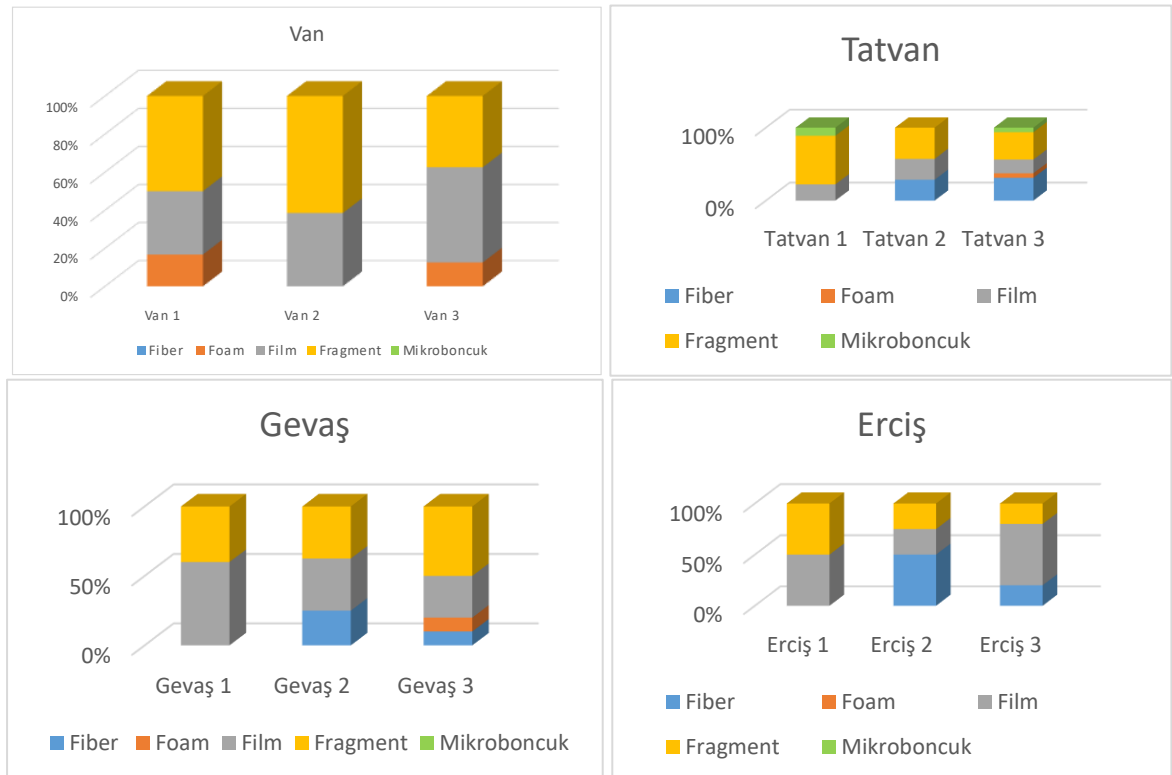
A) Van1 istasyonundan izole edilen film, B)Van2 istasyonundan izole edilen fragment, C)Van3 istasyonundan izole edilen film, D)Tatvan1 istasyonundan izole edilen fragment, E)Tatvan2 istasyonundan izole edilen film, F)Tatvan3 istasyonundan izole edilen fragment, G)Gevaş1 istasyonundan izole edilen fragment, H)Gevaş2 istasyonundan izole edilen film, I)Gevaş3 istasyonundan izole edilen fiber, J)Erciş1 istasyonundan izole edilen fragment, K)Erciş2 istasyonundan izole edilen film, L)Erciş3 istasyonundan izole edilen film

Stereo mikroskoplara incelenen mikroplastiklerin sayımı yapılmıştır ve istasyonlarda tespit edilen toplam mikroplastik sayısı şekil 4.5'te verilmiştir. Veriler ışığında en fazla mikroplastik 16 adet olarak Tatvan3 istasyonunda tespit edilmiştir. Toplanan bütün sediment örneklerinde 93 mikroplastik partikül tespit edilmiştir.



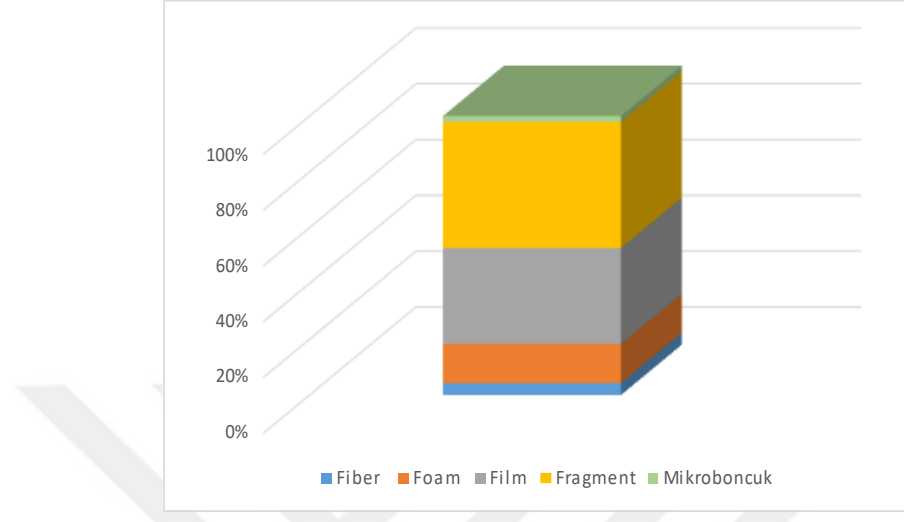
Şekil 4. 5 İstasyonlarda tespit edilip mikroskopa tespit edilen mikroplastiklerin sayısı

İncelenen sediment örneklerinde çeşitli formlarda mikroplastik partiküller tespit edilmiştir. Sediment örneklerinde tespit edilen mikroplastikler formlarına göre; fiber, foam (köpük), filmler, fragment (parça) ve mikro boncuklar olmak üzere beş kategoriye ayrılabilir (Wagner ve ark.,2014). Bu veri ışığında mikroplastiklerin formları incelenmiş ve buna ilişkin oransal veriler şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4. 6 İstasyonlara göre mikroplastiklerin formlarına ilişkin oransal veriler

Bütün istasyonlarda tespit edilen mikroplastiklerin formları incelendiğinde baskın formun %45 ile fragment olduğu tespit edilmiş olup bu değeri %34 ile film formu takip etmektedir. Bu tespiti ilişkin oransal veriler şekil 4.7’de verilmiştir.



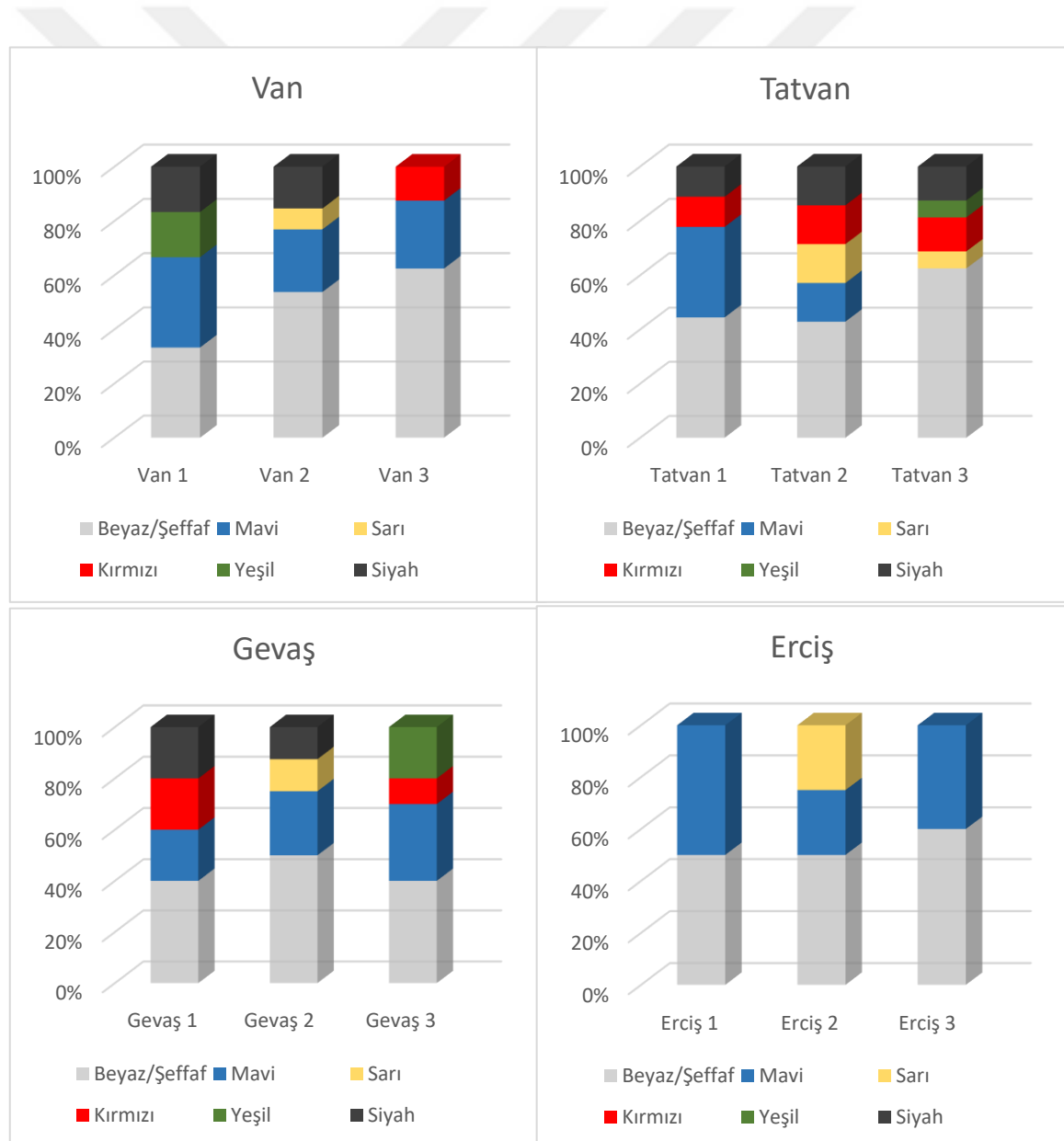
Şekil 4. 7 İstasyonlarda tespit edilen bütün mikroplastiklerin formlarına ilişkin oransal veriler

Atık sular, su ekosistemlerine deşarj edildiklerinde çoğunlukla filtrelenmez, doğrudan sucul ortamlara salınmaktadırlar (Jambeck ve ark.,2015). Van Gölü de bu salınımın doğrudan yapıldığı sucul ortamlardan biridir. Yapılan çalışmalarda kıyafet üretiminde kullanılan polyester gibi sentetik polimerlerin yıkandıkça çevreye mikroplastik lifler saçtığı, bu mikroplastik liflerin kanalizasyon yani atık su sistemine buradan da su ekosistemlerine geçtiği düşünülmektedir (Belzagui ve ark.,2019; Guerranti ve ark.,2019; Henry ve ark.,2019; Hernandez ve ark.,2017; Morritt ve ark.,2014; Napper & Thompson, 2016). Tespit edilen fiber formundaki mikroplastiklerin kaynağının, çamaşır makinesiyle yıkanan polimer türevli kıyafetlerin olduğu düşünülebilir (Aslan, 2018). Balıkçılık faaliyetleriyle de su ekosistemlerine mikroplastik geçişi mümkündür. (Jambeck ve ark.,2015). Çalışmada tespit ettiğimiz fiber formundaki mikroplastiklerin kaynaklarından biri de balıkçılık faaliyetleri olabilir.

Yapılan bazı araştırmalarda mikroplastiklerin, su ortamına geçtikten sonra yoğunluklarına göre yüzme ya da batma eğiliminde olduğu, sudan daha yoğun mikroplastiklerin büyük olasılıkla su tabanında birikebileceği öne sürülmektedir (Boucher & Friot, 2017; Pollution & Safety, 2015). Sediment örneklerinin incelenmesi bu bakımdan önemlidir. Batı Afrika’daki Viktorya Gölü, Çin’de Taihu Gölü, Amerika’da Superior Gölü gibi dünyanın çeşitli yerlerindeki göllerde yapılan çalışmalarda da göl suyunda mikroplastikler tespit edilmiştir (Egessa ve ark.2020; Minor ve ark.2020; Su ve

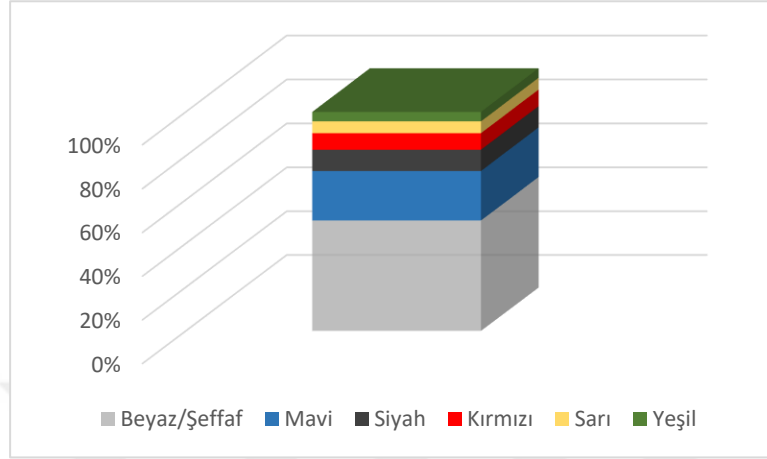
ark.2016). Bahsi geçen araştırmalar göz önüne alınarak göl suyunda bulunan mikroplastiklerin sedimentte birikebileceği düşünölebilir. Yapılan bu çalışmada her ne kadar Van Gölü'ndeki sadece sediment örnekleri incelense de mikroplastikler su ekosistemlerindeki bütün cansız ve canlı unsurları tehdit etmektedir. Fitoplankton, zooplankton ve deniz kuşları gibi su ekosisteminde yaşayan diğer birçok farklı türde canlıyı tehdit etmektedir (Andrady & Neal, 2009).

Literatüre göre mikroplastikler çevremizde gördüğümüz renkli plastiklerden de anlaşılacağı üzere birçok farklı renkte olabilmektedir (Yurtsever, 2015). Yapılan bu çalışmada; kırmızı, siyah, mavi, yeşil, beyaz/şeffaf, sarı gibi farklı renklerde mikroplastikler tespit edilmiştir. Mikroplastik renkleri adı geçen 6 renge göre kategorize edilip istasyonlara göre oransal verileri şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4. 8 Mikroplastik renklerinin istasyonlara göre oransal verileri

İncelenen bütün sediment örneklerinde şekil 4.9’da gösterildiği üzere baskın rengin %50 olarak beyaz/şeffaf renkteki mikroplastiklerin olduğu tespit edilmiştir. Bunların daha çok plastik su şişeleri ve alışveriş poşetlerinden kaynaklandığı düşünülebilir. Bu oranı %22 ile mavi renkli mikroplastikler takip etmektedir.



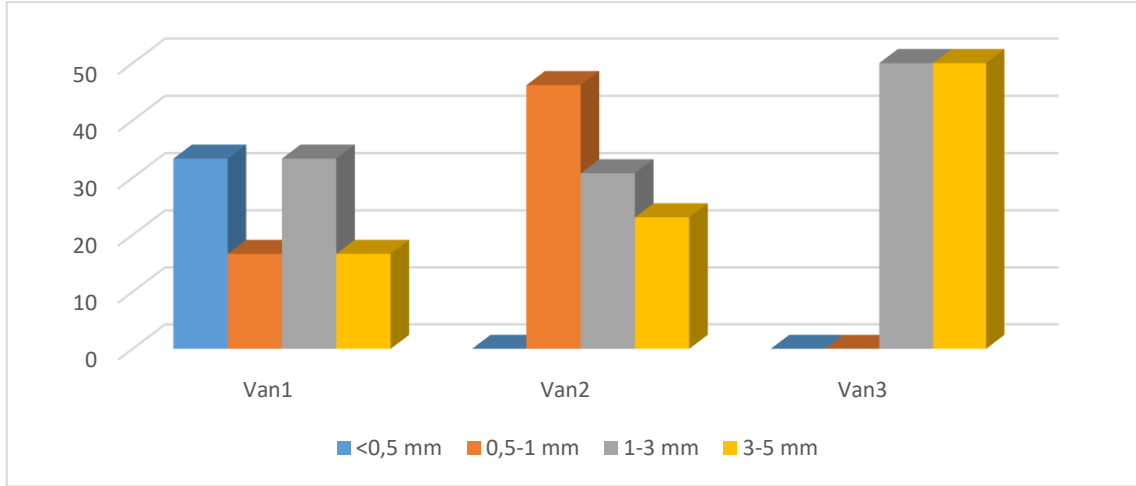
Şekil 4. 9 Sediment örneklerinde tespit edilen bütün mikroplastik renklerinin oransal verileri

Stereo mikroskopla skala ile incelenen mikroplastikler fotoğraflanmış ve bu fotoğraflar <0,5 mm, 0,5-1 mm 1-3 mm ve 3-5 mm aralıklarındaki boyutlarda kategorize etmek üzere ImageJ (National Institutes of Health) programı kullanılmıştır. Bu analiz sonucu tespit edilen mikroplastiklerin sayımları çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4. 2 Mikroplastiklerin boyutlarına göre kategorize edilmesi

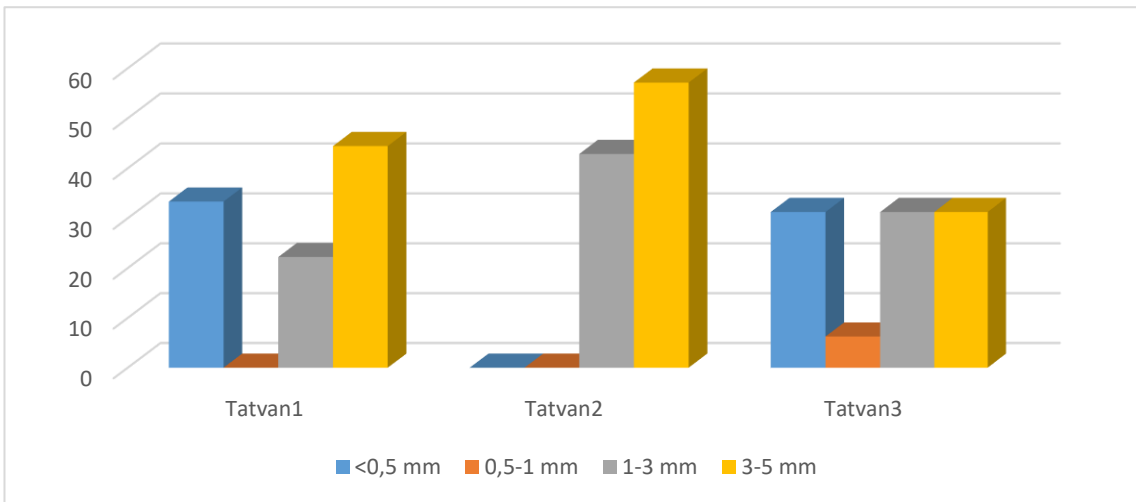
| İstasyon Kodu | Boyut Aralığı | | | | Toplam Partikül |
|---------------|---------------|----------|--------|--------|-----------------|
| | <0,5 mm | 0,5-1 mm | 1-3 mm | 3-5 mm | |
| Van1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 6 |
| Van2 | 0 | 6 | 4 | 3 | 13 |
| Van3 | 0 | 0 | 4 | 4 | 8 |
| Gevaş1 | 0 | 0 | 5 | 0 | 5 |
| Gevaş2 | 5 | 1 | 2 | 0 | 8 |
| Gevaş3 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 |
| Tatvan1 | 3 | 0 | 2 | 4 | 9 |
| Tatvan2 | 0 | 0 | 3 | 4 | 7 |
| Tatvan3 | 5 | 1 | 5 | 5 | 16 |
| Erciş1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| Erciş2 | 0 | 1 | 0 | 3 | 4 |
| Erciş3 | 0 | 0 | 2 | 3 | 5 |

Mikroplastiklerin <0,5 mm, 0,5-1 mm 1-3 mm ve 3-5 mm aralıklarındaki boyutlarda kategorize edilmesine ilişkin oransal veriler yerleşim yerlerine göre incelenmiş olup Van için şekil 4.10'da, Tatvan için şekil 4.11'de, Gevaş için şekil 4.12'de ve Erciş için şekil 4.13'te verilmiştir.



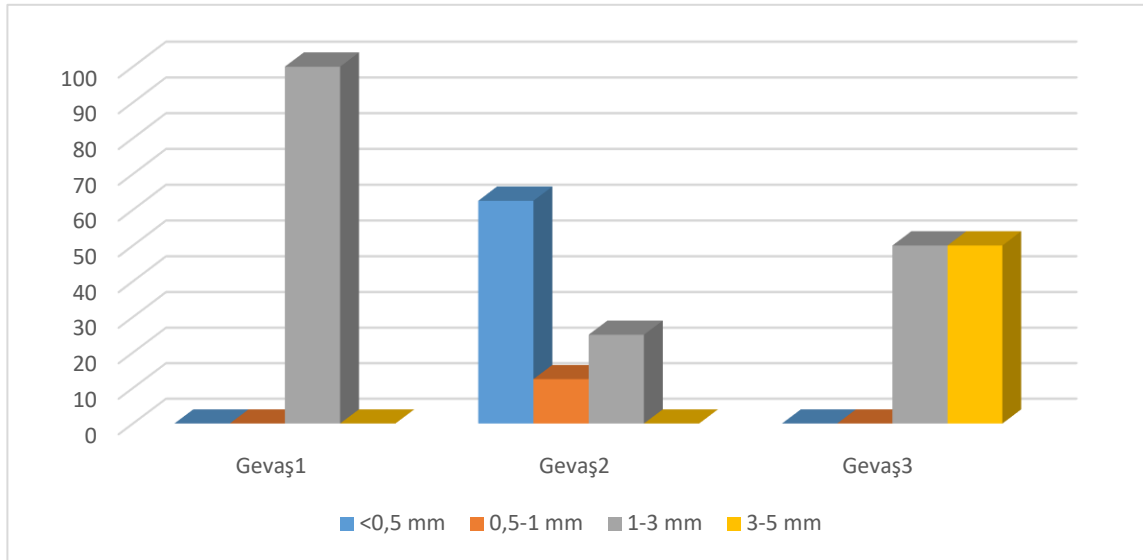
Şekil 4. 10 Van istasyonlarında tespit edilen mikroplastiklerin boyut kategorizasyonu

Van1 istasyonunda tespit edilen mikroplastikler incelendiğinde <0,5 mm ve 1-3 mm aralığındaki mikroplastiklerin oranları %33 olarak tespit edilmiştir. Van2 İstasyonunda ise tespit edilen mikroplastikler incelendiğinde 0.5-1 mm aralığındaki mikroplastiklerin oranı %46 olarak tespit edilmiştir.



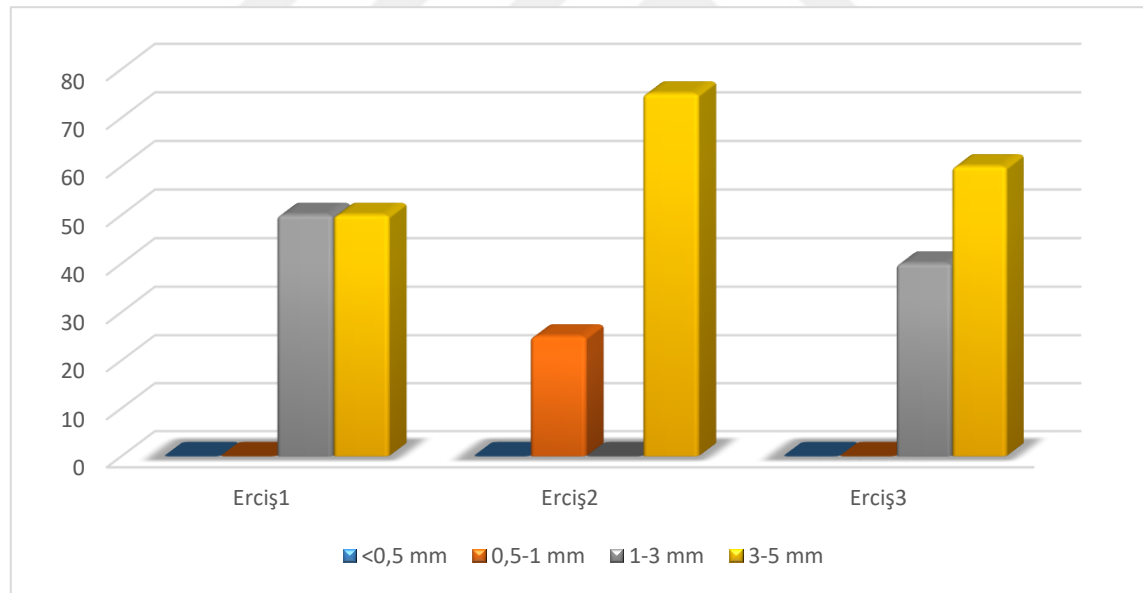
Şekil 4. 11 Tatvan istasyonlarında tespit edilen mikroplastiklerin boyut kategorizasyonu

Tatvan1 istasyonunda tespit edilen mikroplastikler incelendiğinde 1-3 mm aralığındaki mikroplastiklerin oranları %22 olarak tespit edilmiş olup Tatvan2 istasyonunda tespit edilen mikroplastiklerin ise 3-5 mm aralığındaki partiküllerin oranı %57 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4. 12 Gevaş istasyonlarında tespit edilen mikroplastiklerin boyut kategorizasyonu

Gevaş2 istasyonunda tespit edilen mikroplastikler incelendiğinde <0,5 mm aralığındaki mikroplastiklerin oranı %62 olarak tespit edilmiştir.



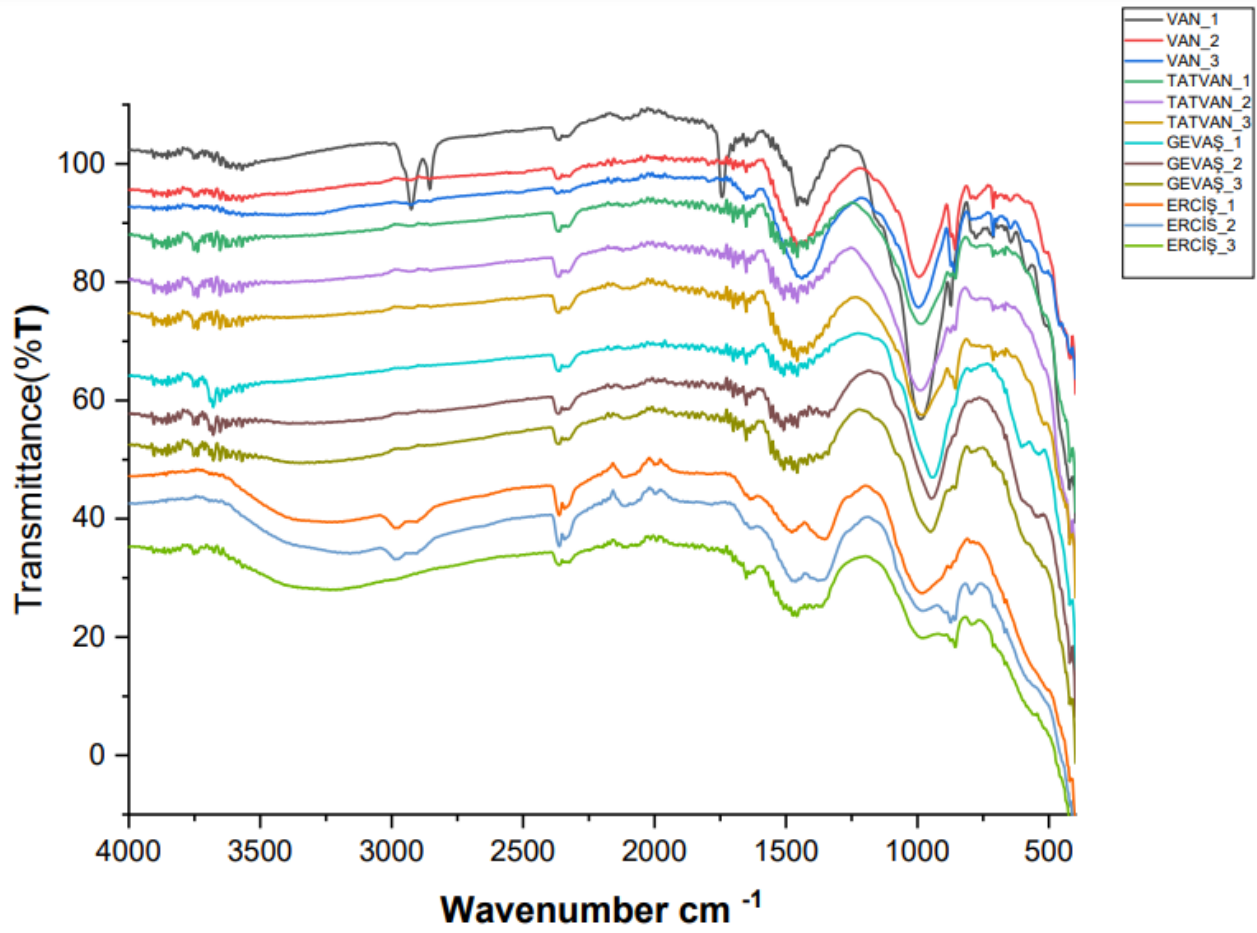
Şekil 4. 13 Erciş istasyonlarında tespit edilen mikroplastiklerin boyut kategorizasyonu

Erciş2 istasyonunda tespit edilen mikroplastikler incelendiğinde 3-5 mm aralığındaki mikroplastiklerin oranı %75 olarak tespit edilmiştir.

4.3 Sediment örneklerinin Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

Analizi

Toplanan sediment örneklerinin FTIR analizi sonucu elde edilen bu grafiklerde LDPE, PP, PS, PET türevli mikroplastiklerin varlığı incelenmiştir. Bahsi geçen mikroplastiklerin varlığı Spectroscopy Online sitesinden elde edilen veriler referans pikler olarak kullanılmıştır (Smith, 2022). Bu referans pikler ile FTIR analizi sonucunda elde ettiğimiz pikler ile karşılaştırılıp $\pm 20 \text{ cm}^{-1}$ absorbands aralığında pik mevcut ise analiz edilen örnekte incelenen pikin mevcut olduğu varsayılmıştır. Piklerin varlığı (+) ile yokluğu ise (-) olarak ifade edilmiştir. Ardından piklerin bulunma oranına göre bir benzerlik yüzdesi hesaplanmıştır. Örnekler iki yönlü varyans analizi (ANOVA) ile incelenmiştir. İncelenen örneklerde mikroplastik tipleri için elde edilen FTIR dalga boyu ölçümleri bölgelere göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir. Farkın kaynağını belirlemek amacıyla yapılan Bonferroni post-hoc testine göre farklar belirlenmiştir. İncelenen sediment örneklerinden elde edilen spektral grafik şekil 4.14'de verilmiştir. Grafikte incelenen piklere göre çeşitli istasyonlardan alınan sediment örneklerinde, incelenen polimerlerin (LDPE, PP, PS ve PET) spektral pikleriyle uyumlu bazı istasyonlar tespit edilmiştir. PP'nin absorbands pikleri ile %100 benzerlik gösteren istasyonlar: Van1, Van2, Van3, Tatvan1, Tatvan2, Tatvan3, Gevaş2, Erciş1 ve Erciş2'dir. FTIR analizi sonucu mikroplastik mevcudiyeti ve benzerlik oranlarına dair veriler LDPE için çizelge 4.3, PP için çizelge 4.4, PS için çizelge 4.5 ve PET için çizelge 4.6'de gösterilmiştir. Bu veriler ışığında Van Gölü su ekosisteminin bileşenlerinden olan sedimentte mikroplastik varlığının kesinleştiği sonucuna varılabilir. Sedimentte tespit edilen plastiklerin çöktüğü varsayılırsa bu alandaki mikroplastiklerin çevreden uzaklaştırılması göl suyuna göre daha zor olacağı düşünülebilir. Avrupa'nın en büyük ikinci gölü olan Onego Gölü'nde, Kuzeybatı Himalayadaki Anchar Gölü'nde, Afrikadaki Ziway Gölünde ve Kanada'daki Ontario Gölü'nde incelenen sediment örneklerinde şüpheye mahal vermeyecek çoklukta mikroplastikler tespit edilmiştir (Corcoran ve ark., 2015; Neelavannan ve ark., 2022; Merga ve ark., 2020; Zobkov ve ark., 2022). Yapılan bu tez çalışması ve literatürde mevcut çalışmalar incelendiğinde dünyanın hemen her yerindeki göllerinin sedimentlerinde mikroplastiklerin var olabileceği sonucuna varılabilir.



Şekil 4. 14 Sediment örneklerinden elde edilen FTIR spektrumları

Çizelge 4. 3 Sediment örneklerinin FTIR analizi sonucu LDPE mevcudiyeti ve benzerlik oranları

| LDPE | Van1 | Van2 | Van3 | Tatvan1 | Tatvan2 | Tatvan3 | Gevaş1 | Gevaş2 | Gevaş3 | Erciş1 | Erciş2 | Erciş3 |
|-----------|------|------|------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2917 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | - |
| 2852 | + | + | + | + | + | + | - | - | - | + | + | + |
| 1377 | + | - | + | - | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 718 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | - | + | + |
| Benzerlik | %100 | %75 | %100 | %75 | %100 | %100 | %75 | %75 | %75 | %75 | %100 | %75 |

Çizelge 4. 4 Sediment örneklerinin FTIR analizi sonucu PP mevcudiyeti ve benzerlik oranları

| PP | Van1 | Van2 | Van3 | Tatvan1 | Tatvan2 | Tatvan3 | Gevaş1 | Gevaş2 | Gevaş3 | Erciş1 | Erciş2 | Erciş3 |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|
| 2956, 2875 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | - |
| 2921, 2840 | + | + | + | + | + | + | - | + | - | + | + | - |
| 1377 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Benzerlik | %100 | %100 | %100 | %100 | %100 | %100 | %67 | %100 | %67 | %100 | %100 | %34 |

Çizelge 4. 5 Sediment örneklerinin FTIR analizi sonucu PS mevcudiyeti ve benzerlik oranları

| PS | Van1 | Van2 | Van3 | Tatvan1 | Tatvan2 | Tatvan3 | Gevaş1 | Gevaş2 | Gevaş3 | Erciş1 | Erciş2 | Erciş3 |
|--------------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|------------|
| 3081, 3059,3025 | + | + | + | + | + | - | + | + | + | + | + | - |
| 2923, 2850 | + | - | + | + | + | + | - | + | + | + | + | - |
| 1600, 1492 | + | + | - | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 756 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 698 | + | + | + | + | + | + | - | + | + | - | + | + |
| Benzerlik | %100 | %80 | %80 | %100 | %100 | %80 | %60 | %100 | %100 | %80 | %100 | %60 |

Çizelge 4. 6 Sediment örneklerinin FTIR analizi sonucu PET mevcudiyeti ve benzerlik oranları

| PET | Van1 | Van2 | Van3 | Tatvan1 | Tatvan2 | Tatvan3 | Gevaş1 | Gevaş2 | Gevaş3 | Erciş1 | Erciş2 | Erciş3 |
|------------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| 1721 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 1245 | + | + | + | + | + | + | - | - | + | + | - | + |
| 1100 | - | + | + | - | - | - | + | + | + | - | - | - |
| Benzerlik | %67 | %100 | %100 | %67 | %67 | %67 | %67 | %67 | %100 | %67 | %34 | %67 |

Mikroplastik varlığının tespit edilmesi için yapılan sediment örneklerine ait FTIR analiz sonuçlarının, incelenen farklı mikroplastik tiplerine ve bölgelere göre farklılık gösterip göstermediğinin karşılaştırılmasına yönelik uygulanan tekrarlı ölçümler için ANOVA sonuçları çizelge 4. 7’te yer almaktadır.

Çizelge 4. 7 Sediment örneklerine ait FTIR analizinin ANOVA testi sonuçları

| | Varyans kaynağı | Kareler toplamı | df | Kareler ortalaması | F | p |
|-------------|--------------------|-----------------|-----|--------------------|---------|-------|
| LDPE | Gruplar içi | 15359,44 | 11 | 1396,31 | 275,938 | <.001 |
| | Hata | 1391,57 | 275 | 5,06 | | |
| PET | Gruplar içi | 7060,432 | 11 | 641,857 | 125,864 | <.001 |
| | Hata | 1009,720 | 198 | 5,100 | | |
| PP | Gruplar içi | 9988,037 | 11 | 908,003 | 278,597 | <.001 |
| | Hata | 645,323 | 198 | 3,259 | | |
| PS | Gruplar içi | 19350,831 | 11 | 1759,166 | 339,537 | <.001 |
| | Hata | 1709,752 | 330 | 5,181 | | |

Çizelge 4. 7’te yer alan sonuçlar incelendiğinde farklı bölgelerdeki sediment örneklerinin incelenen LDPE ($F(11,275)=275,938$; $p=0,00$; $p<0,05$), PET ($F(11,198)=125,864$; $p=0,00$; $p<0,05$), PP ($F(11,198)=278,597$; $p=0,00$; $p<0,05$), PS ($F(11,330)=339,537$; $p=0,00$; $p<0,05$) mikroplastik tipleri için elde edilen FTIR dalga boyu ölçümleri bölgelere göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir, Farkın kaynağını belirlemek amacıyla yapılan Bonferroni post-hoc testine göre farklar Çizelge 4.8’te yer almaktadır.

Çizelge 4. 8 Sediment örneklerine ait FTIR analiz sonuçlarının Bonferroni post -hoc testine göre farkları

| Sediment Örnekleri | Bölge | Yüksek fark | Düşük fark | Benzerlik | |
|--------------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------|---------|
| LDPE | Van1 | 10,11,12 | 2,3,4,5,7,8 | 6,9 | |
| | Van2 | 6,8,9,10,11,12 | 7 | 3,4,5 | |
| | Van3 | 6,9,10,11,12 | 4,7 | 5,8 | |
| | Tatvan1 | 6,9,10,11,12 | 7 | 5,8 | |
| | Tatvan2 | 6,9,10,11,12 | 7 | 8 | |
| | Tatvan3 | 10,11,12 | 9 | 7,8 | |
| | Gevaş1 | 8,9,10,11,12 | 2,3,4,5 | 6 | |
| | Gevaş2 | 10,11,12 | 1 | 3,4,5,6,9 | |
| | Gevaş3 | 10,11,12 | 6 | 1,8 | |
| | Erciş1 | 1,2,3,4,5,6,7,8,9 | 12 | 11 | |
| | Erciş2 | 1,2,3,4,5,6,7,8,9 | 12 | 10 | |
| | Erciş3 | 1,2,3,4,5,6,7,8,9 | 10,11 | - | |
| | PET | Van1 | 2,3,4,5,6,7,8,9 | 10,11,12 | 6 |
| | | Van2 | 6,9,10,11,12 | 7 | 3,4,5,8 |
| Van3 | | 6,10,11,12 | 4,7 | 5,8,9 | |
| Tatvan1 | | 6,10,11,12 | 7 | 5,8,9 | |
| Tatvan2 | | 6,10,11,12 | 7,8 | 2,9 | |
| Tatvan3 | | 10,11,12 | 7,8 | 9 | |

| | | | | |
|----------------|----------------|--------------------|---------------|-------------|
| | Gevaş1 | 1,8,9,10,11,12 | 2,3,4,5,6 | 6 |
| | Gevaş2 | 10,11,12 | 5,6 | 9 |
| | Gevaş3 | 10,11,12 | - | 3,4,5,6,8 |
| | Erciş1 | 3,4,5,6,7,8,9 | 1,2,12 | 11 |
| | Erciş2 | 2,3,4,5,6,7,8,9 | 1,12 | 10 |
| | Erciş3 | 2,3,4,5,6,7,8,9 | 1,10,11 | - |
| PP | Van1 | 10,11,12 | 2,3,4,5,6,7,8 | 9 |
| | Van2 | 6,8,9,10,11,12 | 1,7 | 3,4,5 |
| | Van3 | 9,10,11,12 | 4,5,7 | 6,8 |
| | Tatvan1 | 6,8,9,10,11,12 | 1,3,7 | 5 |
| | Tatvan2 | 6,8,9,10,11,12 | 1,3,7 | 2,4 |
| | Tatvan3 | 2,4,5,10,11,12 | 7,8 | 3,9 |
| | Gevaş1 | 8,9,10,11,12 | 1,2,3,4,5,6 | - |
| | Gevaş2 | 2,4,5,7,10,11,12 | 1,6 | 9 |
| | Gevaş3 | 2,3,4,5,7,10,11,12 | - | 1,6,8 |
| | Erciş1 | 1,2,3,4,5,6,7,8,9 | 12 | 11 |
| | Erciş2 | 1,2,3,4,5,6,7,8,9 | 12 | 10 |
| | Erciş3 | 1,2,3,4,5,6,7,8,9 | 10,11 | - |
| | PS | Van1 | 10,11,12 | 2,3,4,5,7,8 |
| Van2 | | 4,5,6,8,9,10,11,12 | 1 | 3,7 |
| Van3 | | 6,8,9,10,11,12 | 1,7 | 2,4,5 |
| Tatvan1 | | 2,6,9,10,11,12 | 1,7 | 3,5,8 |
| Tatvan2 | | 2,6,9,10,11,12 | 1,7 | 3,4,8 |
| Tatvan3 | | 2,3,4,5,10,11,12 | 7,8,9 | 1 |
| Gevaş1 | | 8,9,10,11,12 | 1,3,4,5,6 | 2 |
| Gevaş2 | | 2,3,7,10,11,12 | 1,6 | 4,5,9 |
| Gevaş3 | | 2,3,4,5,7,10,11,12 | 6 | 1,8 |
| Erciş1 | | 1,2,3,4,5,6,7,8,9 | 12 | 11 |
| Erciş2 | | 1,2,3,4,5,6,7,8,9 | 12 | 10 |
| Erciş3 | | 1,2,3,4,5,6,7,8,9 | 10,11 | - |

1: Van1, 2: Van2, 3: Van3, 4: Tatvan1, 5: Tatvan2, 6: Tatvan3, 7: Gevaş1, 8: Gevaş2, 9: Gevaş3, 10: Erciş1, 11: Erciş2, 12: Erciş3

FTIR analizi sonucunda elde edilen spektrum verileri Spectroscopy Online sitesindeki spektrumların yanında ayrıca KnowItAll (Informatics System John Wiley 2023) adlı sanal spektrum kütüphanesiyle karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda analiz edilen 36 numuneden incelenen 4 polimer türevi için elde edilen sonuçlar incelenmiş %70 ve üzeri referans spektrumla eşleşen polimerler kabul edilmiştir. 23 numunede FTIR verileri kütüphaneye uyumlu sonuç vermemiştir. Geriye kalan 13 numunede ise baskın olan mikroplastik polimer türünün PS olduğu tespit edilmiştir. (Kütüphane eşleştirilmesi sonucu eşleşme tespit edilen raporlar ekler kısmında verilmiştir.)

Sediment örneklerinin FTIR analizi sonucunda elde edilen spektrumlar ve iki kütüphanede olan referans spektrum pikleri karşılaştırıldığında baskın polimer cinsinin PS olduğu söylenebilir.

4.4 Göl suyu örneklerinde Jenerik *Escherichia coli* ve total koliform Popülasyonlarının Membran Yöntemiyle Sayımı

12 istasyonlardan toplanan göl suyu örneklerinin mikrobiyolojik analizi yapılmıştır. Göl sularında jenerik *Escherichia coli* ve total koliform popülasyonları membran yöntemiyle sayılmıştır. Sayım sonuçları çizelge 4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4. 9 Göl suyu örneklerinin mikrobiyolojik analizi

| İstasyon Kodu | <i>Escherichia coli</i> | Total Koliform KOB/100 ml |
|---------------|-------------------------|---------------------------|
| Van1 | 6 | 28 |
| Van2 | 0 | 27 |
| Van3 | 0 | 1 |
| Tatvan1 | 0 | 17 |
| Tatvan2 | 0 | 10 |
| Tatvan3 | 0 | 17 |
| Erciş1 | 2 | 8 |
| Erciş2 | 0 | 58 |
| Erciş3 | 0 | 7 |
| Gevaş1 | 0 | 0 |
| Gevaş2 | 0 | 1 |
| Gevaş3 | 0 | 0 |

E. coli kirlilik göstergesi olarak kullanılan indikatör bir mikroorganizmadır. *E.coli* ve total koliform miktarının yüksek olduğu istasyonlarda mikroplastik partikül sayısı ile anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. En yüksek mikroplastik miktarı Tatvan Van1 (6 kob/100 ml) ve Erciş2 (2 kob/100 ml) kodlu istasyondan alınan göl suyu örneklerinde *E. coli* tespit edilmiştir. Adı geçen 2 istasyonda nüfus nispeten fazladır. Bununla birlikte istasyonlarda mikroplastikler tespit edilmiştir. Fakat ayrıntılı araştırmalar yapılarak kesin sonuçların elde edilmesine ihtiyaç vardır.

Total koliform bakterileri, gıda ve suların sıhhi durumunu gösteren bakterilerdir. İncelenen göl suyu örneklerinde en yüksek total koliform ölçümü 58 kob/100 ml ile Erciş2 kodlu istasyonda ölçülmüştür. İkinci sırada ise Van1 istasyonu bulunmaktadır. Bu sonuçlar *E. coli* ölçümüne benzer sonuçlardır. Bu iki veri göz önüne alındığında Van1 ve Erciş2 istasyonlarını mikrobiyolojik açıdan zengin olduğu, burada kirliliğin belirgin olduğu sonucuna varılabilir. Mikroplastik partikül varlığı ve total koliform sayısı arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Konu ile ilgili ayrıntılı araştırmalar yapılarak kesin sonuçların elde edilmesine ihtiyaç vardır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

İnsan faaliyetleri neticesinde ekosistemlerdeki kirlilik her geçen gün artmaktadır. Bu kirlilik içinde geniş bir yer tutan plastikler mikroplastığe dönüşerek sadece atık olmaktan çıkıp plastik kirliliğini farklı bir boyuta taşımaktadır. Mikroplastikler çeşitli yollardan su ekosistemlerine geçebilir. Bu durum dünya genelinde su ekosistemlerinde canlı çeşitliliği açısından büyük bir risk oluşturmaktadır.

Yapılan bu çalışma ile Van Gölü'nde mikroplastik varlığı sediment örneklerinde incelenmiş ve bu alandaki mikroplastik birikiminin ciddi boyutları sunulmaya çalışılmıştır. Van Gölü su ekosisteminin unsurlarından olan sedimentte mikroplastik partiküllerin varlığı, miktarı, formları, renkleri, polimer cinsleri, bölgelere göre bulunma yoğunlukları ortaya konmuştur.

Su ekosistemi ve balıklar için mikroplastiklerin oluşturduğu riskler, yalnızca malzemenin kendisinden değil, aynı zamanda kirletici maddeleri bulunduğu su ortamından emme, konsantre etme ve biriktirme eğiliminden kaynaklanmaktadır. Balıkların bu kirleticilerden oluşan mikroplastik kokteyli yutması, mikroplastik partikülleri gıda zinciri yoluyla insanlara transferine neden olup gıda güvenliği açısından ciddi riskler oluşturabilir. Balıkların mikroplastikleri besinlerden ayırt edip edemeyeceği ve mikroplastikleri yutmadan önce bir besin kaynağı olarak uygunluğunun nasıl değerlendirildiği, balıkların mikroplastikleri kolayca red edip red etmeyeceği, yutmanın kasıtlı olup olmadığı gibi önemli soruların cevapları araştırılmalıdır.

Van Gölü su ekosisteminin bileşenleri olan; göl suyu, sediment ve İnci kefalinde mikroplastiklerin varlığı kesinleşmiştir. Bu durumun gıda güvenliği ve insan sağlığı açısından riskleri dikkatle araştırılmalıdır.

5.2 Öneriler

- Ekosistemlerde plastik birikimini önlemek için tek kullanımlık plastiklerin kullanımı azaltılmalıdır.
- Plastikler doğaya atılmak yerine geri dönüştürülüp tekrar kullanılmalıdır.
- Plastik malzemeler yerine sürdürülebilir materyaller (cam, çelik gibi) kullanılmalıdır.
- Plastiğe alternatif doğada çözünebilen **biyoplastikler** üretilip kullanılmalıdır.

- Mevcut mikroplastikleri çevreden uzaklaştırabilecek doğa dostu yöntemler geliştirilmelidir.
- Mikroplastiklerin canlılarda trofik transferini izlemek için zararsız teknikler geliştirilmelidir.
- Halk sağlığı açısından potansiyel toksik etkileri araştırılmalıdır.
- Doğada ve gıdalarda mikroplastik birikimini incelemek için veri toplama yöntemleri standartlaştırılmalıdır.
- İnsanların mikroplastikleri diyet ile alım miktarı detaylıca incelenmelidir.
- Mikroplastiklerin dokularla etkileşimini değerlendirmek için yöntemler geliştirilmelidir.
- Mikroplastiklere tutunan kirleticilerin kullanımı kısıtlanmalıdır.
- Mikroplastiklerin ekosistemler ve gıda güvenliği açısından etkileri daha detaylı şekilde değerlendirilmelidir.
- Kozmetik ve temizlik ürünlerinde var olan mikroboncukların kullanılmasından doğacak zararlar ile ilgili tüketiciler bilinçlendirilmeli ve bu konu hakkında düzenlemeler getirilmelidir.
- Kıyafetlerin yıkanması sonucu kanalizasyonlara geçebilecek mikroplastik partikülleri engellemek için çamaşır makinelerinin gider kısımlarına filtre yerleştirilmelidir.

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. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.076>
- Abrusci, C., Pablos, J. L., Corrales, T., López-Marín, J., Marín, I., & Catalina, F. 2011. Biodegradation of photo-degraded mulching films based on polyethylenes and stearates of calcium and iron as pro-oxidant additives. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 65(3), 451–459. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.10.012>
- Agathokleous, E., Iavicoli, I., Barceló, D., & Calabrese, E. J. 2021. Ecological risks in a ‘plastic’ world: A threat to biological diversity? İçinde *Journal of Hazardous Materials* (C. 417, s. 126035). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126035>
- Ahmet, P., & Kidey, E. 2017. “ODTÜ - Deniz Bilimleri Enstitüsünde deniz atıkları/ mikropplastik araştırmaları ve ilköğretime yönelik “Denizimi Tanıyorum Koruyorum Eğitimi”. 6–7.
- Akarsu, C., Kumbur, H., Gökdağ, K., Kıdeyş, A. E., & Sanchez-Vidal, A. 2020. Microplastics composition and load from three wastewater treatment plants discharging into Mersin Bay, north eastern Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110776. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110776>
- Akhbarizadeh, R., Dobaradaran, S., Nabipour, I., Tajbakhsh, S., Darabi, A. H., & Spitz, J. 2020. Abundance, composition, and potential intake of microplastics in canned fish. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111633. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111633>
- Akkus M., (2021). Van Gölü Balıkçılık Yönetimi ve İnci Kefali (Alburnus Tarichi Guldenstaedtii, 1814) Koruma Çalışmaları. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü*
- Allafi, A. R. 2020. The effect of temperature and storage time on the migration of antimony from polyethylene terephthalate (PET) into commercial bottled water in Kuwait. *Acta Biomed*, 91, 2020105. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i4.8463>
- Anderson, J. C., Park, B. J., & Palace, V. P. 2016. Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems. İçinde *Environmental Pollution* (C. 218, ss. 269–280). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.074>
- Andrady, A. L., & Neal, M. A. 2009. *Applications and societal benefits of plastics*. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0304>
- Anthony Browne, M., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. 2011. Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. *Environ. Sci. Technol*, 45, 9175–9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>
- Arias-Andres, M., Klümper, U., Rojas-Jimenez, K., & Grossart, H. P. 2018. Microplastic pollution increases gene exchange in aquatic ecosystems. *Environmental Pollution*, 237, 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.058>
- Arslan, N. 2018. JAES. *Journal of Anatolian Environmental & Animal Sciences*, 2018.

- Artham, T., Sudhakar, M., Venkatesan, R., Madhavan Nair, C., Murty, K. V. G. K., & Doble, M. 2009. Biofouling and stability of synthetic polymers in sea water. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 63(7), 884–890. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.03.003>
- Arutchelvi, J., Sudhakar, M., Arkatkar, A., Doble, M., Bhaduri, S., & Uppara, P. V. 2008. Biodegradation of polyethylene and polypropylene. *Indian Journal of Biotechnology*, 7(1), 9–22.
- Aslan, R. 2018. Mikroplastikler-Hayatı Kuşatan Yeni Tehlike. *Göller Bölgesi Aylık Hakemli Ekonomi ve Kültür Dergisi*, 6, 61–67.
- Asrasal, A., Imam Wahyudi, S., Pratiwi Adi, H., & Heikoop, R. 2018. Analysis of floating house platform stability using polyvinyl chloride (PVC) pipe material. *MATEC Web of Conferences*, 195, 1–8. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819502025>
- Athey, S. N., Albotra, S. D., Gordon, C. A., Monteleone, B., Seaton, P., Andrady, A. L., Taylor, A. R., & Brander, S. M. 2020. SPECIAL ISSUE-LETTER Trophic transfer of microplastics in an estuarine food chain and the effects of a sorbed legacy pollutant. *Limnology and Oceanography Letters*, 5, 154–162. <https://doi.org/10.1002/lol2.10130>
- Auta, H. S., Emenike, C. U., & Fauziah, S. H. 2017. Screening of Bacillus strains isolated from mangrove ecosystems in Peninsular Malaysia for microplastic degradation. *Environmental Pollution*, 231, 1552–1559. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.043>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.014>
- Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. 2014. Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions. *Environmental Pollution*, 185, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.007>
- Balasubramanian, V., Natarajan, K., Hemambika, B., Ramesh, N., Sumathi, C. S., Kottaimuthu, R., & Kannan, V. R. 2010. High-density polyethylene (HDPE)-degrading potential bacteria from marine ecosystem of Gulf of Mannar, India. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2010.02883.x>
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. 2009. *Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments*. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Basiglini, E., Pintore, M., & Forni, C. 2018. Effects of treated industrial wastewaters and temperatures on growth and enzymatic activities of duckweed (*Lemna minor* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 153, 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.01.053>
- Batel, A., Baumann, L., Carteny, C. C., Cormier, B., Keiter, S. H., & Braunbeck, T. 2020. Histological, enzymatic and chemical analyses of the potential effects of differently sized microplastic particles upon long-term ingestion in zebrafish (*Danio rerio*). *Marine Pollution Bulletin*, 153, 111022. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111022>
- Belzagui, F., Crespi, M., Álvarez, A., Gutiérrez-Bouzán, C., & Vilaseca, M. 2019.

- Microplastics' emissions: Microfibers' detachment from textile garments. *Environmental Pollution*, 248, 1028–1035. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.059>
- Besseling, E., Quik, J. T. K., Sun, M., & Koelmans, A. A. 2017. Fate of nano- and microplastic in freshwater systems: A modeling study. *Environmental Pollution*, 220, 540–548. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.001>
- Bianco, A., Sordello, F., Ehn, M., Vione, D., & Passananti, M. 2020. Degradation of nanoplastics in the environment: Reactivity and impact on atmospheric and surface waters. *Science of the Total Environment*, 742, 140413. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140413>
- Bhat, R. 2013. Potential use of fourier transform infrared spectroscopy for identification of molds capable of producing mycotoxins. *International Journal of Food Properties*, 16(8), 1819–1829. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.609629>
- Bode, H. B., Zeeck, A., Pluckhahn, K., & Jendrossek, D. 2000. Physiological and chemical investigations into microbial degradation of synthetic poly(cis-1,4-isoprene). *Applied and Environmental Microbiology*, 66(9), 3680–3685. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.9.3680-3685.2000>
- Bonhomme, S., Cuer, A., Delort, A. M., Lemaire, J., Sancelme, M., & Scott, G. 2003. Environmental biodegradation of polyethylene. *Polymer Degradation and Stability*, 81(3), 441–452. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(03\)00129-0](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(03)00129-0)
- Boucher, J., & Friot, D. 2017. Primary Microplastics in the Oceans. İçinde *Marine Environmental Research* (C. 111). <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.01.en>
- Bouwmeester, H., Hollman, P. C. H., & Peters, R. J. B. 2015. Potential Health Impact of Environmentally Released Micro- and Nanoplastics in the Human Food Production Chain: Experiences from Nanotoxicology. *Environmental Science and Technology*, 49(15), 8932–8947. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01090>
- Boyle, D., Catarino, A. I., Clark, N. J., & Henry, T. B. 2020. Polyvinyl chloride (PVC) plastic fragments release Pb additives that are bioavailable in zebrafish. *Environmental Pollution*, 263, 114422. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114422>
- Budimir, S., Setälä, O., & Lehtiniemi, M. 2018. Effective and easy to use extraction method shows low numbers of microplastics in offshore planktivorous fish from the northern Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 127(August 2017), 586–592. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.054>
- Bretas Alvim, C., Mendoza-Roca, J. A., & Bes-Piá, A. 2020. Wastewater treatment plant as microplastics release source – Quantification and identification techniques. İçinde *Journal of Environmental Management* (C. 255, s. 109739). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109739>
- Brown, D. M., Wilson, M. R., MacNee, W., Stone, V., & Donaldson, K. 2001. Size-dependent proinflammatory effects of ultrafine polystyrene particles: A role for surface area and oxidative stress in the enhanced activity of ultrafines. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 175(3), 191–199. <https://doi.org/10.1006/taap.2001.9240>
- Caminade, C., McIntyre, K. M., & Jones, A. E. 2018. Impact of recent and future climate change on vector-borne diseases. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*

- <https://doi.org/10.1111/nyas.13950>
- Can Tuncelli, İ., & Erkan, N. 2021. *Gıda güvenliği açısından su ürünlerinde mikroplastik riski ve araştırma yöntemleri*. 4(1), 73–87.
- Carbery, M., O'Connor, W., & Palanisami, T. 2018. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. İçinde *Environment International* (C. 115, ss. 400–409). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.03.007>
- Castelvetto, V., Corti, A., Bianchi, S., Giacomelli, G., Manariti, A., & Vinciguerra, V. 2021. Microplastics in fish meal: Contamination level analyzed by polymer type, including polyester (PET), polyolefins, and polystyrene. *Environmental Pollution*, 273, 115792. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115792>
- Celebi, F., & Oğuz, A. R. 2020. The Changes of Mucous Cells in the Skin of Van Fish [Alburnus tarichi (Güldenstädt, 1814)] during Freshwater Adaptation. *Commagene Journal of Biology*, 86–90. <https://doi.org/10.31594/commagene.751122>
- Chae, Y., & An, Y. J. 2017. Effects of micro- and nanoplastics on aquatic ecosystems: Current research trends and perspectives. *Marine Pollution Bulletin*, 124(2), 624–632. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.070>
- Chandra, P., Enespa, & Singh, D. P. 2020. Microplastic degradation by bacteria in aquatic ecosystem. İçinde *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*. INC. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819001-2.00022-x>
- Chatterjee, S., Roy, B., Roy, D., & Banerjee, R. 2010. Enzyme-mediated biodegradation of heat treated commercial polyethylene by Staphylococcal species. *Polymer Degradation and Stability*, 95(2), 195–200. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.11.025>
- Chen, C. Q., Zheng, L., Zhou, J. L., & Zhao, H. 2017. Persistence and risk of antibiotic residues and antibiotic resistance genes in major mariculture sites in Southeast China. *Science of the Total Environment*, 580, 1175–1184. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.075>
- Chen, M., Jin, M., Tao, P., Wang, Z., Xie, W., Yu, X., & Wang, K. 2018. Assessment of microplastics derived from mariculture in Xiangshan Bay, China. *Environmental Pollution*, 242, 1146–1156. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.133>
- Chen, Q., Allgeier, A., Yin, D., & Hollert, H. 2019. Leaching of endocrine disrupting chemicals from marine microplastics and mesoplastics under common life stress conditions. *Environment International*, 130, 104938. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104938>
- Chen, Q., Gundlach, M., Yang, S., Jiang, J., Velki, M., Yin, D., & Hollert, H. 2017. Quantitative investigation of the mechanisms of microplastics and nanoplastics toward zebrafish larvae locomotor activity. *Science of the Total Environment*, 584–585, 1022–1031. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.156>
- Coffin, S., Lee, I., Gan, J., & Schlenk, D. 2019. Simulated digestion of polystyrene foam enhances desorption of diethylhexyl phthalate (DEHP) and In vitro estrogenic activity in a size-dependent manner. *Environmental Pollution*, 246, 452–462. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.12.011>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. İçinde *Marine Pollution Bulletin*

- (C. 62, Sayı 12, ss. 2588–2597). Pergamon.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Collard, F., Gilbert, B., Eppe, G., Roos, L., Compère, P., Das, K., & Parmentier, E. 2017. Morphology of the filtration apparatus of three planktivorous fishes and relation with ingested anthropogenic particles. *Marine Pollution Bulletin*, 116(1–2), 182–191. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.067>
- Corcoran, P. L., Norris, T., Ceccanese, T., Walzak, M. J., Helm, P. A., & Marvin, C. H. 2015. Hidden plastics of Lake Ontario, Canada and their potential preservation in the sediment record. *Environmental Pollution*, 204, 17–25. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2015.04.009>
- Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Ubeda, B., Hernández-León, S., Palma, A. T., Navarro, S., García-de-Lomas, J., Ruiz, A., Fernández-de-Puelles, M. L., & Duarte, C. M. 2014. Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(28), 10239–10244. <https://doi.org/10.1073/pnas.1314705111>
- Curren, E., & Leong, S. C. Y. 2019. Profiles of bacterial assemblages from microplastics of tropical coastal environments. *Science of the Total Environment*, 655, 313–320. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.250>
- Dang, T. C. H., Nguyen, D. T., Thai, H., Nguyen, T. C., Hien Tran, T. T., Le, V. H., Nguyen, V. H., Tran, X. B., Thao Pham, T. P., Nguyen, T. G., & Nguyen, Q. T. 2018. Plastic degradation by thermophilic *Bacillus* sp. BCBT21 isolated from composting agricultural residual in Vietnam. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 9(1). <https://doi.org/10.1088/2043-6254/aaabaf>
- De Falco, F., & Di, E. 2019. *the contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution*. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43023-x>
- De Tender, C. A., Devriese, L. I., Haegeman, A., Maes, S., Ruttink, T., & Dawyndt, P. 2015. Bacterial Community Profiling of Plastic Litter in the Belgian Part of the North Sea. *Environmental Science and Technology*, 49(16), 9629–9638. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01093>
- Deng, C., Liu, X., Li, L., Shi, J., Guo, W., & Xue, J. 2020. Temporal dynamics of antibiotic resistant genes and their association with the bacterial community in a water-sediment mesocosm under selection by 14 antibiotics. *Environment International*, 137, 105554. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105554>
- Deng, H., Wei, R., Luo, W., Hu, L., Li, B., Di, Y., & Shi, H. (2020). Microplastic pollution in water and sediment in a textile industrial area. *Environmental Pollution*, 258, 113658. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113658>
- Ding, J., Huang, Y., Liu, S., Zhang, S., Zou, H., Wang, Z., Zhu, W., & Geng, J. 2020. Toxicological effects of nano- and micro-polystyrene plastics on red tilapia: Are larger plastic particles more harmless? *Journal of Hazardous Materials*, 396, 122693. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122693>
- Ding, Y., Zou, X., Wang, C., Feng, Z., Wang, Y., Fan, Q., & Chen, H. 2021. The abundance and characteristics of atmospheric microplastic deposition in the northwestern South China Sea in the fall. *Atmospheric Environment*, 253, 118389. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118389>
- Dong, H., Chen, Y., Wang, J., Zhang, Y., Zhang, P., Li, X., Zou, J., & Zhou, A. 2021.

- Interactions of microplastics and antibiotic resistance genes and their effects on the aquaculture environments. İçinde *Journal of Hazardous Materials* (C. 403, s. 123961). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123961>
- Duan, Z., Duan, X., Zhao, S., Wang, X., Wang, J., Liu, Y., Peng, Y., Gong, Z., & Wang, L. 2020. Barrier function of zebrafish embryonic chorions against microplastics and nanoplastics and its impact on embryo development. *Journal of Hazardous Materials*, 395, 122621. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122621>
- Dubaish, F., & Liebezeit, G. 2013. *Suspended Microplastics and Black Carbon Particles in the Jade System, Southern North Sea*. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1352-9>
- Egessa, R., Nankabirwa, A., Ocaya, H., & Pabire, W. G. 2020. Microplastic pollution in surface water of Lake Victoria. *Science of the Total Environment*, 741. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140201>
- Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G., & Reisser, J. 2014. *Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- Esmeray, E., & Armutcu, C. 2020. Mikroplastikler, Çevre Ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri Ve Analiz Yöntemleri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8, 839–868. <https://doi.org/10.29130/dubited.586453>
- European Commission. 2013. *MSDF Guidance on Monitoring Marine Litter*. <https://doi.org/10.2788/99475>
- FAO, 2009. A fishery manager's guidebook: management measures and their application Food & Agriculture Org., Rome, Italy <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. İçinde *Fao*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.04.025>
- Ferreira, V. B., Estrella, L. F., Alves, M. G. R., Gallistl, C., Vetter, W., Silva, T. T. C., Malm, O., Torres, J. P. M., & Abadio Finco, F. D. B. 2020. Residues of legacy organochlorine pesticides and DDT metabolites in highly consumed fish from the polluted Guanabara Bay, Brazil: distribution and assessment of human health risk. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 55(1), 30–41. <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1654808>
- Filho, W. L., Scheday, S., Boenecke, J., Gogoi, A., Maharaj, A., & Korovou, S. 2019. *Climate Change, Health and Mosquito-Borne Diseases: Trends and Implications to the Pacific Region*. <https://doi.org/10.3390/ijerph16245114>
- Fonseca, M. A., Gamarro, E. G., Toppe, J., Bahri, T., & Barg, U. 2017. *The Impact of Microplastics on Food Safety: the Case of Fishery and Aquaculture Products This rainbow runner had consumed 17 plastic fragmennts. Marine plastic pollution plays an unknown role in human exposures to toxic chemiclas*. <https://ehp.niehs.nih.gov/123-a34/>

- Fontanella, S., Bonhomme, S., Koutny, M., Husarova, L., Brusson, J. M., Courdavault, J. P., Pitteri, S., Samuel, G., Pichon, G., Lemaire, J., & Delort, A. M. 2010. Comparison of the biodegradability of various polyethylene films containing pro-oxidant additives. *Polymer Degradation and Stability*, 95(6), 1011–1021. <https://doi.org/10.1016/j.polyimdegradstab.2010.03.009>
- Frias, J. P. G. L., & Nash, R. 2019. Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>
- Furio, M., Bernardes, F., Pazin, M., Pereira, L. C., & Dorta, D. J. 2015. *Impact of Pesticides on Environmental and Human Health*. <https://doi.org/10.5772/59710>
- Gao, Q., Li, Y., Qi, Z., Yue, Y., Min, M., Peng, S., Shi, Z., & Gao, Y. 2018. Diverse and abundant antibiotic resistance genes from mariculture sites of China's coastline. *Science of the Total Environment*, 630, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.122>
- GESAMP. 2015. *Science for Sustainable Oceans*. www.imo.org
- GESAMP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment". *Reports and Studies GESAMP*, 90(January 2017), 96. issn: 1020-4873%5Cnhttp://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/GESAMP_microplastics_full_study.pdf
- Giller, K. E. 2019. Properties and management of soils in the tropics Sanchez, P. A. 2nd edn. Cambridge University Press, Cambridge, 2019. xvii + 666 pp. £79.99, hardback. ISBN: 9781107176058. *European Journal of Soil Science*, September, 1–3. <https://doi.org/10.1111/ejss.12897>
- Gregory, M. R. 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings-entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2013–2025. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0265>
- Guerranti, C., Martellini, T., Perra, G., Scopetani, C., & Cincinelli, A. 2019. Microplastics in cosmetics: Environmental issues and needs for global bans. İçinde *Environmental Toxicology and Pharmacology* (C. 68, ss. 75–79). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.007>
- Guler, S. 2018. The effect of polyamide fibers on the strength and toughness properties of structural lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 173, 394–402. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.212>
- Guzzetti, E., Sureda, A., Tejada, S., & Faggio, C. 2018. Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects. In *Environmental Toxicology and Pharmacology* (Vol. 64, pp. 164–171). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.10.009>
- Gündoğdu, S., & Çevik, C. 2017. Micro- and mesoplastics in Northeast Levantine coast of Turkey: The preliminary results from surface samples. *Marine Pollution Bulletin*, 118(1–2), 341–347. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.002>
- Guyen, O., Bach, L., Munk, P., Dinh, K. V., Mariani, P., & Nielsen, T. G. 2018. Microplastic does not magnify the acute effect of PAH pyrene on predatory performance of a tropical fish (*Lates calcarifer*). *Aquatic Toxicology*, 198, 287–293.

<https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.03.011>

- Hadad, D., Geresh, S., & Sivan, A. 2004. *Biodegradation of polyethylene by the thermophilic bacterium Brevibacillus borstelensis*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02553.x>
- Hamed, M., Soliman, H. A. M., Osman, A. G. M., & Sayed, A. E. D. H. 2019. Assessment the effect of exposure to microplastics in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) early juvenile: I. blood biomarkers. *Chemosphere*, 228, 345–350. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.153>
- Hanachi, P., Karbalaeei, S., Walker, T. R., Cole, M., & Hosseini, S. V. (2019). *Abundance and properties of microplastics found in commercial fish meal and cultured common carp (Cyprinus carpio)*. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05637-6>
- Harrison, J. P., Schratzberger, M., Sapp, M., & Osborn, A. M. 2014. *Rapid bacterial colonization of low-density polyethylene microplastics in coastal sediment microcosms*. <https://doi.org/10.1186/s12866-014-0232-4>
- Hatami, M., Banaee, M., & Nematdoost Haghi, B. 2019. Sub-lethal toxicity of chlorpyrifos alone and in combination with polyethylene glycol to common carp (*Cyprinus carpio*). *Chemosphere*, 219, 981–988. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.077>
- Heindel, J. J., Newbold, R., & Schug, T. T. 2015. Endocrine disruptors and obesity. *Nature Publishing Group*, 11, 653–661. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2015.163>
- Henry, B., Laitala, K., & Klepp, I. G. 2019. Microfibres from apparel and home textiles: Prospects for including microplastics in environmental sustainability assessment. *Science of the Total Environment*, 652, 483–494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.166>
- Hernandez, E., Nowack, B., & Mitrano, D. M. 2017. Mechanistic Study to Understand Micro fiber Release During Washing. *Environmental Science and Technology*, 51, 7036–7046.
- 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 and Technology*, 46(6), 3060–3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>
- Howard, G. T., & Blake, R. C. 1998. Growth of *Pseudomonas fluorescens* on a polyester-polyurethane and the purification and characterization of a polyurethanase-protease enzyme. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 42(4), 213–220. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(98\)00051-1](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(98)00051-1)
- Huang, J. S., Koongolla, J. B., Li, H. X., Lin, L., Pan, Y. F., Liu, S., He, W. H., Maharana, D., & Xu, X. R. 2020. Microplastic accumulation in fish from Zhanjiang mangrove wetland, South China. *Science of the Total Environment*, 708, 134839. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134839>
- Huuskonen, H., Subiron i Folguera, J., Kortet, R., Akkanen, J., Vainikka, A., Janhunen, M., & Kekäläinen, J. 2020. Do whitefish (*Coregonus lavaretus*) larvae show adaptive variation in the avoidance of microplastic ingestion? *Environmental Pollution*, 262, 114353. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114353>
- IUCN Red List (2013). *Alburnus tarichi*, Van Shah Kuli. <https://www.iucnredlist.org/species/4375/19222678#assessment-information>

- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1260879><https://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.1260352>
- Jiang, P., Zhao, S., Zhu, L., & Li, D. 2018. Microplastic-associated bacterial assemblages in the intertidal zone of the Yangtze Estuary. *Science of the Total Environment*, 624, 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.105>
- Jin, Y., Wu, S., Zeng, Z., & Fu, Z. 2017. Effects of environmental pollutants on gut microbiota. İçinde *Environmental Pollution* (C. 222, ss. 1–9). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.045>
- Jovanović, B. 2017. Ingestion of microplastics by fish and its potential consequences from a physical perspective. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 13(3), 510–515. <https://doi.org/10.1002/ieam.1913>
- Kadıoğlu Lu, M., & Batur, E. (1997). The greatest soda-water lake in the world and how it is influenced by climatic change.
- Kalčíková, G. 2020. Aquatic vascular plants – A forgotten piece of nature in microplastic research. İçinde *Environmental Pollution* (C. 262, s. 114354). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114354>
- Kang, C. H., Shin, Y. J., Jeon, H. E., Choi, J. H., Jeong, S. Y., & So, J. S. 2013. Antibiotic resistance of *Shewanella putrefaciens* isolated from shellfish collected from the West Sea in Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 76(1–2), 85–88. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.09.025>
- Kapp, K. J., & Yeatman, E. 2018. Microplastic hotspots in the Snake and Lower Columbia rivers: A journey from the Greater Yellowstone Ecosystem to the Pacific Ocean. *Environmental Pollution*, 241, 1082–1090. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.033>
- Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C. K., Romano, N., Ho, Y. Bin, & Salamatinia, B. 2017. A high-performance protocol for extraction of microplastics in fish. *Science of the Total Environment*, 578, 485–494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.213>
- Karbalaei, S., Hanachi, P., Walker, T. R., & Cole, M. 2018. *Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution*. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3508-7>
- Katsnelson, A. 2015. *News Feature: Microplastics present pollution puzzle*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504135112>
- Kayan, A. (2020). *Plastik Kirliliğın Çevresel Zararları ve Çözüm Önerileri*. 2, 403–427.
- Kayılı, M. T., & Çelebi, G. 2020. *Plastik Atıkların ve Yapıda Kullanım Olanaklarının İncelenmesi*. 3(3), 148–157.
- Kempe, S., Kazmierczak, J., Landmann, G., Konuk, T., Reimer, A., & Lipp, A. 1991. Largest known microbialites discovered in Lake Van, Turkey. *Nature*, 349(6310), 605–608. <https://doi.org/10.1038/349605a0>
- Kerstin H. Wyssusek. 2019. *Operating room greening initiatives – the old, the new, and the way forward: A narrative review*. 37, 3–19.

<https://doi.org/10.1177/0734242X18793937>

- Kumar Sen, S., & Raut, S. 2015. Microbial degradation of low density polyethylene (LDPE): A review. İçinde *Journal of Environmental Chemical Engineering* (C. 3, Sayı 1, ss. 462–473). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.01.003>
- Kuru M., Dicle-Fırat, (1975) “Dicle-Fırat, Kura-Aras, Van Gölü ve Karadeniz Havzası Tatlısularında Yaşayan Balıkların (Pisces) Sistematik ve Zoocoğrafik Yönden İncelenmesi”. Yayınlanmamış Doçentlik Tezi, Atatürk Üniv. Fen Fak., Erzurum.
- Laplaca, S. B., & Peter Van Den Hurk, 2020. Toxicological effects of micronized tire crumb rubber on mummichog (*Fundulus heteroclitus*) and fathead minnow (*Pimephales promelas*). *Ecotoxicology*, 29, 524–534. <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02210-7>
- Laxminarayan, R., Duse, A., Wattal, C., Zaidi, A. K. M., Wertheim, H. F. L., Sumpradit, N., Vlieghe, E., Hara, G. L., Gould, I. M., Goossens, H., Greko, C., So, A. D., Bigdeli, M., Tomson, G., Woodhouse, W., Ombaka, E., Peralta, A. Q., Qamar, F. N., Mir, F., ... Cars, O. 2013. Antibiotic resistance-the need for global solutions. İçinde *The Lancet Infectious Diseases* (C. 13, Sayı 12, ss. 1057–1098). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(13\)70318-9](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(13)70318-9)
- Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., Glas, M., & Schludermann, E. 2014. The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe’s second largest river. *Environmental Pollution*, 188, 177–181. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.006>
- Lee, Hwang, Lee, H. J., & Kwon, J. H. 2019. Estimating microplastic-bound intake of hydrophobic organic chemicals by fish using measured desorption rates to artificial gut fluid. *Science of the Total Environment*, 651, 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.068>
- Lee, Hyemi, Kunz, A., & Walther, B. A. 2019. *Microplastic contamination of table salts from taiwan, including a global review*. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46417-z>
- LeMoine, C. M. R., Kelleher, B. M., Lagarde, R., Northam, C., Elebute, O. O., & Cassone, B. J. 2018. Transcriptional effects of polyethylene microplastics ingestion in developing zebrafish (*Danio rerio*). *Environmental Pollution*, 243, 591–600. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.084>
- Leslie, H. A., Brandsma, S. H., van Velzen, M. J. M., & Vethaak, A. D. 2017. Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environment International*, 101, 133–142. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.01.018>
- Leslie, H. A., van Velzen, M. J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. 2022. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 163, 107199. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2022.107199>
- Li, B., Su, L., Zhang, H., Deng, H., Chen, Q., & Shi, H. 2020. Microplastics in fishes and their living environments surrounding a plastic production area. *Science of the Total Environment*, 727, 138662. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138662>
- Li, W. C., Tse, H. F., & Fok, L. 2016. Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. İçinde *Science of the Total Environment* (C. 566–

- 567, ss. 333–349). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.084>
- Li, Y., Hu, C., & Yu, Y. 2008. Interfacial studies of sisal fiber reinforced high density polyethylene (HDPE) composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(4), 570–578. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2007.07.005>
- Liebezeit, G., & Liebezeit, E. 2013. Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 30(12), 2136–2140. <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.843025>
- Lin, S. Y., & Wang, S. L. 2012. Advances in simultaneous DSC-FTIR microspectroscopy for rapid solid-state chemical stability studies: Some dipeptide drugs as examples. In *Advanced Drug Delivery Reviews* (Vol. 64, Issue 5, pp. 461–478). <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.01.009>
- Lithner, D. 2011. Environmental and health hazards of chemicals in plastic polymers and products. İçinde *Department of Plant and Environmental Sciences: C. Ph.D. thes.*
- Liu, Y., Liu, W., Yang, X., Wang, J., Lin, H., & Yang, Y. 2021. Microplastics are a hotspot for antibiotic resistance genes: Progress and perspective. İçinde *Science of the Total Environment* (C. 773, s. 145643). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145643>
- Llorca, M., Álvarez-Muñoz, D., Ábalos, M., Rodríguez-Mozaz, S., Santos, L. H. M. L. M., León, V. M., Campillo, J. A., Martínez-Gómez, C., Abad, E., & Farré, M. 2020. Microplastics in Mediterranean coastal area: toxicity and impact for the environment and human health. İçinde *Trends in Environmental Analytical Chemistry* (C. 27, s. e00090). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2020.e00090>
- Lomer, M. C. E., Thompson, R. P. H., Powell, J. J., & Lomer, M. 2021. Fine and ultrafine particles of the diet: influence on the mucosal immune response and association with Crohn's disease. *Proceedings of the Nutrition Society*, 61, 123–130. <https://doi.org/10.1079/PNS2001134>
- Lu, J., Zhang, Y., Wu, J., & Luo, Y. 2019. Effects of microplastics on distribution of antibiotic resistance genes in recirculating aquaculture system. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 184, 109631. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109631>
- Lusher, A. L., Hernandez-Milian, G., O'Brien, J., Berrow, S., O'Connor, I., & Officer, R. 2015. Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: The True's beaked whale *Mesoplodon mirus*. *Environmental Pollution*, 199, 185–191. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.01.023>
- Magri, D., Veronesi, M., Sánchez-Moreno, P., Tolardo, V., Bandiera, T., Pompa, P. P., Athanassiou, A., & Fragouli, D. 2021. PET nanoplastics interactions with water contaminants and their impact on human cells. *Environmental Pollution*, 271, 116262. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116262>
- Mak, C. W., Ching-Fong Yeung, K., & Chan, K. M. 2019. Acute toxic effects of polyethylene microplastic on adult zebrafish. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 182, 109442. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109442>
- Malinich, T. D., Chou, N., Sepúlveda, M. S., & Höök, T. O. 2018. No evidence of microplastic impacts on consumption or growth of larval Pimephales promelas. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(11), 2912–2918. <https://doi.org/10.1002/etc.4257>

- Manage, P. M. 2018. Heavy use of antibiotics in aquaculture: Emerging human and animal health problems – A review. *Sri Lanka Journal of Aquatic Sciences*, 23(1), 13. <https://doi.org/10.4038/sljas.v23i1.7543>
- Mason, S. A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., Fink, P., Papazissimos, D., & Rogers, D. L. 2016. Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environmental Pollution*, 218, 1045–1054. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.056>
- Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., & Kaminuma, T. 2001. Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environmental Science and Technology*, 35(2), 318–324. <https://doi.org/10.1021/es0010498>
- Mazurais, D., Ernande, B., Quazuguel, P., Severe, A., Huelvan, C., Madec, L., Mouchel, O., Soudant, P., Robbens, J., Huvet, A., & Zambonino-Infante, J. 2015. Evaluation of the impact of polyethylene microbeads ingestion in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Marine Environmental Research*, 112, 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.09.009>
- Mccormick, A. R., Hoellein, T. J., London, M. G., Hittie, J., Scott, J. W., Kelly, J. J., Mccormick, C. :, Hoellein, T. J., London, M. G., Hittie, J., Scott, J. W., & Kelly, J. J. 2016. *Microplastic in surface waters of urban rivers: concentration, sources, and associated bacterial assemblages*. 7(11). <https://doi.org/10.1002/ecs2.1556>
- Melzer, D., Rice, N. E., Lewis, C., Henley, W. E., & Galloway, T. S. 2015. Association of Urinary Bisphenol A Concentration with Heart Disease: Evidence from NHANES 2003/06. *Plos One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008673>
- Menéndez-Pedriza, A., & Jaumot, J. 2020. *toxics Interaction of Environmental Pollutants with Microplastics: A Critical Review of Sorption Factors, Bioaccumulation and Ecotoxicological Effects*. <https://doi.org/10.3390/toxics8020040>
- Merga, L. B., Redondo-Hasselerharm, P. E., Van den Brink, P. J., & Koelmans, A. A. 202). Distribution of microplastic and small macroplastic particles across four fish species and sediment in an African lake. *Science of The Total Environment*, 741, 140527. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.140527>
- Miller, L. S., & Sekiguchi Yu, J. 2010. *Radiographic indicators of acute ligament injuries of the knee: a mechanistic approach*. <https://doi.org/10.1007/s10140-010-0876-9>
- Mintenig, S. M., Int-Veen, I., Löder, M. G. J., Primpke, S., & Gerdts, G. 2017. Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Research*, 108, 365–372. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.015>
- Minor, E. C., Lin, R., Burrows, A., Cooney, E. M., Grosshuesch, S., & Lafrancois, B. 2020. An analysis of microlitter and microplastics from Lake Superior beach sand and surface-water. *Science of the Total Environment*, 744. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140824>
- Moore, C. J., Lattin, G. L., & Zellers, A. F. 2011. Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 11(1), 65–73. <https://doi.org/10.5894/rgci194>
- Morritt, D., Stefanoudis, P. V., Pearce, D., Crimmen, O. A., & Clark, P. F. 2014. Plastic in the Thames: A river runs through it. *Marine Pollution Bulletin*, 78(1–2), 196–200.

- <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.10.035>
- Naidoo, T., & Glassom, D. 2019. Decreased growth and survival in small juvenile fish, after chronic exposure to environmentally relevant concentrations of microplastic. *Marine Pollution Bulletin*, 145, 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.037>
- Nanda, S., Sahu, S., & Abraham, J. 2010. Studies on the biodegradation of natural and synthetic polyethylene by *Pseudomonas* spp. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 14(2). <https://doi.org/10.4314/jasem.v14i2.57839>
- Napper, I. E., & Thompson, R. C. 2016. Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1–2), 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.025>
- Neelavannan, K., Sen, I. S., Lone, A. M., & Gopinath, K. 2022. Microplastics in the high-altitude Himalayas: Assessment of microplastic contamination in freshwater lake sediments, Northwest Himalaya (India). *Chemosphere*, 290, 133354. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.133354>
- Nel, H. A., Hean, J. W., Noundou, X. S., & Froneman, P. W. 2017. Do microplastic loads reflect the population demographics along the southern African coastline? *Marine Pollution Bulletin*, 115(1–2), 115–119. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2016.11.056>
- Nwachukwu, M. A., Feng, H., & Alinnor, J. 2010. Assessment of heavy metal pollution in soil and their implications within and around mechanic villages. *Int. J. Environ. Sci. Tech*, 7(2), 347–358.
- O Cheung, L. T., Yee Lui, C., & Fok, L. 2018. *Microplastic Contamination of Wild and Captive Flathead Grey Mullet (Mugil cephalus)*. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040597>
- Ono, D., Bamba, T., Oku, Y., Yonetani, T., & Fukusaki, E. 2011. Application of Fourier transform near-infrared spectroscopy to optimization of green tea steaming process conditions. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 112(3), 247–251. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOOSC.2011.05.002>
- Önder, S., Günal, Ç. A., Sepici Dinçel, A., Bilimleri, Ç., Bilimleri Enstitüsü, F., Üniversitesi, G., Eğitimi, B., Fakültesi, E., Biyokimya, T., & Fakültesi, T. 2020. Plastikleri Attığımızda Ne Oluyor? Mikroplastikler. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Sayı*, 3(4), 181–186.
- Pannetier, P., Morin, B., Le Bihanic, F., Dubreil, L., Clérandeau, C., Chouvellon, F., Van Arkel, K., Danion, M., & Cachot, J. 2020. Environmental samples of microplastics induce significant toxic effects in fish larvae. *Environment International*, 134, 105047. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105047>
- Papini, G., Petrella, G., Cicero, D. O., Boglione, C., & Rakaj, A. 2022. *Contribution to microplastic identification and quantification in marine sediments facing a river mouth through NMR spectroscopy Author names and affiliations*. <https://ssrn.com/abstract=4166601>
- Parajuli, A., Grö Nroos, M., Kauppi, S., Płociniczak, T., Roslund, M. I., Galitskaya, P., Laitinen, O. H., Hyö Ty, H., Jumpponen, A., Strö Mmer, R., Romantschuk, M., Hui, N., & Sinkkonen, A. 2017. *The abundance of health-associated bacteria is altered*

- in PAH polluted soils-Implications for health in urban areas?*
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187852>
- Parker, B., Andreou, D., Green, I. D., & Britton, J. Robert. 2021. Microplastics in freshwater fishes: Occurrence, impacts and future perspectives. *Fish and Fisheries*, 22, 467–488. <https://doi.org/10.1111/faf.12528>
- Parker, L. 2022. Microplastics are in our bodies. how much do they harm us? Environment. Retrieved from <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/microplastics-are-in-our-bodies-how-much-do-they-harm-us>
- Paul Das, M., & Kumar, S. 2018. *An approach to low-density polyethylene biodegradation by Bacillus amyloliquefaciens*. <https://doi.org/10.1007/s13205-014-0205-1>
- Plastic Europe. (2019). 10.06.2021. <https://www.plasticseurope.org/en/resources/market-data>
- Pollution, M. P., & Safety, S. 2015. *New Link*. 123(2), 34–42.
- Powell, J. J., Faria, N., Thomas-McKay, E., & Pele, L. C. (2010). Origin and fate of dietary nanoparticles and microparticles in the gastrointestinal tract. *Journal of Autoimmunity*, 34(3), J226–J233. <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2009.11.006>
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. 2019. Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 110, 150–159. <https://doi.org/10.1016/J.TRAC.2018.10.029>
- Priyanka, N. 2011. *View Of Biodegradation Of Polythene And Plastic By The Help Of Microbial Tools_ A Recent Approach.Pdf*.
- Reimer, A., Landmann, G., & Kempe, S. 2009. Lake Van, Eastern Anatolia, hydrochemistry and history. *Aquatic Geochemistry*, 15(1–2), 195–222. <https://doi.org/10.1007/s10498-008-9049-9>
- Qiang, L., & Cheng, J. 2019. Exposure to microplastics decreases swimming competence in larval zebrafish (*Danio rerio*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 176, 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.03.088>
- Qiao, R., Lu, K., Deng, Y., Ren, H., & Zhang, Y. 2019. Combined effects of polystyrene microplastics and natural organic matter on the accumulation and toxicity of copper in zebrafish. *Science of the Total Environment*, 682, 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.163>
- Raghul, S. S., Bhat, S. G., Chandrasekaran, M., Francis, V., & Thachil, E. T. 2014. Biodegradation of polyvinyl alcohol-low linear density polyethylene-blended plastic film by consortium of marine benthic vibrios. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(7), 1827–1834. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0335-8>
- Rainieri, S., & Barranco, A. 2019. Microplastics, a food safety issue? İçinde *Trends in Food Science and Technology* (C. 84, ss. 55–57). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.12.009>
- Ranjani, M., Veerasingam, S., Venkatachalapathy, R., Mugilarasan, M., Bagaev, A., Mukhanov, V., & Vethamony, P. 2021. Assessment of potential ecological risk of

- microplastics in the coastal sediments of India: A meta-analysis. *Marine Pollution Bulletin*, 163, 111969. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111969>
- Ribeiro, F., O'Brien, J. W., Galloway, T., & Thomas, K. V. 2019. Accumulation and fate of nano- and micro-plastics and associated contaminants in organisms. İçinde *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* (C. 111, ss. 139–147). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.12.010>
- Rist, S., Carney Almroth, B., Hartmann, N. B., & Karlsson, T. M. 2018. A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. İçinde *Science of the Total Environment* (C. 626, ss. 720–726). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.092>
- Roch, S., Walter, T., Ittner, L. D., Friedrich, C., & Brinker, A. 2019. A systematic study of the microplastic burden in freshwater fishes of south-western Germany - Are we searching at the right scale? *Science of the Total Environment*, 689, 1001–1011. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.404>
- Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T., & Teh, S. J. 2013. *Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress.* <https://doi.org/10.1038/srep03263>
- Rochman, C. M., Tahir, A., Williams, S. L., Baxa, D. V, Lam, R., Miller, J. T., Teh, F.-C., Werorilangi, S., & Teh, S. J. 2015. Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Nature Publishing Group*, 5, 14340. <https://doi.org/10.1038/srep14340>
- Roda, J. F. B., Lauer, M. M., Risso, W. E., & Bueno dos Reis Martinez, C. 2020. Microplastics and copper effects on the neotropical teleost *Prochilodus lineatus*: Is there any interaction? *Comparative Biochemistry and Physiology -Part A : Molecular and Integrative Physiology*, 242, 110659. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.110659>
- Rodrigues, M. O., Abrantes, N., Gonçalves, F. J. M., Nogueira, H., Marques, J. C., & Gonçalves, A. M. M. 2019. Impacts of plastic products used in daily life on the environment and human health: What is known? İçinde *Environmental Toxicology and Pharmacology* (C. 72, s. 103239). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.103239>
- Rojin Tavakoli. 2021. *Production of Low-fat mayonnaise without preservatives: Using the ultrasonic process and investigating of microbial and physicochemical properties of the resultant product.* <https://doi.org/10.1002/fsn3.2227>
- Russell, M., & Webster, L. 2021. Microplastics in sea surface waters around Scotland. İçinde *Marine Pollution Bulletin* (C. 166). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112210>
- Sainio, E., Lehtiniemi, M., & Setälä, O. (2021). Microplastic ingestion by small coastal fish in the northern Baltic Sea, Finland. *Marine Pollution Bulletin*, 172, 112814. <https://doi.org/10.1016/J.marpolbul.2021.112814>
- Sangale, M. K. 2012. A Review on Biodegradation of Polythene: The Microbial Approach. *Journal of Bioremediation and Biodegradation*, 03(10). <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000164>
- Sathicq, M. B., Sabatino, R., Corno, G., & Di Cesare, A. 2021. Are microplastic particles a hotspot for the spread and the persistence of antibiotic resistance in aquatic

- systems? İçinde *Environmental Pollution* (C. 279, s. 116896). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116896>
- Scheurer, M., & Bigalke, M. 2018. Microplastics in Swiss Floodplain Soils. *Environmental Science and Technology*, 52(6), 3591–3598. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b06003>
- Schür, C., Rist, S., Baun, A., Mayer, P., Hartmann, N. B., & Wagner, M. 2019. When Fluorescence Is not a Particle: The Tissue Translocation of Microplastics in *Daphnia magna* Seems an Artifact. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(7), 1495–1503. <https://doi.org/10.1002/etc.4436>
- Sekiguchi, T., Saika, A., Nomura, K., Watanabe, T., Watanabe, T., Fujimoto, Y., Enoki, M., Sato, T., Kato, C., & Kanehiro, H. 2011. Biodegradation of aliphatic polyesters soaked in deep seawaters and isolation of poly(ϵ -caprolactone)-degrading bacteria. *Polymer Degradation and Stability*, 96(7), 1397–1403. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2011.03.004>
- Sharma, A., & Sharma, A. 2004. Degradation assessment of low density polythene (LDP) and polythene (PP) by an indigenous isolate of *Pseudomonas stutzeri*. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 63(3), 293–296.
- Sivan, A., Szanto, M., & Pavlov, V. 2006. Biofilm development of the polyethylene-degrading bacterium *Rhodococcus ruber*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 72(2), 346–352. <https://doi.org/10.1007/s00253-005-0259-4>
- Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. A. 2018. Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Current environmental health reports*, 5(3), 375–386. <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z>
- Smith B.C. 2022. Infrared Spectroscopy of Polymers, VIII: Polyesters and the Rule of Three. *Spectroscopy*, 37(10): 25–28.
- Sowmya, H. V, Bellibatlu, R., Basaiah, T., & Krishnappa, M. 2020. *ISSN Original Article Biodegradation of Polyethylene by Bacillus cereus - PDF Free Download. June.*
- Strungaru, S. A., Jijie, R., Nicoara, M., Plavan, G., & Faggio, C. (2019). Micro- (nano) plastics in freshwater ecosystems: Abundance, toxicological impact and quantification methodology. İçinde *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* (C. 110, ss. 116–128). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.025>
- Su, L., Nan, B., Hassell, K. L., Craig, N. J., & Pettigrove, V. 2019. Microplastics biomonitoring in Australian urban wetlands using a common noxious fish (*Gambusia holbrooki*). *Chemosphere*, 228, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.114>
- Su, L., Xue, Y., Li, L., Yang, D., Kolandhasamy, P., Li, D., & Shi, H. 2016. Microplastics in Taihu Lake, China. *Environmental Pollution*, 216, 711–719. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.036>
- Suresh, B., Maruthamuthu, S., Khare, A., Palanisamy, N., Muralidharan, V. S., Rangunathan, R., Kannan, M., & Pandiyaraj, K. N. 2011. *Influence of thermal oxidation on surface and thermo-mechanical properties of polyethylene.* <https://doi.org/10.1007/s10965-011-9628-0>
- Swee-Li Yee, M., Hii, L.-W., King Looi, C., Lim, W.-M., Wong, S.-F., Kok, Y.-Y., Tan, B.-K., Wong, C.-Y., Leong, C.-O., & Liao, H.-C. 2021. *Impact of Microplastics and Nanoplastics on Human Health.* <https://doi.org/10.3390/nano11020496>

- taipale, S. J., K Kukkonen, J. V, Kainz, M. J., & Tirola, M. 2019. *tracing the fate of microplastic carbon in the aquatic food web by compound-specific isotope analysis*. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55990-2>
- Talvitie, J., Mikola, A., Setälä, O., Heinonen, M., & Koistinen, A. 2017. How well is microlitter purified from wastewater? – A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant. *Water Research*, 109, 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.046>
- Tamara S. Galloway. 2015. No Title. *Marine Anthropogenic Litter*, 343–366.
- Tanaka, K., Takada, H., Yamashita, R., Mizukawa, K., Fukuwaka, M. aki, & Watanuki, Y. 2013. Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. *Marine Pollution Bulletin*, 69(1–2), 219–222. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.12.010>
- Teuten, E. L., Saquing, J. M., U Knappe, D. R., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., Rowland, S. J., Thompson, R. C., Galloway, T. S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Hung Viet, P., Seang Tana, T., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M. P., Akkhavong, K., ... Takada, H. 2009. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Trans. R. Soc. B*, 364, 2027–2045. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0284>
- Thiele, C. J., Hudson, M. D., & Russell, A. E. 2019. Evaluation of existing methods to extract microplastics from bivalve tissue: Adapted KOH digestion protocol improves filtration at single-digit pore size. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 384–393. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.003>
- Thompson, R. C. 2004. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, 304(5672), 838. <https://doi.org/doi:10.1126/science.1094559>
- Toner, K., & Midway, S. R. 2021. Historic fish samples from the Southeast USA lack microplastics. *Science of the Total Environment*, 776, 145923. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145923>
- Tošić, T. N., Vrugink, M., & Vesman, A. 2020. Microplastics quantification in surface waters of the Barents, Kara and White Seas. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111745. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111745>
- TÜİK 2022. Türkiye İstatistik Kurumu Su Ürünleri İstatistikleri Veri Tabanı. Erişim Adresi: [<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=101&locale=tr>], Erişim Tarihi: 27/10/2022.
- TÜİK 2021. “Su Ürünleri İstatistikleri”.<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1> (15.08.2021)
- Urbanek, A. K., Rymowicz, W., & Mirończuk, A. M. 2018. *Degradation of plastics and plastic-degrading bacteria in cold marine habitats*. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9195-y>
- Usha, R., Sangeetha, T., & Palaniswamy, M. 2011. Screening of polyethylene degrading microorganisms from garbage soil. *Libyan Agriculture Research Center Journal International*, 2(4), 200–204.
- Uttaravalli, A. N., Dinda, S., & Gidla, B. R. 2020. Scientific and engineering aspects of potential applications of post-consumer (waste) expanded polystyrene: A review. İçinde *Process Safety and Environmental Protection* (C. 137, ss. 140–148).

- Institution of Chemical Engineers. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.02.023>
- Vermeirssen, E. L. M., Campiche, S., Dietschweiler, C., Werner, I., & Burkhardt, M. 2018. Ecotoxicological Assessment of Immersion Samples from Facade Render Containing Free or Encapsulated Biocides. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(8), 2246–2256. <https://doi.org/10.1002/etc.4176>
- Vijaya, C., & Mallikarjuna Reddy, R. 2008. Impact of soil composting using municipal solid waste on biodegradation of plastics. *Indian Journal of Biotechnology*, 7(2), 235–239.
- Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., Fries, E., Grosbois, C., Klasmeier, J., Marti, T., Rodriguez-Mozaz, S., Urbatzka, R., Vethaak, A. D., Winther-Nielsen, M., & Reifferscheid, G. 2014. *Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know*. <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0012-7>
- Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., Fries, E., Grosbois, C., Klasmeier, J., Marti, T., Rodriguez-Mozaz, S., Urbatzka, R., Vethaak, A. D., Winther-Nielsen, M., & Reifferscheid, G. 2014. *Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know*. <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0012-7>
- Walpitagama, M., Carve, M., Douek, A. M., Trestrail, C., Bai, Y., Kaslin, J., & Wlodkovic, D. 2019. Additives migrating from 3D-printed plastic induce developmental toxicity and neuro-behavioural alterations in early life zebrafish (*Danio rerio*). *Aquatic Toxicology*, 213, 105227. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.105227>
- Wan, Z., Wang, C., Zhou, J., Shen, M., Wang, X., Fu, Z., & Jin, Y. 2019. Effects of polystyrene microplastics on the composition of the microbiome and metabolism in larval zebrafish. *Chemosphere*, 217, 646–658. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.070>
- Wang, F., Wang, F., & Zeng, E. Y. 2018. Sorption of toxic chemicals on microplastics. *Çinde Microplastic Contamination in Aquatic Environments: An Emerging Matter of Environmental Urgency* (ss. 225–247). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813747-5.00007-2>
- Wang, F., Wong, C. S., Chen, D., Lu, X., Wang, F., & Zeng, E. Y. 2018. *Interaction of toxic chemicals with microplastics: A critical review*. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.04.003>
- Wang, G., Lu, J., Tong, Y., Liu, Z., Zhou, H., & Xiayihazi, N. 2020. Occurrence and pollution characteristics of microplastics in surface water of the Manas River Basin, China. *Science of the Total Environment*, 710, 136099. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136099>
- Wang, J. H., Lu, J., Zhang, Y. X., Wu, J., Luo, Y., & Liu, H. 2018. Metagenomic analysis of antibiotic resistance genes in coastal industrial mariculture systems. *Bioresource Technology*, 253, 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.035>
- Wang, L., Wu, W. M., Bolan, N. S., Tsang, D. C. W., Li, Y., Qin, M., & Hou, D. 2021. Environmental fate, toxicity and risk management strategies of nanoplastics in the environment: Current status and future perspectives. *Journal of Hazardous Materials*, 401, 123415. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123415>

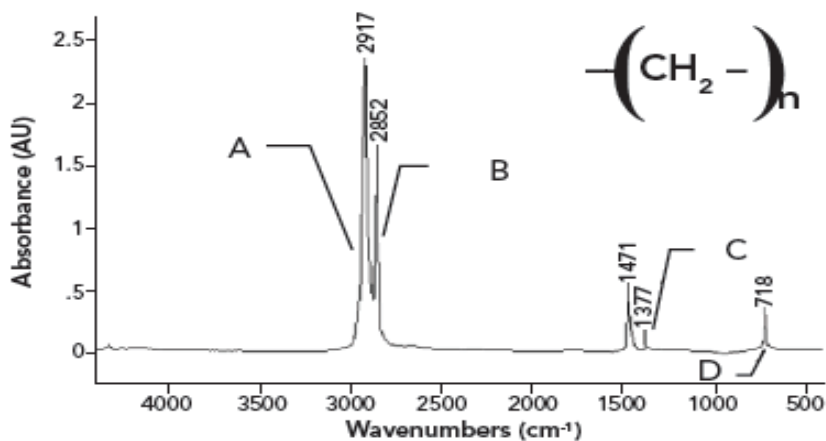
- Wang, W., Ge, J., & Yu, X. (2020). Bioavailability and toxicity of microplastics to fish species: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189, 109913. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109913>
- Wang, X., Wei, L., Wang, Y., He, B., Kong, B., Zhu, J., Jin, Y., & Fu, Z. 2019. Evaluation of development, locomotor behavior, oxidative stress, immune responses and apoptosis in developing zebrafish (*Danio rerio*) exposed to TBECH (tetrabromoethylcyclohexane). *Comparative Biochemistry and Physiology Part - C: Toxicology and Pharmacology*, 217, 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2018.12.004>
- Wen, B., Jin, S. R., Chen, Z. Z., Gao, J. Z., Liu, Y. N., Liu, J. H., & Feng, X. S. 2018. Single and combined effects of microplastics and cadmium on the cadmium accumulation, antioxidant defence and innate immunity of the discus fish (*Symphysodon aequifasciatus*). *Environmental Pollution*, 243, 462–471. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.029>
- Wong, G., Löwemark, L., & Kunz, A. 2020. Microplastic pollution of the Tamsui River and its tributaries in northern Taiwan: Spatial heterogeneity and correlation with precipitation. *Environmental Pollution*, 260, 113935. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.113935>
- Wright, S. L., & Kelly, F. J. 2017. Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environmental Science and Technology*, 51(12), 6634–6647. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>
- Wu, P., Tang, Y., Jin, H., Song, Y., Liu, Y., & Cai, Z. 2020. Consequential fate of bisphenol-attached PVC microplastics in water and simulated intestinal fluids. *Environmental Science and Ecotechnology*, 2, 100027. <https://doi.org/10.1016/j.es.2020.100027>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139065>
- Xia, X., Sun, M., Zhou, M., Chang, Z., & Li, L. 2020. Polyvinyl chloride microplastics induce growth inhibition and oxidative stress in *Cyprinus carpio* var. larvae. *Science of the Total Environment*, 716, 136479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136479>
- Yang, H., Xiong, H., Mi, K., Xue, W., Wei, W., & Zhang, Y. 2020. Toxicity comparison of nano-sized and micron-sized microplastics to Goldfish *Carassius auratus* Larvae. *Journal of Hazardous Materials*, 388, 122058. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122058>
- Yang, Y., Liu, G., Song, W., Ye, C., Lin, H., Li, Z., & Liu, W. 2019. Plastics in the marine environment are reservoirs for antibiotic and metal resistance genes. *Environment International*, 123, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.061>
- Yifeng Lu. 2016. *Comment on "Uptake and Accumulation of Polystyrene Microplastics in zebrafish (Danio rerio) and Toxic Effects in Liver"*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04193>
- Yu, Y., Ma, R., Qu, H., Zuo, Y., Yu, Z., Hu, G., Li, Z., Chen, H., Lin, B., Wang, B., & Yu, G. 2020. Enhanced adsorption of tetrabromobisphenol a (TBBPA) on cosmetic-derived plastic microbeads and combined effects on zebrafish. *Chemosphere*, 248,

126067. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126067>
- Yuan, J., Ma, J., Sun, Y., Zhou, T., Zhao, Y., & Yu, F. 2020. Microbial degradation and other environmental aspects of microplastics/plastics. *Science of the Total Environment*, 715, 136968. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136968>
- Yurtsever, M. 2015. Mikroplastikler'e Genel Bir Bakış (Microplastics: an Overview). *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen V Mühendisliği Dergisi*, 17(50), 68–83. <http://web.deu.edu.tr/fmd/s50/S50-m3.pdf>
- Yurtsever, M. 2017. *Küresel Plastik Kirliliği*, Nano-. 171–197.
- Yurtsever, M. 2019. *Nano- ve mikroplastik'lerin insan sağlığı ve ekosistem üzerindeki olası etkileri*. 5(2), 17–24.
- Zettler, E. R., Mincer, T. J., & Amaral-Zettler, L. A. 2013. Life in the “plastisphere”: Microbial communities on plastic marine debris. *Environmental Science and Technology*, 47(13), 7137–7146. <https://doi.org/10.1021/es401288x>
- Zeytin, S., Wagner, G., Mackay-Roberts, N., Gerdt, G., Schuirmann, E., Klockmann, S., & Slater, M. 2020. Quantifying microplastic translocation from feed to the fillet in European sea bass *Dicentrarchus labrax*. *Marine Pollution Bulletin*, 156, 111210. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111210>
- Zhang, K., Xiong, X., Hu, H., Wu, C., Bi, Y., Wu, Y., Zhou, B., Lam, P. K. S., & Liu, J. 2017. Occurrence and Characteristics of Microplastic Pollution in Xiangxi Bay of Three Gorges Reservoir, China. *Environmental Science and Technology*, 51(7), 3794–3801. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00369>
- Zhu, J., Zhang, Q., Li, Y., Tan, S., Kang, Z., Yu, X., Lan, W., Cai, L., Wang, J., & Shi, H. 2019. Microplastic pollution in the Maowei Sea, a typical mariculture bay of China. *Science of the Total Environment*, 658, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.192>
- Zhu, Y.-G., Johnson, T. A., Su, J.-Q., Qiao, M., Guo, G.-X., Stedtfeld, R. D., Hashsham, S. A., & Tiedje, J. M. 2012. *Diverse and abundant antibiotic resistance genes in Chinese swine farms*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222743110>
- Zhu, Y. G., Zhao, Y., Li, B., Huang, C. L., Zhang, S. Y., Yu, S., Chen, Y. S., Zhang, T., Gillings, M. R., & Su, J. Q. 2017. Continental-scale pollution of estuaries with antibiotic resistance genes. *Nature Microbiology*, 2(January). <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2016.270>
- Zobkov, M., Belkina, N., Kovalevski, V., Zobkova, M., Efremova, T., & Galakhina, N. 2020. Microplastic abundance and accumulation behavior in Lake Onego sediments: a journey from the river mouth to pelagic waters of the large boreal lake. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104367. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2020.104367>

EKLER

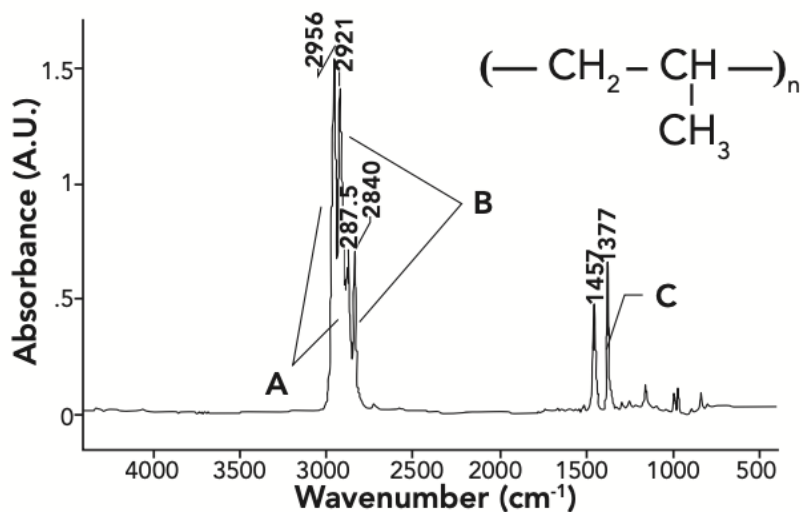
EK1. FTIR REFERANS PİKLER (Smith B.C. 2022. Infrared Spectroscopy of Polymers, VIII: Polyesters and the Rule of Three. Spectroscopy, 37(10): 25–28.)

LOW DENSITY POLYETHYLENE



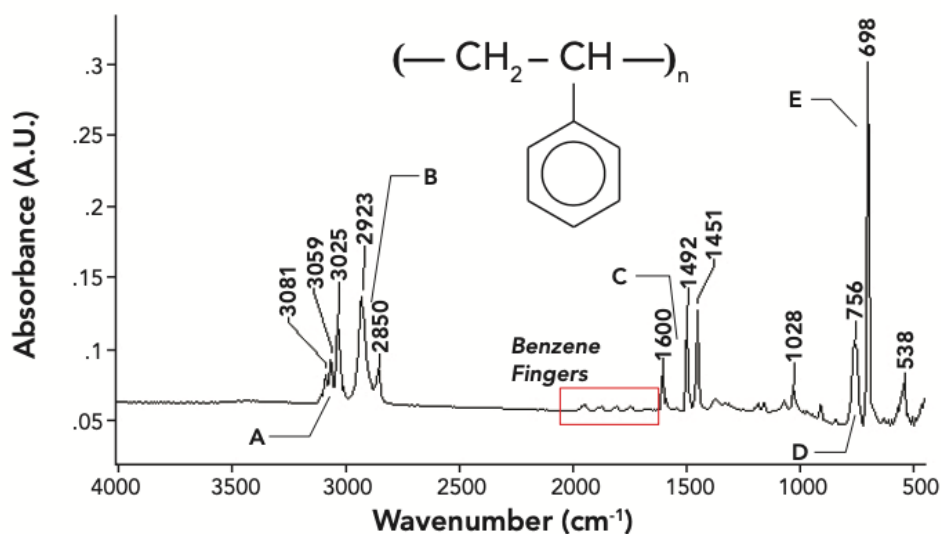
| | | |
|---|------|--|
| A | 2917 | CH ₂ Asymmetric C-H stretch |
| B | 2852 | CH ₂ Symmetric C-H stretch |
| C | 1377 | CH ₃ Umbrella mode |
| D | 718 | CH ₂ Rock |

POLYPROPYLENE



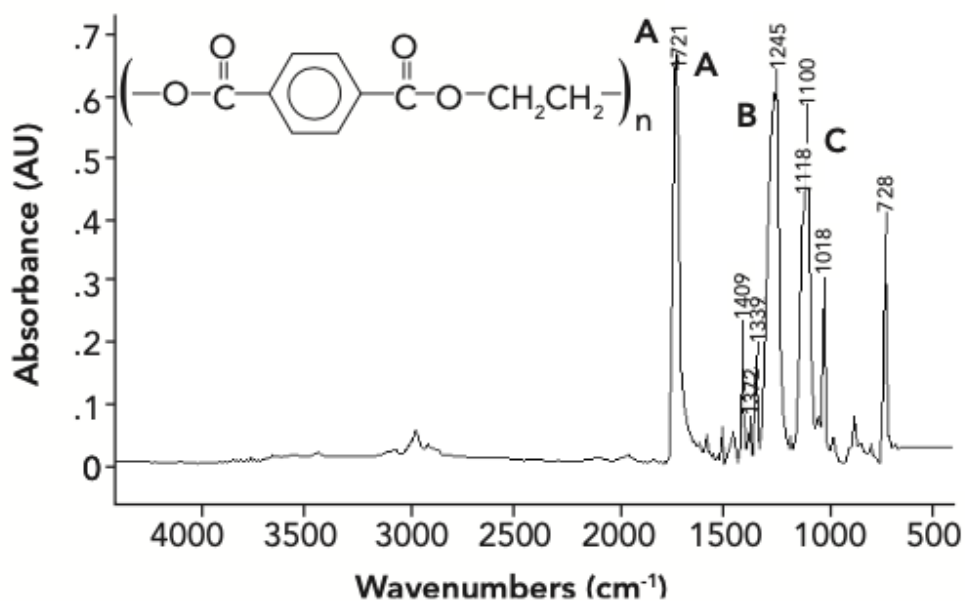
| | | |
|---|------------|--|
| A | 2956, 2875 | CH ₃ Asymmetric and symmetric stretches |
| B | 2921, 2840 | CH ₂ Asymmetric and symmetric stretches |
| C | 1377 | CH ₃ Umbrella mode |

POLYSTYRENE



| | | |
|---|------------------|--|
| A | 3081, 3059, 3025 | Aromatic C-H stretches |
| B | 2923, 2850 | CH ₂ Asymmetric and symmetric stretches |
| C | 1600, 1492 | Aromatic ring modes |
| D | 756 | Aromatic out-of-plane C-H bend |
| E | 698 | Aromatic ring bend |

POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)



| | | |
|---|------|------------------------------|
| A | 1721 | Aromatic ester C=O Stretch |
| B | 1245 | Aromatic ester C-C-O Stretch |
| C | 1100 | Aromatic ester O-C-C Stretch |

EK2. İSTATİSTİKSEL VERİ TABLOLARI

EK2A. Sediment LDPE

Repeated Measures ANOVA

Within Subjects Effects

| Cases | Sum of Squares | df | Mean Square | F | p |
|-------------|------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
| RM Factor 1 | 15359.444 ^a | 11 ^a | 1396.313 ^a | 275.938 ^a | < .001 ^a |
| Residuals | 1391.565 | 275 | 5.060 | | |

Note. Type III Sum of Squares

^a Mauchly's test of sphericity indicates that the assumption of sphericity is violated ($p < .05$).

Between Subjects Effects

| Cases | Sum of Squares | df | Mean Square | F | p |
|-----------|----------------|----|-------------|---|---|
| Residuals | 1674.610 | 25 | 66.984 | | |

Note. Type III Sum of Squares

Post Hoc Tests

Post Hoc Comparisons - RM Factor 1

| | | Mean Difference | SE | t | <i>p</i> _{adj} |
|---------|---------|-----------------|-------|---------|-------------------------|
| Van1 | Van2 | -7.793 | 0.624 | -12.491 | < .001 |
| | Van3 | -5.694 | 0.624 | -9.127 | < .001 |
| | Tatvan1 | -6.202 | 0.624 | -9.940 | < .001 |
| | Tatvan2 | -5.572 | 0.624 | -8.930 | < .001 |
| | Tatvan3 | -1.427 | 0.624 | -2.287 | 1.000 |
| | Gevaş1 | -9.157 | 0.624 | -14.678 | < .001 |
| | Gevaş2 | -3.800 | 0.624 | -6.091 | < .001 |
| | Gevaş3 | -1.532 | 0.624 | -2.455 | 0.970 |
| | Erciş1 | 11.301 | 0.624 | 18.114 | < .001 |
| | Erciş2 | 12.358 | 0.624 | 19.808 | < .001 |
| | Erciş3 | 7.323 | 0.624 | 11.737 | < .001 |
| Van2 | Van3 | 2.099 | 0.624 | 3.364 | 0.058 |
| | Tatvan1 | 1.592 | 0.624 | 2.551 | 0.745 |
| | Tatvan2 | 2.221 | 0.624 | 3.561 | 0.029 |
| | Tatvan3 | 6.366 | 0.624 | 10.204 | < .001 |
| | Gevaş1 | -1.364 | 0.624 | -2.187 | 1.000 |
| | Gevaş2 | 3.993 | 0.624 | 6.400 | < .001 |
| | Gevaş3 | 6.261 | 0.624 | 10.036 | < .001 |
| | Erciş1 | 19.094 | 0.624 | 30.605 | < .001 |
| | Erciş2 | 20.152 | 0.624 | 32.299 | < .001 |
| | Erciş3 | 15.116 | 0.624 | 24.228 | < .001 |
| Van3 | Tatvan1 | -0.507 | 0.624 | -0.813 | 1.000 |
| | Tatvan2 | 0.123 | 0.624 | 0.197 | 1.000 |
| | Tatvan3 | 4.268 | 0.624 | 6.840 | < .001 |
| | Gevaş1 | -3.463 | 0.624 | -5.550 | < .001 |
| | Gevaş2 | 1.894 | 0.624 | 3.037 | 0.173 |
| | Gevaş3 | 4.163 | 0.624 | 6.672 | < .001 |
| | Erciş1 | 16.996 | 0.624 | 27.241 | < .001 |
| | Erciş2 | 18.053 | 0.624 | 28.936 | < .001 |
| | Erciş3 | 13.017 | 0.624 | 20.864 | < .001 |
| Tatvan1 | Tatvan2 | 0.630 | 0.624 | 1.010 | 1.000 |
| | Tatvan3 | 4.775 | 0.624 | 7.653 | < .001 |
| | Gevaş1 | -2.956 | 0.624 | -4.738 | < .001 |
| | Gevaş2 | 2.402 | 0.624 | 3.849 | 0.010 |
| | Gevaş3 | 4.670 | 0.624 | 7.485 | < .001 |
| | Erciş1 | 17.503 | 0.624 | 28.054 | < .001 |
| | Erciş2 | 18.560 | 0.624 | 29.748 | < .001 |
| | Erciş3 | 13.524 | 0.624 | 21.677 | < .001 |
| Tatvan2 | Tatvan3 | 4.145 | 0.624 | 6.643 | < .001 |
| | Gevaş1 | -3.586 | 0.624 | -5.747 | < .001 |
| | Gevaş2 | 1.772 | 0.624 | 2.840 | 0.320 |
| | Gevaş3 | 4.040 | 0.624 | 6.475 | < .001 |
| | Erciş1 | 16.873 | 0.624 | 27.044 | < .001 |
| | Erciş2 | 17.930 | 0.624 | 28.739 | < .001 |
| | Erciş3 | 12.894 | 0.624 | 20.668 | < .001 |
| Tatvan3 | Gevaş1 | -7.730 | 0.624 | -12.390 | < .001 |
| | Gevaş2 | -2.373 | 0.624 | -3.804 | 0.012 |
| | Gevaş3 | -0.105 | 0.624 | -0.168 | 1.000 |
| | Erciş1 | 12.728 | 0.624 | 20.401 | < .001 |
| | Erciş2 | 13.785 | 0.624 | 22.096 | < .001 |
| | Erciş3 | 8.750 | 0.624 | 14.024 | < .001 |
| Gevaş1 | Gevaş2 | 5.357 | 0.624 | 8.587 | < .001 |
| | Gevaş3 | 7.626 | 0.624 | 12.222 | < .001 |
| | Erciş1 | 20.458 | 0.624 | 32.791 | < .001 |
| | Erciş2 | 21.516 | 0.624 | 34.486 | < .001 |
| | Erciş3 | 16.480 | 0.624 | 26.415 | < .001 |
| Gevaş2 | Gevaş3 | 2.268 | 0.624 | 3.636 | 0.022 |
| | Erciş1 | 15.101 | 0.624 | 24.204 | < .001 |
| | Erciş2 | 16.158 | 0.624 | 25.899 | < .001 |
| | Erciş3 | 11.123 | 0.624 | 17.828 | < .001 |
| Gevaş3 | Erciş1 | 12.833 | 0.624 | 20.569 | < .001 |
| | Erciş2 | 13.890 | 0.624 | 22.264 | < .001 |
| | Erciş3 | 8.855 | 0.624 | 14.192 | < .001 |
| Erciş1 | Erciş2 | 1.057 | 0.624 | 1.695 | 1.000 |
| | Erciş3 | -3.978 | 0.624 | -6.377 | < .001 |
| Erciş2 | Erciş3 | -5.036 | 0.624 | -8.071 | < .001 |

Note. P-value adjusted for comparing a family of 66

EK2B. Sediment PP

Repeated Measures ANOVA

Within Subjects Effects

| Cases | Sum of Squares | df | Mean Square | F | p |
|-------------|-----------------------|-----------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| RM Factor 1 | 9988.037 ^a | 11 ^a | 908.003 ^a | 278.597 ^a | < .001 ^a |
| Residuals | 645.323 | 198 | 3.259 | | |

Note. Type III Sum of Squares

^a Mauchly's test of sphericity indicates that the assumption of sphericity is violated ($p < .05$).

Between Subjects Effects

| Cases | Sum of Squares | df | Mean Square | F | p |
|-----------|----------------|----|-------------|---|---|
| Residuals | 381.327 | 18 | 21.185 | | |

Note. Type III Sum of Squares

Post Hoc Tests

Post Hoc Comparisons - RM Factor 1

| | | Mean Difference | SE | t | P _{adj} |
|---------|---------|-----------------|-------|---------|------------------|
| Van1 | Van2 | -5.409 | 0.586 | -9.234 | < .001 |
| | Van3 | -3.198 | 0.586 | -5.460 | < .001 |
| | Tatvan1 | -4.754 | 0.586 | -8.116 | < .001 |
| | Tatvan2 | -4.554 | 0.586 | -7.776 | < .001 |
| | Tatvan3 | -0.558 | 0.586 | -0.953 | 1.000 |
| | Gevaş1 | -6.791 | 0.586 | -11.593 | < .001 |
| | Gevaş2 | -1.120 | 0.586 | -1.911 | 1.000 |
| | Gevaş3 | 0.600 | 0.586 | 1.024 | 1.000 |
| | Erciş1 | 12.414 | 0.586 | 21.195 | < .001 |
| Van2 | Erciş2 | 13.702 | 0.586 | 23.393 | < .001 |
| | Erciş3 | 7.633 | 0.586 | 13.032 | < .001 |
| | Van3 | 2.211 | 0.586 | 3.774 | 0.014 |
| | Tatvan1 | 0.655 | 0.586 | 1.119 | 1.000 |
| | Tatvan2 | 0.854 | 0.586 | 1.458 | 1.000 |
| | Tatvan3 | 4.850 | 0.586 | 8.281 | < .001 |
| | Gevaş1 | -1.382 | 0.586 | -2.359 | 1.000 |
| | Gevaş2 | 4.289 | 0.586 | 7.323 | < .001 |
| | Gevaş3 | 6.009 | 0.586 | 10.258 | < .001 |
| Van3 | Erciş1 | 17.823 | 0.586 | 30.429 | < .001 |
| | Erciş2 | 19.111 | 0.586 | 32.627 | < .001 |
| | Erciş3 | 13.042 | 0.586 | 22.266 | < .001 |
| | Tatvan1 | -1.556 | 0.586 | -2.656 | 0.564 |
| | Tatvan2 | -1.357 | 0.586 | -2.316 | 1.000 |
| | Tatvan3 | 2.640 | 0.586 | 4.506 | < .001 |
| | Gevaş1 | -3.593 | 0.586 | -6.134 | < .001 |
| | Gevaş2 | 2.078 | 0.586 | 3.548 | 0.032 |
| | Gevaş3 | 3.798 | 0.586 | 6.484 | < .001 |
| Tatvan1 | Erciş1 | 15.612 | 0.586 | 26.654 | < .001 |
| | Erciş2 | 16.900 | 0.586 | 28.853 | < .001 |
| | Erciş3 | 10.831 | 0.586 | 18.491 | < .001 |
| | Tatvan2 | 0.199 | 0.586 | 0.340 | 1.000 |
| | Tatvan3 | 4.195 | 0.586 | 7.162 | < .001 |
| | Gevaş1 | -2.037 | 0.586 | -3.478 | 0.041 |
| | Gevaş2 | 3.634 | 0.586 | 6.204 | < .001 |
| | Gevaş3 | 5.353 | 0.586 | 9.140 | < .001 |
| | Erciş1 | 17.168 | 0.586 | 29.310 | < .001 |
| Tatvan2 | Erciş2 | 18.455 | 0.586 | 31.509 | < .001 |
| | Erciş3 | 12.387 | 0.586 | 21.147 | < .001 |
| | Tatvan3 | 3.996 | 0.586 | 6.823 | < .001 |
| | Gevaş1 | -2.236 | 0.586 | -3.818 | 0.012 |
| | Gevaş2 | 3.435 | 0.586 | 5.864 | < .001 |
| | Gevaş3 | 5.154 | 0.586 | 8.800 | < .001 |
| | Erciş1 | 16.969 | 0.586 | 28.970 | < .001 |
| | Erciş2 | 18.256 | 0.586 | 31.169 | < .001 |
| | Erciş3 | 12.187 | 0.586 | 20.808 | < .001 |
| Tatvan3 | Gevaş1 | -6.232 | 0.586 | -10.640 | < .001 |
| | Gevaş2 | -0.561 | 0.586 | -0.958 | 1.000 |
| | Gevaş3 | 1.158 | 0.586 | 1.978 | 1.000 |
| | Erciş1 | 12.972 | 0.586 | 22.148 | < .001 |
| | Erciş2 | 14.260 | 0.586 | 24.346 | < .001 |
| | Erciş3 | 8.191 | 0.586 | 13.985 | < .001 |
| | Gevaş1 | 5.671 | 0.586 | 9.682 | < .001 |
| | Gevaş2 | 7.391 | 0.586 | 12.618 | < .001 |
| | Erciş1 | 19.205 | 0.586 | 32.788 | < .001 |
| Gevaş1 | Erciş2 | 20.493 | 0.586 | 34.987 | < .001 |
| | Erciş3 | 14.424 | 0.586 | 24.625 | < .001 |
| | Gevaş2 | 1.720 | 0.586 | 2.936 | 0.246 |
| | Gevaş3 | 13.534 | 0.586 | 23.106 | < .001 |
| | Erciş1 | 14.822 | 0.586 | 25.305 | < .001 |
| | Erciş2 | 8.753 | 0.586 | 14.943 | < .001 |
| | Erciş3 | 11.814 | 0.586 | 20.170 | < .001 |
| | Erciş1 | 13.102 | 0.586 | 22.369 | < .001 |
| | Erciş2 | 7.033 | 0.586 | 12.007 | < .001 |
| Erciş1 | Erciş2 | 1.288 | 0.586 | 2.199 | 1.000 |
| | Erciş3 | -4.781 | 0.586 | -8.163 | < .001 |
| | Erciş2 | -6.069 | 0.586 | -10.361 | < .001 |

Note. P-value adjusted for comparing a family of 66

EK2C. Sediment PS

Repeated Measures ANOVA

Within Subjects Effects

| Cases | Sum of Squares | df | Mean Square | F | p |
|-------------|------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
| RM Factor 1 | 19350.831 ^a | 11 ^a | 1759.166 ^a | 339.537 ^a | < .001 ^a |
| Residuals | 1709.752 | 330 | 5.181 | | |

Note. Type III Sum of Squares

^a Mauchly's test of sphericity indicates that the assumption of sphericity is violated ($p < .05$).

Between Subjects Effects

| Cases | Sum of Squares | df | Mean Square | F | p |
|-----------|----------------|----|-------------|---|---|
| Residuals | 3860.832 | 30 | 128.694 | | |

Note. Type III Sum of Squares

Post Hoc Tests

Post Hoc Comparisons - RM Factor 1

| | | Mean Difference | SE | t | P _{adj} | | | |
|---------|---------|-----------------|--------|---------|------------------|--------|--------|--------|
| Van1 | Van2 | -8.121 | 0.578 | -14.047 | < .001 | | | |
| | Van3 | -6.537 | 0.578 | -11.307 | < .001 | | | |
| | Tatvan1 | -5.135 | 0.578 | -8.882 | < .001 | | | |
| | Tatvan2 | -4.271 | 0.578 | -7.387 | < .001 | | | |
| | Tatvan3 | -0.563 | 0.578 | -0.974 | 1.000 | | | |
| | Gevaş1 | -7.769 | 0.578 | -13.438 | < .001 | | | |
| | Gevaş2 | -3.188 | 0.578 | -5.514 | < .001 | | | |
| | Gevaş3 | -0.970 | 0.578 | -1.678 | 1.000 | | | |
| | Erciş1 | 12.250 | 0.578 | 21.189 | < .001 | | | |
| | Erciş2 | 13.048 | 0.578 | 22.569 | < .001 | | | |
| | Erciş3 | 8.903 | 0.578 | 15.399 | < .001 | | | |
| Van2 | Van3 | 1.584 | 0.578 | 2.740 | 0.427 | | | |
| | Tatvan1 | 2.987 | 0.578 | 5.166 | < .001 | | | |
| | Tatvan2 | 3.851 | 0.578 | 6.660 | < .001 | | | |
| | Tatvan3 | 7.558 | 0.578 | 13.073 | < .001 | | | |
| | Gevaş1 | 0.352 | 0.578 | 0.609 | 1.000 | | | |
| | Gevaş2 | 4.933 | 0.578 | 8.533 | < .001 | | | |
| | Gevaş3 | 7.151 | 0.578 | 12.369 | < .001 | | | |
| | Erciş1 | 20.372 | 0.578 | 35.236 | < .001 | | | |
| | Erciş2 | 21.170 | 0.578 | 36.616 | < .001 | | | |
| | Erciş3 | 17.024 | 0.578 | 29.446 | < .001 | | | |
| | Van3 | Tatvan1 | 1.402 | 0.578 | 2.425 | 1.000 | | |
| Tatvan2 | | 2.266 | 0.578 | 3.920 | 0.007 | | | |
| Tatvan3 | | 5.974 | 0.578 | 10.333 | < .001 | | | |
| Gevaş1 | | -1.232 | 0.578 | -2.131 | 1.000 | | | |
| Gevaş2 | | 3.349 | 0.578 | 5.793 | < .001 | | | |
| Gevaş3 | | 5.567 | 0.578 | 9.629 | < .001 | | | |
| Erciş1 | | 18.788 | 0.578 | 32.496 | < .001 | | | |
| Erciş2 | | 19.586 | 0.578 | 33.876 | < .001 | | | |
| Erciş3 | | 15.440 | 0.578 | 26.706 | < .001 | | | |
| Tatvan1 | | Tatvan2 | 0.864 | 0.578 | 1.494 | 1.000 | | |
| | | Tatvan3 | 4.572 | 0.578 | 7.908 | < .001 | | |
| | Gevaş1 | -2.634 | 0.578 | -4.556 | < .001 | | | |
| | Gevaş2 | 1.947 | 0.578 | 3.367 | 0.056 | | | |
| | Gevaş3 | 4.165 | 0.578 | 7.203 | < .001 | | | |
| | Erciş1 | 17.385 | 0.578 | 30.071 | < .001 | | | |
| | Erciş2 | 18.183 | 0.578 | 31.451 | < .001 | | | |
| | Erciş3 | 14.038 | 0.578 | 24.280 | < .001 | | | |
| | Tatvan2 | Tatvan3 | 3.708 | 0.578 | 6.413 | < .001 | | |
| | | Gevaş1 | -3.498 | 0.578 | -6.051 | < .001 | | |
| | | Gevaş2 | 1.083 | 0.578 | 1.873 | 1.000 | | |
| Gevaş3 | | 3.301 | 0.578 | 5.709 | < .001 | | | |
| Erciş1 | | 16.521 | 0.578 | 28.576 | < .001 | | | |
| Erciş2 | | 17.319 | 0.578 | 29.956 | < .001 | | | |
| Erciş3 | | 13.174 | 0.578 | 22.786 | < .001 | | | |
| Tatvan3 | | Gevaş1 | -7.206 | 0.578 | -12.464 | < .001 | | |
| | | Gevaş2 | -2.625 | 0.578 | -4.540 | < .001 | | |
| | | Gevaş3 | -0.407 | 0.578 | -0.704 | 1.000 | | |
| | | Erciş1 | 12.813 | 0.578 | 22.163 | < .001 | | |
| | Erciş2 | 13.612 | 0.578 | 23.543 | < .001 | | | |
| | Erciş3 | 9.466 | 0.578 | 16.373 | < .001 | | | |
| | Gevaş1 | Gevaş2 | 4.581 | 0.578 | 7.924 | < .001 | | |
| | | Gevaş3 | 6.799 | 0.578 | 11.760 | < .001 | | |
| | | Erciş1 | 20.020 | 0.578 | 34.627 | < .001 | | |
| | | Erciş2 | 20.818 | 0.578 | 36.007 | < .001 | | |
| | | Erciş3 | 16.672 | 0.578 | 28.837 | < .001 | | |
| Gevaş2 | | Gevaş3 | 2.218 | 0.578 | 3.836 | 0.010 | | |
| | | Erciş1 | 15.439 | 0.578 | 26.703 | < .001 | | |
| | | Erciş2 | 16.237 | 0.578 | 28.084 | < .001 | | |
| | | Erciş3 | 12.091 | 0.578 | 20.913 | < .001 | | |
| | | Gevaş3 | Erciş1 | 13.221 | 0.578 | 22.867 | < .001 | |
| | | | Erciş2 | 14.019 | 0.578 | 24.247 | < .001 | |
| | Erciş3 | | 9.873 | 0.578 | 17.077 | < .001 | | |
| | Erciş1 | | Erciş2 | 0.798 | 0.578 | 1.380 | 1.000 | |
| | | | Erciş3 | -3.348 | 0.578 | -5.790 | < .001 | |
| | | | Erciş2 | Erciş3 | -4.146 | 0.578 | -7.170 | < .001 |

Note. P-value adjusted for comparing a family of 66

EK2D. Sediment PET

Repeated Measures ANOVA

Within Subjects Effects

| Cases | Sum of Squares | df | Mean Square | F | p |
|-------------|-----------------------|-----------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| RM Factor 1 | 7060.432 ^a | 11 ^a | 641.857 ^a | 125.864 ^a | < .001 ^a |
| Residuals | 1009.720 | 198 | 5.100 | | |

Note. Type III Sum of Squares

^a Mauchly's test of sphericity indicates that the assumption of sphericity is violated ($p < .05$).

Between Subjects Effects

| Cases | Sum of Squares | df | Mean Square | F | p |
|-----------|----------------|----|-------------|---|---|
| Residuals | 2312.582 | 18 | 128.477 | | |

Note. Type III Sum of Squares

Post Hoc Tests

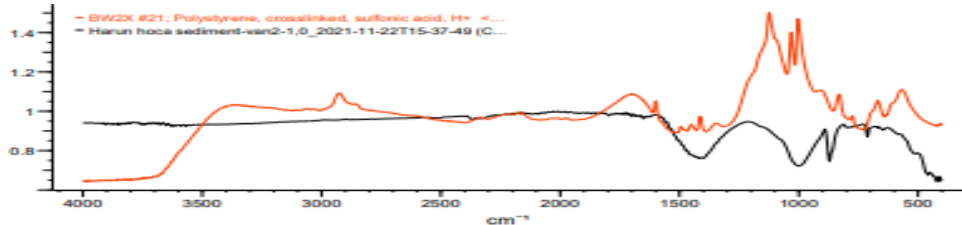
Post Hoc Comparisons - RM Factor 1

| | | Mean Difference | SE | t | P _{adj} |
|---------|---------|-----------------|-------|---------|------------------|
| Van1 | Van2 | -8.646 | 0.733 | -11.801 | < .001 |
| | Van3 | -6.613 | 0.733 | -9.026 | < .001 |
| | Tatvan1 | -6.781 | 0.733 | -9.255 | < .001 |
| | Tatvan2 | -5.923 | 0.733 | -8.084 | < .001 |
| | Tatvan3 | -2.453 | 0.733 | -3.348 | 0.064 |
| | Gevaş1 | -10.180 | 0.733 | -13.895 | < .001 |
| | Gevaş2 | -6.458 | 0.733 | -8.815 | < .001 |
| | Gevaş3 | -4.803 | 0.733 | -6.555 | < .001 |
| | Erciş1 | 6.586 | 0.733 | 8.990 | < .001 |
| | Erciş2 | 6.797 | 0.733 | 9.278 | < .001 |
| Van2 | Erciş3 | 3.320 | 0.733 | 4.531 | < .001 |
| | Van3 | 2.033 | 0.733 | 2.775 | 0.400 |
| | Tatvan1 | 1.865 | 0.733 | 2.546 | 0.769 |
| | Tatvan2 | 2.723 | 0.733 | 3.716 | 0.017 |
| | Tatvan3 | 6.193 | 0.733 | 8.453 | < .001 |
| | Gevaş1 | -1.534 | 0.733 | -2.094 | 1.000 |
| | Gevaş2 | 2.187 | 0.733 | 2.986 | 0.210 |
| | Gevaş3 | 3.843 | 0.733 | 5.246 | < .001 |
| | Erciş1 | 15.232 | 0.733 | 20.790 | < .001 |
| | Erciş2 | 15.443 | 0.733 | 21.078 | < .001 |
| Van3 | Erciş3 | 11.966 | 0.733 | 16.332 | < .001 |
| | Tatvan1 | -0.167 | 0.733 | -0.228 | 1.000 |
| | Tatvan2 | 0.690 | 0.733 | 0.942 | 1.000 |
| | Tatvan3 | 4.161 | 0.733 | 5.679 | < .001 |
| | Gevaş1 | -3.567 | 0.733 | -4.869 | < .001 |
| | Gevaş2 | 0.155 | 0.733 | 0.211 | 1.000 |
| | Gevaş3 | 1.810 | 0.733 | 2.471 | 0.945 |
| | Erciş1 | 13.200 | 0.733 | 18.016 | < .001 |
| | Erciş2 | 13.411 | 0.733 | 18.304 | < .001 |
| | Erciş3 | 9.933 | 0.733 | 13.557 | < .001 |
| Tatvan1 | Tatvan2 | 0.857 | 0.733 | 1.170 | 1.000 |
| | Tatvan3 | 4.328 | 0.733 | 5.907 | < .001 |
| | Gevaş1 | -3.400 | 0.733 | -4.640 | < .001 |
| | Gevaş2 | 0.322 | 0.733 | 0.440 | 1.000 |
| | Gevaş3 | 1.978 | 0.733 | 2.699 | 0.498 |
| | Erciş1 | 13.367 | 0.733 | 18.244 | < .001 |
| | Erciş2 | 13.578 | 0.733 | 18.532 | < .001 |
| | Erciş3 | 10.100 | 0.733 | 13.786 | < .001 |
| | Tatvan2 | 3.470 | 0.733 | 4.737 | < .001 |
| | Tatvan3 | -4.257 | 0.733 | -5.810 | < .001 |
| Tatvan2 | Gevaş1 | -0.535 | 0.733 | -0.731 | 1.000 |
| | Gevaş2 | 1.120 | 0.733 | 1.529 | 1.000 |
| | Gevaş3 | 1.120 | 0.733 | 1.529 | 1.000 |
| | Erciş1 | 12.510 | 0.733 | 17.074 | < .001 |
| | Erciş2 | 12.720 | 0.733 | 17.362 | < .001 |
| | Erciş3 | 9.243 | 0.733 | 12.615 | < .001 |
| | Tatvan3 | -7.728 | 0.733 | -10.547 | < .001 |
| | Gevaş2 | -4.006 | 0.733 | -5.468 | < .001 |
| | Gevaş3 | -2.350 | 0.733 | -3.208 | 0.103 |
| | Erciş1 | 9.039 | 0.733 | 12.337 | < .001 |
| Tatvan3 | Erciş2 | 9.250 | 0.733 | 12.625 | < .001 |
| | Erciş3 | 5.772 | 0.733 | 7.879 | < .001 |
| | Gevaş1 | 3.722 | 0.733 | 5.080 | < .001 |
| | Gevaş2 | 5.377 | 0.733 | 7.340 | < .001 |
| | Erciş1 | 16.767 | 0.733 | 22.884 | < .001 |
| | Erciş2 | 16.978 | 0.733 | 23.172 | < .001 |
| | Erciş3 | 13.500 | 0.733 | 18.426 | < .001 |
| | Gevaş2 | 1.656 | 0.733 | 2.260 | 1.000 |
| | Erciş1 | 13.045 | 0.733 | 17.805 | < .001 |
| | Erciş2 | 13.256 | 0.733 | 18.093 | < .001 |
| Gevaş1 | Erciş3 | 9.778 | 0.733 | 13.346 | < .001 |
| | Gevaş3 | 11.389 | 0.733 | 15.545 | < .001 |
| | Erciş2 | 11.600 | 0.733 | 15.833 | < .001 |
| | Erciş3 | 8.122 | 0.733 | 11.086 | < .001 |
| | Erciş1 | 0.211 | 0.733 | 0.288 | 1.000 |
| | Erciş2 | -3.267 | 0.733 | -4.459 | < .001 |
| | Erciş3 | -3.478 | 0.733 | -4.747 | < .001 |

Note. P-value adjusted for comparing a family of 66

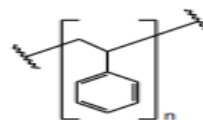
EK3. KNOWITALL (INFORMATİCS SYSTEM JOHN WİLEY) SANAL KÜTÜPHANESİNDEKİ REFERANS PİKLER İLE EŞLEŞEN ÖRNEKLERE AİT GRAFİKLER

EK2A. Van2 1 mm



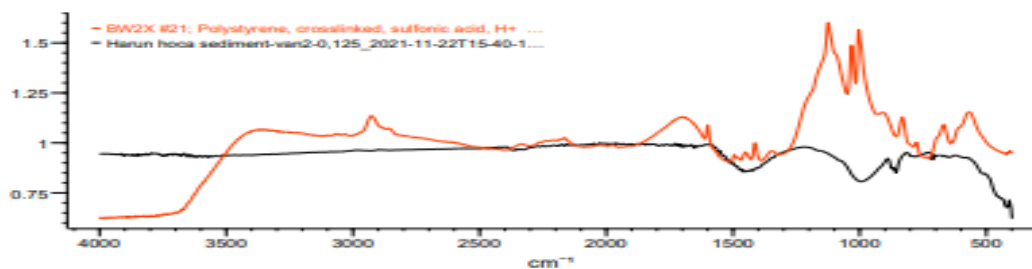
Manual Corrections: None
 Ranges: Full
 Search Algorithm: Correlation
 Query Path: C:\Users\Goek\Desktop\mmmm\sediment van2\Harun hoca sediment-van2-1,0_2021-11-22T15-37-49.csv

| Name | Value |
|-------------------------|---|
| Resulting HQI | 71.60 |
| Database Abbreviation | BW2X |
| Database Title | ATR-IR - Sadler Polymers & Monomers (Basic) 2 - Wiley |
| Record ID | 21 |
| Name | Polystyrene, crosslinked, sulfonic acid, H+ <1% H2O |
| CAS Registry Number | 39389-20-3 |
| Catalog Number | 723 |
| Classification | polymer |
| Compound Type | Pure |
| Instrument Name | Bio-Rad FTS |
| Lot Number | 100131002 |
| Sample Description | beads; macroporous spheres 16-50 mesh |
| Source of Sample | Scientific Polymer Products, Inc. |
| Source of Spectrum | Forensic Spectral Research |
| SpectraBase Compound ID | 4TIQY1E11m |
| Technique | ATR-Neat (DurasamplIR II) ground |
| Use | Acid catalyst in organic solvents, ion exchange in non-aqueous media, removal of amines |



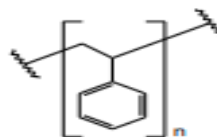
VAN2_1

EK2B. Van2 0.125 mm



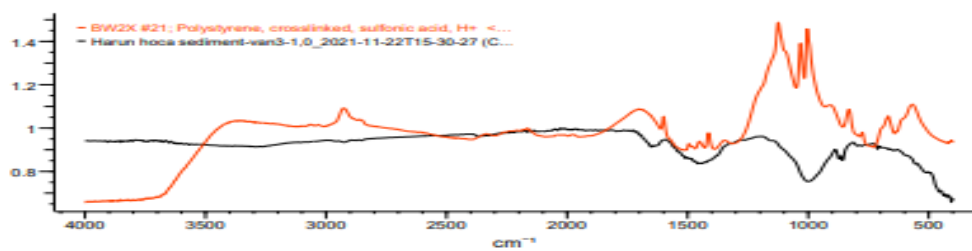
Manual Corrections: None
 Ranges: Full
 Search Algorithm: Correlation
 Query Path: C:\Users\Goek\Desktop\mmmm\sediment van2\Harun hoca sediment-van2-0,125_2021-11-22T15-40-18.csv

| Name | Value |
|-------------------------|---|
| Resulting HQI | 75.48 |
| Database Abbreviation | BW2X |
| Database Title | ATR-IR - Sadler Polymers & Monomers (Basic) 2 - Wiley |
| Record ID | 21 |
| Name | Polystyrene, crosslinked, sulfonic acid, H+ <1% H2O |
| CAS Registry Number | 39389-20-3 |
| Catalog Number | 723 |
| Classification | polymer |
| Compound Type | Pure |
| Instrument Name | Bio-Rad FTS |
| Lot Number | 100131002 |
| Sample Description | beads; macroporous spheres 16-50 mesh |
| Source of Sample | Scientific Polymer Products, Inc. |
| Source of Spectrum | Forensic Spectral Research |
| SpectraBase Compound ID | 4TIQY1E11m |
| Technique | ATR-Neat (DurasamplIR II) ground |
| Use | Acid catalyst in organic solvents, ion exchange in non-aqueous media, removal of amines |



VAN2_0.125

EK2C. Van3 1 mm



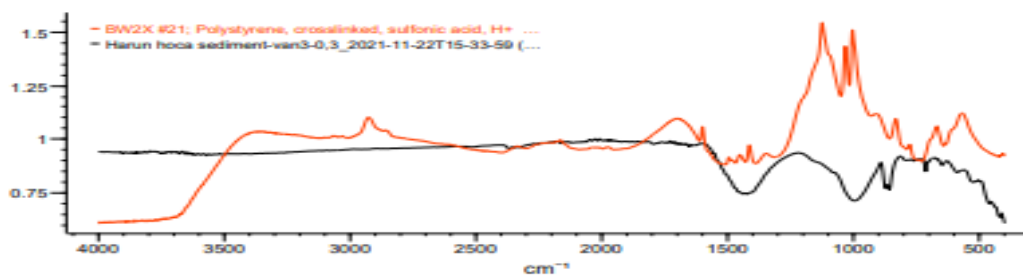
Manual Corrections: None
 Ranges: Full
 Search Algorithm: Correlation
 Query Path: C:\Users\Goek\Desktop\mmmm\sedimet van 3\Harun hoca sediment-van3-1,0_2021-11-22T15-30-27.csv

| Name | Value |
|-------------------------|---|
| Resulting HQI | 72.43 |
| Database Abbreviation | BW2X |
| Database Title | ATR-IR - Sadler Polymers & Monomers (Basic) 2 - Wiley |
| Record ID | 21 |
| Name | Polystyrene, crosslinked, sulfonic acid, H ⁺ <1% H ₂ O |
| CAS Registry Number | 39389-20-3 |
| Catalog Number | 723 |
| Classification | polymer |
| Compound Type | Pure |
| Instrument Name | Bio-Rad FTS |
| Lot Number | 100131002 |
| Sample Description | beads; macroreticulated spheres 16-50 mesh |
| Source of Sample | Scientific Polymer Products, Inc. |
| Source of Spectrum | Forensic Spectral Research |
| SpectraBase Compound ID | 4TlQy1E1lm |
| Technique | ATR-Neat (DurasampIR II) ground |
| Use | Acid catalyst in organic solvents, ion exchange in non-aqueous media, removal of amines |



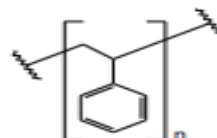
VAN3_1

EK2D. Van3 0,3 mm



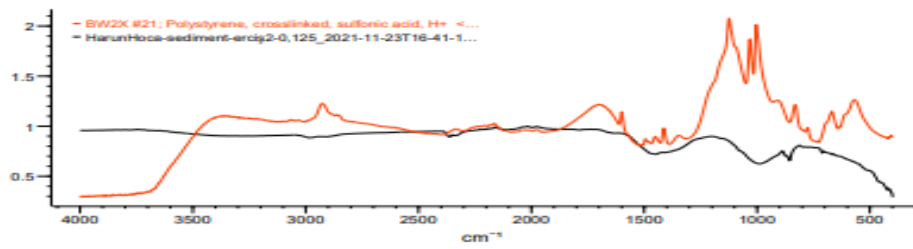
Manual Corrections: None
 Ranges: Full
 Search Algorithm: Correlation
 Query Path: C:\Users\Goek\Desktop\mmmm\sedimet van 3\Harun hoca sediment-van3-0,3_2021-11-22T15-33-59.csv

| Name | Value |
|-------------------------|---|
| Resulting HQI | 71.92 |
| Database Abbreviation | BW2X |
| Database Title | ATR-IR - Sadler Polymers & Monomers (Basic) 2 - Wiley |
| Record ID | 21 |
| Name | Polystyrene, crosslinked, sulfonic acid, H ⁺ <1% H ₂ O |
| CAS Registry Number | 39389-20-3 |
| Catalog Number | 723 |
| Classification | polymer |
| Compound Type | Pure |
| Instrument Name | Bio-Rad FTS |
| Lot Number | 100131002 |
| Sample Description | beads; macroreticulated spheres 16-50 mesh |
| Source of Sample | Scientific Polymer Products, Inc. |
| Source of Spectrum | Forensic Spectral Research |
| SpectraBase Compound ID | 4TlQy1E1lm |
| Technique | ATR-Neat (DurasampIR II) ground |
| Use | Acid catalyst in organic solvents, ion exchange in non-aqueous media, removal of amines |



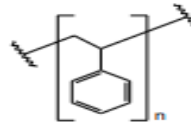
VAN3_0,3

EK2E. Erciş2 0.125 mm



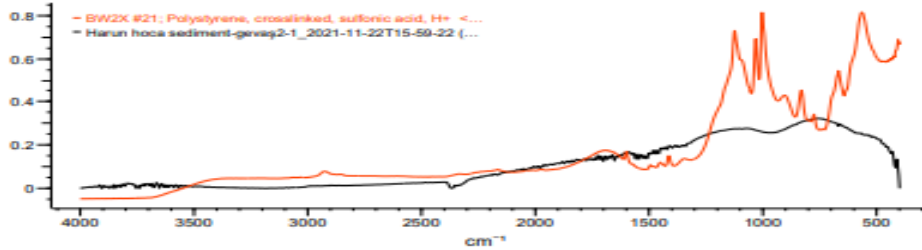
Manual Corrections: None
 Ranges: Full
 Search Algorithm: Correlation
 Query Path: C:\Users\Goek\Desktop\mmmmm\sediment
 erciş2\HarunHoca-sediment-erciş2-0,125_2021-11-23T16-41-17.csv

| Name | Value |
|-------------------------|---|
| Resulting HQI | 70.55 |
| Database Abbreviation | BW2X |
| Database Title | ATR-IR - Sadtler Polymers & Monomers (Basic) 2 - Wiley |
| Record ID | 21 |
| Name | Polystyrene, crosslinked, sulfonic acid, H+ <1% H2O |
| CAS Registry Number | 39389-20-3 |
| Catalog Number | 723 |
| Classification | polymer |
| Compound Type | Pure |
| Instrument Name | Bio-Rad FTS |
| Lot Number | 100131002 |
| Sample Description | beads; macroreticulated spheres 16-50 mesh |
| Source of Sample | Scientific Polymer Products, Inc. |
| Source of Spectrum | Forensic Spectral Research |
| SpectraBase Compound ID | 4TIOyl1E1Im |
| Technique | ATR-Neat (DurasampIR II) ground |
| Use | Acid catalyst in organic solvents, ion exchange in non-aqueous media, removal of amines |



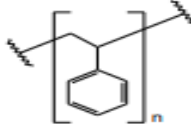
ERCIŞ2_0.125

EK2F. Gevaş2 1 mm



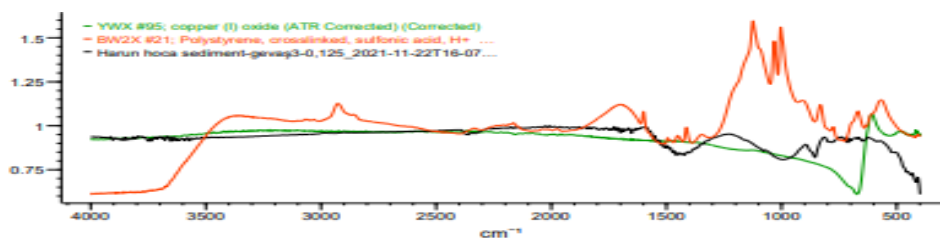
Manual Corrections: None
 Ranges: Full
 Search Algorithm: Correlation
 Query Path: C:\Users\Goek\Desktop\mmmmm\sediment gevaş 2\Harun hoca
 sediment-gevaş2-1_2021-11-22T15-59-22.csv

| Name | Value |
|-------------------------|---|
| Resulting HQI | 79.44 |
| Database Abbreviation | BW2X |
| Database Title | ATR-IR - Sadtler Polymers & Monomers (Basic) 2 - Wiley |
| Record ID | 21 |
| Name | Polystyrene, crosslinked, sulfonic acid, H+ <1% H2O |
| CAS Registry Number | 39389-20-3 |
| Catalog Number | 723 |
| Classification | polymer |
| Compound Type | Pure |
| Instrument Name | Bio-Rad FTS |
| Lot Number | 100131002 |
| Sample Description | beads; macroreticulated spheres 16-50 mesh |
| Source of Sample | Scientific Polymer Products, Inc. |
| Source of Spectrum | Forensic Spectral Research |
| SpectraBase Compound ID | 4TIOyl1E1Im |
| Technique | ATR-Neat (DurasampIR II) ground |
| Use | Acid catalyst in organic solvents, ion exchange in non-aqueous media, removal of amines |



GEVAŞ2_1

EK2G. Gevaş3 0.125 mm

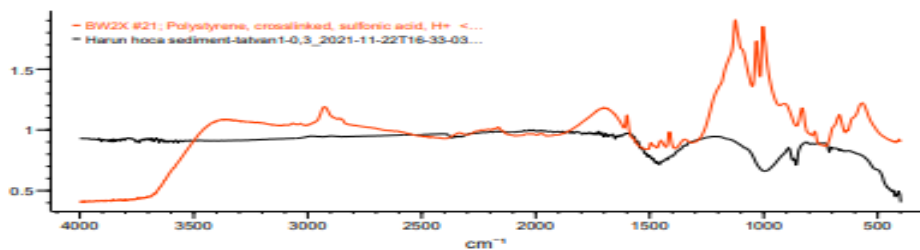


Manual Corrections: None
 Ranges: Full
 Search Algorithm: Correlation
 Query Path: C:\Users\Goek\Desktop\mmmm\sediment gevaş 3\Harun hoca sediment-gevaş3-0,125_2021-11-22T16-07-56.csv

| Score | Info | Name | Spectrum | Chemical Structure |
|-------|------|---|----------|--------------------|
| 84.19 | | copper (I) oxide | | <chem>Cu2O</chem> |
| 75.50 | | Polystyrene, crosslinked, sulfonic acid, H+ <1% H2O | | |

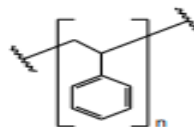
GEVAŞ3_0.125

EK2H. Tatvan1 0.3 mm



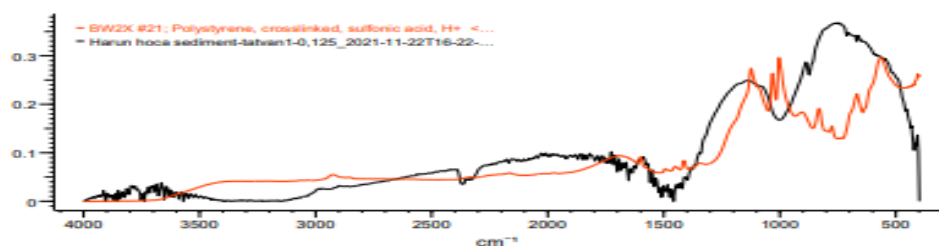
Manual Corrections: None
 Ranges: Full
 Search Algorithm: Correlation
 Query Path: C:\Users\Goek\Desktop\mmmm\sediment tatvan1\Harun hoca sediment-tatvan1-0,3_2021-11-22T16-33-03.csv

| Name | Value |
|-------------------------|---|
| Resulting HQI | 73.60 |
| Database Abbreviation | BW2X |
| Database Title | ATR-IR - Sadtler Polymers & Monomers (Basic) 2 - Wiley |
| Record ID | 21 |
| Name | Polystyrene, crosslinked, sulfonic acid, H+ <1% H2O |
| CAS Registry Number | 39389-20-3 |
| Catalog Number | 723 |
| Classification | polymer |
| Compound Type | Pure |
| Instrument Name | Bio-Rad FTS |
| Lot Number | 100131002 |
| Sample Description | beads; macroporous spheres 16-50 mesh |
| Source of Sample | Scientific Polymer Products, Inc. |
| Source of Spectrum | Forensic Spectral Research |
| SpectraBase Compound ID | 4TIOyl1E1im |
| Technique | ATR-Neat (DurasampIR II) ground |
| Use | Acid catalyst in organic solvents, ion exchange in non-aqueous media, removal of amines |



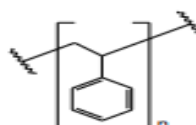
TATVAN1_0.3

EK2I. Tatvan1 0.125 mm



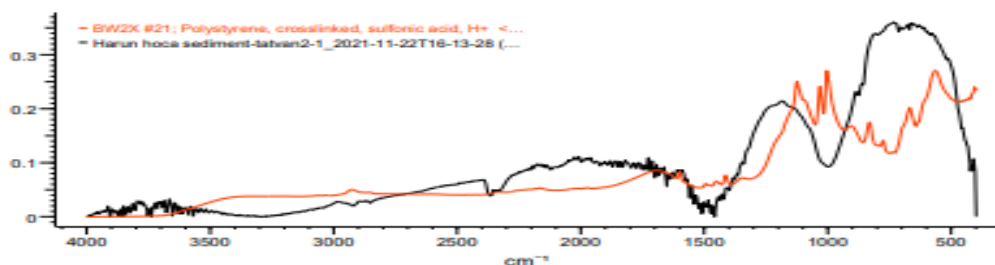
Manual Corrections: None
 Ranges: Full
 Search Algorithm: Correlation
 Query Path: C:\Users\Goek\Desktop\mmmm\sediment tatvan1\Harun hoca sediment-tatvan1-0,125_2021-11-22T16-22-40.csv

| Name | Value |
|-------------------------|---|
| Resulting HQI | 76.16 |
| Database Abbreviation | BW2X |
| Database Title | ATR-IR - Sadler Polymers & Monomers (Basic) 2 - Wiley |
| Record ID | 21 |
| Name | Polystyrene, crosslinked, sulfonic acid, H+ <1% H2O |
| CAS Registry Number | 39389-20-3 |
| Catalog Number | 723 |
| Classification | polymer |
| Compound Type | Pure |
| Instrument Name | Bio-Rad FTS |
| Lot Number | 100131002 |
| Sample Description | beads; macroporous spheres 16-50 mesh |
| Source of Sample | Scientific Polymer Products, Inc. |
| Source of Spectrum | Forensic Spectral Research |
| SpectraBase Compound ID | 4TIQy1E1lm |
| Technique | ATR-Neat (DurasampIR II) ground |
| Use | Acid catalyst in organic solvents, ion exchange in non-aqueous media, removal of amines |



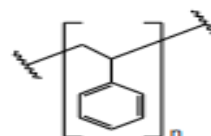
TATVAN1_0.125

EK2J. Tatvan2 1 mm



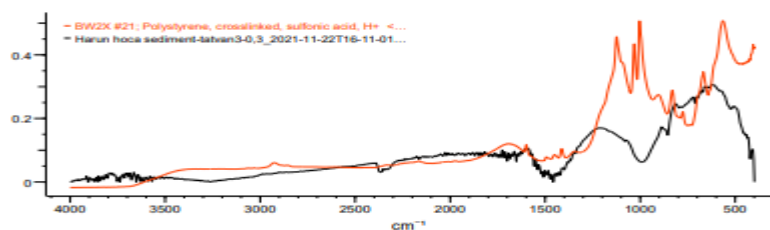
Manual Corrections: None
 Ranges: Full
 Search Algorithm: Correlation
 Query Path: C:\Users\Goek\Desktop\mmmm\sediment tatvan 2\Harun hoca sediment-tatvan2-1_2021-11-22T16-13-28.csv

| Name | Value |
|-------------------------|---|
| Resulting HQI | 71.83 |
| Database Abbreviation | BW2X |
| Database Title | ATR-IR - Sadler Polymers & Monomers (Basic) 2 - Wiley |
| Record ID | 21 |
| Name | Polystyrene, crosslinked, sulfonic acid, H+ <1% H2O |
| CAS Registry Number | 39389-20-3 |
| Catalog Number | 723 |
| Classification | polymer |
| Compound Type | Pure |
| Instrument Name | Bio-Rad FTS |
| Lot Number | 100131002 |
| Sample Description | beads; macroporous spheres 16-50 mesh |
| Source of Sample | Scientific Polymer Products, Inc. |
| Source of Spectrum | Forensic Spectral Research |
| SpectraBase Compound ID | 4TIQy1E1lm |
| Technique | ATR-Neat (DurasampIR II) ground |
| Use | Acid catalyst in organic solvents, ion exchange in non-aqueous media, removal of amines |



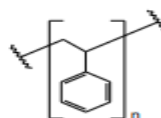
TATVAN2_1

EK2K. Tatvan3 0.3 mm



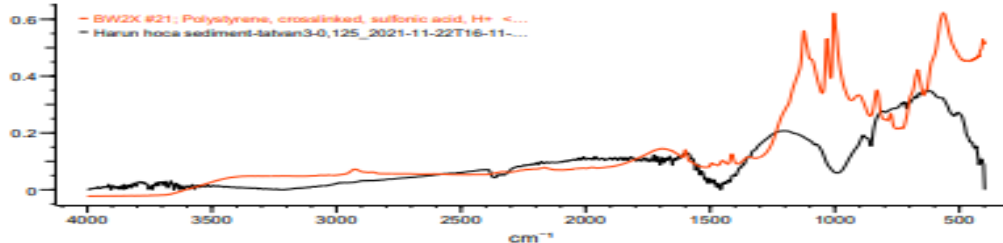
Manual Corrections: None
 Ranges: Full
 Search Algorithm: Correlation
 Query Path: C:\Users\Goek\Desktop\mmmm\sediment tatvan 3\Harun hoca sediment-tatvan3-0,3_2021-11-22T16-11-01.csv

| Name | Value |
|-------------------------|---|
| Resulting HQI | 72.69 |
| Database Abbreviation | BW2X |
| Database Title | ATR-IR - Sadtler Polymers & Monomers (Basic) 2 - Wiley |
| Record ID | 21 |
| Name | Polystyrene, crosslinked, sulfonic acid, H+ <1% H2O |
| CAS Registry Number | 39389-20-3 |
| Catalog Number | 723 |
| Classification | polymer |
| Compound Type | Pure |
| Instrument Name | Bio-Rad FTS |
| Lot Number | 100131002 |
| Sample Description | beads; macroreticulated spheres 16-50 mesh |
| Source of Sample | Scientific Polymer Products, Inc. |
| Source of Spectrum | Forensic Spectral Research |
| SpectraBase Compound ID | 4TIQy1E1lm |
| Technique | ATR-Neat (DurasamplIR II) ground |
| Use | Acid catalyst in organic solvents, ion exchange in non-aqueous media, removal of amines |



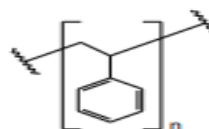
TATVAN3_0,3

EK2L. Tatvan3 0.125 mm



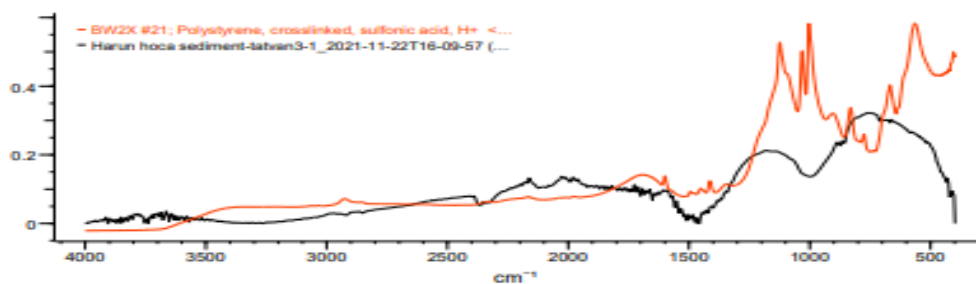
Manual Corrections: None
 Ranges: Full
 Search Algorithm: Correlation
 Query Path: C:\Users\Goek\Desktop\mmmm\sediment tatvan 3\Harun hoca sediment-tatvan3-0,125_2021-11-22T16-11-53.csv

| Name | Value |
|-------------------------|---|
| Resulting HQI | 72.26 |
| Database Abbreviation | BW2X |
| Database Title | ATR-IR - Sadtler Polymers & Monomers (Basic) 2 - Wiley |
| Record ID | 21 |
| Name | Polystyrene, crosslinked, sulfonic acid, H+ <1% H2O |
| CAS Registry Number | 39389-20-3 |
| Catalog Number | 723 |
| Classification | polymer |
| Compound Type | Pure |
| Instrument Name | Bio-Rad FTS |
| Lot Number | 100131002 |
| Sample Description | beads; macroreticulated spheres 16-50 mesh |
| Source of Sample | Scientific Polymer Products, Inc. |
| Source of Spectrum | Forensic Spectral Research |
| SpectraBase Compound ID | 4TIQy1E1lm |
| Technique | ATR-Neat (DurasamplIR II) ground |
| Use | Acid catalyst in organic solvents, ion exchange in non-aqueous media, removal of amines |



TATVAN3_0,125

EK2M. Tatvan3 1 mm



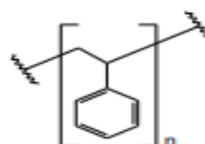
Manual Corrections: None

Ranges: Full

Search Algorithm: Correlation

Query Path: C:\Users\Goek\Desktop\mmmm\sediment tatvan 3\Harun hoca sediment-tatvan3-1_2021-11-22T16-09-57.csv

| Name | Value |
|-------------------------|---|
| Resulting HQI | 75.87 |
| Database Abbreviation | BW2X |
| Database Title | ATR-IR - Sadler Polymers & Monomers (Basic) 2 - Wiley |
| Record ID | 21 |
| Name | Polystyrene, crosslinked, sulfonic acid, H+ <1% H2O |
| CAS Registry Number | 39389-20-3 |
| Catalog Number | 723 |
| Classification | polymer |
| Compound Type | Pure |
| Instrument Name | Bio-Rad FTS |
| Lot Number | 100131002 |
| Sample Description | beads; macroreticulated spheres 16-50 mesh |
| Source of Sample | Scientific Polymer Products, Inc. |
| Source of Spectrum | Forensic Spectral Research |
| SpectraBase Compound ID | 4TiQy1E1im |
| Technique | ATR-Neat (DurasampIR II) ground |
| Use | Acid catalyst in organic solvents, ion exchange in non-aqueous media, removal of amines |



TATVAN3_1