

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

**SAMSUN – GİRESUN KIYISAL AKARSULARINDA KİRLİLİK
RİSKİ DEĞERLENDİRMESİ; İSTATİSTİKSEL ANALİZ VE SU
KALİTESİ ENDEKSLİ BİRLEŞİK BİR YAKLAŞIM**

DOKTORA TEZİ

Öğrencinin Adı SOYADI : Handan AYDIN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :

Enstitü Anabilim Dalı : Biyoloji Anabilim Dalı

Tez Danışmanı : Prof. Dr. A. Yalçın TEPE

**Haziran 2022
GİRESUN**

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

**SAMSUN – GİRESUN KIYISAL AKARSULARINDA KİRLİLİK
RİSKİ DEĞERLENDİRMESİ; İSTATİSTİKSEL ANALİZ VE SU
KALİTESİ ENDEKSLİ BİRLEŞİK BİR YAKLAŞIM**

DOKTORA TEZİ

Handan AYDIN

Enstitü Anabilim Dalı : Biyoloji

Bu tez 24/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof.Dr.
Beyhan TAŞ
Jüri Başkanı**

**Prof.Dr.
A.Yalçın TEPE
Üye**

**Doç.Dr.
Özlem TUNÇ DEDE
Üye**

**Doç.Dr.
Fikret USTAOĞLU
Üye**

**Dr.Öğr.Üyesi
Yalçın TÖRE
Üye**

**Doç.Dr.
Bahadır KOZ
Enstitü Müdürü**

BEYAN

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

Handan AYDIN

24/06/2022

TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesi, çalışmanın yürütülmesi ve yazılması aşamalarında tecrübe ve bilgileriyle her zaman yanımda olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. A.Yalçın TEPE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarında ve istatistiksel analizlerde destek olan, her zaman yardımını aldığım Sayın Doç. Dr. Fikret USTAOĞLU'na teşekkür ederim.

Laboratuvar analizlerinde birlikte çalıştığımız meslektaşım Murat KODAT'a, arazi çalışmalarında her zaman yanımda olan eşim Alper AYDIN'a, anlayış ve destekleri için de çocuklarıma teşekkür ederim.

Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: FEN-BAP-C-281119-73) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BEYAN	iii
TEŞEKKÜR	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
ÖZET	X
SUMMARY	XI
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Fiziko-kimyasal parametreler	5
1.1.1. Sıcaklık	5
1.1.2. pH.....	5
1.1.3. Çözünmüş Oksijen (ÇO)	5
1.1.4. Elektriksel İletkenlik (EC).....	6
1.1.5. Tuzluluk.....	6
1.1.6. Oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP)	6
1.1.7. Toplam Çözünmüş Madde (TDS).....	7
1.1.8. Toplam Alkalinite (TA).....	7
1.1.9. Toplam Sertlik (TS)	7
1.1.10. Toplam Fosfor (TP) ve Çözünebilir Reaktif Fosfor (SRP)	8
1.1.11. Toplam Amonyak Azotu (TAN).....	8
1.1.12. Askıda Katı Madde (AKM)	9
1.1.13. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅)	9
1.1.14. Bulanıklık	9
1.1.15. Sediment pH ve Organik Madde.....	10
1.1.16. Ağır Metaller.....	10
1.1.17. Mikroplastik Kirliliği (MP)	11
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	14
BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1. Çalışma Sahası.....	23

3.2. Su ve Sediment Analizleri	30
3.3. Mikroplastik Analizleri	34
3.4. İstatistiksel Analizler	36
3.5. Ağır Metallerin Değerlendirilmesinde Kullanılan İndeksler	37
3.5.1. Su Kalite İndeksi (WQI)	38
3.5.2. Ağır Metal Kirlilik İndeksi (HPI)	39
3.5.3. Ağır Metal Değerlendirme İndeksi (HEI)	39
3.5.4. Kontaminasyon Faktörü (CF)	40
3.5.5. Zenginleştirme faktörü (EF)	40
3.5.6. Jeokümülyasyon İndeksi (I_{geo})	41
3.5.7. Potansiyel Ekolojik Risk Faktörü (Eri)	42
3.5.8. Kirlilik Yük İndeksi (PLI)	43
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI	44
4.1. Suyun Fiziko-Kimyasal Özellikleri	44
4.1.1. Sıcaklık	47
4.1.2. pH	48
4.1.3. Çözünmüş Oksijen (ÇO)	48
4.1.4. Elektriksel İletkenlik (EC)	49
4.1.5. Tuzluluk (Salinite)	50
4.1.6. Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli (ORP)	51
4.1.7. Toplam Çözünmüş Madde (TDS)	52
4.1.8. Toplam Alkalinite (TA)	53
4.1.9. Toplam Sertlik (TS)	53
4.1.10. Toplam Fosfor (TP)	54
4.1.11. Çözünebilir Reaktif Fosfor (SRP)	55
4.1.12. Toplam Amonyak Nitrojeni (TAN)	56
4.1.13. Askıda Katı Madde (AKM)	57
4.1.14. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOI_5)	58
4.1.15. Bulanıklık (Türbidite)	59
4.2. Su Örneklerinde Ağır Metal Konsantrasyonları	60
4.3. Su Kalite İndeksi (WQI)	63
4.4. Ağır Metal Kirlilik indeksi (HPI)	64
4.5. Ağır Metal Değerlendirme İndeksi (HEI)	65

4.6. Su parametrelerinde korelasyon.....	66
4.7. Sediment Analiz Sonuçları	69
4.8. Sediment indeksleri.....	73
4.8.1. Kontaminasyon Faktörü (CF)	73
4.8.2. Zenginleştirme faktörü (EF)	73
4.8.3. Jeokümülayon İndeksi (I_{geo})	74
4.8.4. Potansiyel Ekolojik Risk Faktörü (E_r^i).....	75
4.8.5. Kirlilik Yük İndeksi (PLI)	76
4.9. Korelasyon Sonuçları	76
4.10. Mikroplastik Sonuçları	77
4.10.1. Su Örneklerinde Tespit Edilen Mikroplastikler	77
4.10.2. Sediment Örneklerinde Tespit Edilen Mikroplastikler	85
BÖLÜM 5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	96
KAYNAKLAR.....	134

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

°C	: Santigrat Derece
cm	: Santimetre
DSİ	: Devlet Su İşleri
g	: Gram
g/kg	: Gram/Kilogram
BOİ ₅	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
km	: Kilometre
km ²	: Kilometre Kare
L	: Litre
m	: Metre
Maks.	: Maksimum
mg/L	: Miligram/Litre
Min.	: Minimum
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
mV	: Milivolt
Ort.	: Ortalama
ppm	: Milyonda Bir (Parts per million)
USEPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency)
µS/cm	: Mikrosiemens/Santimetre
µg/g	: Mikrogram/Gram
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TAN	: Toplam amonyak azotu
TDS	: Toplam çözünmüş madde
TP	: Toplam fosfor
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Su ortamındaki mikroplastik kaynakları (Katare ve ark., 2021).....	13
Şekil 3.1. Çalışma alanı ve örnekleme istasyonları	24
Şekil 3.2. Yeşilırmak Nehri.....	25
Şekil 3.3. Terme Çayı	26
Şekil 3.4. Cevizdere Deresi	27
Şekil 3.5. Melet Irmağı	28
Şekil 3.6. Aksu Deresi.....	29
Şekil 3.7. Harşit Çayı.....	29
Şekil 3.8. Çalışma bölgesinde hava sıcaklığı ve yağış miktarı (sonbahar 2020–yaz 2021)	30
Şekil 3.9. Mikroplastik analizinde kullanılan vakum filtrasyon sistemi.....	34
Şekil 3.10. Mikroplastik sayım ve görüntüleme işlemi için kullanılan mikroskop	35
Şekil 4.1. Sıcaklık değerlerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi.....	47
Şekil 4.2. pH değerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi.....	48
Şekil 4.3. ÇO miktarının mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi	49
Şekil 4.4. EC değerlerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi	50
Şekil 4.5. Tuzluluk değerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi	51
Şekil 4.6. ORP değerlerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi.....	52
Şekil 4.7. TDS değerlerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi	52
Şekil 4.8. TA değerlerinin mevsimsel ve istasyonlara göre değişimi.....	53
Şekil 4.9. TS değerlerinin mevsimlere ve derelere göre değişimi.....	54
Şekil 4.10. TP değerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi	55
Şekil 4.11. SRP değerinin mevsimsel ve istasyonlara göre değişimi	56
Şekil 4.12. TAN değerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi	57
Şekil 4.13. AKM değerlerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi	58

Şekil 4.14. BOI_5 değerlerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi	59
Şekil 4.15. Bulanıklık değerlerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi	60
Şekil 4.16. Su örneklerinde tüm ağır metallerin mevsimsel sonuçları	62
Şekil 4.17. İstasyonların WQI sonuçları	64
Şekil 4.18. İstasyonlara göre Cluster (kümeleme) analizi.....	68
Şekil 4.19. Lokasyonlardaki sediment PLI sonuçları	76
Şekil 4.20. Yeşilırmak Nehri'nde renklerine göre mikroplastik çeşitleri	79
Şekil 4.21. Terme Çayı su örneklerinde renklerine göre mikroplastikler	80
Şekil 4.22. Cevizdere Deresi su örneklerinde renklerine göre mikroplastikler	81
Şekil 4.23. Melet Irmağı su örneklerinde renklerine göre mikroplastikler	82
Şekil 4.24. Aksu Deresi su örneklerinde renklerine göre mikroplastikler	84
Şekil 4.25. Harşit Çayı su örneklerinde renklerine göre mikroplastikler	85
Şekil 4.26. Yeşilırmak Nehri sediment örneklerinde renklere göre mikroplastikler ..	87
Şekil 4.27. Terme Çayı sediment örneklerinde renklere göre mikroplastikler	88
Şekil 4.28. Cevizdere Deresi sediment örneklerinde renklere göre mikroplastikler ..	89
Şekil 4.29. Melet Irmağı sediment örneklerinde renklere göre mikroplastikler	90
Şekil 4.30. Aksu Deresi sediment örneklerinde renklere göre mikroplastikler	91
Şekil 4.31. Harşit Çayı sediment örneklerinde renklere göre mikroplastikler	93
Şekil 4.32. Polipropilen polimerine ait FT-IR spektrumu.....	94
Şekil 4.33. Polyamid (nylon) polimerine ait FT-IR spektrumu	94
Şekil 4.34. Polyester polimerine ait FT-IR spektrumu	95

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1.1. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Anonim, 2004)	3
Tablo 1.2. Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (Anonim, 2021)	4
Tablo 3.1. Su örneklerinde CRM analiz sonuçları	32
Tablo 3.2. Sediment örneklerinde geri kazanım oranlar	33
Tablo 3.3. Toksik response faktörü (Hakanson, 1980)	42
Tablo 4.1. Tüm istasyonların su örneklerinin fiziko-kimyasal parametreleri analiz sonuçları	44
Tablo 4.2. Farklı lokasyonların su örneklerinde ağır metal analizleri sonuçları	60
Tablo 4.3. WQI hesaplamasında kullanılan sınır değerler, ağırlık değerleri ve bağıl ağırlık değerleri	63
Tablo 4.4. Su kalite indeksi (WQI) sonuçları	64
Tablo 4.5. İstasyonların HPI sonuçları	65
Tablo 4.6. İstasyonların HEI sonuçları	65
Tablo 4.7. Suyun fizikokimyasal parametrelerinin korelasyon matrisi	67
Tablo 4.8. İstasyonların benzerlik katsayıları	69
Tablo 4.9. İstasyonların sedimentlerinde ağır metal içeriği, pH ve OM değişimleri	69
Tablo 4.10. Sedimentte pH ölçüm sonuçları	72
Tablo 4.11. Sediment % Organik Madde	72
Tablo 4.12. İstasyonların CF sonuçları	73
Tablo 4.13. Tüm istasyonların EF sonuçları	74
Tablo 4.14. I_{geo} sonuçları	74
Tablo 4.15. Potansiyel Ekolojik Risk Faktörü sonuçları	75
Tablo 4.16. Sediment ağır metal korelasyon sonuçları	77
Tablo 4.17. İstasyonların su örneklerinde mikroplastik sonuçları	78
Tablo 4.18. Yeşilırmak Nehri su örnekleri mikroplastik analiz sonuçları (boyut)	78
Tablo 4.19. Terme Çayı su örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)	79
Tablo 4.20. Cevizdere Deresi su örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)	80

Tablo 4.21. Melet Irmağı su örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)	82
Tablo 4.22. Aksu Deresi su örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)	83
Tablo 4.23. Harşit Çayı su örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet).....	84
Tablo 4.24. Tüm İstasyonlarda sediment örneklerinde mikroplastikler	85
Tablo 4.25. Yeşilırmak Nehri sediment örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)	86
Tablo 4.26. Terme Çayı sediment örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)	87
Tablo 4.27. Cevizdere Deresi sediment örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)	89
Tablo 4.28. Melet Irmağı sediment örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)	90
Tablo 4.29. Aksu Deresi sediment örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)	91
Tablo 4.30. Harşit Çayı sediment örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)	92
Tablo 4.31. FT-IR analizinde en çok ölçümü yapılan polimer türleri	93
Tablo 5.1. Çalışma bölgesindeki akarsuların sediment ağır metal derişimleri (mg/kg), yer kabuğu oranları ve benzer çalışmalarla kıyaslanması.....	115

SAMSUN – GİRESUN KIYISAL AKARSULARINDA KİRLİLİK RİSKİ DEĞERLENDİRMESİ; İSTATİSTİKSEL ANALİZ VE SU KALİTESİ ENDEKSLİ BİRLEŞİK BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Samsun-Ordu-Giresun illerinde bulunan Yeşilırmak Nehri, Terme Çayı, Cevizdere Deresi, Melet Irmağı, Aksu Deresi ve Harşit Çayı'nın deşarj noktalarında su kalitesi, sediment kalitesi ve mikroplastik çeşitliliği incelenmiştir. Arazi çalışmaları, Kasım 2020 ve Ağustos 2021 tarihleri arasında mevsimsel olarak yapılmıştır. Su ve sediment örneklerinde bazı fiziko-kimyasal parametreler ve ağır metal analizleri yapılarak mikroplastik varlığı tespit edilmiştir. Analiz sonuçları, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKYY) ve Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY)'ne göre sınıflandırılmıştır. Tespit edilen mikroplastikler tür, renk ve polimer çeşitlerine göre sınıflandırılmıştır. Su ve sediments örneklerinden elde edilen sonuçlara ANOVA, korelasyon ve kümeleme gibi istatistiksel analizler uygulanmıştır. Tüm istasyonlarda su, sıcaklık, çözünmüş oksijen (ÇO), elektriksel iletkenlik (EC) ve toplam çözünmüş madde (TDS) değerlerinin ortalamaları I. sınıf su kalitesi özelliği taşımaktadır. Tüm istasyonlarda ortalama pH değeri 8,66–9,30 aralığında olup, bazik özelliktedir. YSKY göre toplam fosfor, Yeşilırmak Nehri'nde III. sınıf diğer akarsularda ise II. sınıf bulunmuştur. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅) bakımından Harşit Çayı II. sınıf su kalitesine sahipken, diğer istasyonların hepsi I. sınıf su kalitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bulanıklık; Yeşilırmak Nehri, Terme Çayı, Cevizdere Deresi, Melet Irmağı, Aksu Deresi ve Harşit Çayı'nda sırasıyla 21,02, 8,20, 11,25, 14, 67,68 ve 19,50 NTU olarak kaydedilmiştir. Sudaki alüminyum (Al) derişimleri tüm istasyonlarda izin verilebilir çevre kalite standardının üzerinde ölçülmüştür. Krom (Cr), nikel (Ni), arsenik (As), mangan (Mn) ve kurşun (Pb) tüm istasyon ve mevsimlerde I. sınıf kategorisindedir. Demir (Fe) ise Aksu Deresi ve Harşit Çayında II. sınıf, geri kalan akarsularda I. sınıf olduğu tespit edilmiştir. Su örneklerinde su kalite indeksi (WQI), ağır metal kirlilik indeksi (HPI) ve ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) hesaplanmıştır. Sediment örneklerinde ise kontaminasyon faktörü (CF), jeoakümülayon indeksi (Igeo), ekolojik risk faktörü (E_r¹), zenginleştirme faktörü (EF) ve kirlilik yük indeksi (PLI) hesaplanmıştır. Su örneklerinde mikroplastik miktarı (adet/m³), Yeşilırmak Nehri'nde 55, Terme Çayı'nda 51,25, Cevizdere Deresi'nde 44,75, Melet Irmağı'nda 58,5, Aksu Deresi'nde 43,75 ve Harşit Çayı'nda 72,75 olarak bulunmuştur. Sediment örneklerinde ise mikroplastik miktarı (adet/kg), Yeşilırmak Nehri'nde 300,75, Terme Çayı'nda 133, Cevizdere Deresi'nde 144,5, Melet Irmağı'nda 242,75, Aksu Deresi'nde 106 ve Harşit Çayı'nda 195,75 olarak bulunmuştur. Su ve sedimentte tespit edilen mikroplastiklerde siyah, mavi ve kırmızı renklerin yoğunlukta olduğu gözlenmiştir. Kızıl ötesi spektrometresi (FT-IR) sonuçlarına göre tüm istasyonlarda tespit edilen polimer türlerinin oranı, %41,67 PP (Polypropilen), %31,25 PES (Polyester) ve %27,08 PA (Polyamid) polimeridir.

Anahtar kelimeler: Karadeniz, su kirliliği, ağır metal, indeks, mikroplastik

POLLUTION RISK ASSESSMENT IN SAMSUN – GİRESUN COASTAL RIVERS; A COMBINED APPROACH WITH STATISTICAL ANALYSIS AND WATER QUALITY INDEX

SUMMARY

Water quality, sediment quality and microplastic diversity at the discharge points of Yeşilırmak River, Terme Stream, Cevizdere Stream, Melet Stream, Aksu Stream and Harşit River in Samsun-Ordu-Giresun provinces were investigated. Field studies were carried out seasonally between November 2020 and August 2021. Microplastics were determined by some physico-chemical parameters and heavy metal analyzes in water and sediment samples. Analysis results were classified according to the Water Pollution Control Regulation (SKYY) and Surface Water Quality Regulation (YSKY). Determined microplastics were classified according to type, color and polymer types. Statistical analyzes such as ANOVA, correlation and cluster were applied to the results obtained from the water and sediments samples. The mean values of water temperature, dissolved oxygen (DO), electrical conductivity (EC) and total dissolved matter (TDS) at all stations were class I water quality. The average pH in all stations is in the range of 8.66-9.30 and it is basic. Total phosphorus was found to be class III in Yeşilırmak River and class II in the rest of the rivers according to the water quality control regulation (YSKY). Harşit River was in class II water quality, while the rests were classified as class I in terms of biochemical oxygen demand (BOİ5). Turbidity was recorded as 21.02, 8.20, 11.25, 14, 67.68 and 19.50 NTUs in Yeşilırmak River, Terme Stream, Cevizdere Stream, Melet Stream, Aksu Stream and Harşit River, respectively. Aluminum (Al) concentrations in water were measured above the permissible environmental quality standard at all stations. Chromium (Cr), nickel (Ni), arsenic (As), manganese (Mn) and lead (Pb) are in class I category at all stations and seasons. Iron (Fe) was determined as class II in the Aksu Stream and Harşit River and was as class I in the rest of the rivers. Water quality index (WQI), heavy metal pollution index (HPI) and heavy metal evaluation index (HEI) were calculated in water samples. Contamination factor (CF), geoaccumulation index (I_{geo}), ecological risk factor (E_rⁱ), enrichment factor (EF) and pollution load index (PLI) were calculated for sediment samples. The amount of microplastic in water samples (pieces/m³) was 55 in Yeşilırmak River, 51.25 in Terme Stream, 44.75 in Cevizdere Creek, 58.5 in Melet River, 43.75 in Aksu Creek and Harşit River. In sediment samples, the amount of microplastic (pieces/kg) was found to be 300.75 in Yeşilırmak River, 133 in Terme Stream, 144.5 in Cevizdere Stream, 242.75 in Melet River, 106 in Aksu Stream and 195.75 in Harşit Stream. According to the results of infrared spectrometry (FT-IR), the ratio of polymer types detected in all stations was 41.67% PP (Polypropylene), 31.25% PES (Polyester) and 27.08% PA (Polyamide) polymer.

Keywords: Black Sea, water pollution, heavy metal, index, microplastic

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Su, dünyadaki yaşamın temeli ve bütün organizmaların yapısında bulunan baskın bir bileşiktir. Suyun eşsiz fiziksel ve kimyasal özellikleri vardır. Bu durum, suyun anatomik yapısı ve bağlarından kaynaklanmakta olup, sucul ortamdaki biyolojik ve kimyasal süreçleri de düzenlemektedir (Tanyolaç, 2004).

Su kaynakları başlıca nehirler ve göller olmak üzere buzullar, yağmur suyu, yeraltı suyu vb. şeklinde olabilmektedir. İçme suyu ihtiyacının yanı sıra su kaynakları tarım, hayvancılık ve ormancılık gibi ekonominin çeşitli sektörlerinde hayati bir rol oynamaktadır. Ayrıca endüstriyel faaliyetler, hidroelektrik üretimi, balıkçılık ve diğer yaratıcı faaliyetler de su varlığı ile yapılmaktadır. Su kaynakları sanayileşme, nüfus artışı, iklim değişikliği, tüketim politikaları gibi nedenlerle baskı altındadır ve kaliteli suya erişim gittikçe zorlaşmaktadır (Tyagi ve ark., 2013).

Dünya yüzeyinin yaklaşık %70'ini kaplayan suyun %97,5'lik kısmı okyanus ve denizlerde tuzlu su olarak; %2,5'lik kısmı yer altı suları, göl ve nehirlerde tatlı su, kutuplarda buzullar olarak bulunmaktadır. Canlılar tarafından kullanılabilen kısmı ise dünyadaki su kaynaklarının sadece %0,3'ü kadardır (Tavşanoğlu ve ark., 2020).

Akarsular, göller ve barajlar gibi akan veya durgun herhangi bir su kütlesi yüzeysel sular olarak tanımlanmaktadır. Akarsular, dünyadaki suyun çok az bir miktarını oluşturmalarına rağmen, çözünmüş ve partikül maddenin karadan denize aktarılmasında en önemli paya sahiptirler.

Yerüstü ve yeraltı suyu kalitesi hem doğal hem de insan kaynaklı faaliyetlerden etkilenir. Su kalitesini etkileyen doğal faktörler; hidrolojik, atmosferik, iklimsel, topografik ve litolojik faktörler olarak sınıflandırılabilir. Madencilik, hayvancılık, atık üretimi ve bertarafı (endüstriyel, tarımsal ve belediye kaynaklı), artan tortu akışı

veya toprak erozyonu nedeniyle arazi kullanımı değişikliği ve ağır metal kirliliği ise su kalitesini etkileyen insan kaynaklı faaliyetlerdir (Uddin ve ark., 2021).

Ülkeler; su zenginlikleri açısından, nüfus sayılarına ve kişi başına düşen kullanılabilir su miktarlarına göre sınıflara ayrılırlar. Kişi başına yılda 1700 m³ su ihtiyacı olduğu, bu değerin altına düşüldüğünde su sıkıntısı yaşanacağı, 1000 m³'ün altında ise ülkelerin su kıtlığı ile karşılaşacağı bildirilmektedir. Bu bilgiler ışığında, ülkemiz su zengini bir ülke konumunda değildir. DSİ'nin su potansiyeli hesaplarına göre, Türkiye, kişi başına yıllık 1.652 m³ su potansiyeline sahiptir. Öngörülere göre, 2030 yılında ülkemizdeki nüfus artışına bağlı olarak su potansiyeli kişi başına yıllık 1.120 m³'e düşecek ve ülkemiz, su sıkıntısı yaşayan ülkeler arasında yerini alacaktır. Bu durum ise, su kaynaklarımızın daha dikkatli kullanılmasını sağlayan tedbirlerin alınmasını gerektirmektedir (DSİ, 2015). Türkiye'de yıllık ortalama yağış yaklaşık 574 mm olup, yılda ortalama 450 milyar m³ suya karşılık gelmektedir. Çeşitli amaçlarla tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yılda ortalama toplam 94 milyar m³'tür (DSİ, 2021).

Su kirliliği, suyun fiziksel, biyolojik ve kimyasal olarak kirlenmesi demektir. Su kirliliğine neden olabilecek birçok etmen söz konusudur. Evsel ve endüstriyel nedenler doğrudan su kirliliğine yol açarken, havanın ve toprağın kirlenmesi ise dolaylı yoldan suyun kirlenmesine neden olur. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde su kirliliği, "Su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde gözlenen ve doğrudan veya dolaylı yoldan biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, balıkçılıkta, su kalitesinde ve suyun diğer amaçlarla kullanılmasında engelleyici bozulmalar yaratacak madde veya enerji atıklarının boşaltılması" şeklinde tanımlanmıştır (Anonim, 2004).

Su kalitesi, insan ve ekosistem yaşamının her alanında önemli bir rol oynar ve suyun yararlı kullanımını sağlayan tüm fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörleri kapsar. Ancak insan faaliyetleri ve doğal süreçler yüzey sularının kalitesini olumsuz yönde etkileyerek onların içme, sanayi, tarım, rekreasyon ve diğer amaçlarla kullanımlarını olumsuz etkiler (Walker ve ark., 2015). Yerüstü sularının kalitesini evsel, sanayi, endüstriyel ve zirai faaliyetlerden kaynaklanan deşarjlar düşürmekte ve kullanımlarını olumsuz etkilemektedir. Yüzeysel suların bir parçasını oluşturan

akarsular ise; evsel, endüstriyel ve sulama amaçlı kullanıldıklarından kirlenmeye en çok maruz kalan su kütleleridir. Doğal ve antropojenik faktörler tarafından kirliliğe maruz kalan akarsuların su kalitesini etkileyen fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerin belirlenmesi, mekânsal ve zamansal değişimlerinin izlenmesi su kalitesinin tanımlanması açısından oldukça önemlidir (Lawson, 2011, Su ve ark., 2011; Boyacıoğlu, 2014). Su kalitesi ölçütleri, suyun kalitesini bozan ve suyun güvenli olarak kullanımını sağlayan çeşitli maddelerin nitelik ve nicelik analizleri ve bunların sınır değerleri ile belirlenmiştir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nin ekinde sunulan Tablo 1:Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri tablosunda su kalite sınıfları sınır değerlerine göre; I. Sınıf, II. Sınıf, III. Sınıf ve IV. Sınıf olmak üzere dört grupta tanımlanmıştır (Anonim, 2004). Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde yer alan ve bu tez kapsamında ele alınan parametrelere ait değerler, Tablo 1.1'de sunulmuştur

Tablo 1.1. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Anonim, 2004)

Su Kalite Parametreleri		Su Kalite Sınıfları			
		I	II	III	IV
A)	Fiziksel ve İnorganik-Kimyasal Parametreler				
1.	Sıcaklık (°C)	25	25	30	>30
2.	pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-9,0	6,0-9,0 dışında
3.	Çözünmüş oksijen (ÇO, mg/L)	8	6	3	<3
4.	Oksijen doygunluğu %	90	70	40	<40
5.	Toplam fosfor (TP, mg/L)	0,02	0,16	0,65	>0,65
6.	Toplam çözünmüş madde (TDS, mg/L)	500	1500	5000	>5000
B)	Organik Parametreler				
1.	BOİ ₅ (mg/L)	4	8	20	>20
C)	İnorganik Kirlenme Parametreleri				
1	Civa (Hg, µg/L)	0,1	0,5	2	>2
2.	Kadmiyum (Cd, µg/L)	3	5	10	>10
3.	Kurşun (Pb, µg/L)	10	20	50	>50
4.	Arsenik (As, µg/L)	20	50	100	>100
5.	Bakır (Cu, µg/L)	20	50	200	>200
6.	Krom (toplam) (Cr, µg/L)	20	50	200	>200
7.	Krom (Cr, µg/L)	Ö.K.A*	20	50	>50
8.	Kobalt (Co, µg/L)	10	20	200	>200
9.	Nikel (Ni, µg/L)	20	50	200	>200
10.	Çinko (Zn, µg/L)	200	500	2000	>2000
11.	Demir (Fe, µg/L)	300	1000	5000	>5000
12.	Mangan (Mn, µg/L)	100	500	3000	>3000
13.	Alüminyum (Al, mg/L)	0,3	0,3	1	>1

* Ölçülemeyecek kadar az

Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY) “yerüstü sular ile kıyı ve geçiş sularının biyolojik, kimyasal, fiziko-kimyasal ve hidromorfolojik kalitelerinin belirlenmesi, sınıflandırılması, su kalitesinin ve miktarının izlenmesi” gibi durumları inceleyen bir yönetmeliktir. Ayrıca, sürdürülebilir kalkınma hedefleri ve bu suların kullanım amaçları doğrultusunda koruma-kullanma dengesi gözetilerek iyi su statüsünün korunması ve kazanılması için alınacak tedbirlere ilişkin usul ve esasların belirlenmesi amacına hizmet etmektedir (Anonim, 2012). Bu yönetmeliğin ekinde ((EK-5 - Değişik: RG-10.8.2016-29797) “yerüstü su kütlelerinde bazı parametreler için çevresel kalite standartları ve kullanım maksatları” dört sınıfa ayrılarak belirlenmiş ve kalite sınıflarına göre suların kullanım amaçları açıklanmıştır. Sınıflara göre su durumu, “I. Sınıf” sular (yüksek kaliteli su) “Çok İyi” su durumunu ifade etmektedir. “II. Sınıf” sular (az kirlenmiş su) “İyi” su durumunu belirtirken, “III. Sınıf” sular (kirlenmiş su) “Orta” su durumu ve “IV. Sınıf” sular ise (çok kirlenmiş su) “Zayıf” su durumunu göstermektedir. Ancak bu yönetmelik 21.06.2021 tarihinde değişikliğe uğrayarak, su kalite sınıfları 3 sınıfa düşürülmüştür. Bu tez kapsamında ele alınan parametrelere ait su kalite sınıfları Tablo 1.2.’de gösterilmiştir.

Tablo 1.2. Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (Anonim, 2021)

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları ^(a)		
	I (çok iyi)	II (iyi)	III (orta)
pH	6-9	6-9	6-9
İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 400	1000	> 1000
Çözünmüş oksijen (mg/L)	> 8	6	< 6
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI_5) (mg/L)	< 4	8	> 8
Amonyum azotu ($\text{mg NH}_4^+-\text{N}/\text{L}$)	< 0,2	1	> 1
Nitrat azotu ($\text{mg NO}_3^--\text{N}/\text{L}$)	< 3	10	> 10
Toplam azot ($\text{mg N}/\text{L}$) ^(b)	< 3,5	11,5	> 11,5
Orto fosfat fosforu ($\text{mg o-PO}_4-\text{P}/\text{L}$)	< 0,05	0,16	> 0,16
Toplam fosfor ($\text{mg P}/\text{L}$)	< 0,08	0,2	> 0,2
Mangan ($\mu\text{g}/\text{L}$)	≤ 100	500	> 500

(a) Kalite sınıflarına göre suların kullanım maksatları:

I. Sınıf - Yüksek kaliteli su (I. sınıf su kalitesinde olması “Çok İyi” su durumunu ifade etmektedir.);

II. Sınıf - Az kirlenmiş su (II. sınıf su kalitesinde olması “İyi” su durumunu ifade etmektedir;

III. Sınıf - Kirlenmiş su (III. sınıf su kalitesinde olması “Orta” su durumunu ifade etmektedir;

(b) TN: TKN + NO_3-N + NO_2-N

Bu tez çalışmasında analizi yapılan su kalitesi parametrelerinin değerlendirilmesinde, Tablo 1.1. ve Tablo 1.2.'de verilen sınır değerler temel alınmıştır (Anonim, 2004; Anonim, 2021).

1.1. Fiziko-kimyasal parametreler

1.1.1. Sıcaklık

Su sıcaklığı, nehir, göl ve akarsulardaki fiziksel ve kimyasal döngüleri düzenleyerek üretim ve ayrışma süreçlerinin düzgün bir şekilde işleyişinin sağlar. Su sıcaklığı, zamansal gecikmeler olsa da hava sıcaklığı ile ilişkili olarak değişmektedir. Akarsu ekosistemlerinde su sıcaklığı kaynaktan denize döküldüğü yere doğru artmaktadır. Sıcaklık, canlıların yaşamını etkilediği gibi içme ve kullanım suları için önemli bir parametredir (Tanyolaç, 2004).

Akarsularda sıcaklık, sucul ortamda gerçekleşen birçok kimyasal tepkimeyi doğrudan etkilemektedir. Ayrıca suda yaşayan organizmalar için hayati öneme sahip çözülmüş oksijen derişimini doğrudan kontrol etmektedir (Küçükali, 2006).

1.1.2. pH

pH, bir çözeltideki hidrojen iyonu aktivitesini gösterir. Sulu çözeltileri H^+ iyonu veren maddeler asit, OH^- iyonu veren maddeler ise baz olarak adlandırılır. pH ölçeği 0 ile 14 aralığında değişir. 0 - 7 arası asidik, 7 nötr, 7-14 arası bazik özelliği temsil eder. Sucul canlıların birçoğu belirli bir pH aralığında yaşamlarını sürdürebilir. pH değerinin yüksek olması, bazı maddelerin (amonyak gibi) toksisitesinin artmasına neden olabilir (Tavşanoğlu ve ark., 2020; Ustaoglu, 2017).

1.1.3. Çözülmüş Oksijen (ÇO)

Çözülmüş oksijen (ÇO), bir suyun kalitesini belirlemeye yardımcı olabilecek anahtar parametrelerden biridir (Aydın ve ark., 2021). Balık ölümleri ve yüzey sularının diğer niteliklerine bağlı olarak organik maddenin su kütlelerine karışması sonucu sucul ekosistemlerin çözülmüş oksijen miktarı azalabilmektedir. ÇO seviyeleri çok düşerse, balıklar üzerindeki etkileri, üreme kapasitesindeki azalmadan boğulma ve ölüme kadar değişebilir. Larvalar ve yavru balıklar özellikle oksijen konusunda

hassastır ve olgun balıkların ihtiyaç duyduğundan daha yüksek seviyelerde ÇO'e ihtiyaç duymaktadırlar. Yüzey sularında besin zenginleşmesine bağlı olarak aşırı bitki üremesi ve ayrışmaya bağlı olarak canlılarda hipoksi ve anoksi denilen doku ve canlının oksijensiz kalma durumu görülebilir (Chin, 2006).

1.1.4. Elektriksel İletkenlik (EC)

İletkenlik (EC), Sucul sistemlerin su kalitesi değerlendirilmesinde büyük önem taşıyan bir parametredir. Aslında iletkenlik sulu çözeltinin elektrik akımını iletme durumudur. İletkenlik ölçümü ile sudaki iyon miktarı hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Doğal suların iletkenliği çok az olduğundan özgül iletkenliğin ölçüsü olarak $\mu\text{ohm/cm}$ veya $\mu\text{S/cm}$ kullanılır (Sawyer ve Perkin, 2013).

1.1.5. Tuzluluk

Tuzluluk, çözünmüş halde bulunan tüm tuzların toplamı olarak ifade edilir (Aydın ve ark., 2021). Tuzluluğu oluşturan yaygın olarak gözlenen anyonlar bikarbonat, karbonat, sülfat ve klorür iyonları, katyonlar ise kalsiyum, magnezyum, sodyum ve potasyum iyonlarıdır. Bir akarsu sisteminde tuzluluk çevresel koşullara bağlı olarak sürekli değişim göstermektedir. En temel çevresel faktörler ise yağış ve sıcaklık değişimidir (Egemen, 2011; Tavşanoğlu ve ark., 2020). Ayrıca tarım sektöründeki sulama uygulamalarının fosfat ve nitratların varlığı nedeniyle TDS ve tuzluluk seviyelerini artırabileceği bilinmektedir (Tokatlı, 2019).

1.1.6. Oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP)

ORP, sulu çözeltilerin yükseltgeme ve indirgeme durumlarını göstermektedir ve birimi milivolt (mV) olarak belirtilmiştir. ORP değerinin yüksek olması oksijen miktarının fazla olduğunu gösterir. Bu durumda bakteriler atık ürünleri temizlemek ve kirleticileri uzaklaştırmak için daha iyi çalışırlar. Genel olarak ORP değeri ne kadar yüksek olursa nehir ekosisteminin o kadar sağlıklı olduğu kabul edilir (Taş ve ark., 2019).

Sağlıklı göllerde ve nehirlerde bile bazı durumlarda oksijen miktarının azalmasına bağlı olarak ORP düşebilir. Özellikle dip çamurunda bakterilerin ölü dokuları

ayırıştırması zordur ve oksijen çok hızlı bir şekilde azalmaktadır. Sağlıklı sularda ORP 300-500 mV arasında olmalıdır. Negatif değer çıkması suyun antioksidan özellikte olduğunu, pozitif çıkması ise paslandırma özelliğinin olduğunu göstermektedir (Rostom ve ark., 2017).

1.1.7. Toplam Çözünmüş Madde (TDS)

Toplam çözünmüş madde (TDS), suda başta kalsiyum, magnezyum, potasyum, sodyum, bikarbonatlar, klorürler ve sülfatlar olmak üzere inorganik tuzları ve küçük miktarlarda da bazı organik maddenin çözünmüş halidir. İçme suyundaki TDS, doğal kaynaklardan, kanalizasyondan, kentsel akış ve endüstriyel atık sulardan kaynaklanabilir. Suyun içinde bulunan çözünmüş katı madde varlığı suyun tadını etkileyebilir. Bazı ülkelerde yol buzunu çözmek için kullanılan tuzlar da içme suyunun TDS içeriğine katkıda bulunabilir. Sudaki minerallerin çözünürlüğüne bağlı olarak TDS derişimleri farklı jeolojik bölgelerde önemli ölçüde farklılık gösterir (WHO, 2011).

1.1.8. Toplam Alkalinite (TA)

Alkalinite, suyun asitleri nötralize edebilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Suyun alkalinitesini içerdiği hidroksit, karbonat, bikarbonat iyonları ile düşük miktarlarda bulunan organik asitler belirlemektedir. Su içerisinde bulunan bu iyonların durumuna göre suyun pH derecesi de farklılık göstermektedir. Sucul sistemlerde alkalinite, suyun asitlik düzeyinde meydana gelebilecek ani değişimlere karşı tampon görevi gördüğünden su canlıları için önemli bir parametredir (Boyd, 2000; Tavşanoğlu ve ark., 2020).

1.1.9. Toplam Sertlik (TS)

Su sertliğinin en basit tanımı, sudaki çözünmüş kalsiyum ve magnezyum miktarıdır. Evsel kullanım sırasında sert sular temizliği sağlamak için aşırı sabun kullanımına neden olurlar. Sertlik derecesinin halk tarafından kabul edilebilirliği toplumlar arasında farklılık gösterir. Suyun sertlik derecesi, pH ve alkalinite gibi diğer faktörlerin etkileşimine bağlı olarak değişmektedir. Suda yaklaşık 200 mg/L'nin üzerinde bir sertlik, kireç birikmesine neden olabileceği için binalardaki dağıtım

sistemi ve borular üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. İçme suyundaki sertlik için sağlık temelli bir kılavuz değeri önerilmemektedir (WHO, 2011).

1.1.10. Toplam Fosfor (TP) ve Çözünebilir Reaktif Fosfor (SRP)

Doğal suların verimliliğini etkileyen besleyici minerallerin en önemlilerinden biri de fosfordur. Su ortamında çözünmüş inorganik fosfat, çözünmüş organik fosfat ve organik partiküler fosfat şeklinde bulunmaktadır. Fosfat; organik maddelerin bozunması, tarımda kullanılan gübrelerin yıkanarak suya karışması, evsel ve endüstriyel atık suların su ortamına bırakılması ile sucul ortama karışmaktadır. Çözünebilir reaktif fosforlar (SRP) ortofosfat olarak bilinen inorganik fosfatlardır ve bitkilerce kullanılabilir durumdadır. Kirlenmemiş doğal sularda oldukça düşük miktarlarda bulunur ve verimliliği belirler (Tepe ve Boyd, 2003; Taş ve ark., 2010).

Sularda fosfor kirliliğinin temel kaynağını endüstri ve kanalizasyon atık suları oluşturmaktadır. Evsel kaynaklı fosfor kirlenmesi ise deterjanlardan kaynaklanmaktadır ve deterjan tüketiminin yoğun olduğu bölgelerde yüzeysel sulara ulaşan fosforun büyük bir kısmının deterjanlara katılan sodyum tripolifosfattan ileri geldiği saptanmıştır. Fosfor ayrıca sularda ötrofikasyona neden olmaktadır (Sağlam ve Bellitürk, 2003).

1.1.11. Toplam Amonyak Azotu (TAN)

Doğal sularda bulunan inorganik azot bileşikleri; amonyum iyonu (NH_4^+), iyonize olmamış amonyak (NH_3), nitrit (NO_2^-) ve nitrattır (NO_3^-). TAN, amonyum ve iyonize olmamış amonyak iyonlarının toplamını belirtmektedir. Biyosferdeki azot kaynaklarının çoğu atmosferdeki moleküler azotun (N_2) bakteriler tarafından indirgenmesi ile oluşur. Azot döngüsü göl ve nehirlerde heterotrofik bakteriler ve belirli siyanobakteriler tarafından gerçekleştirilmektedir. Akarsularda azot girdisi ve dönüşümleri de azot döngüsü ile gerçekleşmektedir. Dolayısıyla bakteri, mantar ve mikrobiyal metabolizmalardan etkilenirler. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon olayları ile azot döngüsü tamamlanmaktadır. Çözünmüş inorganik ve organik azot bileşiklerinin miktarı çok çeşitli ve değişkendir. Bunun nedeni yüzey ve yeraltı su

kaynaklarından gelen girdilerdeki insan aktivitesine bağı olan farklılıklardır (Wetzel, 2001).

1.1.12. Askıda Katı Madde (AKM)

AKM, sularda mevcut olan organik ve inorganik maddelerin toplamını gösteren bir parametredir. AKM, sediment maddeler, taş parçacıkları, koloidal organik maddeler ve mikroskobik canlılardan oluşurken, toprak kayması, erozyon ve insan faaliyetleri sonucunda su kaynaklarında derişimi artmaktadır. AKM'nin artması fiziksel kirlenme, suyun bulanıklığının artması, ışık geçirgenliğinin azalması ve buna bağı olarak çözünmüş oksijen miktarının azalmasına sebep olmaktadır. AKM artışı içme sularında tat ve koku problemlerine neden olmaktadır (Tavşanoğlu ve ark., 2020; Avcı, 2021).

1.1.13. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ₅)

BOİ₅, aerobik bakteriler tarafından belirli sürede (5 gün) ve sıcaklıkta (20°C) organik maddelerin parçalanması sırasında tüketilen oksijen miktarı olarak tanımlanmaktadır. Özellikle endüstriyel atık sularda ve kanalizasyon sularda kirlilik derecesinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Ji, 2008; Tavşanoğlu ve ark., 2020).

BOİ₅ en önemli su kalitesi göstergelerinden biridir. Bir su ekosisteminde bulunan bozunabilir organik madde miktarının kaba bir tahminidir. Su kirliliğinin derecesini yansıtır ve organik maddenin nispi içeriğinin genel göstergesidir. Çünkü en kapsamlı organik kirlilik göstergesi BOİ₅, su kütlesindeki fitoplankton çeşitliliği için bir biyobelirteç olarak da kullanılabilmektedir (Obaid, 2021).

1.1.14. Bulanıklık

Sudaki bulanıklığa, asılı partiküller veya su akışını engelleyen koloidal inorganik ve organik maddeler neden olmaktadır. Bu maddeler arasında toprak (kil, kum, vb.) ve kaya parçacıkları, mikroorganizmalar, bitki lifleri gibi doğal maddeler ile evlerden ve endüstriyel atıklardan kaynaklanan birçok organik veya inorganik katı maddeler sayılabilir. Su analizlerinde bulanıklık birimi olarak NTU (Nephelometric Turbidity Unit) kullanılmaktadır. Bulanıklık yaklaşık olarak 4 NTU'nun üzerinde olduğunda

çıplak gözle fark edilebilmektedir. Bulanıklık, suyun optik özelliğini bozarak ışık geçişini engellemekte ve sudaki fotosentetik canlıları olumsuz etkilemektedir (WHO, 2011; Taş ve ark., 2021).

Ayrıca nehirlerdeki bulanıklığı etkileyen diğer bir durum da erozyondur. İnşaat ve tarımsal faaliyetler erozyona sebep olduğu gibi doğal havza erozyonları da meydana gelmektedir. Bu durumda sedimentin nehir ve göl sistemlerine yüklenmesi sonunda yüzey suyundaki bulanıklık seviyelerini artırmaktadır (Zounemat-Kermani ve ark., 2021).

1.1.15. Sediment pH ve Organik Madde

Akarsularda su sürekli hareket halinde olduğundan beraberinde katı maddeleri de taşırlar. Akarsuların taşıdığı bu katı maddelere sediment adı verilmektedir. Sedimentlerin oluşumunda hem erozyon hem de akarsu yatağındaki aşınmaların etkisi bulunmaktadır. Sedimentler ağır metaller ve diğer organik kirletici maddeleri biriktirmeye eğilimlidir. Sediment yapısının kalitesi sulak alan kirliliği hakkında bilgi sahibi olmayı sağlamaktadır (Ustaoglu ve Tepe, 2019). Sediment pH'sı sediment tabakasının kimyasal durumu hakkında bilgi verdiğinden önemli bir parametredir. Sediment tabakası üzerindeki su kütlesi ile sürekli temas halindedir. Bu sebeple suya bırakılan kirleticiler ayrılarak sedimentte birikim yapabilmektedir (Bakan ve Şenel, 2000).

1.1.16. Ağır Metaller

Ağır metal terimi, yoğunluğu 5 g/cm^3 'ten daha yüksek olan metaller için kullanılan bir ifadedir. Bunlar arasında kurşun (Pb), demir (Fe), kadmiyum (Cd), civa (Hg), krom (Cr), kobalt (Co), bakır (Cu), nikel (Ni) ve çinko (Zn) olmak üzere 60'tan fazla metal yer alır. Bu elementler yer kürede çoğunlukla bileşik olarak bulunmaktadır. Dünyanın hızla gelişmesi, değişmesi ve sanayileşme ile birlikte ağır metal kirliliği bir çevre problemi haline gelmiştir. Endüstriyel prosesler ve atıkları, tarım alanında kullanılan gübre ve ilaçlar,, maden ocakları, volkanik faaliyetler vb. gibi faktörler toprak, hava ve su gibi ortamlara ağır metallerin karışmasına neden olmaktadır (Yılmaz ve Kökten, 2019).

Ağır metaller insanlar için tehlikeli olarak kabul edilmektedir. Biyolojik olarak parçalanmamaları, birikim yapmaları, her yerde bulunabilmeleri nedeniyle su ekosistemi ve insanlar için zehirli maddeler olarak kabul edilmektedir. Sedimentlerde ağır metallerin birikmesi aynı zamanda su kalitesini ve ortamın metal kirliliğini yansıtmaktadır. Ayrıca canlıların besin zincirine katılarak suda yaşayan organizmalar için tehlike oluşturmaktadır. Örneğin bakır ve çinko iki mikro besin olup su habitatları için gereklidir. Bu metaller suda artarsa toksik hale gelebilmektedir. Ağır metal seviyeleri, çökeltiden akifer çözünmesi, atmosferik ve antropojenik nedenler, endüstriyel ve kentsel atıklar, madencilik, fosil yakıtların yanması ve trafik emisyonları gibi etkenlerle artmaktadır (Kükreler ve ark., 2019; Ustaoglu ve ark., 2020a).

1.1.17. Mikroplastik Kirliliği (MP)

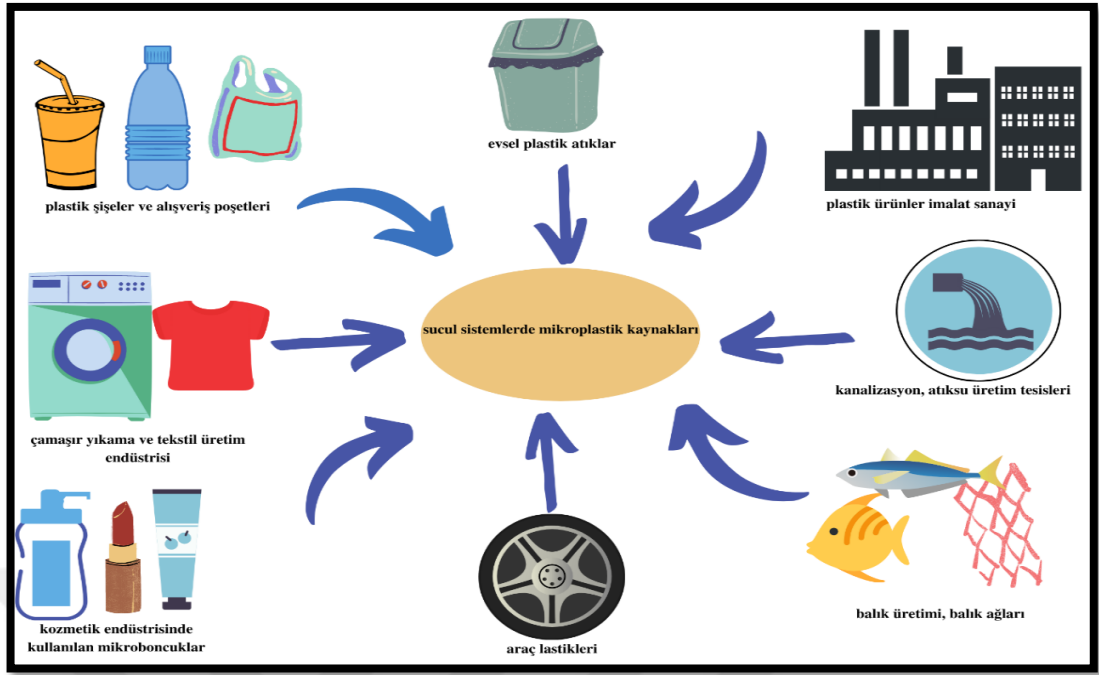
Plastikler günlük hayatımızda pek çok alanda kullanılmaktadır. Şimdiye kadar dünyada 9 milyar tondan fazla plastik üretilmiştir. 2050 yılına kadar yaklaşık 38 milyar ton plastiğin üretilceği ve bunun yaklaşık 13 milyar tonunun atık olarak çevreye bırakılacağı öngörülmektedir. Doğaya atık olarak bırakılan plastikler zamanla ayrışarak mikroplastiklere (ikincil mikroplastikler) dönüşmektedirler. Bunların yanı sıra, kozmetik ve ilaç endüstrilerinde kullanılmak üzere kasıtlı olarak üretilmiş mikroplastikler (birincil mikroplastikler) de çevreye atılmaktadır. Çevrede bulunan bazı kirleticiler ve ağır metaller ise bu mikroplastiklerin birikmesine ve taşınmasına yardımcı olmaktadır. Bu durum, katlanarak artan bir mikroplastik kirliliğine işaret etmektedir (Esmeray ve Armutcu, 2020)). Küresel plastik üretimi, 1950'de 1,5 milyon tondan 2018'de 359 milyon tona yükselerek (Plastics Europe, 2019), insanoğlunu "Plastik Çağı" olarak anılan bir döneme sokmuştur (Thompson ve ark., 2009).

Plastik üretimi son altmış yılda artmıştır ve bu üretimin %2 ila %5'inin deniz ortamında sona erdiği tahmin edilmektedir. Dünya okyanuslarındaki plastiklerin sadece %10'u gemilerden ve balıkçılık faaliyetlerinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Kalan %90'ı ise kara kaynaklarından gelmektedir (Andrady, 2011; Güven ve ark., 2017). Son yıllarda artan plastik kullanımı ve yanlış geri dönüşüm politikaları sonucunda su ekosisteminde plastik atıklar birikmiştir. Plastik kirliliği,

sucul organizmalar üzerindeki etkileri ile küresel bir sorun haline gelmiştir. Çevredeki farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörler nedeniyle MP'ler ve nanoplastikler (NP'ler) olarak parçalanan plastikler, gıda zincirine girerek insan sağlığını doğrudan tehdit etmektedir. Yaygın plastik kirliliğinin bir sonucu olarak, mikroplastikler ve nanoplastikler zooplankton, balık, kabuklu deniz hayvanlarından deniz memelilerine kadar birçok farklı tür tarafından yutulmaktadır. Deniz organizmalarına giren mikroplastikler, canlı doku içinde hareket edebilir ve doku ile organ arasında hareket edebilir. Bununla birlikte, deniz ürünleri işleme teknolojilerindeki bazı aşamalar da mikroplastik kirliliği kaynağı olabilir. Mikroplastiklerin neden olduğu fiziksel, kimyasal ve biyolojik toksisite etkileri henüz tam olarak bilinmemektedir (Tunçelli ve Erkan, 2020).

Şekil 1.1.'de gösterildiği üzere, en temel MP kaynaklarının plastik şişe ve alışveriş poşetleri, evsel plastik atıklar, plastik ürünler imalat sanayi, kanalizasyon, çamaşır yıkama, tekstil endüstrisi, kozmetik ürünler, balık üretim ve ağları olduğu görülmektedir (Katare ve ark., 2021).

Plastikler, deniz ortamına girdiklerinde, mikroplastik (<5 mm) olarak adlandırılan daha küçük parçacıklara ayrışır ve bunlar da daha küçük parçalara bölünerek nanoplastiklere (<100 nm) dönüştürülür. Dayanıklılıkları nedeniyle, MP'ler daha sonra küçük parçalar halinde geniş alanlara yayılarak tamamen ayrışması yüzyıllar gerektirebilir. Boyutları aynı plankton aralığında olduğundan, MP'ler birçok deniz organizması için biyolojik olarak kullanılabilir ve besin ağına katılabilirler. Kirlenmiş olan deniz ürünleri tüketiminin insan sağlığına potansiyel riskleri vardır. Ayrıca habitatların değiştirilmesi, patojenlerin/yabancı türlerin taşınması ve toksik kimyasal özelliklerin salınması yoluyla deniz biyotasına zarar verme potansiyeline de sahiptirler. Bu konuda birçok araştırma yapılmış olmasına rağmen, MP'lerin deniz ortamını ve insan sağlığını nasıl etkilediği konusunda hala büyük bir boşluk bulunmaktadır (Andrady, 2011; Aytan ve ark., 2016). Küresel plastik üretimi, 1950'de 1,5 milyon tondan 2018'de 359 milyon tona yükselerek (Plastics Europe, 2019), insanoğlunu "Plastik Çağı" olarak anılan bir döneme sokmuştur (Thompson ve ark., 2009).



Şekil 1.1. Su ortamındaki mikroplastik kaynakları (Katare ve ark., 2021).

Plastik reçine tanımlama ve geri dönüşüm kodlama sistemi Plastik Endüstrisi Topluluğu (SPI) tarafından 1988 yılında geliştirilmiştir. Uluslararası olarak kullanılan bu kodlamada plastik türlerine 1'den 6'ya kadar numara verilerek yapılmıştır (Yurtsever, 2015). Plastik endüstrisinin gelişmesiyle özel kriterlere uymayan 1-6 arası rakamlarla etiketlenmeyen birçok yeni plastik türevleri icat edilmiştir. SPI, kodlamasını yaptığı 6 plastik kombine kullanılması veya bunlar dışında plastik kullanılması durumunda 7 numara ile kodlamıştır. Geri dönüşüm kodu ne olursa olsun plastiklerin çevreye atılması su ortamındaki canlılar ve su kaynakları açısından risk teşkil etmektedir (Yurtsever, 2015). Geri dönüşüm kodları üçgen sembolü içinde yazılan rakamlardan oluşmaktadır. Bu semboller piyasada satılan plastik ürünlerin genellikle alt kısmında bulunmaktadır. Bazı rakamlar hem zararsız hem de geri dönüştürülebilirken bazıları için her iki durum da olumsuz olabilmektedir (Esmeray ve Armutcu, 2020).

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kentsel, tarımsal ve endüstri kaynaklı kirlenmenin arttığı günümüzde, kirliliğin boyutunu anlamaya yönelik birçok çalışma yapılmaktadır. Ülkemizde akarsularda su, sediment kalitesi, ağır metal kirliliği ve mikroplastik kirliliği ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir:

Ayaz (2021), Nilüfer Çayı üzerinde belirlenen noktalarda numuneler alarak su kalitesi analizleri gerçekleştirmiştir. Bu analizlerde fiziksel ve kimyasal parametreler incelenerek elde edilen sonuçlar, su kalitesi yönetmeliğine göre değerlendirilmiş ve çaydaki su kaynaklarının büyük kısmının su kalitesi açısından iyi durumda olmadığı belirlenmiştir.

Tokatlı ve arkadaşları (2021), Emet Nehir havzasında su ve sediment kalitesini belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmada birçok indeks kullanmışlardır. Havza suyu için uygulanan ekolojik indekslerde mevsimsel ortalama değerler hesaplanmış ve sonuçların su kalitesi indeksi (WQI) için 71,41–888,29; ağır metal kirlilik indeksi (HPI) için 85,97–915,76; ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) için 4,04–49,80 arasında değişmekte olduğu, sediment için uygulanan indekslerin mevsimsel ortalama değerlerinin ise potansiyel ekolojik risk indeksi (PERI) için 33,72–130,56 arasında jeoakümülyasyon indeksi (I_{geo}) için (-3,92)–(-5,99) arasında değişmekte olduğu ifade edilmiştir. Çalışma neticesinde ayrıca en tehlikeli toksik maddeler su kalitesi açısından arsenik (As) ve krom (Cr); sediment kalitesi açısından ise kadmiyum (Cd), As ve kurşun (Pb) olarak belirlenmiştir.

Varol (2011), Dicle Nehri'nde alınan sediment örneklerinde ağır metal analizleri yaparak kirlilik seviyesini belirlemiştir. Sediment kirliliği; kontaminasyon faktörü (CF), kirlilik yükü indeksi (PLI), jeoakümülyasyon indeksi (I_{geo}) ve zenginleştirme

faktörü (EF) gibi indekslerle değerlendirilmiş ve nehirdeki metal seviyelerinde Cr, Cu, Ni ve Pb derişimlerinin toksik etkilere yol açabileceği tespit edilmiştir.

Tunc Dede ve arkadaşları (2013), Kirmir Havzası'nda yürütölen çalışmada 10 farklı istasyondan alınan numunelerde bir yıl boyunca izlenen 44 adet su kalitesi parametresini Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği ve farklı su kalitesi indeks modelleri kullanarak değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre DO, BOİ, fosfat, renk, bulanıklık, toplam koliform, E. coli, enterekok, demir, mangan, arsenik, alüminyum, bor ve baryum parametrelerinin yönetmelikte verilen sınır değerleri aştığını tespit etmişlerdir. Uygulanan indeks modellerine göre, ham verilere en iyi uyum sağlayan modellerin Kanada Su Kalitesi İndeks (CWQI) modeli ve Oregon Su Kalitesi İndeks (OWQI) modeli olduğu tespit edilmiştir.

Tunc Dede (2016) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise Ankara İli içmesuyu kaynaklarından amlıdere Barajını besleyen yüzey sularının kalitesi ağır metal kirliliği (20 element) açısından incelenmiş ve ağır metal kirlilik indeksine (HPI) göre değerlendirme yapılmıştır. Ağır metal kirlilik indeksi değerleri tüm noktalarda orta seviye olarak tespit edilmiştir.

Osmanoğlu (2019)'nun, Artvin Murgul Deresi'nde su kalitesini belirlemeye yönelik yapmış olduğu çalışmada, birçok fizikokimyasal ve ağır metal parametrelerinin ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, maden sahasından gelen suların Murgul Deresi su kalitesini olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir.

Taş ve arkadaşları (2021) Doğu Karadeniz Havzası'nda Elekçi Deresi'nde yaptıkları çalışmada su kalitesinin değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Yıllık ortalama değerlere göre, Elekçi Deresi amonyum azotu ve toplam fosfor parametreleri bakımından II. sınıf, serbest klor hariç (IV. sınıf) diğer su kalite parametreleri bakımından I. Sınıf olarak bulunmuştur. Uygulanan su kalite indeksi (WQI) modeline göre ise, Elekçi deresi su kalite özelliğinin “mükemmel” olduğu sonucuna varılmıştır.

Fırat Ersoy ve Karagöllu (2018), Trabzon ili Söğötlü Deresi ve yan kollarından aldıkları su örneklerini su kalitesi parametreleri açısından Yerüstü Su Kalitesi

Yönetmeliğini temel alarak değerlendirmişlerdir. yönetmelik ekinde yer alan kıta içi su kaynaklarının sınıflandırılmasına göre Söğütlü Deresi yüzey suyu kalitesinin demir (Fe), mangan (Mn), alüminyum (Al), nitrit (NO₂) ve nitrat (NO₃) bakımından II., III. ve IV. Sınıf olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada, yüzey suyunun son yıllarda özellikle çevre şartlarından olumsuz etkilenerek kirlendiği ifade edilmiştir.

Öner ve Çelik (2011), Ege Bölgesinde bulunan Gediz Nehri'nin beş ayrı noktasından su ve sediment örnekleri alarak ağır metal analizleri yapmışlar ve analiz sonuçlarını Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre değerlendirmişlerdir. Gediz Nehri'nin IV. sınıf su kalitesine sahip olduğunu, ayrıca istasyonlardan alınan sediment ve toprak örneklerinde ötrofikasyona bağlı olarak nehir tabanında organik maddelerin birikmesi ile metal derişimlerinin yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Ustaoğlu ve arkadaşları (2021a) Doğu Karadeniz'de bulunan Terme Çayı'nda yaptıkları çalışmada birçok fiziko-kimyasal parametre ve ağır metal analizleri yapmışlardır. Terme Çayı'nın su kalitesi indeksini (WQI) 22, ağır metal kirlilik indeksini (HPI) 15,61 ve ağır metal değerlendirme indeksini (HEI) 0,78 hesaplayarak, Terme Çayı su kalitesinin genel olarak iyi olduğu sonucuna varmışlardır.

Tokatlı ve arkadaşları (2017), ülkemizde İç Anadolu Bölgesi'nde Seydisuyu Çayı Havzası'nın sediment kalitesini değerlendirdikleri çalışmada 15 istasyondan örnek alarak ağır metal analizleri yapmışlardır. Ayrıca, sediment kalitesini Potansiyel Ekolojik Risk İndeksine (PERİ) göre değerlendirip en yüksek risk teşkil eden toksik metallerin kadmiyum ve krom olduğu sonucuna varmışlardır.

Varol (2020), Türkiye'nin Fırat Nehri havzasında yer alan içme suyu ve tarımsal amaçlı kullanılan Sürgü Çayı'nın su kalitesini çoklu istatistik yöntemler ve WQI ile değerlendirmiştir. Bir yıl boyunca akarsu boyunca beş sahada 16 su kalitesi parametresini aylık olarak izlemiştir. WQI değerlerinin ortalama olarak 87,6 - 95,3 arasında değiştiğini, akarsuyun su kalitesinin "iyi" ile "mükemmel" olarak belirlemiştir.

Ustaoğlu ve arkadaşları (2021b), Batlama Deresi'nde Haziran 2014-Temmuz 2015 tarihleri arasında mevsimsel olarak yaptıkları çalışma ile sediment kirliliğini araştırmışlardır. Sedimentte Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd ve Pb analizi yapmışlardır. Ayrıca, sonuçları kontaminasyon faktörü (CF), zenginleşme faktörü (EF), Eri ve *Igeo* gibi indeksleri uygulayarak değerlendirmişlerdir. EF ve CF indekslerine göre minimum-orta düzeyde birikim saptamışlar, genel değerlendirmelere göre incelenen metallerin ekosistem için tehdit oluşturabilecek derişimlerde bulunmadığı sonucuna varmışlardır.

Gümüş (2021), Afyonkarahisar Akarçay Akarsuyu su kalitesi ve ağır metal kirliliğini araştırdığı çalışmada birçok parametrenin analizini yapmıştır ve SKKY'ye göre değerlendirmiştir. Ölçülen ortalama ağır metal değerleri açısından mangan ve nikel hariç (II. sınıf) hepsinin I. sınıf su sınıfında olduğunu tespit etmiştir. Fizikokimyasal parametreler açısından ise III–IV. sınıf arasında değişim gösterdiğini bulmuştur.

Tokatlı (2020), Marmara Bölgesi'nin kuzey–batı kesiminde yer alan Havsa Çayı su kalitesini yaygın olarak kullanılan bir ekolojik gösterge olan Su Kalitesi İndeksi (WQI) uygulayarak değerlendirmiştir. Elde edilen verilere göre incelenen tatlı su ekosisteminin WQI değerinin 33,6 (Mükemmel – A Sınıfı su kalitesi) – 159,4 (Kötü – C Sınıfı su kalitesi) arasında olduğunu tespit etmiştir.

Tepe ve Aydın (2017), Giresun ili Batlama Deresi'nde yaptıkları çalışmada bir yıl boyunca su örnekleri alarak fizikokimyasal analizler yapmışlardır. Şehirde aynı zamanda içme suyu olarak da kullanılan Batlama Deresi'nin su kalitesini SKKY'e göre I. Sınıf olarak bulmuşlardır.

Aydın ve arkadaşları (2021), Giresun ilinin önemli yedi büyük nehrinde su kalitesini indeksler kullanarak belirlemişlerdir. Mayıs 2018'den Nisan 2019'a kadar sürdürdükleri çalışmada Türkiye Yüzey Suyu kalitesine (YSKY) göre genelde II. ve III. Sınıf olarak, su kalite indeksi (WQI) değerlerinin ise 25,69 (mükemmel) ile 32,39 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bu indekslere dayanarak antropojenik faaliyetlerin henüz su kalitesini etkilemediği sonucuna varmışlardır.

Saydam Eker ve Özkan (2017), Ankara Çayı dere yatağı sedimentlerinin içermiş olduğu zararlı metallerin miktarı ve kaynağını araştırmışlardır. Ankara Çayı dere yatağı sedimentlerinde Zn, Ni, Cu, Pb, As, Co ve Cd parametrelerinin ortalama miktarlarını sırasıyla 111, 65,7, 32, 17,6, 16,4, 16,1 ve 0,2 ppm olarak bulmuşlardır. Dere yatağında Pb, Cu, Zn, Co ve Cd bakımından bölgesel, Ni ve As bakımından ise genel olarak kirlilik olduğu sonucuna varmışlardır.

Kalyoncu ve arkadaşları (2016), Isparta Deresi su ve sedimentlerinde ağır metal birikimlerini mevsimsel olarak araştırmışlardır. Çalışma boyunca ölçümü yapılan tüm değerlerin kabul edilebilir sınırların altında olduğunu bildirmişlerdir.

Tokatlı ve arkadaşları (2021), Karadeniz Bölgesi Şehriban Çayı sularındaki demir, kurşun, bakır, kadmiyum, cıva, nikel ve çinko birikimlerinin mekânsal-zamansal değişimlerini incelemişler ve su kalitesini WQI ve HEI gibi indekslerle değerlendirmişlerdir. WQI ve HEI sonucunda akarsu kalitesini, sırasıyla “A Sınıfı – Mükemmel (<50)” ve “Düşük Kirlilik (<10)” olarak bulmuşlardır.

Varol ve arkadaşları (2022) Karadeniz Bölgesi’nde dört farklı amaçla kullanılan baraj göllerinden (Erfelek, Derbent, Suat Uğurlu ve Saraydüzü) sediment örnekleri almışlardır. Bu örneklerde Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Sb, Hg ve Pb gibi metal oranları, organik madde ve pH analizleri yaparak sediment kirliliğini değerlendirmişlerdir. Sediment kirliliğini değerlendirmek amacıyla uyguladıkları indeks modellerde tüm göller için düşük kirlilik tespit etmişlerdir. Orta derecede kirliliğe sahip olan Yeşilirmak Nehri üzerindeki Suat Uğurlu Baraj Gölü’nde Al, V, Mn, Fe, Co, Cu ve Sb derişimlerini daha yüksek bulmuşlar ve sedimentlerdeki metal oranlarının esas olarak jeolojik kaynaklardan olduğunu tespit etmişlerdir.

Cüce ve arkadaşları (2022), Kızılırmak Nehri sedimentlerinde yaptıkları çalışmada 14 potansiyel toksik elementin mekânsal dağılımını, ekotoksikolojik ve sağlık risklerini ve olası kaynaklarını analiz etmişler ve sonuçları zenginleştirme faktörü, kontaminasyon faktörü ve jeoakümülayon indekse (I_{geo}) göre değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, evsel ve endüstriyel atıksuların deşarj edildiği alanlarda zenginleştirme faktörü, kontaminasyon faktörü ve jeoakümülayon indeksi (I_{geo}) değerlerinin daha yüksek olduğunu göstermiştir. Cr, Ni, Cu, Zn, As, Pb gibi elementlerin potansiyel

ekolojik risk indeks değerleri ise, tüm istasyonların “dk potansiyel ekolojik riske” sahip olduğunu göstermiştir. Civa (Hg) metali için “Orta düzeyde potansiyel ekolojik risk”, Cd için ise “Belirgin potansiyel ekolojik risk” tespit edilmiştir.

Chen ve arkadaşları (2017) Yangtze Nehri'nde yaptıkları çalışmada zenginleştirme faktörünü (EF), çalıştıkları bütün ağır metaller için 2'nin altında bulmuşlardır. Jeokmlasyon indeksini (I_{geo}) de bütün metaller için sıfırın altında bulmuşlardır. I_{geo} indeksinin sıfırın altında olması çok düşük kirliliği ifade etmektedir. EF ve I_{geo} sonuçlarının her ikisi için de çevresel riskin çok düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Ezewudo ve arkadaşlarının (2021) Nijerya'nın Nijer Nehri'nde yaptıkları çalışmada, Nijerya'nın güney bölgesindeki nehrin aşağı kesimlerinde sedimentte As, Fe, Cu, Pb, Cd, Zn ve Hg seviyesi incelenmiştir. Sedimentte EF, I_{geo} , PLI ve CF hesaplaması yapılarak ekolojik risk değerlendirilmiştir. Cd ve Hg metalleri I_{geo} indeksi hesaplamasında orta dereceli kirl, EF özellikle kurak mevsimde ($EF > 1,5$) insan kaynaklı olarak kirlendiğini ifade etmişlerdir.

Calmuc ve arkadaşları (2021), Romanya Tuna Nehri sedimentinde ağır metal kirliliğini tespit etmek amacıyla yaptıkları çalışmada, Cd, Ni, Zn, Pb, Cu seviyelerini incelemişler ve sonuçları I_{geo} , PLI ve CF gibi indeksler kullanarak değerlendirmişlerdir. Bölgedeki bu nc araştırma faaliyetinin sonuçlarına göre orta düzeyde metal (Ni ve Cd) kirliliğinin varlığı ve su ortamı için düşük potansiyel ekolojik risk tespit edilmiştir.

Ali ve arkadaşları (2021), Bangladeş kıyı bölgesinde bulunan Kirtankhola Nehri'nde su ve sedimentte ağır metal kirliliğini araştırmışlardır. Metallerin miktarını hem suda hem de sedimentte $Cr > Pb > As > Cd$ şeklinde gözlemlemişlerdir. Su örneklerinde test edilen metal derişimlerinin, kabul edilebilir içme suyu kalitesi sınırlarını aştığı ve bu nehirden gelen suyun içme ve pişirme için güvenli olmadığı ve nehir ekosistemi için risk oluşturabileceği bildirilmiştir. Kirlilik yükü indeksi (PLI) değerlerinin bire yakın olması, çalışma nehrinin sedimentinin düşük kontaminasyon olduğunu göstermektedir. PLI metallerin toplu etkisini gösterdiği için mevcut durumda tehlike görülmediğini ifade etmişlerdir. Kontaminasyon faktörü (CF), As, Cd ve Pb'nin sediment numuneleri tarafından orta ila aşırı derecede kirlendiğini bildirmiştir ve

metal seviyesi, durumun çok endişe verici olduğunu ve muhtemelen bu nehir ekosisteminin su ekolojisini ciddi şekilde etkilediğini ifade etmişlerdir.

Tatone ve arkadaşları (2016), Uruguay Nehri'nde yaptıkları çalışmada sediment örneklerinde ağır metalleri araştırmışlar ve elde edilen sonuçları EF indeksi kullanarak değerlendirmişlerdir. Buna göre, Zn, Cr, Ni ve Pb için ortalama EF değerini 1,5'in altında (bu değer kirliliğin doğal kaynaklı olduğunu göstermekte); Cu ve Mn için ise EF değerini 2'nin üstünde (bu değer kirliliğin antropojenik kaynaklı olduğunu göstermekte) tespit etmişlerdir.

Tavşanoğlu ve arkadaşları (2020), Türkiye'de Süreyyabey Baraj Gölü'nde dört örnekleme istasyonu belirleyerek mikroplastiklerin (MP) tipi, şekli ve bileşenlerini araştırmışlardır. Toplamda baraj gölünde gözlenen MP bolluğunu 5,25 adet/m³ olarak, baskın rengi şeffaf, bileşenleri ise polietilen tereftalat, polivinil klorür, polistiren, polietilen ve polipropilen olarak bulmuşlardır.

Gündoğdu ve Çevik (2017), Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'nde yer alan İskenderun ve Mersin Körfezlerindeki mikro ve mezoplastik kirlilik düzeylerini araştırmışlardır. Hem mikro hem de mezoplastığın ortalama seviyesi yedi istasyonda 0,376 adet/m² olarak belirlenmiştir. En yüksek seviye 906 parça ile Mersin Körfezi'nde Seyhan nehrinin ağzında ve en düşük seviye ise 78 adet ile İskenderun Körfezi'nde tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre Türkiye'nin Akdeniz kıyılarındaki mikroplastik kirlilik düzeyinin Akdeniz'in diğer bölgelerine benzer olduğu belirtilmiştir.

Güven ve arkadaşları (2017), Akdeniz bölgesinin Mersin sularında yaptıkları çalışmada su, sediment ve balıklarda mikroplastik varlığını araştırmışlardır. Toplam 1517 mikroplastik parçacık toplayarak sınıflandırmışlardır. Parçacıkların çapının 0,034 ile 4,98 mm arasında değiştiğini, toplanan tüm mikroplastiklerin (yüzey suyu, su sütunu ve tortu) %94'ünün ise boyutlarının 0,1 ila 2,5 mm arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Yüzey suyu numunelerindeki mikroplastiklerin km² başına 16.339-520.213 adet arasında değişim gösterdiğini, tür olarak ise su numunelerinin tüm plastik kategorilerini, sediment örneklerinin ise lifler ve sert plastikleri içerdiğini gözlemlemişlerdir.

Aytan ve arkadaşları (2016), Doğu Karadeniz Bölgesi kıyı şeridinde yaptıkları çalışmada MP'leri iki yolculuk sırasında 12 istasyondan toplamışlardır. Örneklerin %92'sinde mikroplastikler bulunmuş; bunlardan %49,4'ü lifler, %30,6'sı plastik lifler ve %20'si ise parça mikroplastikler olarak tespit edilmiştir.

Gürbüz (2018), Marmara Denizi genelinde yüzeyde yaptığı mikroplastik araştırmasında yüzen ortalama mikroplastik kirliliği 2373 adet/m², askıda olan kirliliği 1405 adet/m² ve sedimentte ise 2044 adet/m² olarak tespit etmiştir.

Gökdağ (2017), Akdeniz sahilinde (Antalya-Mersin-Adana) yaptığı çalışmada yüzey suyundaki mikroplastik sayısını 2015 yılında 16.339 ile 520.213 parçacık/km² arasında, 2016 yılında ise 39.559 ile 1.043.675 parçacık/km² arasında bulmuştur. Sediment numunelerinde MP miktarı ise, 2015 yılında 80–1.720 parçacık arasında, 2016 yılında 73,33-553,33 parçacık arasında olduğu belirlenmiştir. Mikroplastiklerin %94'ünün boyutunun 0,1-2,5 mm arasında değiştiği belirtilmiştir.

Aydın (2020), Kayseri yüzey su kaynaklarından olan Sultan Sazlığı, Hürmetçi Sazlığı ve Yamula Barajında mikroplastik analizleri yapmıştır. Bu yüzey sularında farklı değer aralıklarında (0,12-3,42 mg/L) mikroplastik tespit etmiş ve mikroplastik bileşenlerini incelediğinde naylon türevlerine rastlamıştır.

Öztekin ve Bat (2017), Karadeniz'in önemli sulak alanlarından biri olan Sinop Sarıkum Lagünü kıyısında deniz yüzeyi ve su sütununda ilk kez mikroplastik kirlilik araştırması yapmışlardır. Çalışma 2015-2016 yılları arasında mevsimsel olarak gerçekleştirilmiş olup, mikroplastiklerin dağılımı, yoğunluğu ve türü belirlenmiştir. Deniz yüzeyinde MP miktarını 2.667±2.325 adet/m³ ve su kolonu için 24.475±26.153 adet/m³ olarak tespit etmişler; plastik türlerini ise lif, sert plastik ve naylon olarak bildirmişlerdir.

Bujaczek ve arkadaşlarının (2021) Kanada'nın Saskatchewan Nehri'ndeki mikroplastik kirliliği ile ilgili yaptıkları çalışmada yedi istasyondan yüzey suyu örnekleri alınmıştır ve tüm numunelerde mikroplastik tespit edilmiştir. Mikroplastiklerin miktarı 4,6 ila 88,3 parçacık/m³ (ortalama = 26,2 ± 18,4 parçacık/m³) olarak bulunmuştur. Çalışma neticesinde MP'ler arasında liflerin baskın

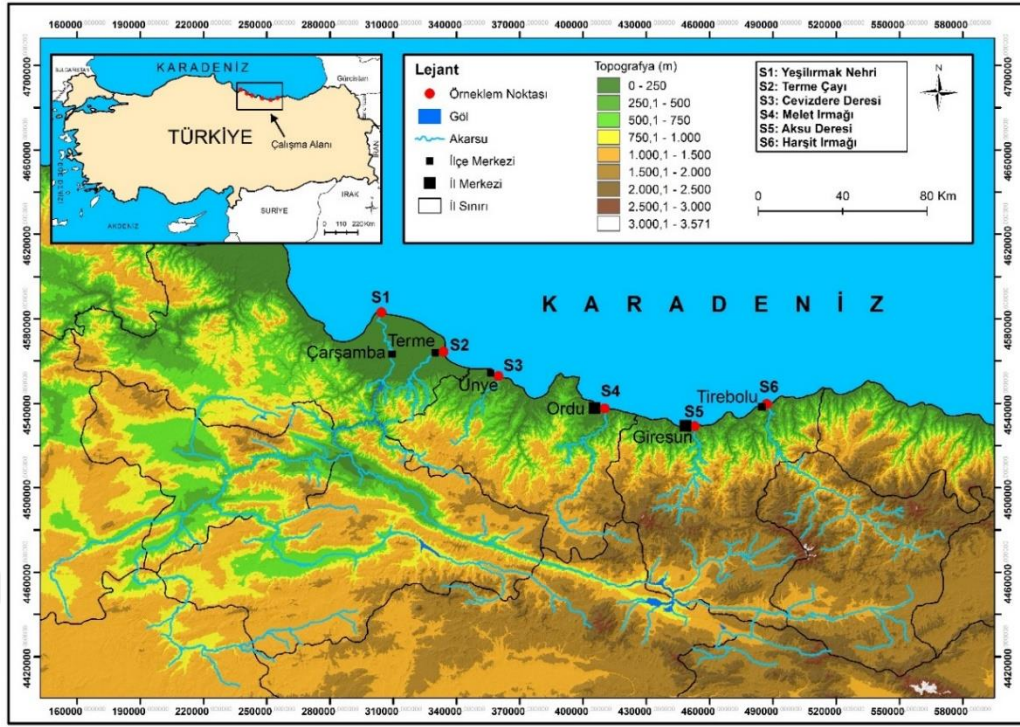
olduğu, tür olarak isepolietilen veya polipropilenin çoğunlukta olduğu bildirilmiş olup, Raman mikro spektroskopisi ile yapılan incelemede boyalı pamuk veya polyester tespit edildiği belirtilmiştir.



BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Sahası

Karadeniz Samsun Yeşilırmak Nehrinden başlanarak doğuya doğru sırasıyla, Terme Çayı, Ceviz Deresi, Melet Irmağı, Aksu Deresi ve Harşit Çayı'ndan yaklaşık 200 km'lik mesafeden sahil boyunca denize dökülme noktalarından su ve sediment örnekleri standart metodlarla mevsimsel olarak alınmıştır. Arazi çalışmaları 2020 sonbahar mevsiminde başlamış ve 2021 yaz mevsiminde sonlandırılmıştır. İlk arazi Kasım 2020, ikinci Şubat 2021, üçüncü Mayıs 2021 ve son arazi Ağustos 2021'de gerçekleştirilmiştir. Çalışılan istasyonlar haritada gösterilmiştir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Çalışma alanı ve örnekleme istasyonları

Yeşilırmak Nehri Türkiye'nin kuzey doğusunda yer alır ve ülkenin en uzun ikinci nehridir. Yeşilırmak Nehri'nin su toplama alanı 38.730 km²' dir. Sivas'ın kuzeyindeki Köse Dağı'ndan doğar, yaklaşık 519 km akar ve Karadeniz'e ulaşır. Çekerek, Kelkit, Tersakan ve Salhan, Yeşilırmak Nehri'nin kollarıdır (Başören ve Kazancı, 2020). Yeşilırmak havza alanı Türkiye yüzölçümünün %5'ini oluşturan yaklaşık 3.87 milyon hektardır (Ayyıldız, 2019). Yeşilırmak Nehri havzasında önemli kirlilik kaynakları endüstriyel atık sular, evsel atık sular ve tarım alanlarından süzülerek gelen sulardır. Ayrıca Yeşilırmak Nehri havzasında 19 adet baraj bulunmakta ve bu barajlar sulama, içme suyu elde etme ve enerji üretme için kullanılmaktadır (Kazancı ve ark., 2010). I. istasyonumuz Yeşilırmak Nehri olup koordinatları 41° 21' 57,50" kuzey ve 36° 45' 21,17" doğu şeklindedir. Samsun ili Çarşamba merkez ilçeden numune alınmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Yeşilirmak Nehri

Terme Çayı, Samsun ili Terme ilçe merkezinin 5 km mansabında Karadeniz'e katılır. Yağışlı tipik Karadeniz ikliminin hüküm sürdüğü Terme'de yıllık ortalama yağış 964,8 mm'dir. Terme Havzası'nda fındık tarımı yaygın olarak yapılmaktadır. Havzanın alt kısımlarda ise çeltik, mısır ve kavak üretimi yapılmaktadır. Terme Nehri'nin yıllık ortalama debisi $10,51 \text{ m}^3/\text{s}$ tür. Terme Nehri tarımsal gübre, pestisitler ve evsel atıkların baskısı altındadır (Ustaoğlu ve ark., 2021a).

II. istasyonumuz olan Terme Çayı, Terme ilçe merkezinde olup Karadeniz'e döküldüğü noktadır. $41^\circ 12' 45,18''$ kuzey ve $37^\circ 01' 14,00''$ doğu koordinatlarındadır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Terme Çayı

Cevizdere Deresi Doğu Karadeniz Havzası'nın batı kısmında, Ordu ilinin Ünye ilçesinde ve Ünye ilçe merkezine 6 km uzaklıktadır. Canik dağlarından doğar, Döşeme dağı ve Bozdağ vadilerini geçerek Karadeniz'e dökülür. Uzunluğu 57 km, yağış alanı ise 371,5 km²'dir. Ünye içme suyunu karşılayan regülatör bulunmaktadır. Cevizdere Ünye ekonomisi için öneme sahiptir. Dere özellikle ilçe ekonomisi için tarım ve hayvancılık faaliyetleri ile 1974 yılında kurulan Ünye Çimento Fabrikası'na yarar sağlamaktadır (Beden, 2019).

III. istasyonumuz olan Cevizdere Deresi, Ünye Çimento fabrikasının hemen yanında olup 41° 06' 47,13" kuzey ve 37° 19' 48,17" doğu koordinatlarına sahiptir (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Cevizdere Deresi

Melet Irmağı, Ordu ilinin önemli bir su kaynağıdır. Melet Çayı 40°18' kuzey enlemi ile 37°49' doğu boylamı arasında yaklaşık 940 m yüksekliktedir. Yaklaşık 165 km'lik bir mesafe kat ederek Karadeniz'e dökülür. Havzanın rakımı 1.469 metreye kadar uzanmaktadır. Bölgenin ve Ordu ilinin başlıca içme suyu kaynağı olarak kullanılmaktadır. Melet Irmağı hem noktasal hem de noktasal olmayan kaynaklardan kirlilik yükü ile karşı karşıyadır (Ustaoglu ve ark., 2017).



Şekil 3.5. Melet Irmağı

IV. istasyonumuz Melet Irmağı'nın denize deşarj noktasıdır. $40^{\circ} 58' 34,37''$ kuzey ve $37^{\circ} 56' 04,96''$ doğu koordinatlarına sahiptir (Şekil 3.5.).

Aksu Deresi, Giresun ilinde bulunan aynı zamanda içme suyu olarak da kullanılan bir akarsudur. Karagöl Dağları üzerindeki, buzul gölü olan Karagöl'den doğan Aksu Deresi, Kızıлтаş, Sarıyakup, Pınarlar ve Güdöl bölgelerinin sularını da bünyesine aldıktan sonra Giresun merkezinin doğusunda Karadeniz'e dökölür. Aksu Deresi'nin uzunluğu 75 km olup, il sınırları içerisinde ortalama yıllık debisi $17,8 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir. Yıllık 562 hm^3 'lük bir su potansiyeline sahip olup, su toplama havza alanı yaklaşık 715 km^2 'dir (Tunç Dede ve Sezer, 2017). Beşinci istasyonumuz olan Aksu Deresi'nde örnek alınan nokta $40^{\circ} 54' 53,28''$ kuzey ve $38^{\circ} 26' 23,43''$ doğu koordinatlarındadır (Şekil 3.6.).



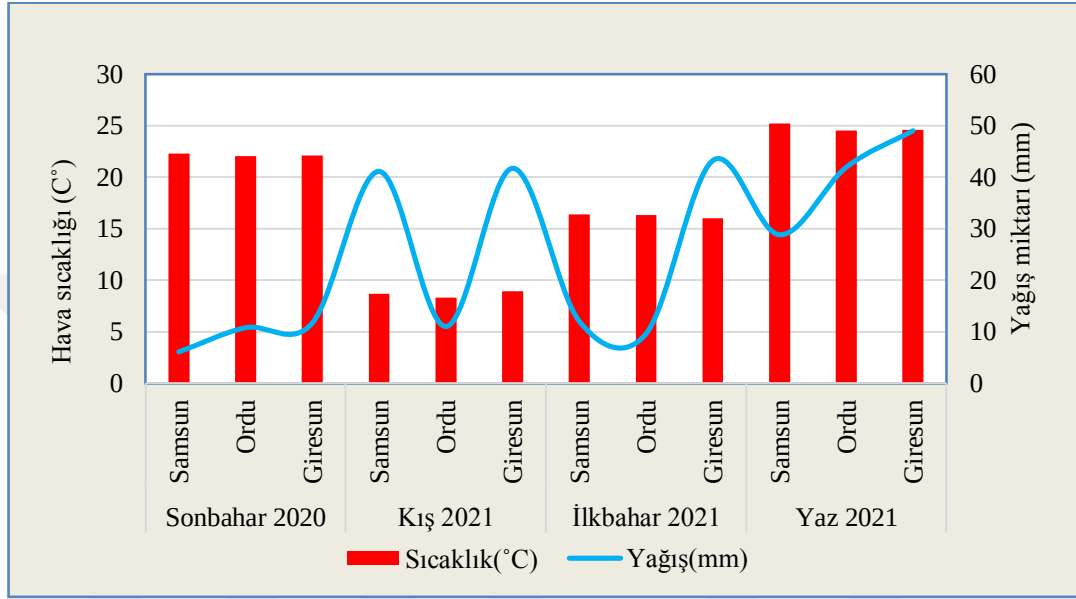
Şekil 3.6. Aksu Deresi

Giresun il merkezini doğu - batı doğrultusunda aşan Harşit Çayı, Torul ve Kürtün ilçelerinden geçerek Tirebolu'dan Karadeniz'e dökülür. Vauk Dağı'nın kuzey eteklerinden doğar ve Sifon Deresi'nden kaynağını alır. Karadeniz'e dökülünceye kadar Giresun il sınırları içerisinde 142 km mesafe kat etmektedir (Bayram, 2011). Son istasyonumuz olan Harşit Çayı'ndan numune alınan yer $41^{\circ} 00' 32,23''$ kuzey ve $38^{\circ} 50' 43,13''$ doğu koordinatlarına sahiptir (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Harşit Çayı

Çalışma bölgesindeki altı istasyona ait hava sıcaklığı ve yağış miktarı T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden talep edilmiştir. Gelen verilere göre Şekil 3.8.'de Samsun, Ordu ve Giresun illerinin mevsimsel ortalama sonuçlarına göre hava sıcaklığı ve yağış miktarları grafiği oluşturulmuştur. Seçilen aralık arazi çalışmalarının yapıldığı mevsimlerdir.



Şekil 3.8. Çalışma bölgesinde hava sıcaklığı ve yağış miktarı (sonbahar 2020–yaz 2021)

Çalışmamızın hava sıcaklık ölçümlerine göre Samsun ilinde en yüksek sıcaklık 29,29 °C ile temmuz ayında görülürken en düşük olarak ise 12,27 °C mart ayında ölçülmüştür. Ordu ilinin hava sıcaklıkları ise en yüksek 28,29 °C ile temmuz ayında iken en düşük olarak ise 11,6 °C ile mart ayında görülmüştür. Giresun ilinde ise en yüksek hava sıcaklığı 29,19 °C ile temmuz ayında ve en düşük ise 11,77 °C olarak mart ayında kaydedilmiştir. Yağış miktarı sonuçlarına göre 41,7 mm ile en yüksek olarak Giresun ilinde kış mevsiminde tespit edilmiş ve 6,08 mm ile ise en düşük olarak sonbahar mevsiminde Samsun ilinde ölçülmüştür.

3.2. Su ve Sediment Analizleri

Arazi çalışmasına çıkmadan önce örneklerin alınacağı kaplar temizlenmiş, asit banyosundan geçirilerek kurutulmuştur. Su kalitesi parametrelerinden sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, çözünmüş oksijen, tuzluluk, toplam çözünmüş madde,

oksidasyon redüksiyon potansiyeli ve bulanıklık akarsularda örnekleme sırasında ölçülmüştür. Çözünmüş oksijen Hach® HQ40d oksijen metre, bulanıklık Velp marka TB1 Turbidimetre, diğer parametreler ise YSI marka pro1030 model multiparametre ile ölçülmüştür. Su numuneleri derenin denize deşarj noktasından derenin akış yönüne ters ve yüzeyden alınmıştır. Sediment örnekleri de derenin taban kısmından alınmıştır.

Su kalitesini belirleyen diğer parametrelerden, toplam alkalinite, toplam sertlik, toplam amonyak azotu, toplam fosfat, askıda katı madde analizlerini yapmak için su numuneleri Giresun Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü laboratuvarlarına getirilmiş ve aynı gün analiz edilmiştir.

Toplam alkalinite için öncelikle 0,02 N H₂SO₄ (sülfürik asit) çözeltisi hazırlanmıştır. Örnekten 100 mL alınır, pH metre kontrolünde H₂SO₄ ile örnek suyun pH'ı 5,2 oluncaya kadar damla damla titrasyon yapılmıştır. Harcanan asit miktarı not edilerek CaCO₃/L cinsinden suyun alkalinitesi hesaplanmıştır (Boyd ve Tucker, 1992).

Toplam sertlik için EDTA ile titrasyon yapılmıştır. 100 mL örnek suya 2mL Buffer solüsyonu ve 8 damla Eriochrom Black-T eklenerek titrasyon yapılmıştır. Renk değişimi olduğu anda işlem durdurulmuştur. Kaybedilen EDTA miktarı kullanılarak toplam sertlik hesaplanmıştır (Boyd ve Tucker, 1992).

TP ve SRP ölçümleri için Boyd ve Tucker (1992)'de belirtilen gerekli solüsyonlar hazırlanmıştır. Tüm aşamalar uygulanarak hazırlanan örnekler 880 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçülmüştür. TAN analizi için TAN1 ve TAN2 adı verilen reaktifler hazırlanmıştır (Boyd ve Tucker, 1992). Örnekler 635 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçülmüştür (Shimadzu UV-1601PC).

Askıda katı madde (AKM) analizi, örnek su 100 mL alınarak whatman marka 42 numaralı 0,45 µm membran filtrelerden süzölmüş ve daha sonra filtre kâğıtları 103°C'de 24 saat bekletilmiştir. AKM miktarı oluşan tartım farkından hesaplanmıştır (Boyd ve Tucker, 1992).

Su örneklerinde Al, Zn, Fe, Mn, As, Cu, Ni, Cr ve Pb elementlerinin miktarını belirlemek için öncelikle alınan su numuneleri 0,45 µm'lik filtre kâğıdından

süzülmüştür. Daha sonra pH < 2 olacak şekilde nitrik asit damlatılmıştır. Su örnekleri vida kapaklı cam tüplerde analize kadar 4°C’de ve ışık görmeyecek şekilde saklanmıştır (AWWA, 2017). Ağır metal analizi için indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometre (ICP-MS) cihazı kullanılmıştır. Analiz işlemi sırasında en az üç tekrarlı okuma işlemi yapılmıştır. Veri analizi için ortalama değerler kullanılmıştır. Tübitak Ulusal Metroloji Enstitüsü tarafından üretilen Sertifikalı Referans maddesi (UME CRM 1201) doğruluk oranları %92,65 ile %99,88 arasında değişmiştir (Tablo 3.1.). Sonuçlar ppb (µg/L) olarak kaydedilmiştir. Bu çalışmanın ağır metal analizleri için Sinop Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (SÜBİTAM)’nde bulunan indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS, Agilent 7700x) kullanılmıştır (Yüksel ve Arıca, 2018). Su örneklerinde ağır metal sonuçlarının doğruluğunu kontrol etmek için sertifikalı referans çözeltiler (CRM) kullanılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 3.1.’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Su örneklerinde CRM analiz sonuçları

Ağır Metal	Sertifika değeri (CRM)	Ölçüm değeri	% geri kazanım oranı
Al (µg/L)	102	102,12	99,88
Cr (µg/L)	34,6	35,98	96,03
Mn (µg/L)	14,5	15,29	94,53
Fe (µg/L)	45,6	47,25	96,38
Ni (µg/L)	16,8	16,7	99,41
Cu (µg/L)	83,1	89,19	92,68
Zn (µg/L)	104	111,64	92,65
As (µg/L)	6,5	6,41	98,67
Pb (µg/L)	14,7	14,78	99,43

Sediment ağır metal içeriğini belirlemek için numuneler belirlenen altı istasyondan mevsimsel olarak alınmıştır (USEPA, 2001). Nehir yatağından sediment numuneleri, Van Veen grab (sediment kepçesi) kullanılarak 0 ila 10 cm derinlikte alınmıştır. Cam beherler içine alınan sediment örnekleri 103°C’de 24-48 saat süre ile etüvde kurutulduktan sonra porselen bir havanda toz haline getirilmiştir. Daha sonra 63 µm’lik elekten geçirilmiş, yaklaşık 0,5 gram tartılarak poşetlenmiş ve etiketlenmiştir. Analiz vaktine kadar +4°C’de buzdolabında saklanmıştır (Ustaoğlu ve İslam, 2020). Ağır metal analizi için öncelikle mikrodalga sindirme işlemi yapılmıştır. Ağır metallerin çıkarılması için standart yöntem 3051A kullanılmıştır. Yaklaşık 0,5 g kuru

sediment asit (9 mL HCl %37'lik, 3 mL HNO₃ %65'lik) ile sindirilmiş ve mikrodalga fırında 30 dakika, 200°C'lik sıcaklıkta inkübe edilmiştir. Sindirimden sonra elde edilen çözeltiler ultra saf su kullanılarak 50 mL'ye seyreltilmiş ve ICP-MS cihazında analizler yapılmıştır (Al-qadasy, 2017; Ustaoglu ve Tepe, 2019).

Sedimentte organik madde yüzdesi hesaplanması için 2,0 g kuru sediment fırında 550 °C'de 2 saat yakılmıştır. İlk tartım ve son tartım arasındaki farktan organik madde hesaplanmıştır. Sedimentlerin pH'ı 1:1 sediment/su oranında karıştırılarak hazırlanan ve bir saat beklenen örneklerde ölçülmüştür. pH analizleri için Hanna HI 221 pH metre cihazı kullanılmış ve cihaz kalibrasyonu pH 4, pH 7 ve pH 9 tampon çözeltileri kullanılarak yapılmıştır (Boyd, 2015).

Sediment örneklerinin ağır metal analizi de Sinop Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (SÜBİTAM)'nde bulunan indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS, Agilent 7700x) kullanılarak ölçülmüştür. Sediment örneklerinde kalibrasyon eğrileri için Agilent tarafından sağlanan ICP-MS standart çözeltileri (27 element karışımı: 8500-6940 2A ve Hg) kullanılmıştır. Tübitak Ulusal Metroloji Enstitüsü tarafından üretilen Sertifikalı Referans maddesi (UME EnvCRM 03) elementlerin geri kazanım oranları %95,24 ile %100 arasında değişmiştir (Tablo 3.2.).

Tablo 3.2. Sediment örneklerinde geri kazanım oranlar

Ağır Metal	Sertifika değeri (CRM)	Ölçüm değeri	% geri kazanım oranı
Cr (mg/kg)	115,60	115,62	99,99
Mn (mg/kg)	674,00	671,42	99,62
Fe (mg/kg)	26748,00	26814,55	99,75
Co (mg/kg)	42,00	41,56	98,95
Ni (mg/kg)	51,70	51,64	99,88
Cu (mg/kg)	63,50	63,62	99,81
Zn (mg/kg)	150,60	149,54	99,30
As (mg/kg)	79,90	76,10	95,24
Cd (mg/kg)	1,29	1,28	99,48
Hg (mg/kg)	0,32	0,32	100,00
Pb (mg/kg)	64,10	63,93	99,74

3.3. Mikroplastik Analizleri

Suda bulunan mikroplastik miktarının belirlenmesi amacı ile gerçekleştirilen örneklemelelerde, 200 µm göz açıklığına sahip plankton kepçesi kullanılmıştır. Yüzey örneklemeleleri 10'ar dakikalık bekleme sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Örnekleme sonrasında cam kavanozlara alınan örnekler fiksasyon amacıyla %95'lik etanol eklenmiştir. Değerlendirilmek üzere laboratuvara aktarılan örnekler, 5 mm göz açıklığındaki elekten geçirilerek içeriğindeki makro atıkların uzaklaştırılması sağlanmıştır. Su örnekleri içinde farklı boyutlarda atıkların bulunması vakum filtrasyon tıkanmalarına neden olacağından farklı göz açıklıklarına (500 µm ve 200 µm) sahip eleklerden oluşturulan süzme kolonundan geçirilmiştir. Son olarak su örnekleri vakum filtrasyondan geçirilerek içerisinde bulunan maddeler 26 µm göz açıklığındaki ağ üzerine toplanmıştır (Şekil 3.9.). Filtrasyon işlemi ardından petri kaplarına aktarılan filtreler üzerinde bulunan organik maddelerin uzaklaştırılması için %30'luk hidrojen peroksit ile muamele edilmiştir. Gerçekleştirilen hazırlıklar sonrasında filtre üzerindeki örnekler mikroskop altında incelenmiştir. Mikroplastik türünün kökenini anlamak için FT-IR spektrofotometre ile analiz edilmiştir (Hidalgo ve ark., 2012; Güven ve ark., 2017; Wu ve ark., 2019; ÇED, 2019).



Şekil 3.9. Mikroplastik analizinde kullanılan vakum filtrasyon sistemi

Sediment örneklerinde mikroplastik analizi için, örnekleme bölgelerinden, sediment kepçesi (Van Veen Grap) kullanılarak sediment örnekleri toplanmıştır. Sediment örneğinin 5 cm kalınlığındaki yüzey kısmından 300 mL hacminde örnek alınarak cam kavonozlara aktarılmıştır. Daha sonra örnekler 5 mm göz açıklığındaki elekten geçirilerek içerisindeki makro atıkların uzaklaştırılması sağlanır. Eleme işlemi ardından sedimentte bulunan mikroplastik parçacıkların ayrıştırılması amacı ile yoğunlaştırılmış NaCl (sodyum klorür) çözeltisi ($1,2 \text{ gr/cm}^3$) ile karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımlar sedimentin çökmesi için bir saat süre ile bekletilmiştir. Bekleme sırasında kontaminasyonu önlemek için beherlerin üzeri alüminyum folyo ile kapatılmıştır. İşlem esnasında yoğunluklarının daha hafif olması nedeni ile plastik parçacıkları çözelti üzerinde toplanacaktır. Bekletme süresi sonunda, çözeltilerin sıvı fazı içerisindeki plastik parçacıkların filtre üzerine aktarılması amacı ile vakum filtrasyon işlemi yapılmıştır (Şekil 3.9.). Mikroskop altında gerçekleştirilecek olan değerlendirmenin daha sağlıklı yapılabilmesi için filtre üzerinde yer alan organik maddelerin giderilmesi amacı ile filtre kağıdı %30'luk hidrojen peroksit ile muamele edilmiştir. Gerçekleştirilen hazırlıklar sonrasında filtre üzerindeki örnekler mikroskop altında incelenmiştir (Hidalgo ve ark., 2012; Güven ve ark., 2017; Wu, P ve ark., 2019; ÇED, 2019). Mikroplastiklerin sayım ve fotoğraflama işleminin yapıldığı mikroskop Şekil 3.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Mikroplastik sayım ve görüntüleme işlemi için kullanılan mikroskop

Fotoğraf üzerinden yapılan analizde türlerine göre ayrılan parçaların en uzak noktaları göz önünde bulundurularak renklerine göre boy ölçümleri yapılmıştır.

Renklerine ve boylarına göre ayrılan mikroplastik verileri Excel dosyalarına aktarılmış ve veri tabanı oluşturulmuştur.

Deniz, tatlı su ve sediment mikroplastik araştırmalarında FT-IR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi) kızılötesi spektroskopisi kapsamlı bir şekilde kullanılmaktadır. FT-IR, polimer veri tabanına sahip tahribatsız ayırt etme tekniklerinden biridir. Bir polimerin spektrumu, ölçülen kızılötesinin bir grafiği olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle şeffaf veya beyaz renk mikroplastikler mikroskop altında tespit edilemez; bu nedenle FT-IR tarafından analiz edilebilmektedir. FT-IR temelde iki çalışma moduna sahiptir, bunlar yansıma ve aktarım şeklindedir. Bantların ortaya çıktığı dalga boyu atomların kütlelerine, bağ kuvveti değişmesine ve atomların geometrisine bağlıdır. FT-IR spektroskopisi, moleküllerin kimyasal bağları hakkında bilgi sağlamaktadır (Chalmers, 2000; Yang ve ark., 2021; Sönmez ve ark., 2022).

FT-IR analizleri, Ordu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya bölümünde yapılmıştır. Analiz sonuçları Essential FT-IR programında değerlendirilerek polimer türleri tespit edilmiştir.

3.4. İstatistiksel Analizler

Bir yıl boyunca mevsimsel olarak yürütülen çalışmada su ve sediment analiz sonuçları için Tek Yön ANOVA ve korelasyon testi uygulanmıştır. TAN, SRP ve TP analizlerinin sonuçlarına ulaşmak için konstant sabiti hesaplaması, tez çalışmasında yer alan grafik ve tablolar Microsoft Office Excel programı kullanılarak hazırlanmıştır.

Varyans Analizi (ANOVA) testi, uzun zamandır çok uçlu deneysel gruplar veya daha fazla kontrol grubu üzerinde araştırma yapan araştırmacılar için önemli bir araç olmuştur. Ancak, ANOVA, çeşitli çalışma grupları arasında veya karmaşık çalışma gruplarının kombinasyonları arasında farklılıklar hakkında ayrıntılı bilgi sağlayamamaktadır. Bir ANOVA'daki grup farklarını tam olarak anlamak için, araştırmacılar belirli deney ve kontrol grubu çiftleri arasındaki farkların testlerini yapmalıdır (McHugh, 2011). Bu durum için de Tukey son testi yapılmıştır.

Korelasyon analizi iki veri dizisi arasındaki ilişkinin miktarını ve yönünü belirlemeye yarayan değişkenlere müdahale edilmeden yapılan su kalitesi analizlerinde sıklıkla kullanılan bir testtir (Ustaoğlu ve ark., 2020b). Değişkenler arasındaki ilişki +1 ile -1 arasında değer alır. Katsayının pozitif olması, bir değişken artarken diğerinin de arttığını ifade etmektedir. Katsayının negatif olması ise bir değişken artarken diğerinin azaldığını ifade etmektedir (Büyüköztürk ve ark., 2017). Korelasyon analizinde katsayı 0,30'dan düşük ise ilişkinin zayıf, 0,30-0,70 arasında ise orta düzeyde ilişki ve 0,70'den büyük ise yüksek ilişki olduğunu göstermektedir (Büyüköztürk, 2004; Ustaoğlu, 2021).

Cluster (kümeleme) analizi her kümenin bir sistemdeki açık bir süreci göstermesi için değişkenlerin benzerliklere veya farklılıklara dayalı olarak kümeler halinde gruplandırılmasına izin veren çok değişkenli bir istatistiksel yöntemdir. Cluster analizi nesneleri veya değişkenleri, önceden belirlenmiş bir seçim ölçütüne göre kümedeki her nesne veya değişken diğerlerine benzer olacak şekilde sınıflandırır. Kümeleme analizi ile oluşturulan dendrogram, grupların ve yakınlıklarının bir resmini sunarak kümeleme süreçlerinin görsel bir özetini sağlar (Shrestha ve Kazama, 2007; Mutlu ve Arslan, 2021; Kour ve ark., 2021)

Su kalitesi çalışmalarında fizikokimyasal değişkenler arasındaki benzerlik derecesini belirlemek için Cluster analizi tüm dünyada ve ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu analizle nehirlerdeki su örneklerinin kirlilik kaynağının benzerliklerine göre gruplandırılması sağlanmaktadır (Alam ve ark., 2021; Dimri ve ark., 2021; Garg ve Rout, 2021; Tokatlı, 2021; Varol ve ark., 2021).

3.5. Ağır Metallerin Değerlendirilmesinde Kullanılan İndeksler

Su ve sedimentlerde ağır metal birikimini değerlendirmek için birçok indeks geliştirilmiştir. Sedimentlerde ağır metal birikiminin tespit edilmesinde sudaki inorganik kirliliğin antropojenik kaynaklı olup olmadığını anlamak ekosistemler için son derece önemlidir. Bu girdileri ve etkiyi belirlemek için birçok yöntemler geliştirilmiş ve birçok sınır değerler belirlenmiştir (Balık ve Tunca, 2015). Bu gerçekleştirilen çalışmada su ve sediment kirliliğini değerlendirmek için bazı indeksler aşağıda açıklanmıştır.

3.5.1. Su Kalite İndeksi (WQI)

Su kalite indeksi (WQI), suyun içilebilirliğini değerlendirmede kullanılan bir indekstir. Temel amacı, fazla sayıda olan su kalitesi verisini anlaşılır ve bilgilendirici bir şekilde azaltmaktır. İçme suyu olarak kullanılan suyun kalitesi ve evsel ihtiyaçlar hakkında etkin ve kapsamlı bir bakış açısı sağlar. WQI ilk olarak ABD'de Horton (1965) tarafından geliştirilmiştir ve su kalitesi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Şener ve ark., 2017; Omwene ve ark., 2018; Kükrer ve Mutlu, 2019; Mutlu, 2019; Taş ve ark., 2021). WQI aşağıdaki formülleri verilen dört aşamada hesaplanmıştır. İlk aşamada su kalitesini etkilemedeki göreceli önemlerine göre, çalışılan her parametreye 1 ile 5 arasında ağırlık değeri (AW) atanmıştır ve aşağıdaki formül kullanılarak göreceli ağırlık (RW) hesaplanmıştır.

$$RW = \frac{AW}{\sum_{i=1}^n AW} \quad 3.1$$

İkinci aşamada analiz sonucu ölçülen parametrelerin (C_i) Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) tarafından izin verilen içme suyu değerlerine (S_i) bölünerek 100 ile çarpılmasından elde edilen kalite derecelendirmesi (Q_i) hesaplanmıştır.

$$Q_i = \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \times 100 \quad 3.2$$

WQI hesaplamak için alt indeksler (SI) hesaplanarak toplanmıştır.

$$SI_i = RW \times Q_i \quad 3.3$$

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i \quad 3.4$$

WQI'ye göre su kalitesi beş farklı sınıfta değerlendirilir:

WQI < 50, mükemmel;

50 ≤ WQI < 100, iyi;

100 ≤ WQI < 200, zayıf;

200 ≤ WQI < 300, çok zayıf;

WQI ≥ 300, içilemez (Xiao ve ark., 2019; Ustaoglu ve Aydın, 2020).

3.5.2. Ağır Metal Kirlilik İndeksi (HPI)

Çevresel birçok kirlilik sonucu yüzeysel sularda ağır metaller birikim yapabilir. HPI, her bir ağır metalin toplam su kalitesi üzerindeki birleşik etkisini dikkate alan bir değerlendirme yaklaşımı olduğundan, çoğu bilim insanı tarafından genel su kalitesini kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için kullanılmıştır. Ağır metal kirlilik indeksi (HPI), genel etkilerin tahmin edilmesinde tüm metallerin derişimlerini içerdüğinden önemli bir araçtır (Mohan ve ark., 1996; Heterojeet ve ark., 2015; Qu ve ark., 2018; Saleh ve ark., 2019; Yüksel ve ark., 2021). HPI aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad 3.5$$

$$Q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad 3.6$$

Formül 3.5 ve 3.6'da yer alan Q_i , her bir metalin alt indeksini, C_i metallerin tespit edilen ağır metal değerlerini, S_i , WHO (2011) tarafından izin verilen standart değeri ve W_i metallerin birim ağırlığını ifade etmektedir (Ustaoğlu, 2020).

100'den düşük bir HPI indeksi, bunun düşük seviyeli bir ağır metal olduğunu ve sağlığa olumsuz etkileri olmadığını göstermektedir. HPI değeri 100'e eşit olduğunda, eşik risk ve olumsuz sağlık etkilerinin mümkün olduğunu göstermektedir. HPI 100'den fazla ise, su içmek için kullanılamaz ve tüketime uygun olmadığını belirtmektedir (Saleh ve ark., 2019; Ustaoğlu, 2020; Yüksel ve ark., 2021).

3.5.3. Ağır Metal Değerlendirme İndeksi (HEI)

Ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) sudaki ağır metal kirliliğine bağlı olarak su kalitesinin incelenmesini sağlamaktadır. Böylece sudaki kirlilik derecesini yorumlamak için basitçe kullanılabilir (Edet ve Offiong, 2002). Bu çalışmada, HEI aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$HEI = \sum_{i=1}^n \frac{H_C}{H_{MAC}} \quad 3.7$$

Bu formülde H_C , her bir ağır metal için tespit edilen değeri ifade eder; H_{MAC} her ağır metal için WHO (2011)'de belirtilen kabul edilebilir maksimum değerleri ifade etmektedir. Yüksek metal seviyeleri su kalitesinin daha da kötü olmasına neden olmaktadır (Goher ve ark., 2014). Genel bir kural olarak, tek tek metal seviyesi MAC değerini ($HEI > 10$) aştığında, suyun tüketilmesi tavsiye edilmemektedir. HEI üç sınıflandırma ile değerlendirilmektedir. $20 < HEI$ yüksek kirlilik, $10 < HEI < 20$, orta düzeyde kirlilik ve $HEI < 10$, düşük düzeyde kirlilik anlamına gelmektedir (Saleh ve ark., 2018; Ustaoglu, 2020; Yüksel ve ark., 2021).

3.5.4. Kontaminasyon Faktörü (CF)

Hakanson (1980) tarafından geliştirilen bu yöntem sedimentte bulunan ağır metallerin değerlendirildiği çalışmalarda en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Çalışmada ölçülen ilgili ağır metalin referans değerine oranlanmasıyla bulunmaktadır. Kontaminasyon Faktörü (CF) indeksini hesaplamak için aşağıdaki formül 3.8 kullanılmaktadır.

$$CF = C_i / C_n^i \quad 3.8$$

C_i , çalışma sırasında sedimentte ölçülen metal değerini, C_n^i metale ait endüstri dönemi öncesi referans değerini ifade etmektedir. Endüstri öncesi referans değerler Turekian ve Wedepohl (1961)'de belirtilen sınır değerlerdir. CF değerlendirmesi;

$CF < 1$ düşük kontaminasyon,

$1 \leq CF \leq 3$ orta düzeyli kontaminasyon,

$3 \leq CF \leq 6$ yüksek kontaminasyon,

$CF > 6$ çok yüksek kontaminasyon olarak yapılmaktadır (Turekein ve Wedepohl, 1961; Hakanson, 1980; Ustaoglu, 2020; Ustaoglu ve Islam, 2020).

3.5.5. Zenginleştirme faktörü (EF)

EF, sedimentte ağır metal kirliliğini belirlemede kullanılan bir diğer yöntemdir. Sutherland (2000) tarafından geliştirilmiştir. Zenginleşme faktörü metallerin muhtemel kaynaklarını belirlemek, insan kaynaklı kirliliğin etkisini ve derecesini

tespit etmek için sıklıkla başvuru alan bir indekstir. Aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$EF = \frac{C_n / C_{ref}}{B_n / B_{ref}} \quad 3.9$$

Formül 3.9'daki C_n çalışmadaki metal değerini, C_{ref} çalışılan metalin referans ortamdaki değerini, B_n referans elementin çalışmada ölçülen değerini ve B_{ref} referans elementin referans ortamdaki değerini göstermektedir. Hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi beş kategoride yapılmaktadır.

$EF < 2$ zenginleşme yok,

$2 \leq EF < 5$ orta düzeyli zenginleşme,

$5 \leq EF < 20$ belirgin zenginleşme,

$20 \leq EF < 40$ çok yüksek zenginleşme,

$EF \geq 40$ aşırı derecede yüksek zenginleşme olarak ifade edilmektedir.

EF indeksinde, sedimentteki ağır metal içeriği demir veya alüminyum gibi bir referans elemente göre normalize edilmektedir (Sutherland, 2000; Ustaoglu ve ark., 2020a; Ustaoglu ve Islam, 2020). Çalışmada bu formül için demir elementi referans olarak kullanılmıştır.

3.5.6. Jeoakümülayon İndeksi (I_{geo})

I_{geo} , Müller (1969) tarafından oluşturulmuş bir yöntemdir. Sedimentlerin içermiş olduğu zararlı elementlerin insan kaynaklı olup olmadığını tespit etmek için kullanılan yöntem aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1,5 \cdot B_n} \quad 3.10$$

Formül 3.10'daki C_n çalışmada ölçülen metal miktarını, B_n ölçülen metalin referans değerini, 1,5 doğal dalgalanma katsayısını göstermektedir. Her metal için hesaplanan

değerin 2 tabanında logaritması alınarak hesaplama tamamlanmaktadır. I_{geo} yedi kategoride değerlendirilmektedir. Bu kategoriler;

$I_{geo} < 0$ neredeyse hiç kirlenmemiş,

$0 < I_{geo} < 1$ kirlenmemiş –orta derece kirlilik,

$1 < I_{geo} < 2$ orta derecede kirlilik,

$2 < I_{geo} < 3$ orta- güçlü kirlilik,

$3 < I_{geo} < 4$ güçlü kirlilik,

$4 < I_{geo} < 5$ güçlü-aşırı kirlilik ve

$I_{geo} \geq 5$ aşırı kirlilik olarak yorumlanmaktadır (Müller, 1969; Ustaoglu ve Islam, 2020; Ustaoglu ve ark., 2020a).

3.5.7. Potansiyel Ekolojik Risk Faktörü (Eri)

Potansiyel ekolojik risk faktörü (E_r^i) Hakanson (1980) tarafından ilk olarak kullanılan ve kirliliğin mevcut canlılara etkisini gösteren bir faktördür. Aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$E_r^i = T_r^i \times \left(\frac{C_n}{C_{ref}} \right) \quad 3.11$$

Formül 3.11'deki T_r^i toksik response faktörünü, C_n çalışmadaki metal değerini, C_{ref} çalışılan metalin referans değerini göstermektedir. Toksik response faktörü Hakanson tarafından belirlenen metaller için var olan değerlerdir. Dolayısıyla ekolojik risk faktörü sadece bu metaller için hesaplanabilir. Bunlar Tablo 3.3.'te belirtilmiştir.

Tablo 3.3. Toksik response faktörü (Hakanson, 1980)

Hg	Cd	As	Pb	Cu	Ni	Zn	Cr
40	30	10	5	5	5	1	2

Potansiyel risk faktörü;

$E_r^i < 40$ düşük ekolojik risk,

$40 \leq E_r^i < 80$ orta ekolojik risk,

$80 \leq E_r^i < 160$ önemli ekolojik risk,
 $160 \leq E_r^i < 320$ yüksek ekolojik risk,
 $320 \geq E_r^i$ çok yüksek ekolojik risk olarak beş sınıfta değerlendirilmektedir
(Hakonson, 1980; Balık ve Tunca, 2015; Ustaoglu ve Islam, 2020).

3.5.8. Kirlilik Yük İndeksi (PLI)

Tomlinson ve arkadaşları (1980) tarafından ortaya konan kirlilik yük indeksi de (PLI) son yapılan çalışmalarda hesaplanmaktadır. Sedimentin ağır metallere bağlı kalitesini belirlemek amacıyla kullanılan ve tüm ağır metallerin etkisini birlikte değerlendiren bir indekstir. Aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^{\frac{1}{n}} \quad 3.12$$

Formül 3.12'deki CF kontaminasyon faktörünü, n ise kullanılan element sayısını ifade etmektedir (Tomlinson ve ark., 1980; Fural ve Kükrer, 2021). PLI için ideal değer in sıfır olduğu ve bunun ortamda kirlilik bulunmadığının göstergesi olduğunu, değerin 1'i aşmasının ise ilerleyen kirliliğe işaret ettiğı belirtilmiştir (Suresh ve ark., 2011).

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışma 2020 yılının sonbahar mevsiminde başlamış ve 2021 yılının yaz mevsiminde sonlandırılmıştır. İncelenen akarsuların su ve sediment örneklerinde mevsimsel olarak yapılan fizikokimyasal parametreler, ağır metal miktarları ve mikroplastik içerikleri tespit edilmiş ve elde edilen bulgular aşağıda açıklanmıştır.

4.1. Suyun Fiziko-Kimyasal Özellikleri

Yeşilırmak Nehri, Terme Çayı, Cevizdere Deresi, Melet Irmağı, Aksu Çayı ve Harşit Çayı'ndan denize dökülme noktalarından mevsimsel olarak alınan su örneklerinin fiziko-kimyasal sonuçları Tablo 4.1.'de verilmiştir. Her parametrenin bulguları, ortalama ve standart sapma, en düşük ve en yüksek değer şeklinde belirtilmiştir. Ayrıca yapılan ANOVA ve Tukey testi sonucu istasyonlar arasındaki farklılıklar üssel şeklinde gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Tüm istasyonların su örneklerinin fiziko-kimyasal parametreleri analiz sonuçları

Parametreler	İstasyonlar	Ort±ss	Min.	Max.
Sıcaklık (°C)	Yeşilırmak Nehri	14,2±5,64	8,70	22,10
	Terme Çayı	16,1±7,01	8,70	24,10
	Cevizdere Deresi	16,67±7,56	7,60	25,40
	Melet Irmağı	13,82±5,03	7,40	18,70
	Aksu Deresi	15,07±6,41	7,50	20,50
	Harşit Çayı	14,65±5,05	8,30	19,80
pH	Yeşilırmak Nehri	8,66±0,24	8,35	8,94
	Terme Çayı	8,61±0,74	7,85	9,50
	Cevizdere Deresi	9,05±0,72	8,10	9,85
	Melet Irmağı	9,29±1,00	8,04	10,30
	Aksu Deresi	9,13±1,07	8,39	10,72
	Harşit Çayı	8,78±0,65	8,33	9,75

Tablo 4.1. (Devamı).

ÇO (mg/L)	Yeşilırmak Nehri	7,98±1,99 ^a	5,01	9,27
	Terme Çayı	10,16±1,06 ^{ab}	8,59	10,92
	Cevizdere Deresi	10,22±1,09 ^{ab}	9,41	11,80
	Melet Irmağı	9,86±0,97 ^{ab}	9,02	10,91
	Aksu Deresi	10,91±1,10 ^b	9,88	12,29
	Harşit Çayı	9,32±0,85 ^{ab}	8,25	10,18
EC (µS/cm)	Yeşilırmak Nehri	329,32±135	165,70	484,60
	Terme Çayı	286,47±245	67,80	633,00
	Cevizdere Deresi	212,47±77	110,70	297,80
	Melet Irmağı	228,52±127	141,30	418,50
	Aksu Deresi	283,77±47	216,50	323,50
	Harşit Çayı	179,27±17	157,80	201,40
Tuzluluk (ppt)	Yeşilırmak Nehri	0,2±0,08	0,10	0,30
	Terme Çayı	0,27±0,20	0,10	0,50
	Cevizdere Deresi	0,15±0,05	0,10	0,20
	Melet Irmağı	0,12±0,05	0,10	0,20
	Aksu Deresi	0,2±0,0	0,20	0,20
	Harşit Çayı	0,10±0,0	0,10	0,10
ORP (mV)	Yeşilırmak Nehri	-98,00±12,67	-109,00	-80,00
	Terme Çayı	-87,50±40,66	-143,00	-50,00
	Cevizdere Deresi	-118,00±40,84	-163,00	-65,00
	Melet Irmağı	-192,50±164,25	-430,00	-59,00
	Aksu Deresi	-121,75±59,11	-208,00	-80,00
	Harşit Çayı	-101,25±35,53	-153,00	-72,00
TDS (mg/L)	Yeşilırmak Nehri	286,8±109	132,10	377,90
	Terme Çayı	336,95±186	165,20	546,00
	Cevizdere Deresi	194,375±65	108,30	263,80
	Melet Irmağı	183,9±83	137,80	308,40
	Aksu Deresi	229,925±36	205,90	283,30
	Harşit Çayı	147,12±21	120,90	172,40
Toplam Alkalinite (mg/L)	Yeşilırmak Nehri	164,25±68	67,00	220,00
	Terme Çayı	100,75±23	80,00	130,00
	Cevizdere Deresi	119,25±27	94,00	150,00
	Melet Irmağı	95±30	70,00	140,00
	Aksu Deresi	134±25	110,00	160,00
	Harşit Çayı	88,5±4,72	82,00	92,00

Tablo 4.1. (Devamı).

Toplam Sertlik (mg/L)	Yeşilırmak Nehri	211±73	104,00	270,00
	Terme Çayı	149,5±32	105,00	182,00
	Cevizdere Deresi	147±16	125,00	163,00
	Melet Irmağı	134,75±44	106,00	200,00
	Aksu Deresi	186,25±34	160,00	236,00
	Harşit Çayı	122±13	104,00	134,00
TP (mg/L)	Yeşilırmak Nehri	0,48±0,35	0,18	0,97
	Terme Çayı	0,12±0,09	0,02	0,25
	Cevizdere Deresi	0,11±0,07	0,04	0,18
	Melet Irmağı	0,10±0,09	0,01	0,23
	Aksu Deresi	0,20±0,12	0,07	0,34
	Harşit Çayı	0,21±0,11	0,08	0,35
SRP (mg/L)	Yeşilırmak Nehri	0,14±0,11	0,05	0,31
	Terme Çayı	0,05±0,02	0,01	0,07
	Cevizdere Deresi	0,03±0,01	0,02	0,04
	Melet Irmağı	0,04±0,02	0,02	0,06
	Aksu Deresi	0,06±0,07	0,02	0,17
	Harşit Çayı	0,10±0,06	0,02	0,17
TAN (mg/L)	Yeşilırmak Nehri	0,76±0,47 ^a	0,28	1,41
	Terme Çayı	0,31±0,22 ^{ab}	0,11	0,63
	Cevizdere Deresi	0,19±0,19 ^{bc}	0,08	0,48
	Melet Irmağı	0,18±0,14 ^{bc}	0,07	0,40
	Aksu Deresi	0,17±0,02 ^{bc}	0,15	0,20
	Harşit Çayı	0,45±0,05 ^{ac}	0,41	0,52
AKM (mg/L)	Yeşilırmak Nehri	56,62±51	21,00	132,00
	Terme Çayı	93,08±111	12,30	258,00
	Cevizdere Deresi	83±84	25,20	207,00
	Melet Irmağı	62,22±70	21,00	168,00
	Aksu Deresi	33,58±19	20,30	63,00
	Harşit Çayı	103,33±78	27,30	201,00
BOİ ₅ (mg/L)	Yeşilırmak Nehri	3,84±1,48 ^{ab}	1,63	4,77
	Terme Çayı	3,07±1,30 ^{ab}	1,39	4,23
	Cevizdere Deresi	1,98±0,95 ^{ab}	1,16	3,17
	Melet Irmağı	1,65±0,41 ^a	1,07	2,01
	Aksu Deresi	2,69±0,99 ^{ab}	1,26	3,53
	Harşit Çayı	4,03±0,64 ^b	3,07	4,49

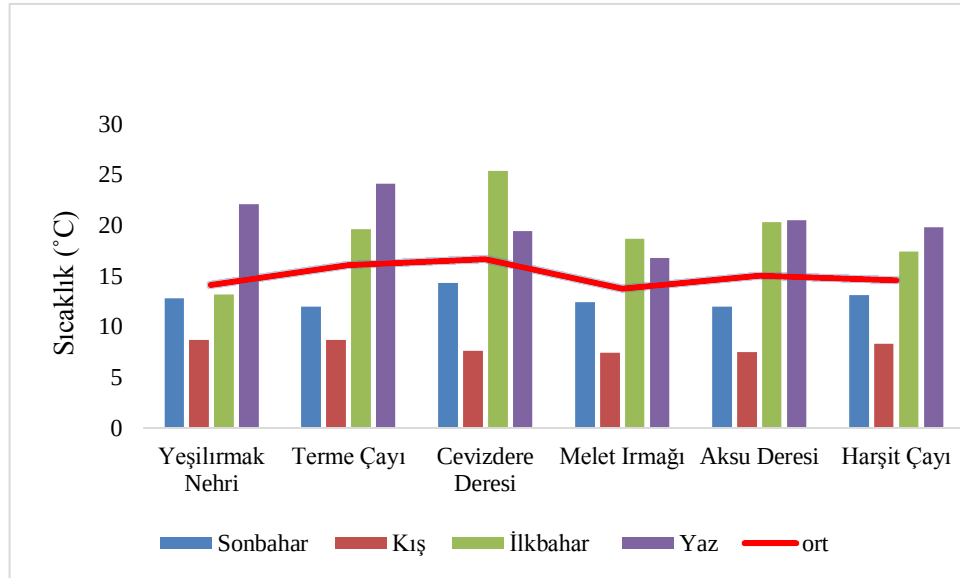
Tablo 4.1. (Devamı).

Bulanıklık (NTU)	Yeşilırmak Nehri	21,02±3,85 ^a	17,62	26,20
	Terme Çayı	8,19±1,34 ^c	6,41	9,66
	Cevizdere Deresi	11,25±0,50 ^{ac}	10,50	11,56
	Melet Irmağı	13,99±4,98 ^{ac}	7,57	19,36
	Aksu Deresi	67,68±9,80 ^b	54,30	77,80
	Harşit Çayı	19,50±3,67 ^a	14,91	22,80

Not: Sütunda yer alan harfler istatistiksel farklılıkları belirtir.
ss: standart sapma

4.1.1. Sıcaklık

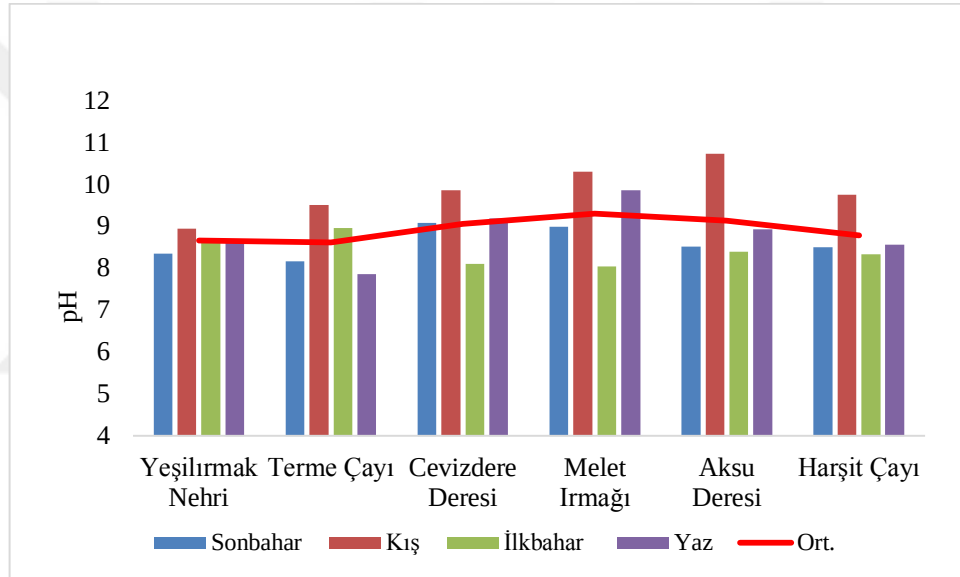
Bir yıl dört mevsim boyunca su sıcaklığı ölçümü yapılmıştır. En düşük sıcaklık kış mevsiminde 7,4°C ile Melet Irmağı'nda, en yüksek ilkbahar mevsiminde 25,4 °C ile Cevizdere Deresi'nde ölçülmüştür. Ortalama su sıcaklığı ise en düşük Melet Irmağı'nda 13,82 °C, en yüksek 16,67°C ile Cevizdere Deresi'nde hesaplanmıştır. Tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiki hesaplamalarda istasyonlar arasında anlamlı düzeyde bir fark tespit edilmemiştir ($p>0,05$). Su sıcaklığının mevsimsel değişimi Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Sıcaklık değerlerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi

4.1.2. pH

Tüm istasyonlarda mevsimsel olarak ölçülen pH değerleri en düşük 7,85 ile yaz mevsiminde Terme Çayı'nda en yüksek 10,72 ile Aksu Deresi'nde ölçülmüştür. Ortalama bakımından ise en düşük 8,61 Terme Çayı, en yüksek ise 9,29 ile Melet Irmağı'nda kaydedilmiştir. ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiki hesaplamalarda pH bakımından istasyonlar arasında anlamlı düzeyde bir fark tespit edilmemiştir ($p>0,05$). Tüm istasyonların mevsimsel pH değişimleri Şekil 4.2.'de verilmiştir.

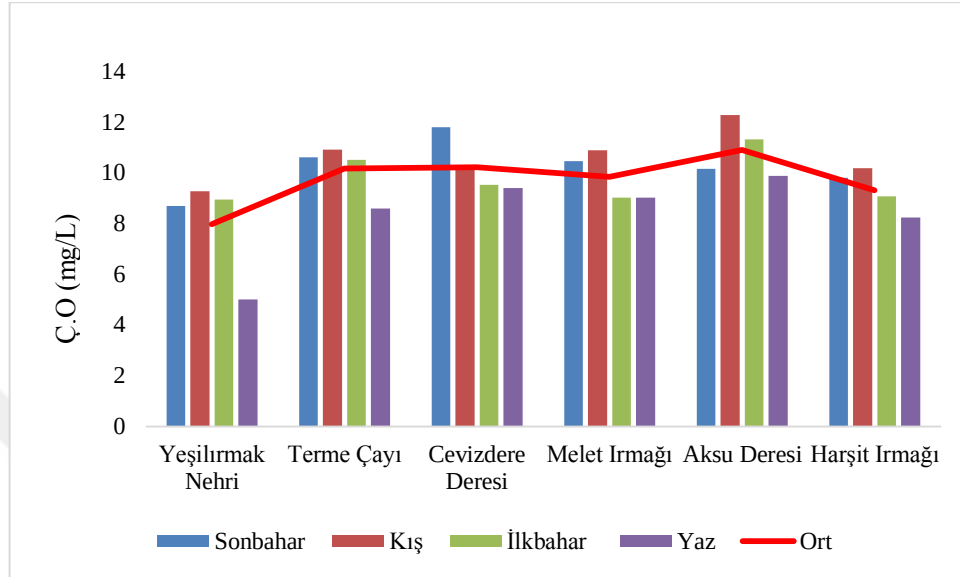


Şekil 4.2. pH değerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi

4.1.3. Çözülmüş Oksijen (ÇO)

Mevsimsel olarak çözülmüş oksijen değerleri en düşük 5,01 mg/L ile yaz mevsiminde Yeşilırmak Nehri'nde, en yüksek 12,29 mg/L ile kış mevsiminde Aksu Deresi'nde ölçülmüştür. Her ırmağın ortalamasına baktığımızda yine en düşük Yeşilırmak Nehri'nde 7,98 mg/L, en yüksek 10,91 mg/L ile Aksu Deresi'nde hesaplanmıştır. ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiksel hesaplamalarda Aksu Deresi ile Yeşilırmak Nehri arasında anlamlı düzeyde bir fark

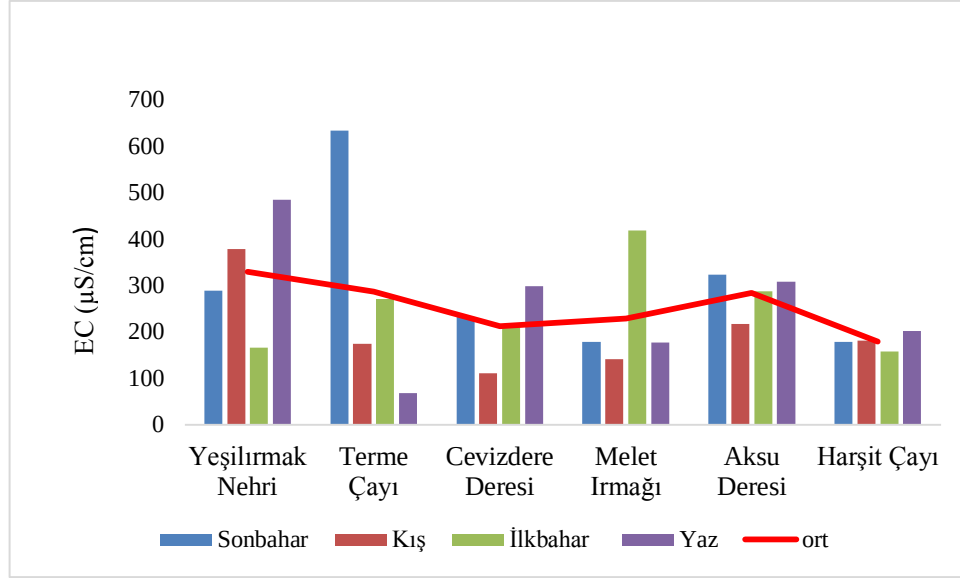
tespit edilmiştir ($p<0,05$). Çözünmüş oksijen miktarının değişimi Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. ÇO miktarının mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi

4.1.4. Elektriksel İletkenlik (EC)

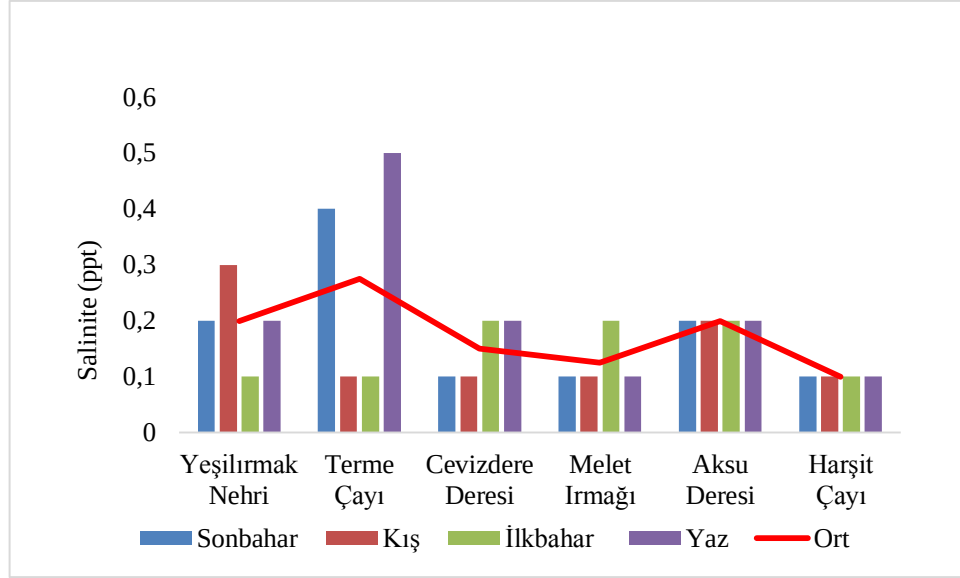
Elektriksel iletkenlik en düşük yaz mevsiminde Terme Çayı'nda $67,8 \mu\text{S/cm}$, en yüksek sonbahar mevsiminde Terme Çayı'nda $633 \mu\text{S/cm}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama en düşük $179,27 \mu\text{S/cm}$ ile Harşit Çayı, en yüksek $329,32 \mu\text{S/cm}$ ile Yeşilırmak Nehri'nde ölçülmüştür. Elektriksel iletkenlik değerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi Şekil 4.4.'te verilmiştir. ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiksel hesaplamalarda istasyonlar arasında anlamlı düzeyde bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$).



Şekil 4.4. EC değerlerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi

4.1.5. Tuzluluk (Salinite)

Tuzluluk parametresi en yüksek 0,5 ppt ile Terme Çayı'nda yaz mevsiminde, en düşük 0,1 ppt ile birçok dereye tespit edilmiştir. Ortalama tuzluluk 0,1 ppt ile Harşit Çayı'nda en düşük, 0,27 ppt ile Terme Çayı'nda en yüksek olarak hesaplanmıştır. Tuzluluk parametresinin istasyonlara ve mevsimlere göre değişimi Şekil 4.5.'te verilmiştir. ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiksel hesaplamalarda tuzluluk parametresi açısından istasyonlar arasında anlamlı düzeyde bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$).

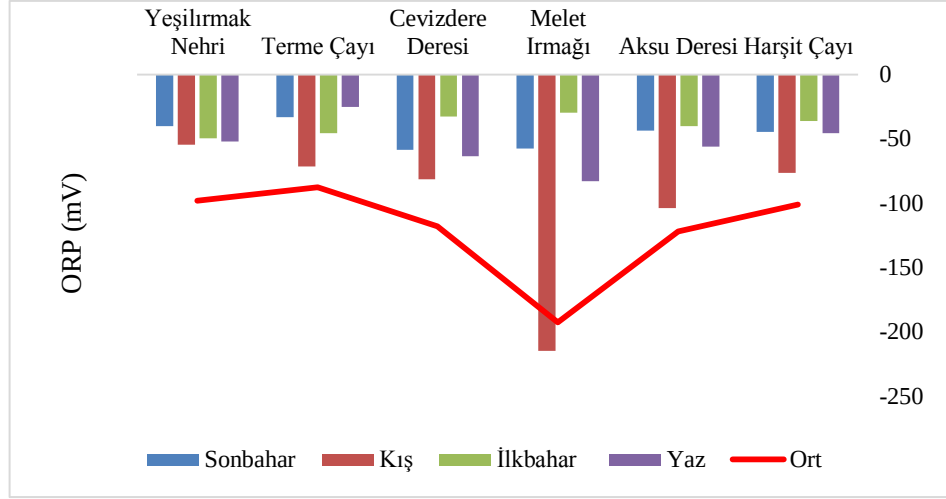


Şekil 4.5. Tuzluluk değerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi

4.1.6. Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli (ORP)

ORP, en düşük -430 mV ile kış mevsiminde Melet Irmağı'nda, en yüksek yaz mevsiminde -50mV ile Terme Çayı'nda ölçülmüştür. ORP yıllık ortalamaları incelendiğinde, en yüksek olarak 87,5 mV ile Terme Çayı'nda tespit edilirken, en düşük olarak ise 192,5 mV ile yine Melet Irmağında görülmüştür.

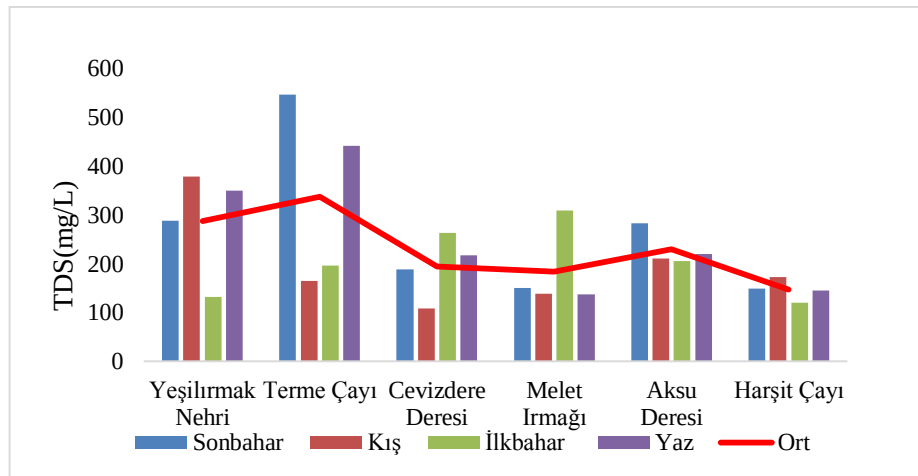
Tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiksel hesaplamalarda ORP parametresi açısından istasyonlar arasında anlamlı düzeyde bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$). ORP değerlerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi Şekil 4.6.'da verilmiştir.



Şekil 4.6. ORP değerlerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi

4.1.7. Toplam Çözünmüş Madde (TDS)

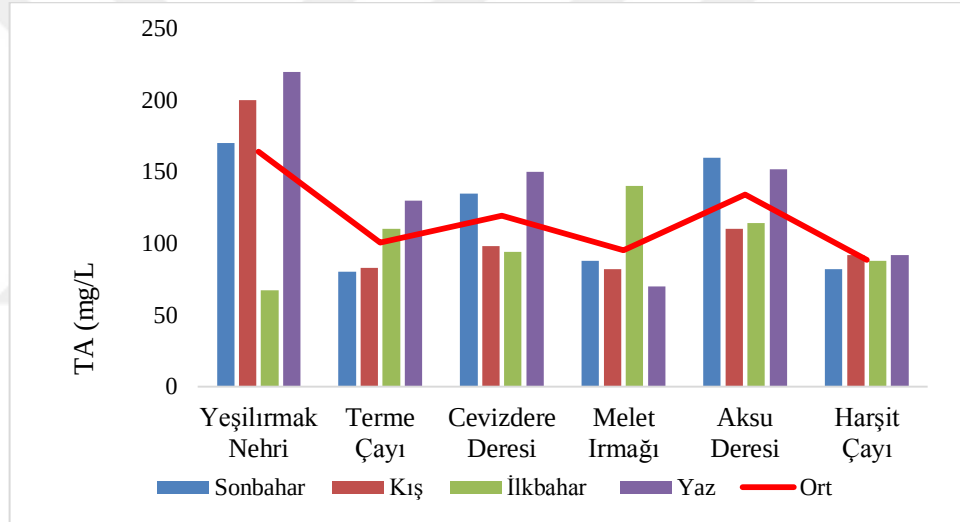
TDS en düşük 108,3 mg/L kış mevsiminde Cevizdere Deresi'nde, en yüksek 546 mg/L ile sonbahar mevsiminde Terme Çayı'nda kaydedilmiştir. Ortalama TDS en düşük 147,12 mg/L (Harşit Çayı), en yüksek 336,95 mg/L (Terme Çayı)'dir. TDS değerlerinin mevsim ve istasyonlara göre değişimi Şekil 4.7.'de verilmiştir. ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiksel hesaplamalarda TDS parametresi açısından istasyonlar arasında anlamlı düzeyde bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$).



Şekil 4.7. TDS değerlerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi

4.1.8. Toplam Alkalinite (TA)

Toplam alkalinite titrasyon yöntemiyle analiz edilmiştir. En düşük TA 67 mg/L CaCO_3 olarak ilkbahar mevsiminde Yeşilırmak Nehri'nde, en yüksek olarak yine aynı istasyonda yaz mevsiminde 220 mg/L CaCO_3 olarak kaydedilmiştir. Ortalama TA en düşük Harşit Çayı'nda (88,5 mg/L CaCO_3) en yüksek Yeşilırmak Nehri'ndedir (164,25 mg/L CaCO_3). ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiksel hesaplamalarda TA parametresi açısından istasyonlar arasında anlamlı düzeyde bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$). TA parametresinin mevsimlere ve istasyonlara göre ölçülen değerleri Şekil 4.8.'de verilmiştir.

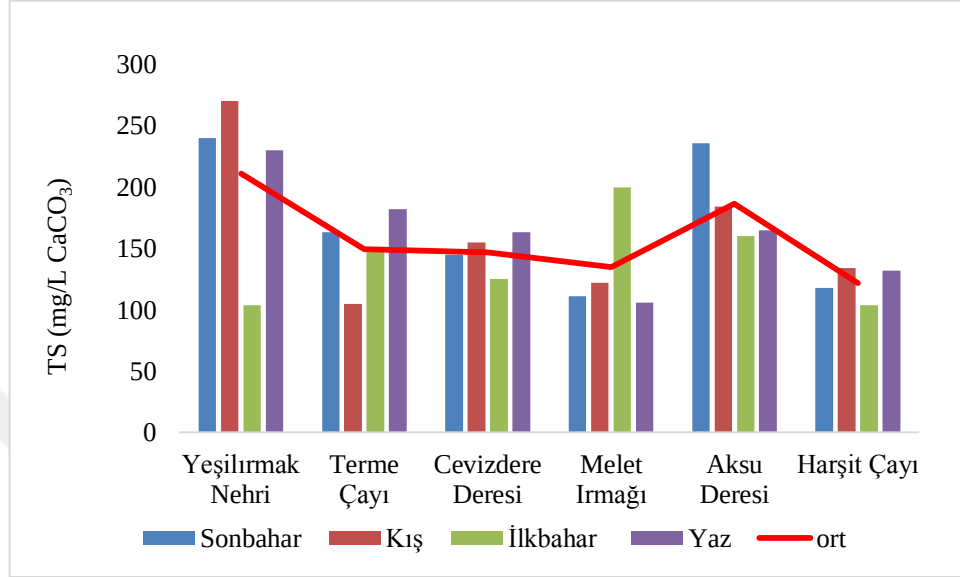


Şekil 4.8. TA değerlerinin mevsimsel ve istasyonlara göre değişimi

4.1.9. Toplam Sertlik (TS)

Toplam sertlik de titrasyon yöntemi ile analiz edilmiştir. En düşük ilkbahar mevsiminde 104 mg/L CaCO_3 , en yüksek kış mevsiminde 270 mg/L CaCO_3 olarak Yeşilırmak Nehri'nde ölçülmüştür. Ortalama toplam sertlik ise en düşük 122 mg/L CaCO_3 ile Harşit Çayı, en yüksek 211 mg/L CaCO_3 ile Yeşilırmak Nehri'nde hesaplanmıştır. TS değerlerinin mevsimlere ve derelere göre değişimi Şekil 4.9.'da verilmiştir. ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiksel

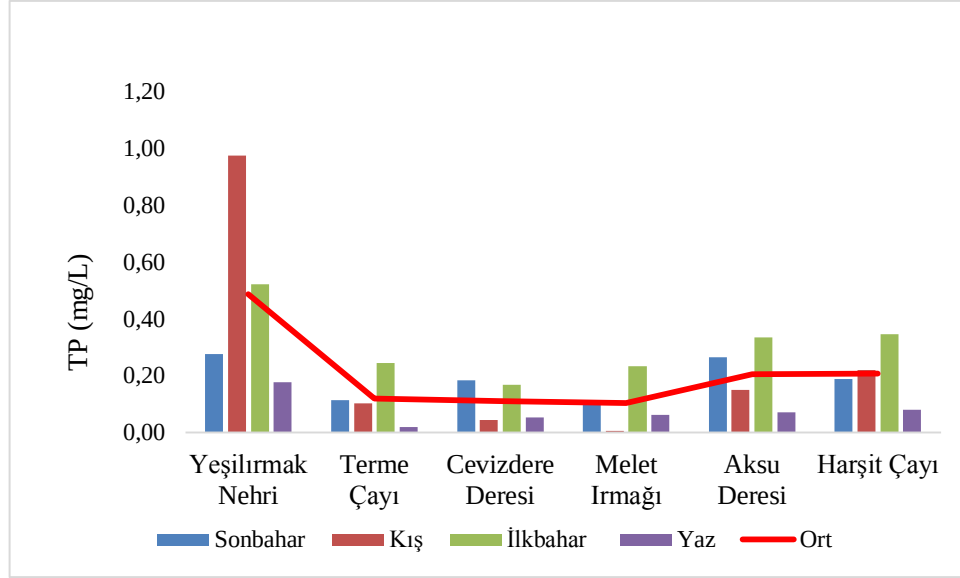
analizlerde TS parametresi açısından istasyonlar arasında anlamlı düzeyde bir farklılık yoktur ($p>0,05$).



Şekil 4.9. TS değerlerinin mevsimlere ve derelere göre değişimi

4.1.10. Toplam Fosfor (TP)

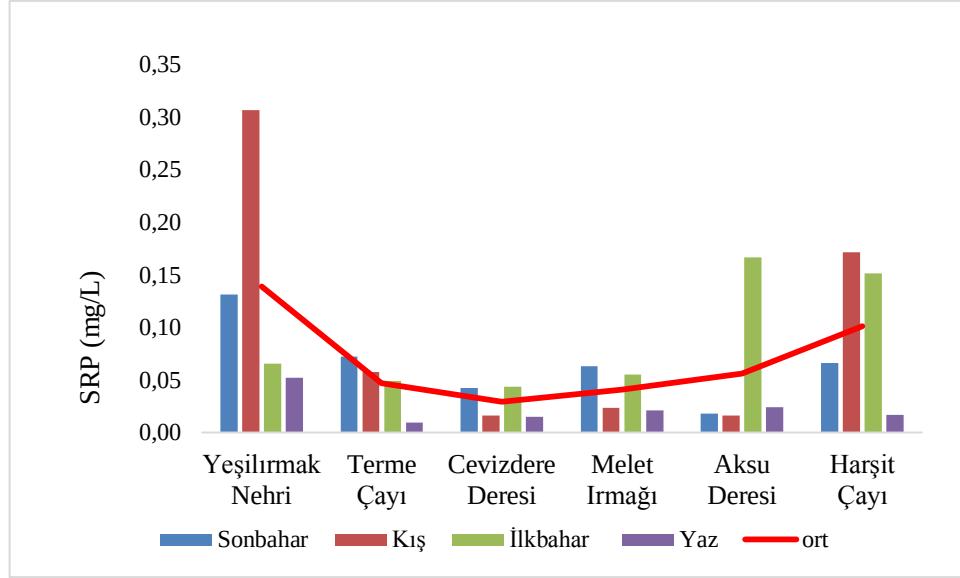
Mevsimsel TP analizinde en düşük değer 0,01 mg/L Melet Irmağı'nda, en yüksek 0,97 mg/L ile kış mevsiminde Yeşilırmak Nehri'nde ölçülmüştür. Ortalama TP değerleri ise 0,1 mg/L (Melet Irmağı) ile 0,48 mg/L (Yeşilırmak Nehri) aralığında hesaplanmıştır. ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiksel hesaplamalarda TP parametresi açısından istasyonlar arasında anlamlı düzeyde bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$). Toplam fosforun mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi Şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.10. TP değerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi

4.1.11. Çözünebilir Reaktif Fosfor (SRP)

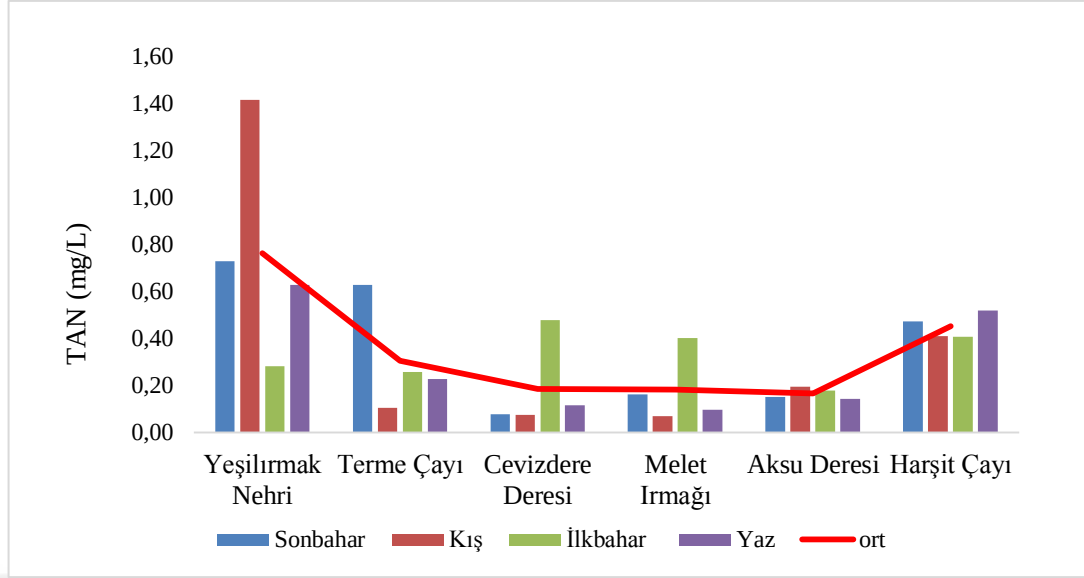
Çözünebilir reaktif fosfor (SRP) en düşük yaz mevsiminde Terme Çayı'nda (0,01 mg/L), en yüksek kış mevsiminde Yeşilırmak Nehri'nde (0,31 mg/L) olarak ölçülmüştür. Ortalama SRP değerleri, en düşük 0,03 mg/L ile Cevizdere Deresi, en yüksek 0,14 mg/L ile Yeşilırmak Nehri'nde hesaplanmıştır. ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiksel hesaplamalarda SRP parametresi açısından istasyonlar arasında anlamlı düzeyde bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$). SRP'nin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi Şekil 4.11.'de verilmiştir.



Şekil 4.11. SRP değerinin mevsimsel ve istasyonlara göre değişimi

4.1.12. Toplam Amonyak Nitrojeni (TAN)

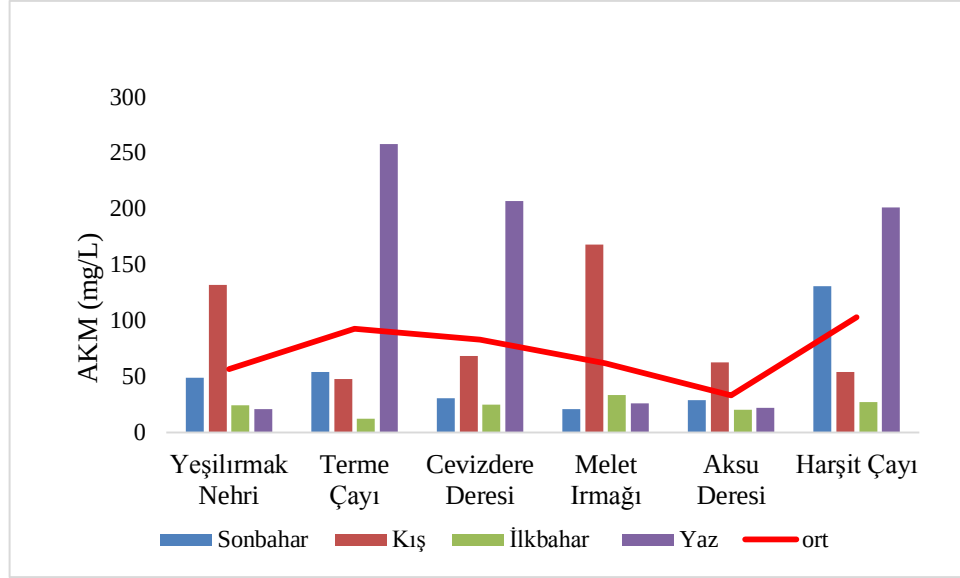
TAN en düşük yaz mevsiminde Melet Irmağı'nda (0,07 mg/L), en yüksek kış mevsiminde Yeşilırmak Nehri'nde (1,41 mg/L) olarak ölçülmüştür. Ortalama TAN değerleri ise 0,17 mg/L ile 0,76 mg/L aralığında hesaplanmıştır. ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiki hesaplamalarda Yeşilırmak Nehri ile Terme Çayı, Cevizdere Deresi ve Melet Irmağı arasında anlamlı düzeyde bir fark tespit edilmiştir ($p < 0,05$). TAN'ın mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi Şekil 4.12.' de verilmiştir.



Şekil 4.12. TAN değerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi

4.1.13. Askıda Katı Madde (AKM)

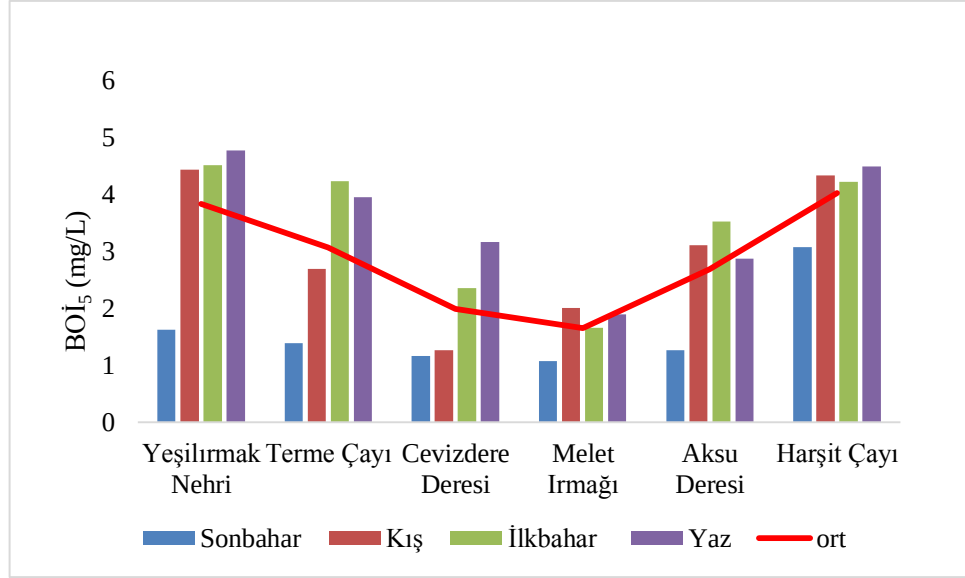
Askıda katı madde (AKM) en düşük ilkbahar mevsiminde Terme Çayı'nda (12,3 mg/L) en yüksek yaz mevsiminde (258 mg/L) yine Terme Çayı'nda ölçülmüştür. Ortalama AKM değerleri ise en düşük 33,58 mg/L Aksu Deresi'nde, en yüksek 103,33 mg/L ile Harşit Çayı'nda kaydedilmiştir. ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiksel hesaplamalarda AKM parametresi açısından istasyonlar arasında anlamlı düzeyde bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$). AKM'nin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi Şekil 4.13.'te verilmiştir.



Şekil 4.13. AKM değerlerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi

4.1.14. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ₅)

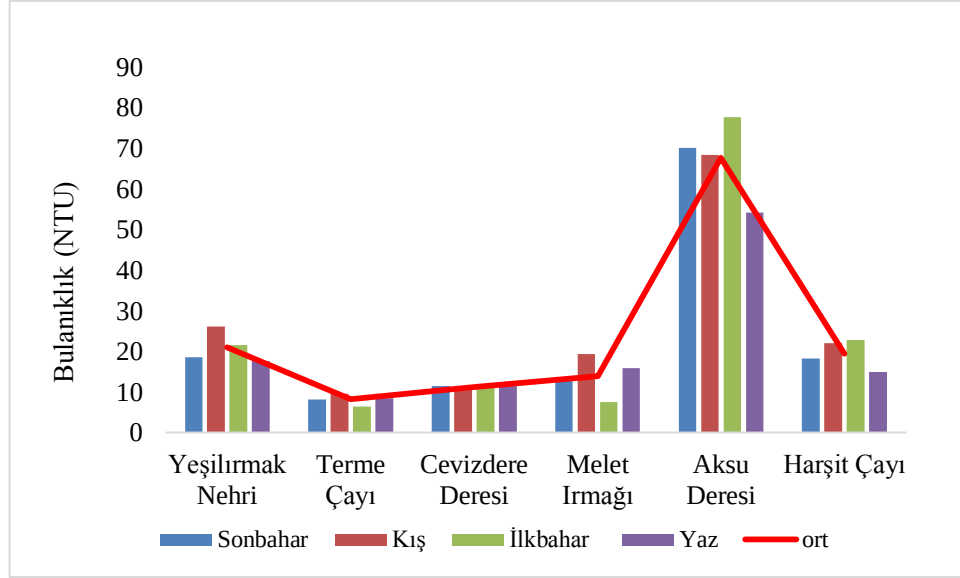
BOİ₅ ölçümü en düşük sonbahar mevsiminde 1,07 mg/L Melet Irmağı'nda, en yüksek yaz mevsiminde 4,77 mg/L olarak Yeşilırmak Nehri'nde ölçülmüştür. Ortalama BOİ₅ değeri (Melet Irmağı)'nda 1,65 mg/L (Harşit Çayı) 4,03 mg/L aralığında hesaplanmıştır. ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiksel hesaplamalarda Harşit Çayı ve Melet Irmağı arasında anlamlı düzeyde bir fark tespit edilmiştir ($p < 0,05$). BOİ₅'in mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi Şekil 4.14.'te verilmiştir.



Şekil 4.14. BOI₅ değerlerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi

4.1.15. Bulanıklık (Türbidite)

Bulanıklık ölçümleri en düşük 6,41 NTU ile ilkbahar mevsiminde Terme Çayı'nda, en yüksek 77,8 NTU ile ilkbahar mevsiminde Aksu Deresi'nde ölçülmüştür. Ortalama bulanıklık değerleri en düşük 8,19 NTU Terme Çayı'nda, en yüksek 67,68 NTU ile Aksu Deresi'nde hesaplanmıştır. Bulanıklık parametresinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi Şekil 4.15.'te verilmiştir. ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiksel hesaplamalarda Yeşilırmak Nehri ile Terme Çayı, Aksu Deresi ve Harşit Çayı arasında anlamlı düzeyde bir fark tespit edilmiştir ($p < 0,05$).



Şekil 4.15. Bulanıklık değerlerinin mevsimlere ve istasyonlara göre değişimi

4.2. Su Örneklerinde Ağır Metal Konsantrasyonları

Çalışma boyunca mevsimsel olarak alınan su örneklerinde ağır metal analiz sonuçları Tablo 4.2’de ve Şekil 4.16.’da verilmiştir.

Tablo 4.2. Farklı lokasyonların su örneklerinde ağır metal analizleri sonuçları

Ağır Metaller	İstasyonlar	Ortalama±ss	Min.	Max.
Al (µg/L)	Yeşilırmak Nehri	449,72±262	182,47	809,13
	Terme Çayı	598,24±437	156,96	1193,98
	Cevizdere Deresi	494,85±352	81,11	941,60
	Melet Irmağı	685,33±266	369,61	923,34
	Aksu Deresi	749,6±507	107,11	1236,51
	Harşit Çayı	474,78±200	204,19	654,46
Cr (µg/L)	Yeşilırmak Nehri	3,42±2,14	1,74	6,29
	Terme Çayı	0,82±0,08	0,73	0,93
	Cevizdere Deresi	1,82±1,89	0,67	4,66
	Melet Irmağı	1,19±0,82	0,50	2,38
	Aksu Deresi	4,11±2,93	1,55	8,17
	Harşit Çayı	1,24±0,29	1,00	1,62

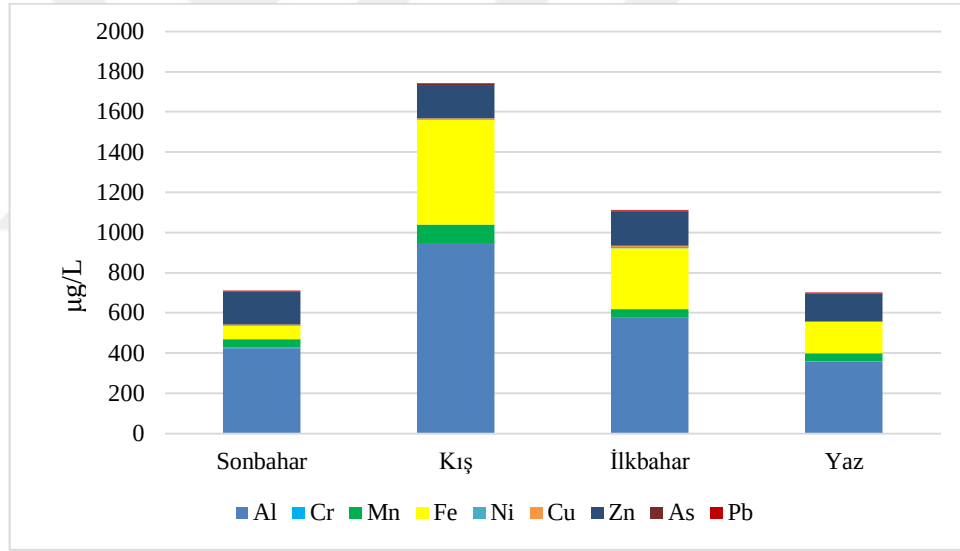
Tablo 4.2. (Devamı).

Mn (µg/L)	Yeşilırmak Nehri	41,13±18	20,07	60,84
	Terme Çayı	82,75±106	11,64	241,61
	Cevizdere Deresi	26,87±8	16,26	36,87
	Melet Irmağı	37,93±22	7,80	62,05
	Aksu Deresi	82,26±41	37,88	135,46
	Harşit Çayı	55,84±20	40,13	85,30
Fe (µg/L)	Yeşilırmak Nehri	118,32±89	42,70	222,03
	Terme Çayı	201,92±155	92,34	425,52
	Cevizdere Deresi	144,39±99	43,46	280,41
	Melet Irmağı	183,20±111	77,30	340,01
	Aksu Deresi	692,58±607	43,95	1410,01
	Harşit Çayı	228,53±149	111,74	443,13
Ni (µg/L)	Yeşilırmak Nehri	3,64±1,72	2,11	6,01
	Terme Çayı	1,63±0,65	0,84	2,41
	Cevizdere Deresi	1,10±0,66	0,11	1,50
	Melet Irmağı	2,56±3,29	0,17	7,33
	Aksu Deresi	1,68±1,14	0,50	3,24
	Harşit Çayı	0,94±0,58	0,58	1,81
Cu (µg/L)	Yeşilırmak Nehri	7,97±4,73	2,51	13,91
	Terme Çayı	5,85±3,23	2,70	9,56
	Cevizdere Deresi	3,88±1,31	2,13	5,12
	Melet Irmağı	4,75±1,19	3,65	6,15
	Aksu Deresi	4,86±0,97	3,47	5,69
	Harşit Çayı	6,27±2,02	4,20	9,04
Zn (µg/L)	Yeşilırmak Nehri	292,30±111,48	169,90	403,39
	Terme Çayı	150,40±88	66,04	263,53
	Cevizdere Deresi	104,81±22	71,87	117,83
	Melet Irmağı	101,42±37	65,91	134,08
	Aksu Deresi	190,89±114	51,67	319,87
	Harşit Çayı	110,16±20	92,02	132,82
As (µg/L)	Yeşilırmak Nehri	8,99±2,73	6,57	12,39
	Terme Çayı	3,75±1,46	1,83	5,37
	Cevizdere Deresi	6,43±4,68	0,51	11,24
	Melet Irmağı	6,81±3,05	3,55	10,86
	Aksu Deresi	3,72±2,63	1,00	6,86
	Harşit Çayı	3,91±1,73	1,96	6,19

Tablo 4.2. (Devamı).

Pb (µg/L)	Yeşilırmak Nehri	1,75±1,46	0,88	3,92
	Terme Çayı	1,14±0,59	0,40	1,65
	Cevizdere Deresi	0,70±0,59	0,34	1,59
	Melet Irmağı	1,88±0,86	1,35	3,18
	Aksu Deresi	2,31±0,78	1,46	2,98
	Harşit Çayı	1,78±0,59	1,29	2,64

Çalışma alanı genel olarak değerlendirildiğinde tüm istasyonların ortalama sonuçlarına göre, su örneklerinde en yüksek Al metali, en düşük Pb metali olarak belirlenmiştir. Su örneklerinde tüm ağır metallerin mevsimsel değişimleri Şekil 4.16’da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Su örneklerinde tüm ağır metallerin mevsimsel sonuçları

Mekansal su örneklerinde metal konsantrasyonlarını değerlendirdiğimizde; Yeşilırmak Nehri’nde $Al > Zn > Fe > Mn > As > Cu > Ni > Cr > Pb$, Terme Çayı’nda $Al > Fe > Zn > Mn > Cu > As > Ni > Pb > Cr$, Cevizdere Deresi’nde $Al > Fe > Zn > Mn > As > Cu > Cr > Ni > Pb$, Melet Irmağı’nda $Al > Fe > Zn > Mn > As > Cu > Ni > Pb > Cr$, Aksu Deresi’nde $Al > Fe > Zn > Mn > Cu > Cr > As > Pb >$

Ni ve Harşıt Çayı'nda $Al > Fe > Zn > Mn > Cu > As > Pb > Cr > Ni$ şeklinde sıralanmıştır.

Genel olarak tüm istasyonlarda alüminyum, demir, mangan ve çinko elementleri en yüksek ölçüm değerlerine sahiptir. Su örneklerinin analizi yapılan tüm ağır metal örneklerinde tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiksel hesaplamalarda istasyonlar arasında anlamlı düzeyde bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$).

4.3. Su Kalite İndeksi (WQI)

Su kalite indeksini hesaplamak için öncelikle kullanılacak su parametrelerinin sınır değerleri, ağırlık değeri (AW) ve bağıl ağırlık (RW) değerleri hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada, analiz edilen bazı metallerin ve fizikokimyasal parametrelerin istasyon ortalama değeri WQI hesaplamasında kullanılmıştır. Her bir parametre için, su kalitesindeki etkisi ve insan sağlığı açısından önem durumuna göre 1–5 aralığında ağırlık değerleri (AW) verilmiştir (Varol ve Davraz, 2015). Bu değerler formüle yerleştirilerek bağıl ağırlık (RW) hesaplanmıştır.

Tablo 4.3. WQI hesaplamasında kullanılan sınır değerler, ağırlık değerleri ve bağıl ağırlık değerleri

Parametreler	WHO (2011)	Ağırlık değeri (AW)	Bağıl ağırlık (RW)
pH	7,5	4	0,080
EC (mS/cm)	1500	4	0,080
TS (mg/L CaCO ₃)	100	1	0,020
TDS (mg/L)	600	4	0,080
Al (µg/L)	200	4	0,080
Mn (µg/L)	400	5	0,100
Fe (µg/L)	300	4	0,080
Cu(µg/L)	2000	2	0,040
Zn (µg/L)	3000	3	0,060
Ni (µg/L)	70	4	0,080
As (µg/L)	10	5	0,100
Pb (µg/L)	10	5	0,100
Cr (µg/L)	50	5	0,100

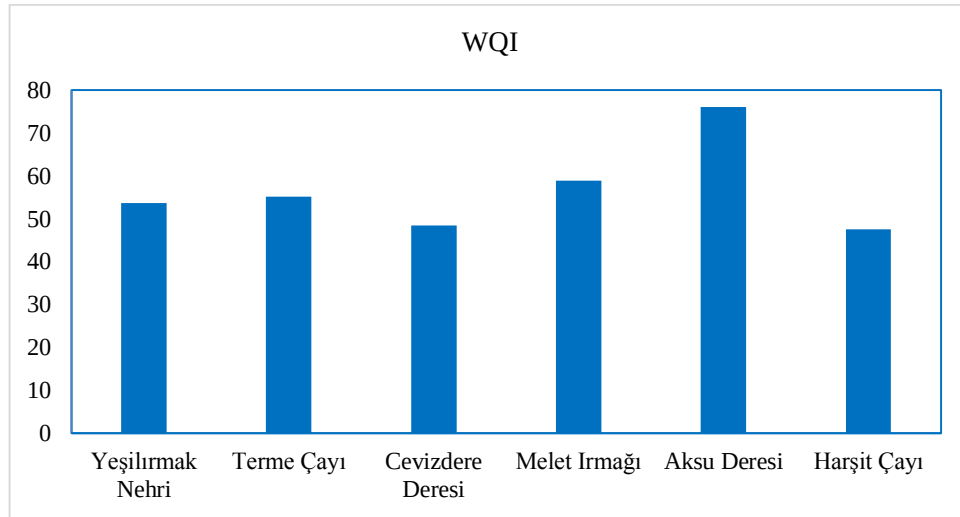
Tablo 4.3'deki WHO (2011) sınır değerler, ağırlık değerleri ve bağıl ağırlık değerleri kullanılarak her istasyon için su kalite indeksleri hesaplanmıştır. WQI sonuçları ve

sınıfları Tablo 4.4’de verilmiştir. Lokasyonlardaki WQI değişimi ise Şekil 4.17.’de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Su kalite indeksi (WQI) sonuçları

İstasyon	WQI sonucu	Sınıfı
Yeşilırmak Nehri	53,65	İyi
Terme Çayı	55,13	İyi
Cevizdere Deresi	48,48	Mükemmel
Melet Irmağı	58,95	İyi
Aksu Deresi	75,99	İyi
Harşit Çayı	47,48	Mükemmel

WQI en yüksek Aksu Deresi’nde (75,99), en düşük ise Harşit Çayı’nda (47,48) hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki akarsulardan Cevizdere Deresi ve Harşit Çayı "mükemmel su" sınıfında yer alırken, Yeşilırmak Nehri, Terme Çayı, Melet Irmağı ve Aksu Deresi "iyi su" sınıfında yer almıştır.



Şekil 4.17. İstasyonların WQI sonuçları

4.4. Ağır Metal Kirlilik indeksi (HPI)

HPI hesaplamalarında Al, Fe, Zn, Mn, Cu, As, Cr, Ni ve Pb metalleri kullanılmıştır. Tüm istasyonlar için HPI hesaplanmıştır. En düşük (2,74) sonbahar mevsiminde

Cevizdere Deresi'nde, en yüksek (26,54) kış mevsiminde Aksu Deresi'nde hesaplanmıştır. İstasyonların yıllık ortalamalarına göre yine en düşük HPI değeri Cevizdere Deresi'nde (8,57), en yüksek Aksu Deresi'nde (17,33) hesaplanmıştır. Tüm mevsim ve tüm istasyonlarda HPI sonuçları < 100 olduğundan düşük düzeyde ağır metal kirliliğini işaret etmektedir. HPI sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5. İstasyonların HPI sonuçları

HPI	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Ort
Yeşilırmak Nehri	5,41	13,35	16,24	8,50	10,87
Terme Çayı	11,68	17,35	10,31	4,64	11,00
Cevizdere Deresi	2,74	13,73	10,82	6,99	8,57
Melet Irmağı	15,62	15,43	11,58	13,01	13,91
Aksu Deresi	6,03	26,54	23,41	13,36	17,33
Harşit Çayı	12,47	12,77	12,82	6,27	11,08

4.5. Ağır Metal Değerlendirme İndeksi (HEI)

Ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) tüm mevsim ve istasyonlarda hesaplanmasında Al, Fe, Zn, Mn, Cu, As, Cr, Ni ve Pb metalleri kullanılmıştır. En düşük HEI değeri sonbahar mevsiminde Cevizdere Deresi'nde (0,81), en yüksek HEI değeri kış mevsiminde Aksu Deresi'nde (11,73) kaydedilmiştir. İstasyonların HEI değerlerinin yıllık ortalamaları, en düşük olarak 3,83 ile Cevizdere Deresi'nde ve en yüksek 7,04 ile Aksu Deresi'nde hesaplanmıştır. HEI sonuçları Tablo.4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6. İstasyonların HEI sonuçları

HEI	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Ort
Yeşilırmak Nehri	2,09	6,26	4,23	3,60	4,04
Terme Çayı	3,99	8,65	3,57	1,61	4,45
Cevizdere Deresi	0,81	6,98	4,17	3,34	3,83
Melet Irmağı	6,22	6,64	4,28	3,25	5,10
Aksu Deresi	1,52	11,73	9,64	5,26	7,04
Harşit Çayı	4,61	5,25	3,80	2,03	3,92

Ağır metal değerlendirme indeksi sonucu < 10 olduğunda düşük kirliliğe işaret etmektedir. HEI sonuçları, Aksu Deresi'nde kış mevsiminde orta düzeyde ağır metal

kirliliğini gösterirken (11,73), diğer tüm istasyonlarda her mevsimde düşük ağır metal kirliliği tespit edilmiştir.

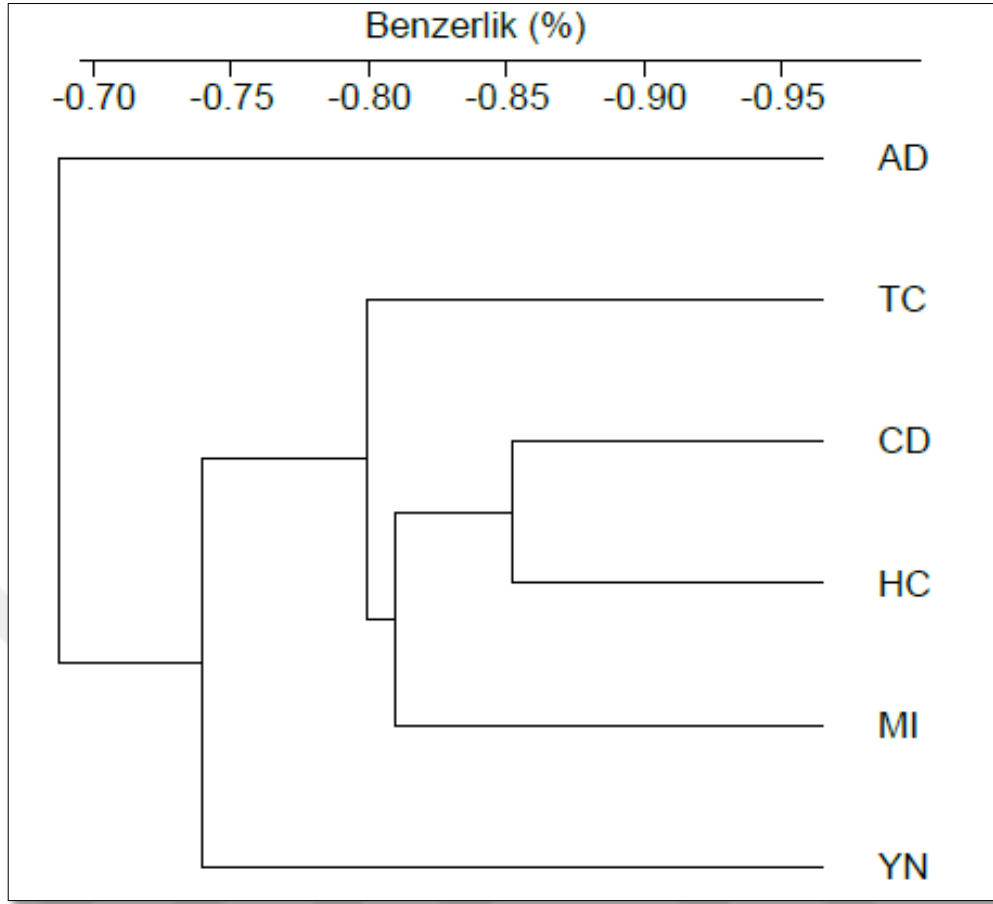
4.6. Su parametrelerinde korelasyon

Tüm istasyonlarda yapılan su analizleri ve ağır metal analizleri için SPSS 22.0 programında uygulanan korelasyon sonuçları Tablo 4.7’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre sıcaklık parametresi ile pH ($r = -0,637$; $p < 0,01$) ve çözünmüş oksijen ($r = -0,483$; $p < 0,05$) arasında negatif yönlü orta düzeyli ilişki olduğu görülmüştür. Tuzluluk parametresinin, TDS ($r = 0,905$; $p < 0,05$) ile pozitif yönlü güçlü ilişki içinde, ancak TP, SRP, BOI_5 , bulanıklık, Ni ve Hg ile pozitif zayıf ilişki içinde olduğu; Al, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, As ve Pb ile negatif yönde zayıf ilişki içinde olduğu tespit edilmiştir. Oksidasyon redüksiyon potansiyelinin ise pH ($r = -0,798$; $p < 0,01$) ile güçlü negatif yönlü ilişki içinde olduğu görülmüştür.

Tablo 4.7. Suyun fizikokimyasal parametrelerinin korelasyon matrisi

	C	pH	ÇO	E.İ	Sal.	ORP	TDS	TA	TS	TP	SRP	TAN	AKM	BOİ ₅	Türb.	Al	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Pb
°C	1																							
pH	-,637**	1																						
ÇO	-,483*	,421*	1																					
E.İ	0,105	-0,328	-0,213	1																				
Sal.	0,279	-,451*	-0,154	0,398	1																			
ORP	,536**	-,798**	-0,314	0,3	0,341	1																		
TDS	0,22	-,497*	-0,238	,691**	,905**	0,385	1																	
TA	0,21	-0,222	-,447*	,485*	0,373	0,229	,476*	1																
TS	-0,003	-0,209	-0,286	,549**	,535**	0,216	,633**	,885**	1															
TP	-0,179	-0,205	-0,091	0,22	0,077	0,256	0,155	0,341	,414*	1														
SRP	-0,239	-0,152	-0,023	0,199	0,088	0,19	0,155	0,253	0,317	,834**	1													
TAN	-0,034	-0,351	-,408*	,465*	0,345	0,316	,503*	,452*	,553**	,713**	,723**	1												
AKM	0,058	-0,009	-0,134	-0,263	0,377	-0,193	0,158	0,038	0,071	-0,167	-0,115	0,101	1											
BOİ ₅	0,282	-0,099	-,426*	-0,082	0,046	0,158	-0,025	0,139	0,015	0,385	0,356	0,356	0,243	1										
Türb.	-0,095	0,152	0,321	0,068	0,047	-0,059	-0,058	0,191	0,283	0,183	0,123	-0,135	-0,235	0,045	1									
Al	-,485*	,521**	,485*	-0,094	-0,158	-,412*	-0,226	-0,276	-0,191	0,033	0,19	-0,1	-0,122	-0,046	0,257	1								
Cr	-0,109	-0,192	0,059	0,141	-0,016	0,18	0,056	0,399	,422*	0,216	0,029	-0,022	-0,318	-0,291	,485*	-0,404	1							
Mn	-0,38	0,289	0,248	-0,179	-0,148	-0,179	-0,163	-0,097	-0,048	0,026	0,032	-0,179	-0,029	0,079	0,277	0,378	0,064	1						
Fe	-0,271	,525**	,526**	-0,14	-0,045	-0,312	-0,194	-0,155	-0,033	0,007	0,098	-0,2	-0,111	0,163	,655**	,695**	-0,152	0,333	1					
Ni	0,126	-0,254	-0,265	0,302	0,055	0,247	0,129	0,15	0,214	,496*	0,285	0,272	-0,268	0,216	-0,028	0,078	-0,071	-0,028	0,039	1				
Cu	-0,345	0,151	0,118	-0,249	-0,4	-0,047	-0,355	-0,297	-0,203	,462*	0,337	0,092	-0,297	0,315	-0,001	-0,003	0,199	0,23	0,088	0,342	1			
Zn	-0,081	-0,103	-0,127	-0,122	-0,086	0,076	-0,13	-0,204	-0,166	0,397	0,07	0,021	-0,11	0,296	0,024	-0,08	0,212	-0,009	-0,051	,510*	,658**	1		
As	-0,052	0,016	-0,394	0,126	-0,099	-0,092	-0,016	0,234	0,124	0,197	0,213	0,315	-0,172	0,007	-0,222	0,356	-0,178	-0,221	-0,172	0,233	-0,108	0,103	1	
Pb	0,079	0,055	0,053	-0,079	-0,164	0,007	-0,233	-0,392	-0,306	0,207	0,068	-0,116	-0,398	0,269	,439*	0,12	0,01	-0,082	,413*	0,376	,423*	,521**	-0,139	1

(*Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlı **Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlı)



Şekil 4.18. İstasyonlara göre Cluster(kümeleme) analizi

(AD: Aksu Deresi, TC: Terme Çayı, CD: Cevizdere Deresi, HC: Harşit Çayı, MI: Melet Irmağı, YN: Yeşilırmak Nehri)

Tüm istasyonların çevresel parametrelerine kümeleme (cluster) analizi uygulanmıştır (Şekil 4.18.). Cevizdere Deresi ve Harşit Çayı %89 benzerlik oranı ile aynı kümede toplanmıştır (Tablo 4.8). Bu durumda benzer kirlilik kaynaklarına sahip olduklarını söyleyebiliriz. Bu küme %86 benzerlik oranıyla Melet Irmağı ile küme oluşturmuştur. Birbirlerine en yakın iki akarsu olmalarına rağmen Aksu Deresi ve Harşit Çayı %68 benzerlik oranı ile en az birbirine benzeyen iki akarsu olmuştur.

Tablo 4.8. İstasyonların benzerlik katsayıları

	YN	TC	CD	MI	AD	HC
Yeşilırmak Nehri	1					
Terme Çayı	0,82	1				
Cevizdere Deresi	0,80	0,84	1			
Melet Irmağı	0,73	0,84	0,86	1		
Aksu Deresi	0,72	0,78	0,70	0,74	1	
Harşit Çayı	0,75	0,83	0,89	0,82	0,68	1

4.7. Sediment Analiz Sonuçları

Çalışma alanında bulunan altı istasyondan alınan sediment örneklerinde ağır metal analizleri, pH ve % organik madde analizleri yapılmıştır. Tüm sonuçlar Tablo.4.3'te verilmiştir. Ayrıca ağır metallerden demir ve civa dışında tüm metallerde ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiki hesaplamalarda anlamlı düzeyde bir fark tespit edilmiştir ($p<0,05$). İstasyonlar arası farklılıklar Tablo.4.8'de sütunlarda yer alan harflerle gösterilmiştir.

Çalışma alanlarında ortalama metal konsantrasyonu en yüksek 66822,2 mg/kg ile Fe elementi Melet Irmağı, en düşük 0,09 mg/kg ile Hg elementi Melet Irmağı'nda kaydedilmiştir.

Genel değerlendirmede sedimentlerdeki 12 elementin sıralaması mg/kg olarak şu şekilde yapılmıştır: Fe (56659,83) > Al (39758) > Mn (1168,53) > Zn(155,03) > Cr (120,75) > Pb (93,71) > Cu (82,66) > Ni (44,93) > Co (17,98) > As (13,66) > Cd (0,99) > Hg (0,18).

Tablo 4.9. İstasyonların sedimentlerinde ağır metal içeriği, pH ve OM değişimleri

Sediment Parametreleri	İstasyon	Ortalama $\pm$ ss	Min	Max
Al (mg/kg)	Yeşilırmak Nehri	33025 $\pm$ 1071 ^a	31720	34749
	Terme Çayı	41684 $\pm$ 8782 ^{bc}	31905	52266
	Cevizdere Deresi	41358,80 $\pm$ 8685 ^{bc}	34310	55428
	Melet Irmağı	37159,93 $\pm$ 5482 ^{ab}	29637	42691
	Aksu Deresi	41188,20 $\pm$ 1793 ^{bc}	38384	43773
	Harşit Çayı	44131,69 $\pm$ 3808 ^c	39016	49842

Tablo 4.9. (Devamı).

Cr (mg/kg)	Yeşilırmak Nehri	220,56±10,46 ^a	207,65	235,89
	Terme Çayı	231,27±29,96 ^a	207,65	281,22
	Cevizdere Deresi	103,76±78,50 ^c	43,32	234,46
	Melet Irmağı	66,52±16,30 ^{bc}	49,79	84,39
	Aksu Deresi	56,17±4,05 ^b	50,85	61,20
	Harşit Çayı	46,16±10,69 ^b	33,73	59,12
Mn (mg/kg)	Yeşilırmak Nehri	1167,29±234	907,57	1499,19
	Terme Çayı	1196,02±197	907,57	1443,20
	Cevizdere Deresi	1181,12±81	1114,14	1326,16
	Melet Irmağı	1144,66±74	1030,45	1237,17
	Aksu Deresi	981,66±38 ^a	936,58	1040,50
	Harşit Çayı	1340,40±297 ^b	1080,95	1827,96
Fe (mg/kg)	Yeşilırmak Nehri	52647,36±4743	46885,82	58123,15
	Terme Çayı	64362,72±17089	46885,82	84708,51
	Cevizdere Deresi	55507,88±22855	41388,63	93765,70
	Melet Irmağı	66822,2±18641	48407,82	93523,79
	Aksu Deresi	50653,15±2075	47628,33	53536,24
	Harşit Çayı	49965,65±4800	42434,17	55938,56
Co (mg/kg)	Yeşilırmak Nehri	19,15±1,32 ^{acde}	17,32	20,58
	Terme Çayı	23,47±5,76 ^a	17,32	29,23
	Cevizdere Deresi	18,52±7,28 ^{bc}	13,87	30,82
	Melet Irmağı	17,33±2,07 ^{bd}	15,09	20,62
	Aksu Deresi	15,36±0,89 ^{be}	13,97	16,41
	Harşit Çayı	14,01±0,73 ^b	12,98	15,06
Ni (mg/kg)	Yeşilırmak Nehri	100,43±7,79 ^a	89,80	110,68
	Terme Çayı	80,13±24,87 ^b	56,18	110,68
	Cevizdere Deresi	28,51±8,34 ^c	19,45	41,44
	Melet Irmağı	21,38±1,46 ^c	18,88	22,74
	Aksu Deresi	20,55±1,36 ^c	18,13	21,87
	Harşit Çayı	18,57±2,52 ^c	16,11	22,47
Cu (mg/kg)	Yeşilırmak Nehri	72,08±3,86 ^{acd}	68,07	78,89
	Terme Çayı	96,51±22,82 ^{ab}	71,42	121,35
	Cevizdere Deresi	61,10±34,20 ^{cd}	39,04	118,94
	Melet Irmağı	92,25±3,97 ^{cb}	87,25	99,29
	Aksu Deresi	56,59±4,88 ^d	49,00	63,35
	Harşit Çayı	117,40±55,18 ^b	76,25	208,91

Tablo 4.9. (Devamı).

Zn (mg/kg)	Yeşilırmak Nehri	133,7±27,43 ^a	105,11	167,62
	Terme Çayı	135,10±25,96 ^a	109,29	167,62
	Cevizdere Deresi	93,88±18,08 ^b	75,04	121,45
	Melet Irmağı	218,82±27,30 ^c	185,25	259,43
	Aksu Deresi	110,77±7,14 ^{ab}	99,70	119,39
	Harşit Çayı	237,87±44,04 ^c	177,79	300,99
As (mg/kg)	Yeşilırmak Nehri	12,14±0,97 ^c	10,99	13,72
	Terme Çayı	9,76±3,32 ^{abc}	6,49	13,72
	Cevizdere Deresi	5,99±0,80 ^c	5,22	7,35
	Melet Irmağı	10,30±0,81 ^c	9,36	11,60
	Aksu Deresi	17,44±1,13 ^b	16,11	18,93
	Harşit Çayı	26,28±12,05 ^a	15,82	46,11
Cd (mg/kg)	Yeşilırmak Nehri	0,63±0,1 ^c	0,52	0,80
	Terme Çayı	0,73±0,09 ^c	0,58	0,83
	Cevizdere Deresi	0,69±0,11 ^c	0,54	0,83
	Melet Irmağı	1,34±0,28 ^a	0,95	1,67
	Aksu Deresi	0,60±0,04 ^c	0,54	0,65
	Harşit Çayı	1,93±0,59 ^b	1,45	2,92
Hg (mg/kg)	Yeşilırmak Nehri	0,22±0,18	0,09	0,58
	Terme Çayı	0,20±0,14	0,09	0,47
	Cevizdere Deresi	0,23±0,22	0,06	0,67
	Melet Irmağı	0,09±0,05	0,04	0,19
	Aksu Deresi	0,11±0,09	0,02	0,25
	Harşit Çayı	0,19±0,23	0,04	0,67
Pb (mg/kg)	Yeşilırmak Nehri	38,83±1,95 ^a	35,68	41,56
	Terme Çayı	35,62±4,58 ^a	30,54	41,56
	Cevizdere Deresi	35,30±10,72 ^a	20,17	49,92
	Melet Irmağı	168,01±35,70 ^b	133,51	215,73
	Aksu Deresi	87,07±11,59 ^c	70,39	102,16
	Harşit Çayı	197,40±51,73 ^b	161,92	286,86
pH	Yeşilırmak Nehri	7,28±0,25	7,08	7,68
	Terme Çayı	7,29±0,16	7,18	7,57
	Cevizdere Deresi	7,75±0,12	7,64	7,94
	Melet Irmağı	7,93±0,24	7,56	8,21
	Aksu Deresi	7,76±0,13	7,54	7,87
	Harşit Çayı	7,20±0,13	7,00	7,33

Tablo 4.9. (Devamı).

OM (%)	Yeşilırmak Nehri	8,64±1,89	6,56	10,90
	Terme Çayı	10,36±1,88	7,71	12,40
	Cevizdere Deresi	8,96±0,94	8,05	10,30
	Melet Irmağı	6,22±2,19	3,69	8,99
	Aksu Deresi	4,67±0,23	4,35	4,97
	Harşit Çayı	8,54±1,89	5,81	10,90

Not: Sütunda yer alan harfler istatistiksel farklılıkları belirtir.

ss: standart sapma

Çalışma alanlarında, mevsimsel olarak toplanan 6 istasyondaki sediment örneklerinde pH ölçümleri Tablo 4.10.'da gösterilmiştir. Sedimentte mevsimsel pH ölçümlerinde en yüksek değer Melet Irmağı'nda (pH 8,21) kış mevsiminde, en düşük değer ise Harşit Irmağı'nda sonbahar mevsiminde (pH 7) ölçülmüştür (Tablo 4.10).

Tablo 4.10. Sedimentte pH ölçüm sonuçları

Sediment pH	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Yeşilırmak Nehri	7,28	7,68	7,10	7,08
Terme Çayı	7,18	7,20	7,57	7,24
Cevizdere Deresi	7,67	7,64	7,77	7,94
Melet Irmağı	7,56	8,21	7,96	8,00
Aksu Deresi	7,54	7,87	7,86	7,79
Harşit Çayı	7,00	7,33	7,28	7,19

Sedimentte % OM mevsimsel sonuçlara baktığımızda en yüksek değeri Terme Çayı'nda ilkbahar mevsiminde %12,4, en düşük sonbahar mevsiminde Aksu Deresi'nde %4,35 olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.11.).

Tablo 4.11. Sediment % Organik Madde

Sediment OM (%)	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Yeşilırmak Nehri	7,20	6,56	9,91	10,90
Terme Çayı	9,74	11,59	12,40	7,71
Cevizdere Deresi	9,27	10,30	8,05	8,23
Melet Irmağı	8,99	3,69	7,46	4,77
Aksu Deresi	4,35	4,64	4,97	4,73
Harşit Çayı	8,51	8,94	10,90	5,81

4.8. Sediment indeksleri

4.8.1. Kontaminasyon Faktörü (CF)

Tez çalışmasında yer alan akarsulardan alınan sediment örnekleri için kontaminasyon faktörleri hesaplanırken, Turekein ve Wedepohl (1961)'de belirtilen sınır değerleri kullanılmıştır. En düşük CF değeri 0,23 ile Hg metali için Melet Irmağı'nda, en yüksek ise 9,87 ile Pb metali için Harşit Çayı'nda hesaplanmıştır. Al, As ve Hg, CF < 1 olduğundan düşük kirlilik, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd ve Pb genel olarak orta düzeyli kirlilik, Harşit Çayı ve Melet Irmağı'nda Pb metali bakımından çok yüksek derecede kontaminasyon tespit edilmiştir. Çok yüksek derecede kontaminasyon olanlar Tablo 4.12'de koyu ile gösterilmiştir. İstasyonların CF sonuçları Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.12. İstasyonların CF sonuçları

CF	Yeşilırmak Nehri	Terme Çayı	Cevizdere Deresi	Melet Irmağı	Aksu Deresi	Harşit Çayı
Al	0,41	0,65	0,46	0,46	0,51	0,55
Cr	2,45	2,44	0,67	0,74	0,62	0,51
Mn	1,37	1,48	1,29	1,35	1,15	1,58
Fe	1,12	1,68	0,89	1,42	1,07	1,06
Co	1,01	1,48	0,75	0,91	0,81	0,74
Ni	1,48	0,77	0,35	0,31	0,30	0,27
Cu	1,60	2,62	0,93	2,05	1,26	2,61
Zn	1,41	1,15	0,84	2,30	1,17	2,50
As	0,93	0,51	0,45	0,79	1,34	2,02
Cd	2,13	2,42	2,52	4,46	2,01	6,45
Hg	0,57	0,44	0,55	0,23	0,30	0,50
Pb	1,94	1,42	1,88	8,40	4,35	9,87

4.8.2. Zenginleştirme faktörü (EF)

Sedimentte ağır metal kirliliğini belirlemede kullanılan yöntemlerden olan EF de tüm istasyonlar için hesaplanmıştır. Değerlendirme ölçütlerine göre Yeşilırmak Nehri'nde Cr, Cevizdere Deresi'nde Cd ve Pb, Melet Irmağında Cd, Aksu Deresi'nde Pb, Harşit Çayı'nda Cu ve Zn bakımından "orta düzeyli zenginleşme" ($2 \leq EF < 5$) görülmüştür. Ayrıca Melet Irmağında Pb, Harşit Çayı'nda ise Cd ve Pb metalleri

açısından "belirgin zenginleşme" ($5 \leq Ef < 20$) sınıfında olduğu görülmüştür. En düşük EF değeri 0,18 ile Hg için Melet Irmağı'nda, en yüksek 9,27 ile Pb için Harşit Çayı'nda hesaplanmıştır (Tablo 4.13.).

Tablo 4.13. Tüm istasyonların EF sonuçları

EF	Yeşilırmak Nehri	Terme Çayı	Cevizdere Deresi	Melet Irmağı	Aksu Deresi	Harşit Çayı
Al	0,37	0,40	0,52	0,36	0,48	0,52
Cr	2,21	1,44	0,76	0,53	0,58	0,49
Mn	1,23	0,89	1,46	1,01	1,08	1,48
Fe	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Co	0,91	0,89	0,85	0,67	0,75	0,70
Ni	1,34	0,47	0,40	0,23	0,28	0,26
Cu	1,45	1,59	1,06	1,56	1,17	2,41
Zn	1,29	0,69	0,94	1,72	1,09	2,35
As	0,85	0,32	0,50	0,59	1,25	1,86
Cd	1,94	1,50	2,85	3,47	1,87	6,03
Hg	0,50	0,26	0,62	0,18	0,27	0,45
Pb	1,76	0,87	2,11	6,38	4,05	9,27

4.8.3 Jeoakümülyasyon İndeksi (I_{geo})

Jeoakümülyasyon indeksi tüm istasyonlar için hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.14.'de verilmiştir. Yeşilırmak Nehri Cr, Cd, Cu ve Pb metalleri açısından "az kirletilmiş" sınıfında iken diğer metaller açısından "kirletilmemiş" sınıfındadır ($I_{geo} < 0$).

Tablo 4.14. I_{geo} sonuçları

I_{geo}	Yeşilırmak Nehri	Terme Çayı	Cevizdere Deresi	Melet Irmağı	Aksu Deresi	Harşit Çayı
Al	-1,86	-1,20	-1,70	-1,71	-1,54	-1,45
Cr	0,71	0,66	-1,18	-1,06	-1,27	-1,58
Mn	-0,15	-0,03	-0,22	-0,16	-0,38	0,04
Fe	-0,43	0,15	-0,76	-0,13	-0,48	-0,51
Co	-0,58	-0,02	-1,00	-0,73	-0,89	-1,03
Ni	-0,03	-0,98	-2,10	-2,26	-2,31	-2,47
Cu	0,09	0,80	-0,69	0,45	-0,26	0,68
Zn	-0,12	-0,38	-0,85	0,61	-0,37	0,72
As	-0,69	-1,57	-1,77	-0,92	-0,16	0,31
Cd	0,49	0,67	0,75	1,54	0,42	2,05
Hg	-1,74	-2,25	-2,20	-2,92	-2,86	-2,35
Pb	0,37	-0,10	0,30	2,46	1,53	2,68

Terme Çayı Cr, Fe, Cu ve Cd metalleri bakımından "az kirletilmiş" ($0 < I_{geo} < 1$) sınıfında iken diğer metaller açısından "kirletilmemiş" sınıfındadır ($I_{geo} < 0$). Cevizdere Deresi Cd ve Pb metalleri için "az kirletilmiş" ($0 < I_{geo} < 1$) sınıfında iken diğer metaller açısından "kirletilmemiş" sınıfındadır ($I_{geo} < 0$). Melet Irmağı Cu ve Zn metalleri bakımından "az kirletilmiş" ($0 < I_{geo} < 1$) sınıfında iken, Cd metali için "orta derecede kirlilik", Pb metali için "orta-güçlü kirlilik" sınıfında, geri kalan metaller için ise "az kirletilmiş" ($0 < I_{geo} < 1$) bulunmuştur. Aksu Deresi Cd ve Pb dışında kalan metaller için "az kirletilmiş" ($0 < I_{geo} < 1$) sınıfında değerlendirilmiştir. Son olarak Harşit Irmağı ise Al, Cr, Fe, Co, Ni ve Hg için "kirletilmemiş", Mn, Cu, Zn ve As için "az kirletilmiş", Cd ve Pb için "orta-güçlü kirlilik" sınıflarında yer almıştır.

4.8.4 Potansiyel Ekolojik Risk Faktörü (E_r^i)

E_r^i , çalışma alanında bulunan tüm istasyonlar için hesaplanmıştır (Tablo 4.15). Yeşilirmak Nehri Cd metali için 63,85 ($40 \leq E_r^i < 80$) olarak hesaplanmış ve orta ekolojik risk sınıfında, geri kalan metaller için düşük ekolojik risk ($E_r^i < 40$) sınıfında değerlendirilmiştir. Terme Çayı, Cevizdere Deresi ve Aksu Deresi, Cd metali için orta ekolojik risk sınıfında, geri kalan metaller düşük ekolojik risk sınıfında bulunmuştur.

Tablo 4.15. Potansiyel Ekolojik Risk Faktörü sonuçları

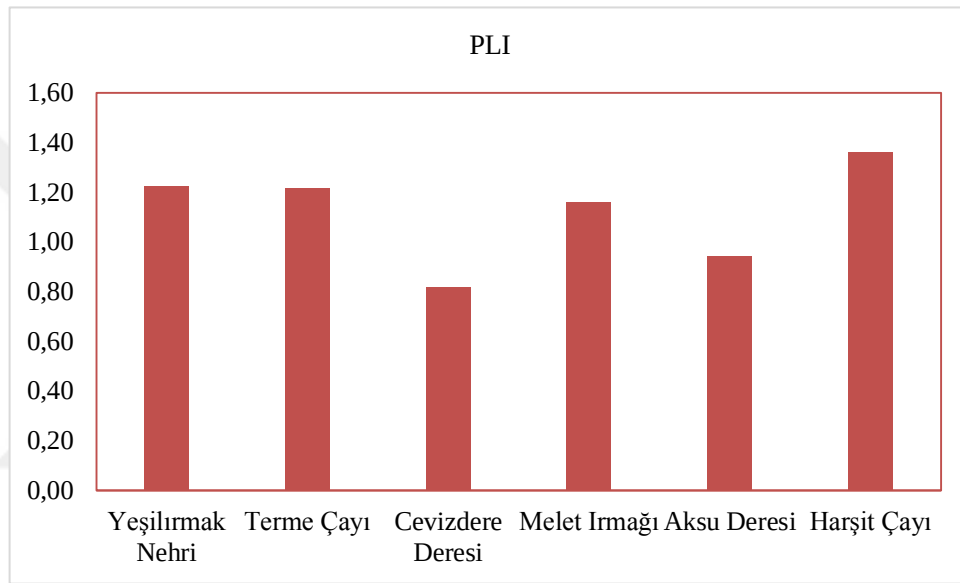
E_r^i	Yeşilirmak Nehri	Terme Çayı	Cevizdere Deresi	Melet Irmağı	Aksu Deresi	Harşit Çayı
Cr	4,90	4,87	1,35	1,48	1,25	1,03
Ni	7,38	3,84	1,77	1,57	1,51	1,37
Cu	8,01	13,09	4,67	10,25	6,29	13,05
Zn	1,41	1,15	0,84	2,30	1,17	2,50
As	9,34	5,12	4,45	7,93	13,42	20,22
Cd	63,85	72,63	75,67	133,82	60,16	193,45
Hg	22,97	17,78	22,13	9,27	11,91	19,91
Pb	9,71	7,11	9,41	42,00	21,77	49,35

Melet Irmağı'nda, Cd metali önemli ekolojik risk sınıfında ($80 \leq E_r^i < 160$), Pb orta ekolojik risk sınıfında geri kalan metaller ise düşük ekolojik risk sınıfında tespit edilmiştir. Harşit Çayı'nda kadmiyum yüksek ekolojik risk sınıfında, kurşun orta

ekolojik risk sınıfında geri kalan ağır metaller düşük ekolojik risk sınıfında tespit edilmiştir.

4.8.5 Kirlilik Yük İndeksi (PLI)

Kirlilik yük indeksi bütün istasyonlar için hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 4.19.'da grafikte gösterilmiştir. PLI en düşük 0,81 olarak Cevizdere Deresi'nde, en yüksek ise Harşit Çayı'nda 1,36 olarak hesaplanmıştır. PLI değerleri Aksu Deresi'nde 0,94, Yeşilırmak Nehri ve Terme Çayı'nda 1,22 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.19. Lokasyonlardaki sediment PLI sonuçları

4.9 Korelasyon Sonuçları

Sediment örneklerinde analizi yapılan ağır metaller sonuçlarına korelasyon testi uygulanmıştır (Tablo 4.16). Test sonucuna göre Al metali Cr, Mn, Cu ve Fe ile orta düzeyli pozitif yönde, Zn, As, Cd, Hg ve Pb metalleri ile zayıf ilişki içerisinde tespit edilmiştir. Ni elementinin, Cr ($r = 0,846$; $p < 0,01$) ile pozitif güçlü, Zn elementinin Cd ($r = 0,856$; $p < 0,01$) ve Pb ($r = 0,867$; $p < 0,01$) elementleri ile pozitif yönde güçlü ilişki içinde olduğu tespit edilmiştir. Pb metali Cd ($r = 0,906$; $p < 0,01$) ile pozitif yönde güçlü, Cr, Mn, Cu ve As ile pozitif yönlü orta düzeyli ilişki içinde olduğu görülmüştür.

Tablo 4.16. Sediment ağır metal korelasyon sonuçları

Correlations												
	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
Al	1											
Cr	-,044	1										
Mn	,359**	,084	1									
Fe	,338**	,411**	,291*	1								
Co	,404**	,774**	,262*	,813**	1							
Ni	-,418**	,846**	-,038	-,021	,351**	1						
Cu	,572**	,107	,732**	,444**	,346**	-,083	1					
Zn	,077	-,315**	,390**	,097	-,258*	-,224	,645**	1				
As	,212	-,388**	,410**	-,215	-,408**	-,225	,564**	,600**	1			
Cd	,274*	-,486**	,585**	-,072	-,340**	-,436**	,705**	,856**	,691**	1		
Hg	,057	,126	,519**	-,003	,125	,075	,303**	-,106	,205	,199	1	
Pb	,180	-,657**	,327**	-,041	-,453**	-,583**	,534**	,867**	,672**	,906**	-,007	1

*Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlı **Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlı

4.10 Mikroplastik Sonuçları

Çalışma kapsamında, belirlenen istasyonlardan mevsimsel olarak su ve sediment örnekleri alınarak mikroplastik analizleri yapılmıştır. Belirlenen 6 istasyondan su yüzeyi ve sediment yüzeyi olarak toplam 48 örneklem yapılmıştır. Laboratuvar analiz işlemlerinden sonra mikroskop ile sayım işlemi yapılmıştır. Mikroplastikler ayrıca türlerine göre de sınıflandırılmıştır. Çalışma sırasında mikroskopta gözlemlenen mikroplastikler lif, parça, pelet ve film olmak üzere dört grupta sınıflandırılmıştır. Mikroplastiklerin mikroskop altında çekilen fotoğrafları ekler bölümünde verilmiştir.

4.10.1. Su Örneklerinde Tespit Edilen Mikroplastikler

Tüm su örneklerinde tespit edilen mikroplastikler Tablo 4.17’de verilmiştir. Yeşilırmak Nehri’nde mikroplastik miktarı 21-83 adet/m³ arasında değişim göstermiştir (Tablo 4.17). Mikroplastik miktarları Terme Çayı’nda 30-86 adet/m³, Cevizdere Deresi 25-70 adet/m³, Melet Irmağı 25-98 adet/m³, Aksu Deresi 29-57 adet/m³ ve son olarak Harşit Çayı 57-94 adet/m³ arasında değişim göstermiştir.

Tablo 4.17. İstasyonların su örneklerinde mikroplastik sonuçları

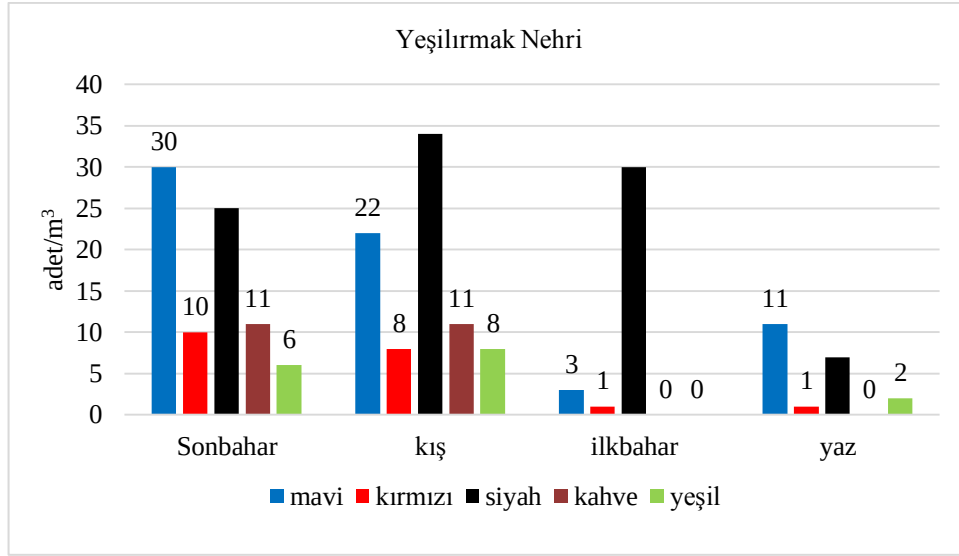
Su (adet/m ³)	Yeşilırmak Nehri	Terme Çayı	Cevizdere Deresi	Melet İrmağı	Aksu Deresi	Harşit Çayı
Sonbahar	82	57	70	72	57	73
Kış	83	86	58	98	56	67
İlkbahar	34	32	25	39	33	57
Yaz	21	30	26	25	29	94

Yeşilırmak Nehri'nde su örneklerinde sonbahar mevsiminde 28 adet lif, 21 adet parça, 17 adet pelet ve 16 adet film türü belirlenmiştir. Kış mevsiminde 26 adet lif, 23 adet parça, 17 adet pelet ve 17 adet film, ilkbahar mevsiminde 10 adet lif, 22 adet parça, 3 adet pelet, yaz mevsiminde ise 13 adet lif, 9 adet parça türünde mikroplastik tespit edilmiştir. Mikroplastiklerin boyutları Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 4.18. Yeşilırmak Nehri su örnekleri mikroplastik analiz sonuçları (boyut)

Yeşilırmak Nehri	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Lif (< 25 mikron)	5	4	1	0
Lif (25-50 mikron)	12	5	1	0
Lif (50-100 mikron)	10	15	1	0
Lif >100 mikron	1	2	7	13
Pelet (<25 mikron)	2	1	2	0
Pelet (25-50 mikron)	11	9	0	0
Pelet (50-100 mikron)	3	5	0	0
Pelet (>100 mikron)	1	2	1	0
Parça (<25 mikron)	5	4	9	1
Parça (25-50 mikron)	11	12	3	2
Parça (50-100 mikron)	4	5	5	1
Parça (>100 mikron)	1	2	5	4
Film (<25 mikron)	4	3	0	0
Film (25-50 mikron)	8	9	0	0
Film (50-100 mikron)	4	5	0	0

Ayrıca mikroplastikler renklerine göre de incelenmiştir. Yeşilırmak Nehri'nde renklerine göre mikroplastikler Şekil 4.20.'de verilmiştir. Baskın renk mavi ve siyah olarak görülmüştür.



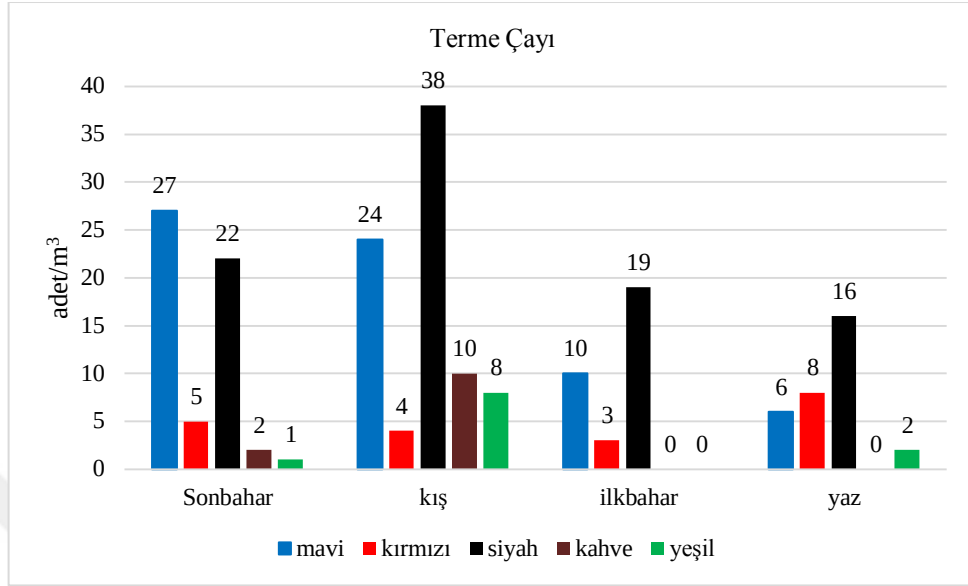
Şekil 4.20. Yeşilırmak Nehri'nde renklerine göre mikroplastik çeşitleri

Terme Çayı'nda sonbahar mevsiminde 57 adet/m³, kış mevsiminde 86 adet/m³, ilkbahar mevsiminde 32 adet/m³ ve yaz mevsiminde 30 adet/m³ olarak tespit edilmiştir. Terme Çayı'nda sonbahar mevsiminde 21 adet lif, 12 adet pelet, 14 adet parça ve 10 adet film sayılmıştır. Kış mevsiminde 24 adet lif, 20 adet pelet, 23 adet parça ve 19 adet film; ilkbahar mevsiminde 18 adet lif, 1 adet pelet ve 13 adet parça ve yaz mevsiminde 9 adet lif, 21 adet parça sayılmıştır. Terme Çayı'nda sayılan mikroplastiklerin sayıları ve uzunluk miktarları Tablo 4.19'da verilmiştir.

Tablo 4.19. Terme Çayı su örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)

Terme Çayı	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Lif (<25 mikron)	5	4	0	0
Lif (25-50 mikron)	9	10	1	0
Lif (50-100 mikron)	5	5	0	0
Lif (>100 mikron)	2	5	17	9
Pelet (<25 mikron)	2	3	0	0
Pelet (25-50 mikron)	5	9	1	0
Pelet (50-100 mikron)	3	6	0	0
Pelet (>100 mikron)	2	2	0	0
Parça (<25 mikron)	5	4	9	9
Parça (25-50 mikron)	3	12	3	4
Parça (50-100 mikron)	4	5	1	0
Parça (>100 mikron)	2	2	0	8
Film (< 25 mikron)	4	5	0	0
Film (25-50 mikron)	2	9	0	0
Film (50-100 mikron)	4	5	0	0

Ayrıca mikroplastikler renklerine göre de incelenmiştir. Terme Çayı’nda renklerine göre mikroplastikler Şekil 4.21.’de verilmiştir.



Şekil 4.21. Terme Çayı su örneklerinde renklerine göre mikroplastikler

Cevizdere Deresi’nde sonbahar mevsiminde 70 adet/m³, kış mevsiminde 58 adet/m³, ilkbahar mevsiminde 25 adet/m³ ve yaz mevsiminde 26 adet/m³ mikroplastik tespit edilmiştir. Cevizdere Deresi’nde sonbahar mevsiminde 21 adet lif, 20 adet pelet, 22 adet parça ve 7 adet film türünde mikroplastik sayılmıştır. Kış mevsiminde 15 adet lif, 14 adet pelet, 16 adet parça ve 13 adet film, ilkbahar mevsiminde 8 adet lif, 7 adet pelet ve 10 adet parça sayılmıştır. Yaz mevsiminde 11 adet lif, 6 adet pelet ve 9 adet parça sayılmıştır. Cevizdere Deresi’nde sayılan mikroplastiklerin uzunlukları ve sayıları Tablo 4.20 ‘de gösterilmiştir.

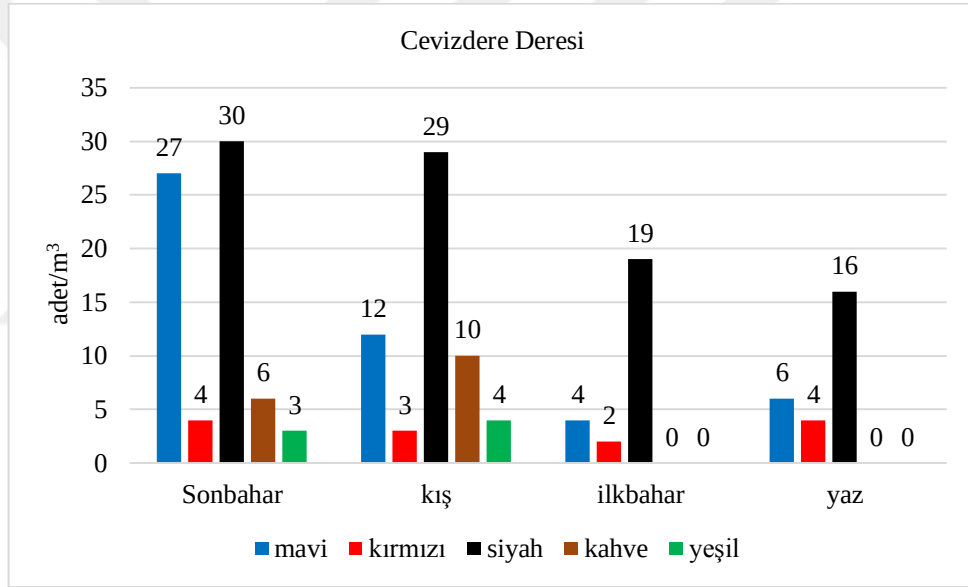
Tablo 4.20. Cevizdere Deresi su örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)

Cevizdere Deresi	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Lif (< 25 mikron)	6	3	0	0
Lif (25-50 mikron)	5	7	0	0
Lif (50-100 mikron)	2	3	0	0
Lif (>100 mikron)	8	2	8	11
Pelet (<25 mikron)	0	3	4	0
Pelet (25-50 mikron)	8	4	3	0
Pelet (50-100 mikron)	9	3	0	1
Pelet (>100 mikron)	3	4	0	5
Parça (<25 mikron)	3	3	6	3
Parça (25-50 mikron)	6	2	2	6

Tablo 4.20. (Devamı).

Parça (50-100 mikron)	9	5	1	0
Parça (>100 mikron)	4	6	1	0
Film (<25 mikron)	3	5	0	0
Film (25-50 mikron)	2	5	0	0
Film (50-100 mikron)	2	3	0	0

Ayrıca mikroplastikler renklerine göre de incelenmiştir. Cevizdere Deresi su örneklerinde renklerine göre mikroplastikler Şekil 4.22.'de verilmiştir. Tüm mevsimlerde siyah ve mavi baskın renk olarak göze çarpmaktadır.



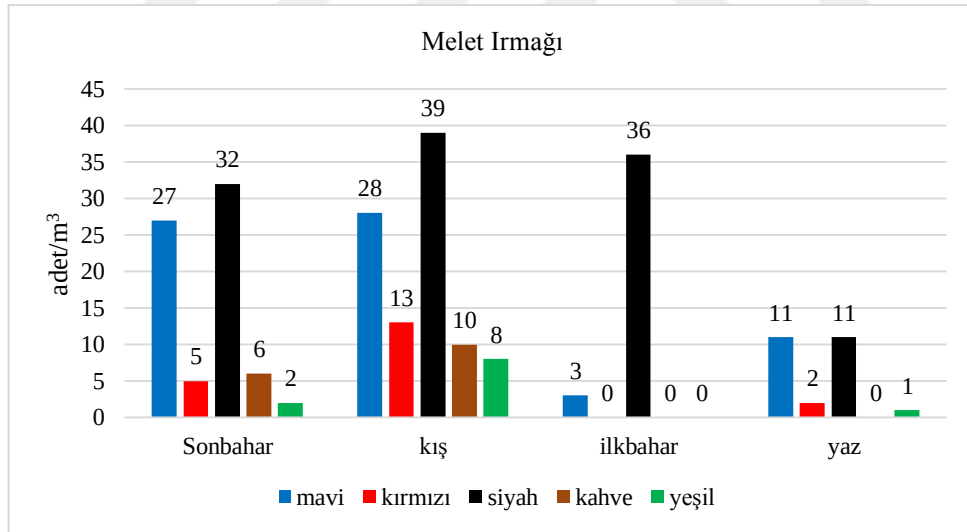
Şekil 4.22. Cevizdere Deresi su örneklerinde renklerine göre mikroplastikler

Melet Irmağı sonbahar mevsiminde 72 adet/m³, kış mevsiminde 98 adet/m³, ilkbahar mevsiminde 39 adet/m³ ve yaz mevsiminde 25 adet/m³ mikroplastik tespit edilmiştir. Mikroplastik çeşitleri bakımından incelendiğinde, sonbahar mevsiminde 24 adet lif, 21 adet pelet, 19 adet parça ve 8 adet film tespit edilmiştir. Kış mevsiminde 20 adet lif, 20 adet pelet, 42 adet parça ve 16 adet film; ilkbahar mevsiminde 3 adet lif, 6 adet pelet, 30 adet parça, son olarak yaz mevsiminde 15 adet lif ve 10 adet parça mikroplastik sayılmıştır. Melet Irmağı'nda sayılan mikroplastiklerin uzunlukları ve sayıları Tablo 4.21'de görülmektedir.

Tablo 4.21. Melet Irmağı su örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)

Melet Irmağı	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Lif (< 25 mikron)	3	0	0	0
Lif (25-50 mikron)	4	2	0	0
Lif (50-100 mikron)	6	5	0	0
Lif (>100 mikron)	11	13	3	15
Pelet (< 25 mikron)	6	2	4	0
Pelet (25-50 mikron)	2	5	1	0
Pelet (50-100 mikron)	4	8	1	0
Pelet (>100 mikron)	9	5	0	0
Parça (< 25 mikron)	3	7	25	4
Parça (25-50 mikron)	3	6	4	3
Parça (50-100 mikron)	5	7	0	2
Parça (>100 mikron)	8	22	1	1
Film (< 25 mikron)	0	2	0	0
Film (25-50 mikron)	2	7	0	0
Film (50-100 mikron)	6	7	0	0

Melet Irmağı'nda tespit edilen mikroplastiklerin renk dağılımları ise Şekil 4.23.'te görülmektedir. Tüm mevsimlerde siyah ve mavi renk baskın olarak görülmüştür.



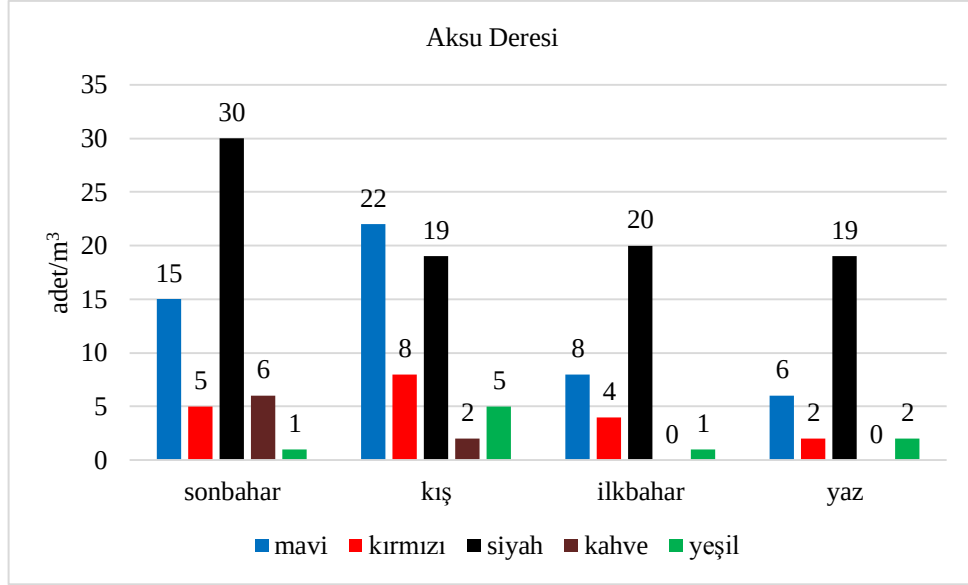
Şekil 4.23. Melet Irmağı su örneklerinde renklerine göre mikroplastikler

Aksu Deresi sonbahar mevsiminde 57 adet/m³, kış mevsiminde 56 adet/m³, ilkbahar mevsiminde 33 adet/m³ ve yaz mevsiminde 29 adet/m³ mikroplastik tespit edilmiştir. Aksu Deresi'nde tüm mevsimlerde sayılan mikroplastikler türleri ve uzunluk oranları göre Tablo 4.22 'de gösterilmiştir.

Tablo 4.22. Aksu Deresi su örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)

Aksu Deresi	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Lif (< 25 mikron)	3	1	0	0
Lif (25-50 mikron)	2	5	2	0
Lif (50-100 mikron)	7	5	2	0
Lif (>100 mikron)	8	4	12	7
Pelet (<25 mikron)	5	2	2	1
Pelet (25-50 mikron)	2	4	2	0
Pelet (50-100 mikron)	3	7	2	1
Pelet (> 100 mikron)	4	5	0	0
Parça (< 25 mikron)	3	1	4	8
Parça (25-50 mikron)	3	6	2	4
Parça (50-100 mikron)	8	5	2	3
Parça (>100 mikron)	4	4	3	2
Film (< 25 mikron)	0	1	0	0
Film (25-50 mikron)	2	2	0	0
Film (50-100 mikron)	3	4	0	3

Aksu Deresi'nde yapılan mikroplastik analizlerinde, sonbahar mevsiminde 20 adet lif, 14 adet pelet, 18 adet parça ve 5 adet film türünde mikroplastik sayılmıştır. Kış mevsiminde 15 adet lif, 18 adet pelet, 16 adet parça ve 7 adet film, ilkbahar mevsiminde 16 adet lif, 6 adet pelet ve 11 adet parça, yaz mevsiminde ise 7 adet lif, 2 adet pelet, 17 adet parça ve 3 adet film türünde mikroplastik kaydedilmiştir. Aksu Deresi'nde tespit edilen mikroplastiklerin renk dağılımları ise Şekil 4.24.'te verilmiştir. Tüm mevsimlerde siyah, mavi ve kırmızı renkler baskın olarak görülmüştür.



Şekil 4.24 Aksu Deresi su örneklerinde renklerine göre mikroplastikler

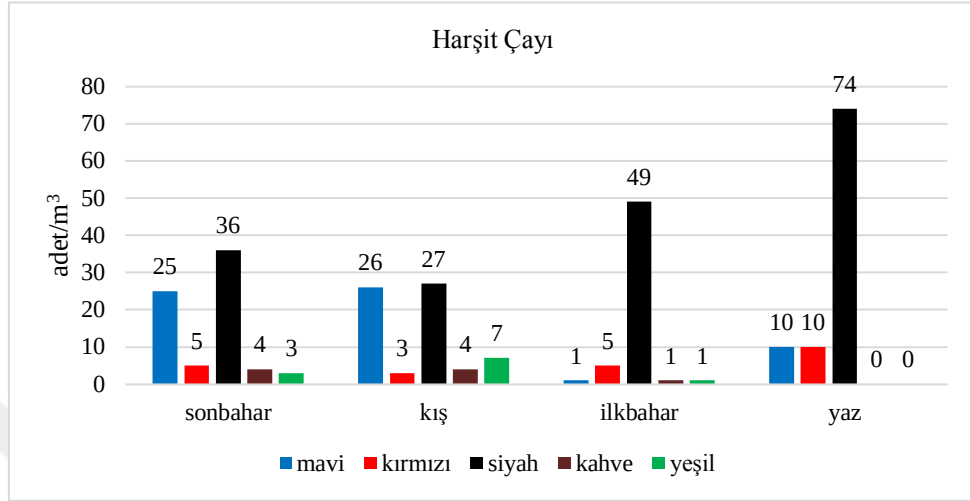
Harşit Çayı'nda sonbahar mevsiminde 73 adet/m³, kış mevsiminde 67 adet/m³, ilkbahar mevsiminde 57 adet/m³ ve yaz mevsiminde 94 adet/m³ mikroplastik tespit edilmiştir. Aksu Deresi'nde tüm mevsimlerde sayılan mikroplastikler türleri ve uzunluk oranları Tablo 4.23'te görülmektedir.

Tablo 4.23. Harşit Çayı su örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)

Harşit Çayı	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Lif (< 25 mikron)	0	2	0	3
Lif (25-50 mikron)	3	2	1	4
Lif (50-100 mikron)	5	5	3	8
Lif (> 100 mikron)	8	7	7	12
Pelet (< 25 mikron)	3	1	2	0
Pelet (25-50 mikron)	2	3	0	0
Pelet (50-100 mikron)	4	5	0	2
Pelet (>100 mikron)	11	6	0	5
Parça (<25 mikron)	3	5	32	11
Parça (25-50 mikron)	8	5	4	9
Parça (50-100 mikron)	3	6	3	16
Parça (>100 mikron)	12	3	4	17
Film (<25 mikron)	0	2	0	0
Film (25-50 mikron)	5	8	0	2
Film (50-100 mikron)	6	7	1	5

Harşit Çayı'nda sonbahar mevsiminde 16 adet lif, 20 adet pelet, 26 adet parça ve 11 adet film türünde, kış mevsiminde 16 adet lif, 15 adet pelet, 19 adet parça ve 17 adet film türünde mikroplastik sayılmıştır. İlkbahar mevsiminde 11 adet lif, 2 adet pelet, 43 adet parça ve 1 adet film türünde, yaz mevsiminde ise 27 adet lif, 7 adet pelet, 53

adet parça ve 7 adet film türünde mikroplastik kaydedilmiştir. Harşit Çayı'nda tespit edilen mikroplastiklerin renk dağılımları ise Şekil 4.25.'te verilmiştir. Tüm mevsimlerde siyah, mavi ve kırmızı renkler baskın olarak görülmüştür.



Şekil 4.25. Harşit Çayı su örneklerinde renklerine göre mikroplastikler

4.10.2. Sediment Örneklerinde Tespit Edilen Mikroplastikler

Tüm lokasyonların sediment örneklerinde mikroplastik miktarı belirlenmiştir. Yeşilirmak Nehri mikroplastik miktarı 127-512 adet/kg arasında değişim göstermiştir (Tablo 4.24). Mikroplastik miktarları Terme Çayı'nda 62-295 adet/kg, Cevizdere Deresi'nde 78-270 adet/kg, Melet Irmağı'nda 123-520 adet/kg, Aksu Deresi'nde 76-141 adet/kg ve son olarak Harşit Çayı'nda 58-453 adet/kg arasında değişim göstermiştir.

Tablo 4.24. Tüm İstasyonlarda sediment örneklerinde mikroplastikler

Sediment(adet/kg)	Yeşilirmak Nehri	Terme Çayı	Cevizdere Deresi	Melet Irmağı	Aksu Deresi	Harşit Çayı
Sonbahar	127	83	81	123	76	58
Kış	152	62	78	147	78	108
İlkbahar	512	295	149	520	129	453
Yaz	238	92	270	181	141	164

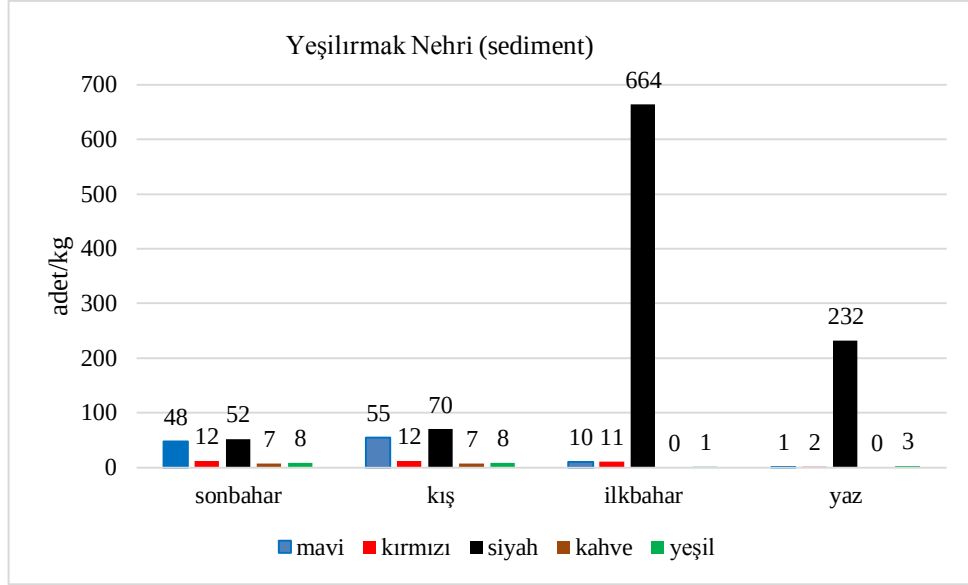
Yeşilirmak Nehri sediment örneklerinde sonbahar mevsiminde 43 adet lif, 28 adet pelet, 30 adet parça ve 26 adet film türü tespit edilmiştir. Kış mevsiminde 47 adet lif, 33 adet pelet, 47 adet parça ve 25 adet film, ilkbahar mevsiminde 51 adet lif, 3 adet

pelet, 457 adet parça ve 1 adet film, yaz mevsiminde ise 11 adet lif, 227 adet parça türünde mikroplastik tespit edilmiştir. Mikroplastiklerin boyutları Tablo 4.25'te verilmiştir.

Tablo 4.25. Yeşilırmak Nehri sediment örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)

Yeşilırmak Nehri (sediment)	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Lif (<25 mikron)	18	16	0	0
Lif (25-50 mikron)	9	11	4	1
Lif (50-100 mikron)	11	7	25	7
Lif (>100 mikron)	5	13	22	3
Pelet (< 25 mikron)	3	5	3	0
Pelet (25-50 mikron)	11	8	0	0
Pelet (50-100 mikron)	12	13	0	0
Pelet (>100 mikron)	2	7	0	0
Parça (< 25 mikron)	3	18	435	186
Parça (25-50 mikron)	12	11	12	20
Parça (50-100 mikron)	10	11	2	8
Parça (>100 mikron)	5	7	7	13
Film (< 25 mikron)	4	9	1	0
Film (25-50 mikron)	16	16	0	0
Film (50-100 mikron)	6	0	0	0

Yeşilırmak Nehri'nde sediment örneklerinde tespit edilen mikroplastiklerin renk dağılımları ise Şekil 4.26.'da görülmektedir. Tüm mevsimlerde siyah renk baskın olarak görülmüştür.



Şekil 4.26. Yeşilırmak Nehri sediment örneklerinde renklere göre mikroplastikler

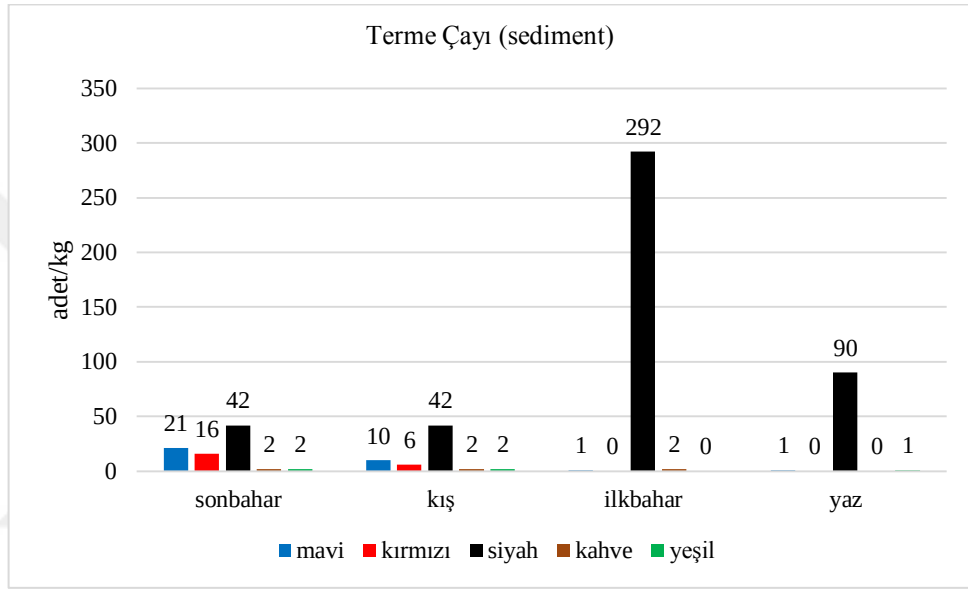
Terme Çayı sediment örneklerinde sonbahar mevsiminde 18 adet lif, 16 adet pelet, 40 adet parça ve 9 adet film türü belirlenmiştir. Kış mevsiminde 15 adet lif, 19 adet pelet, 27 adet parça ve 1 adet film, ilkbahar mevsiminde 11 adet lif, 49 adet pelet, 235 adet parça, yaz mevsiminde ise 3 adet lif, 8 adet pelet, 80 adet parça ve 1 adet film türünde mikroplastik sayılmıştır. Mikroplastiklerin boyutları Tablo 4.26'da görülmektedir. Terme Çayı sediment örneklerinde tespit edilen mikroplastiklerin renk dağılımları ise Şekil 4.27.'de verilmiştir. Tüm mevsimlerde siyah renk baskın olarak görülmüştür.

Tablo 4.26. Terme Çayı sediment örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)

Terme Çayı (sediment)	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Lif (<25 mikron)	2	1	0	0
Lif (25-50 mikron)	6	7	6	0
Lif (50-100 mikron)	4	5	2	0
Lif (>100 mikron)	6	2	3	3
Pelet (< 25 mikron)	0	8	21	4
Pelet (25-50 mikron)	2	0	27	1
Pelet (50-100 mikron)	9	9	0	1
Pelet (>100 mikron)	5	2	1	2
Parça (< 25 mikron)	17	13	190	76

Tablo 4.26. (Devamı)

Parça (25-50 mikron)	7	4	29	2
Parça (50-100 mikron)	7	3	3	1
Parça (>100 mikron)	9	7	13	1
Film (<25 mikron)	3	0	0	0
Film (25-50 mikron)	4	0	0	0
Film (50-100 mikron)	2	1	0	1

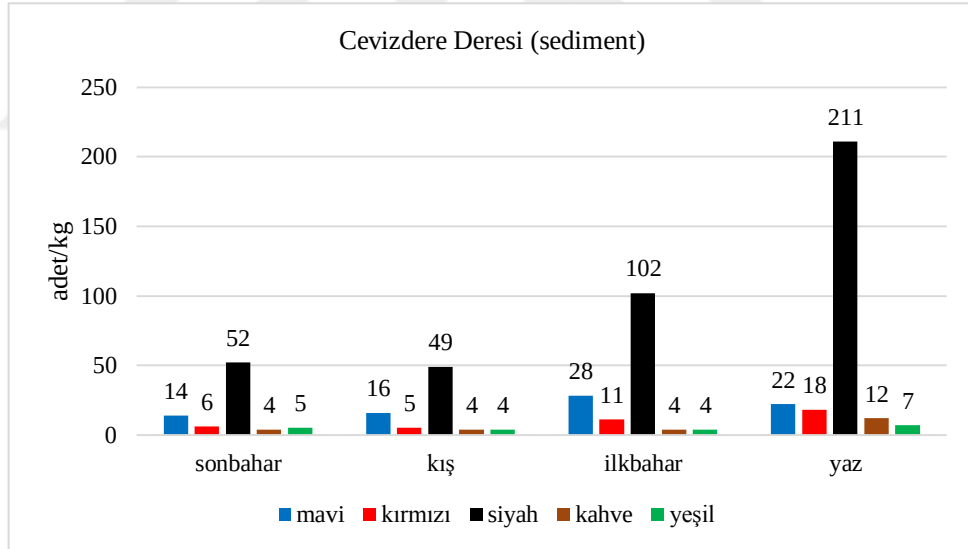


Şekil 4.27. Terme Çayı sediment örneklerinde renklere göre mikroplastikler

Cevizdere Deresi sediment örneklerinde sonbahar mevsiminde 22 adet lif, 28 adet pelet, 29 adet parça ve 2 adet film türü tespit edilmiştir. Kış mevsiminde 25 adet lif, 26 adet pelet, 25 adet parça ve 2 adet film, ilkbahar mevsiminde 4 adet lif, 19 adet pelet, 126 adet parça, yaz mevsiminde ise 6 adet lif, 5 adet pelet, 259 adet parça türünde mikroplastik tespit edilmiştir. Mikroplastiklerin boyutları Tablo 4.27.'de verilmiştir. Cevizdere Deresi sediment örneklerinde tespit edilen mikroplastiklerin renk dağılımları ise Şekil 4.28.'de gösterilmiştir. Tüm mevsimlerde siyah renk baskın olarak görülmüştür.

Tablo 4.27. Cevizdere Deresi sediment örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)

Cevizdere Deresi(sediment)	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Lif (<25 mikron)	0	0	0	0
Lif (25-50 mikron)	14	12	1	0
Lif (50-100 mikron)	4	7	1	0
Lif (>100 mikron)	4	6	2	6
Pelet (<25 mikron)	0	5	8	3
Pelet (25-50 mikron)	15	8	10	2
Pelet (50-100 mikron)	11	11	1	0
Pelet (>100 mikron)	2	2	0	0
Parça (< 25 mikron)	16	13	72	245
Parça (25-50 mikron)	8	4	24	8
Parça (50-100 mikron)	2	4	13	3
Parça (>100 mikron)	3	4	17	3
Film (< 25 mikron)	0	0	0	0
Film (25-50 mikron)	0	2	0	0
Film (50-100 mikron)	2	0	0	0



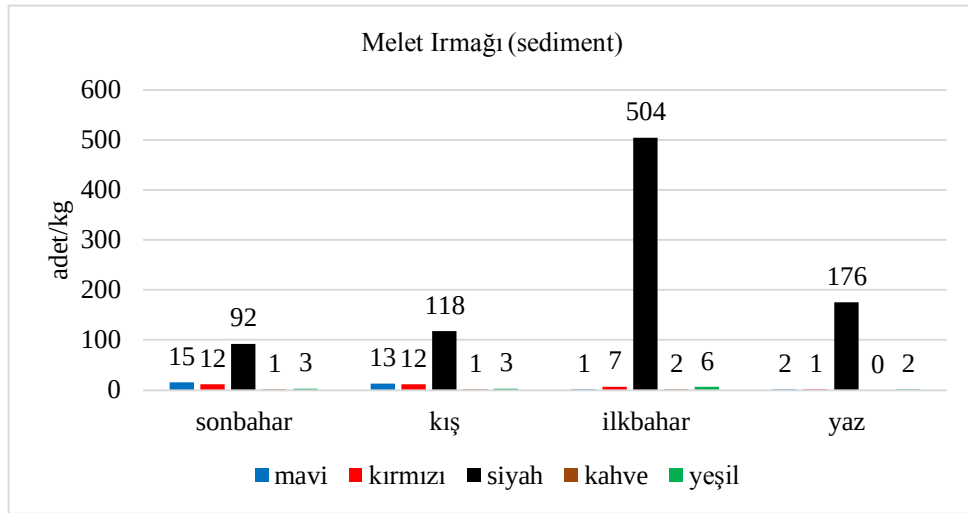
Şekil 4.28. Cevizdere Deresi sediment örneklerinde renklere göre mikroplastikler

Melet Irmağı sediment örneklerinde sonbahar mevsiminde 34 adet lif, 28 adet pelet, 53 adet parça ve 8 adet film türü belirlenmiştir. Kış mevsiminde 45 adet lif, 19 adet pelet, 75 adet parça ve 8 adet film; ilkbahar mevsiminde 20 adet lif, 15 adet pelet, 478 adet parça ve 7 adet film; yaz mevsiminde ise 11 adet lif, 3 adet pelet, 165 adet parça ve 2 adet film türünde mikroplastik tespit edilmiştir.

Tablo 4.28. Melet Irmağı sediment örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)

Melet Irmağı (sediment)	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Lif (<25 mikron)	0	5	0	0
Lif (25-50 mikron)	17	13	0	0
Lif (50-100 mikron)	11	9	3	2
Lif (>100 mikron)	6	18	17	9
Pelet (<25 mikron)	6	0	6	2
Pelet (25-50 mikron)	9	6	6	1
Pelet (50-100 mikron)	8	7	3	0
Pelet (>100 mikron)	5	6	0	0
Parça (<25 mikron)	24	37	207	131
Parça (25-50 mikron)	17	15	147	14
Parça (50-100 mikron)	5	8	86	7
Parça (>100 mikron)	7	15	38	13
Film (< 25 mikron)	0	2	0	0
Film (25-50 mikron)	5	0	1	0
Film (50-100 mikron)	3	6	6	2

Mikroplastiklerin boyutları Tablo 4.28.'de görülmektedir. Melet Irmağı sediment örneklerinde analiz edilen mikroplastiklerin renk dağılımları belirlenmiştir (Şekil 4.29.). Tüm mevsimlerde siyah renk baskın olarak görülmüştür.



Şekil 4.29. Melet Irmağı sediment örneklerinde renklere göre mikroplastikler

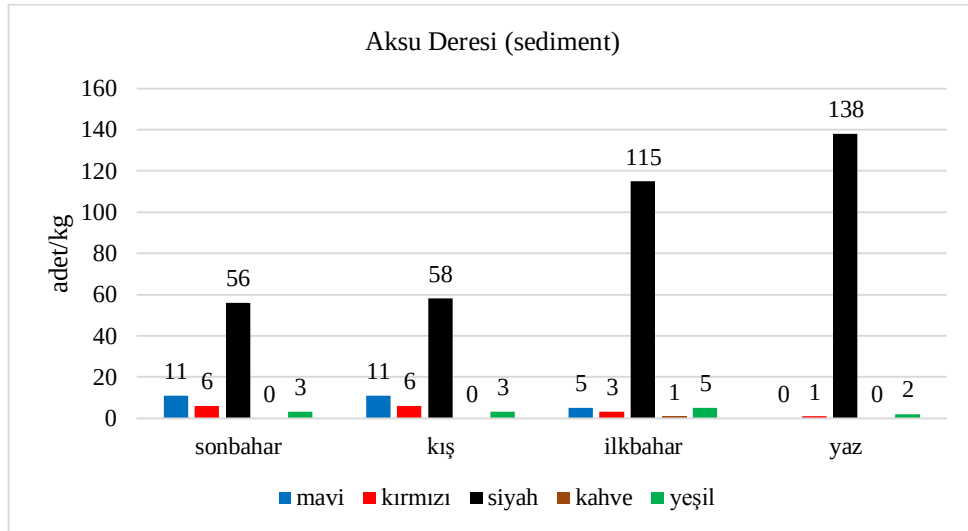
Aksu Deresi sediment örneklerinde sonbahar mevsiminde 15 adet lif, 15 adet pelet, 44 adet parça ve 2 adet film türü belirlenmiştir. Kış mevsiminde 16 adet lif, 13 adet pelet, 46 adet parça ve 3 adet film, ilkbahar mevsiminde 15 adet lif, 20 adet pelet, 93

adet parça ve 1 adet film, yaz mevsiminde ise 1 adet lif, 6 adet pelet, 132 adet parça ve 2 adet film türünde mikroplastik tespit edilmiştir. Mikroplastiklerin boyutları Tablo 4.29’da görülmektedir.

Tablo 4.29. Aksu Deresi sediment örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)

Aksu Deresi (sediment)	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Lif (<25 mikron)	0	2	0	0
Lif (25-50 mikron)	2	2	0	0
Lif (50-100 mikron)	5	5	2	0
Lif (>100 mikron)	8	7	13	1
Pelet (<25 mikron)	2	3	16	6
Pelet (25-50 mikron)	6	9	4	0
Pelet (50-100 mikron)	2	0	0	0
Pelet (>100 mikron)	5	1	0	0
Parça (<25 mikron)	21	19	88	121
Parça (25-50 mikron)	12	15	5	9
Parça (50-100 mikron)	5	7	0	1
Parça (>100 mikron)	6	5	0	1
Film (<25 mikron)	0	1	0	2
Film (25-50 mikron)	2	2	0	0
Film (50-100 mikron)	0	0	1	0

Aksu Deresi sediment örneklerinde analiz edilen mikroplastiklerin renk dağılımları ise Şekil 4.30.’da görülmektedir. Tüm mevsimlerde siyah, mavi ve kırmızı renk baskındır.



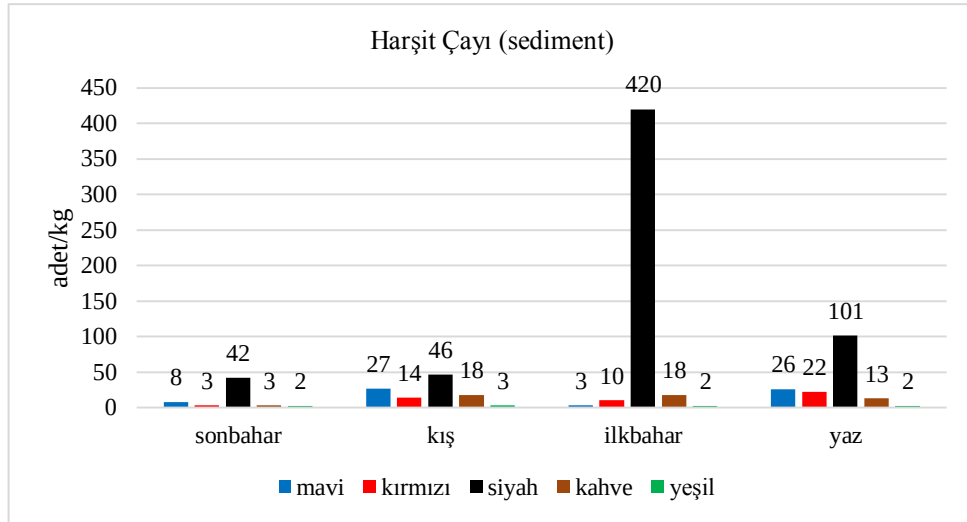
Şekil 4.30. Aksu Deresi sediment örneklerinde renklere göre mikroplastikler

Harşit Çayı sediment örneklerinde sonbahar mevsiminde 15 adet lif, 13 adet pelet, 27 adet parça ve 3 adet film türü belirlenmiştir. Kış mevsiminde 37 adet lif, 10 adet pelet, 49 adet parça ve 12 adet film, ilkbahar mevsiminde 31 adet lif, 3 adet pelet, 401 adet parça ve 18 adet film, yaz mevsiminde ise 27 adet lif, 2 adet pelet, 135 adet parça türünde mikroplastik tespit edilmiştir. Mikroplastiklerin boyutları Tablo 4.30.'da görülmektedir.

Tablo 4.30. Harşit Çayı sediment örneklerinde mikroplastik analiz sonuçları (adet)

Harşit Çayı (sediment)	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz
Lif (< 25 mikron)	5	0	0	0
Lif (25-50 mikron)	6	7	7	0
Lif (50-100 mikron)	4	5	4	0
Lif (>100 mikron)	0	25	20	27
Pelet (< 25 mikron)	6	5	8	1
Pelet (25-50 mikron)	2	1	2	1
Pelet (50-100 mikron)	4	3	1	0
Pelet (>100 mikron)	1	1	0	0
Parça (< 25 mikron)	16	27	298	107
Parça (25-50 mikron)	8	17	59	17
Parça (50-100 mikron)	2	3	8	6
Parça (>100 mikron)	1	2	28	5
Film (< 25 mikron)	2	0	0	0
Film (25-50 mikron)	1	7	0	0
Film (50-100 mikron)	0	5	18	0

Harşit Çayı sediment örneklerinde tespit edilen mikroplastiklerin renk dağılımı Şekil 4.31'de görülmektedir. Tüm mevsimlerde siyah renk baskın olarak göze çarpmaktadır.



Şekil 4.31. Harşit Çayı sediment örneklerinde renklere göre mikroplastikler

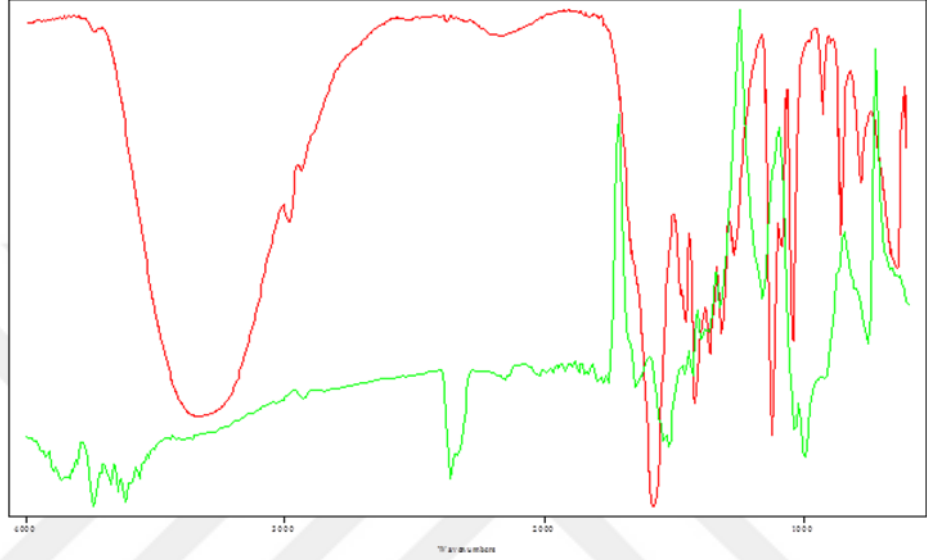
FT-IR analizi Ordu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya bölümünde yapılmıştır. Alınan sonuçlar Essential-FTIR programının kütüphanesinde eşleştirilmiştir. Polipropilen, polyester ve poliamit (nylon) olmak üzere üç çeşit polimer tespit edilmiştir. Eşleşme durumunu ve pik noktalarını gösteren grafikler Şekil 4.32-4.3.'de gösterilmiştir. Şekil 4.32.'de PP (polipropilen) polimerine ait dalga boylarını gösteren grafik verilmiştir. Şekil 4.33.'de PA (polyamit) polimeri, Şekil 4.34'de PES (polyester) polimerine ait dalga boyu görülmektedir. Ayrıca araştırma istasyonlarının su ve sedimentinde tespit edilen polimer türleri ve numune sayısı Tablo 4.31.'de verilmiştir.

Tablo 4.31. FT-IR analizinde en çok ölçümü yapılan polimer türleri

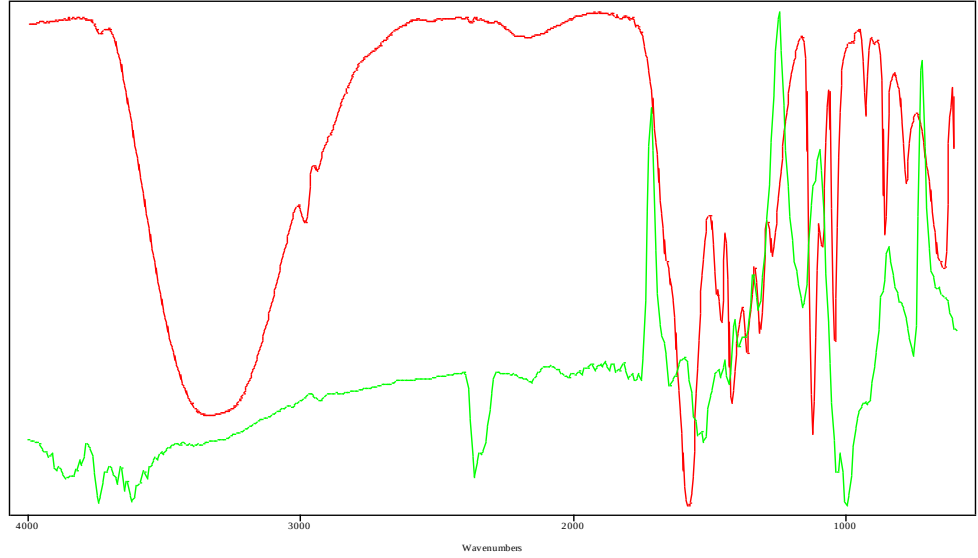
		Yeşilirmak Nehri	Terme Çayı	Cevizdere Deresi	Melet Irmağı	Aksu Deresi	Harşit Çayı
su	PP	2	2	2	3	2	1
	PES	0	1	2	0	1	2
	PA	2	1	0	1	1	1
sediment	PP	2	1	2	1	1	1
	PES	1	2	1	2	1	2
	PA	1	1	1	1	2	1

Su örneklerinde tespit edilen polimerler Yeşilirmak Nehri'nde %50 PP, %50 PA, Terme Çayı'nda %50 PP, %25 PES ve %25 PA, Cevizdere Deresi'nde %50 PP, %50 PES, Melet Irmağı'nda %75 PP ve %25 PA, Aksu Deresi'nde %50 PP, %25 PES ve

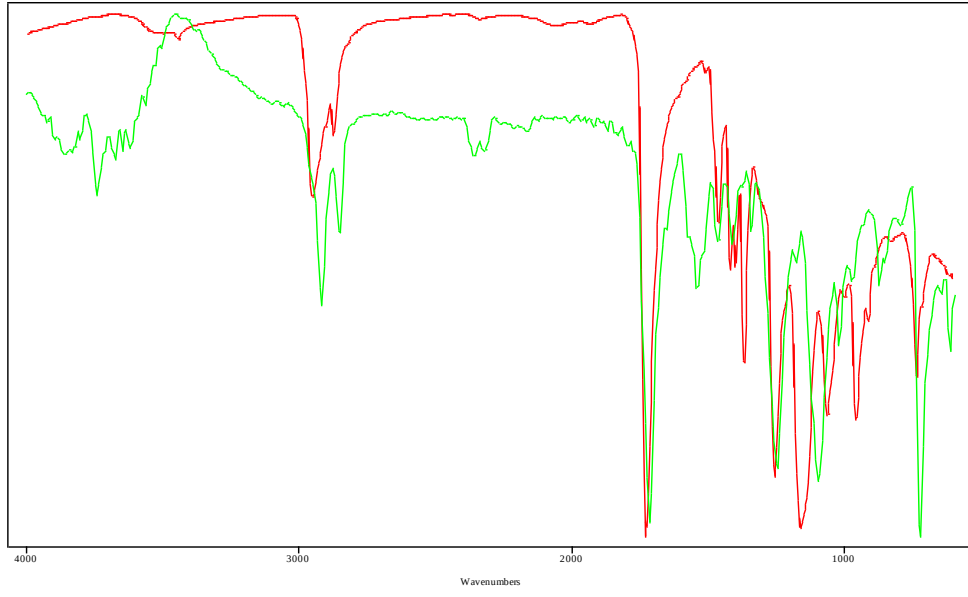
%25 PA ve Harşıit Çayı'nda %25 PP, %50 PES ve %25 PA şeklindedir. Sediment örneklerinde ise Yeşilırmak Nehri'nde %50 PP, %25 PES ve %25 PA, Terme Çayı'nda %25 PP, %50 PES ve %25 PA, Cevizdere Deresi'nde %50 PP, %25 PES ve %25 PA, Melet Irmağı'nda %25 PP, %50 PES ve %25 PA, Aksu Deresi'nde %25 PP, %25 PES ve %50 PA ve Harşıit Çayı'nda %25 PP, %50 PES ve % 25 PA tespit edilmiştir.



Şekil 4.32. Polipropilen polimerine ait FT-IR spektrumu



Şekil 4.33. Polyamid (nylon) polimerine ait FT-IR spektrumu



Şekil 4.34. Polyester polimerine ait FT-IR spektrumu

BÖLÜM 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Akarsular içme suyu ve diğer kullanım amaçları için değerlendirilen doğal kaynaklarımızdır. Su ürünleri yetiştiriciliği, tarım, hayvancılık, ormancılık, hidroelektrik, ulaşım gibi faaliyetlerin gerçekleşebilmesi için akarsular sağlıklı bir ekosisteme ve su kütlesine sahip olmalıdır. İnsanlar tarih boyunca su kaynaklarının yanında yerleşim yapmayı tercih etmişlerdir (Boyd, 2015; Aydın ve ark., 2021). Yaygın kentleşme, yeni yerleşim birimlerinin inşası ve hızlı sanayileşme sadece su kaynaklarını kirletmekle kalmamış, aynı zamanda farklı bölgelerde su kıtlığına yol açmıştır (Singh ve ark., 2020). Su kaynaklarının çok sayıda antropojenik kimyasal ve kirletici tarafından kirletilmesi bu ekosistemleri bozduğu gibi aynı zamanda halk sağlığını da tehdit edebilir (Ustaoglu ve Tepe, 2019). Ayrıca günümüzde tatlı su kaynakları küresel ısınmanın da etkisi altındadır. Tüm bu etkenlere bakıldığında sucul ekosistemlerin korunması ve sürdürülebilir olması önem teşkil etmektedir.

Tez çalışması kapsamında Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Samsun ilinde Yeşilirmak Nehri ve Terme Çayı, Ordu ilinde Cevizdere Deresi ve Melet Irmağı, Giresun ilinde Aksu Deresi ve Harşit Çayı'ndan bir yıl (Kasım 2020–Ağustos 2021) boyunca mevsimsel olarak denize deşarj noktalarından su ve sediment örnekleri alınarak çalışma yürütülmüştür. Karadeniz sahilinde yer alan üç ilin önemli akarsularının su kütlesinde kirlilik meydana getiren ya da getirebilecek olan maddeler belirlenerek değerlendirilmiştir.

Suyun fiziko-kimyasal parametreleri yerinde ve laboratuvarında analizleri yapılarak değerlendirilmiştir. Yüzey suyu örneklerinin yıllık ortalama parametre değerleri ulusal ve uluslararası kıstaslarla karşılaştırılmıştır. Su kalitesini belirlemek için sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen, toplam azot, toplam fosfor, toplam çözülmüş madde, elektriksel iletkenlik, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli, tuzluluk, askıda katı madde, bulanıklık, biyolojik oksijen ihtiyacı, toplam alkalinite ve toplam sertlik

parametrelerinin analizi yapılmıştır. Suda ağır metallere Al, Fe, Zn, Mn, Cu, As, Cr, Ni ve Pb analizleri yapılmıştır. Sedimentte % organik madde, pH ve ağır metallere Fe, Al, Mn, Zn, Cr, Pb Cu, Ni, Co, As, Cd ve Hg miktarları analiz edilmiştir. Ayrıca su ve sediment örneklerinde mikropplastik miktarları belirlenmiştir.

Suyun fiziksel parametrelerinden olan sıcaklık sucul organizmaların beslenme, üreme gibi metabolik faaliyetlerini sürdürebilmeleri için gerekli bir parametredir. Sıcaklıklardaki yükselme tatlı su rezervlerinin azalmasına sebep olmaktadır (Taş ve ark., 2010; Taş ve ark., 2021). Sıcaklık diğer fizikokimyasal parametreleri etkilediği gibi canlı dağılımı üzerinde de önemli etkiye sahiptir. Akarsularda sıcaklık hava sıcaklığına, akarsuyun genişliğine, yükseltisine, hızına, bulunduğu bölgedeki iklime göre değişmektedir (Cirik ve Cirik, 1999). Çalışma alanında bulunan istasyonların sıcaklık değerleri Yeşilırmak Nehri'nde 8,7–22,1 °C, Terme Çayı'nda 8,7–24,1 °C, Cevizdere Deresi'nde 7,6–25,4 °C, Melet Irmağı'nda 7,4–18,7 °C, Aksu Deresi'nde 7,5–20,5 °C ve Harşit Çayı'nda 8,3–19,8 °C aralığında değişim göstermiştir. Bu sonuçlara göre tüm istasyonlarda ortalama su sıcaklık değerleri I. sınıf su kalitesi özelliği taşımaktadır (Anonim, 2004; 2012). Yapılan ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testinde istasyonlar arasında anlamlı düzeyde bir farklılık görülmemiştir ($p>0,05$). Çözünmüş oksijen değeri ile su sıcaklığı arasında negatif bir ilişki vardır (Tanyolaç, 2004). Uygulanan korelasyon analizi de bu durumu desteklemiştir. Sıcaklık ile çözünmüş oksijen arasında negatif yönlü orta düzeyli ($r=-0,483$, $p<0,05$) ilişki bulunmuştur. Çalışma alanındaki Cevizdere Deresi'nde diğer istasyonlara göre sıcaklık değerleri yüksek ölçülmüştür.

Bu bölgede yapılan diğer çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ordu Elekçi Deresi'nde su sıcaklığı ortalama 14,95°C (Taş ve ark., 2021), Ilıca Deresi'nde en düşük 4,4 °C, en yüksek 27 °C (Çetin, 2012), Rize İyidere'de ortalama 7,20 °C (Verip ve ark., 2005), Giresun Pazarsuyu Deresi'nde ortalama 10,9 °C (Ustaoglu ve Tepe, 2019) ölçülmüştür.

Sucul canlıların çoğunluğu belirli bir pH aralığında canlılığını sürdürebilir. Yağış, buharlaşma ve dışarıdan gelen maddeler pH değişimine sebep olabilmektedir (Tavşanoğlu ve ark., 2020). Ayrıca sıcaklık ve fotosentetik artışlar da pH değerini artırmaktadır (Rostom ve ark., 2017). Çalışma sahasında bulunan altı istasyonda

ortalama pH 8,61–9,30 aralığında bazik olarak kaydedilmiştir. Karadeniz Bölgesinde yapılan çalışmalarda pH değerleri bakımından genellikle hafif alkali sonuçlar karşımıza çıkmaktadır. Kurucu (2020), Curi Deresi (Ordu)’nde pH değerini en düşük 7,57 ve en yüksek 9,7 olarak ölçmüştür. Topaldemir (2021) Miliç Kıyı Sulak Alanında (Terme, Samsun) ortalama 8,20 pH kaydetmiştir. Aydın ve arkadaşlarının (2021) yaptığı çalışmada, pH değerlerini Giresun ilinde yer alan Pazarsuyu Deresi’nde 8,82, Batlama Deresi’nde 8,81, Aksu Deresi’nde 8,71, Yağıldere Deresi’nde 8,53, Gelevera Deresi’nde 8,42, Harşit Çayı’nda 8,26 ve Görele Deresi’nde 8,49 olarak ölçmüşlerdir (Aydın ve ark., 2021). Demir ve arkadaşları (2021) Kızılırmak Nehri’nde yaptıkları çalışmada ortalama pH değerini 8,01 olarak belirtmişlerdir.

Çözünmüş oksijen (ÇO), bir suyun kalitesini belirlemeye yardımcı olabilecek anahtar parametrelerden biridir. ÇO konsantrasyonu, su ekosistemlerinde biyolojik çeşitliliği desteklemek için gereklidir (Ustaoglu ve ark., 2017). Suda herhangi bir zamanda tespit edilen oksijen miktarı suyun sıcaklığı, çözünmüş tuz derişimi ve sudaki biyolojik olaylar ile ilişkilidir (Taş ve ark., 2010). Bu çalışmada mevsimsel ortalama ÇO değeri, Yeşilirmak Nehri’nde 7,98 mg/L, Terme Çayı’nda 10,17 mg/L, Cevizdere Deresi’nde 10,22 mg/L, Melet Irmağı’nda 9,86 mg/L, Aksu Deresi’nde 10,91 mg/L ve Harşit Çayı’nda 9,33 mg/L ölçülmüştür. Tüm istasyonlar çözünmüş oksijen bakımından I. sınıf su kategorisindedir. ÇO kış mevsiminde daha yüksek çıkmıştır. Sıcaklık ve ÇO arasında ters ilişki vardır. Ayrıca fizikokimyasal parametreler arasındaki ilişkinin yönünü ve miktarını belirlemek için yaptığımız Pearson korelasyon analizi sonuçlarında da görüldüğü gibi sıcaklık parametresi ile çözünmüş oksijen arasında negatif yönlü orta düzeyli ilişki ($r = -0,483$; $p < 0,05$) bu durumu desteklemektedir (Tablo 4.7.). Döndü ve Özdemir (2019) tarafından Kadın Azmağı (Muğla)’nda yapılan çalışmada ÇO miktarı 6,14-8,72 mg/L aralığında kaydedilmiştir. Sökmen ve arkadaşlarının (2018) Karasu Nehri’nden (Erzincan) aldıkları su örneklerinde ortalama ÇO miktarı 8,56 mg/L’dir. Çiçek ve Ertan (2012) Köprüçay Nehri (Antalya)’nde 8,92 mg/L, Tepe ve Aydın (2017) Giresun Batlama Deresi’nde ortalama 10,65 mg/L, Taş ve arkadaşları (2021) Elekçi Deresi’nde en düşük 7,35 mg/L, en yüksek 11,20 mg/L, Başören ve Kazancı (2016) Rize Fırtına Deresi’nde 7,6–10,8 mg/L aralığında ÇO tespit etmişlerdir. Turnasuyu Deresi’nde

ise ortalama ÇO değeri 10,86 mg/L'dir (Taş ve ark., 2019). Kazancı ve arkadaşlarının (2010) Yeşilırmak Nehri'nde yaptıkları çalışmada ÇO değerini en düşük 3,11 mg/L, en yüksek 9,31 mg/L ölçmüşlerdir. Mevcut çalışmada da Yeşilırmak Nehri'nde yaz mevsiminde 5,01 mg/L ile en düşük oksijen miktarı ölçülmüştür. Çalışma kapsamında Yeşilırmak Nehri'nde numune alma noktası Samsun ili Çarşamba ilçesinde nehrin denize deşarj noktasıdır. Dolayısıyla evsel atıkların, tarımdan kaynaklanan organik kirliliğin, endüstriyel kirlilik ve barajların olumsuz etkilerinin oksijen miktarının azalmasında etkili olduğu düşünülmektedir.

Elektriksel iletkenlik çözülmüş organik maddelerin ve tuzluluğun miktarına göre değişiklik göstermektedir. Elektriksel iletkenlik değeri 25°C'de 1000 $\mu\text{S/cm}$ 'yi aşan sularda balık barınmayacağı, balık yetiştiriciliği için ise bu değerin yaklaşık 12,50–1800 $\mu\text{S/cm}$ arasında olması gerektiği bildirilmektedir (Verep ve ark., 2005). Çalışma alanımızdaki EC ölçümleri sırasıyla mevsimsel ortalama sonuçlarına göre; Yeşilırmak Nehri (329,33 $\mu\text{S/cm}$), Terme Çayı (286,48 $\mu\text{S/cm}$), Cevizdere Deresi (212,48 $\mu\text{S/cm}$), Melet Irmağı (228,53 $\mu\text{S/cm}$), Aksu Deresi (283,78 $\mu\text{S/cm}$) ve Harşit Çayı (179,28 $\mu\text{S/cm}$) şeklindedir. Bu sonuçlara göre tüm istasyonlar Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ndeki (Anonim, 2021) sınıflandırmaya göre I. sınıf kategorisindedir. Elektriksel iletkenlik suda anyon ve katyonların miktarına bağlı olarak değişen bir parametredir (Tanyolaç, 2011). Yapılan korelasyon analizinde de bu durum görülmüştür. Elektriksel iletkenlik parametresi ile TDS arasında pozitif yönlü yüksek düzeyde ($r = 0,961$; $p < 0,01$), toplam sertlik parametresi ile de orta düzeyli pozitif yönde ($r = 0,549$; $p < 0,01$) korelasyon hesaplanmıştır. Verep ve arkadaşlarının (2005) İyidere'de yaptıkları çalışmada elektriksel iletkenlik 57,60 $\mu\text{S/cm}$, Osmanoğlu'nun (2019) Artvin Murgul Deresi'nde yaptığı çalışmada en yüksek değeri 866,55 $\mu\text{S/cm}$, en düşük 49 $\mu\text{S/cm}$ olarak belirlemiştir. Taş ve arkadaşları (2021) Elekçi Deresi'nde ortalama EC değerini $242,33 \pm 84,66 \mu\text{S/cm}$ olarak tespit etmişlerdir. Topaldemir (2021) Miliç Kıyı Sulak Alanında yaptığı çalışmada ortalama EC değerini 1343,75 $\mu\text{S/cm}$ bildirmiştir. Aydın ve arkadaşları (2021) Giresun ilinde yedi farklı akarsuda yaptıkları çalışmada EC değerinin 46–434 $\mu\text{S/cm}$ arasında değiştiğini ifade etmişlerdir.

Tuzluluk parametresi ise tüm istasyonlarda mevsimsel ortalama sonuçlarına göre 0,10-0,28 ppt arasında değişim göstermiştir. Tuzluluk parametresinin korelasyon

sonuçlarına göre TDS ile pozitif yönlü çok yüksek ilişkisi ($r=0,905$; $p<0,01$) tespit edilmiştir. Sularda çözünmüş oksijen ile tuzluluk arasında ters yönlü bir ilişki vardır. Çalışmadaki korelasyon analizi sonucu da negatif yönlü ($r=-0,154$) bulunarak bu durumu desteklemiştir. Tuzluluk parametresi ülkemizde ve bölgemizde yapılan çalışmalarla benzerlik göstermiştir. Topaldemir (2021) Miliç kıyı sulak alanında tuzluluğu $\%0,11-1,9$ aralığında, Özay (2019), Kabaca Deresi'nde ortalama 0,04 ppt, Tokatlı (2015) Trakya Bölgesi'nde bulunan Meriç Nehri'nde $\%0,18-0,88$ aralığında tespit etmişlerdir. Çiçek ve Ertan (2012) Antalya Köprüçay'da 0,1-2,6 ppt, Tepe ve Aydın (2017), Giresun Batlama Deresi'nde ortalama 0,13 ppt, Ustaoglu ve arkadaşları (2020c) Çömlekçi Deresi'nde 0,05-0,3 ppt aralığında değişen ortalama 0,1 ppt salinite değerlerini bildirmişlerdir.

Oksidasyon Redüksiyon Potansiyeli (ORP) parametresi çalışma alanında bulunan altı istasyonda mevsimsel ortalama sonuçlarına göre -87,5mV ile -192,5 mV arasında değişim göstermiştir. ORP, bir maddenin başka bir maddeyi oksitleme veya azaltma derecesini gösteren bir ölçümdür. Korelasyon sonuçlarına göre pH ile negatif yönlü güçlü bir ilişki ($r=0,798$; $p < 0,01$) göze çarpmaktadır. ORP ile sıcaklık arasında ise pozitif yönlü orta düzeyli ilişki ($r=0,536$; $p<0,01$) hesaplanmıştır. Sert (2019) Amanos Dağları'ndaki bazı doğal su kaynaklarının ORP değerini -65,38 mV ile -15,91mV arasında bulmuştur. Topaldemir (2021), ORP'nin Miliç sulak alanı suyunda, -118,9 mV ile -17,9 mV arasında olduğunu bildirmiştir. Batlama Deresi'nde ORP'nin -100 mV ile -33mV arasında değiştiğini, ortalama değerin -77,25 mV olduğunu belirtmişlerdir (Tepe ve Aydın, 2017).

Toplam çözünmüş madde (TDS) parametresi için mevsimsel ortalama Yeşilirmak Nehri'nde 296,8 mg/L, Terme Çayı'nda 336,95 mg/L, Cevizdere Deresi'nde 194,4 mg/L, Melet Irmağı'nda 183,9 mg/L, Aksu Deresi'nde 229,9 mg/L ve Harşit Çayı'nda 147,12 mg/L olarak kaydedilmiştir. TDS parametresi bakımından çalışma yapılan 6 istasyon da I.sınıf su kategorisinde bulunmuştur (<500 mg/L). Yapılan korelasyon analizinde TDS ile elektriksel iletkenlik arasında ($r= 0,691$; $p<0,01$) pozitif yönlü güçlü ilişki, tuzluluk ile ($r=0,905$; $p<0,01$) pozitif yönlü yüksek ilişki olduğu görülmüştür. Su içerisinde bulunan TDS, doğal kaynaklardan, evsel ve endüstriyel atık sulardan ve tarımsal alanlardan kaynaklanmaktadır. TDS'yi oluşturan iyonlar karbonat, bikarbonat, klorür, sülfat, nitrat, sodyum, potasyum,

kalsiyum, magnezyum gibi iyonlardır. Aynı zamanda organik yapıdaki küçük partiküller, inorganik maddeler, çözünebilen organik bileşikler, plankton ve diğer mikroskobik organizmalar da TDS oluşumuna katkıda bulunurlar (Taş ve ark., 2010). Korelasyon sonuçları da bu durumu doğrulamaktadır. Kurucu (2020), Curi Deresi (Ordu)'nde yaptığı çalışmada en düşük 43,3 mg/L, en yüksek 150 mg/L, Mutlu ve arkadaşları (2017) Güneydoğu Karadeniz'de Rize kıyılarına dökülen Sarayköy, Der pazarı, Çiftekavak, Taşlıdere derelerinin su kalitesini inceledikleri çalışmada 52,37–94,19 mg/L aralığında TDS tespit etmişlerdir. Çalışma alanımızda bulunan Terme Çayı'nda TDS miktarı daha önceki çalışmalarda 102,85 mg/L (Ustaoglu ve ark., 2021a), Miliç sulak alanında (Topaldemir, 2021) ortalama 650,94 mg/L olarak bulmuştur. Ngoye ve Machiwa (2004), Ruvu Nehri'nde yaptıkları çalışmada TDS miktarını $19,9 \pm 0,38$ ve $24,367 \pm 152,9$ mg/L olarak bildirmişlerdir. Adige Nehri (İtalya)'nde (Natali ve ark., 2016) yapılan çalışmada en düşük 140-170 mg/L, en yüksek değerleri de 190-250 mg/L arasında kaydetmişler, nehir ağızlarında 450 mg/L'ye kadar yüksek TDS değerleri gözlemlemişlerdir. Bu durumun ise yüksek gelgit olayları sırasında deniz suyu ile karışımından kaynaklanması olarak açıklamışlardır.

Toplam alkalinite doğal sularda 5-500 mg/L CaCO_3 aralığında değişim göstermektedir. Suların asit nötrale etme kapasitesi olarak ifade edilmektedir (Tepe ve Boyd, 2002). Altı farklı istasyondan alınan su örneklerinde mevsimsel ortalama toplam alkalinite 88,5–164,25 mg/L CaCO_3 arasında değişim göstermiştir. En düşük 67 mg/L CaCO_3 olarak ilkbahar mevsiminde Yeşilırmak Nehri'nde, en yüksek olarak yine aynı istasyonda yaz mevsiminde 220 mg/L CaCO_3 olarak analiz edilmiştir. Çalışma alanlarından biri olan Yeşilırmak Nehri diğer istasyonlara göre daha yüksek değerde olup bunun sebebi Yeşilırmak havzasındaki noktasal ve noktasal olmayan kirleticiler olduğu düşünülmektedir. Korelasyon analizi sonuçlarına göre de elektriksel iletkenlik ve toplam çözünmüş madde parametreleri ile orta düzeyli pozitif yönlü ilişki görülmüştür (Tablo 4.7.). Çözünmüş oksijen ile ise ($r = -0,447$; $p < 0,05$) negatif yönlü orta düzeyli ilişki olduğu tespit edilmiştir. Topaldemir (2021), Miliç sulak alanında 33–286 mg/L CaCO_3 aralığında, istasyonların genel ortalamasını ise 122,48 mg/L CaCO_3 olarak ifade etmiştir. Bu alan tez kapsamındaki çalışma bölgemizde bulunan bir sulak alan olup sonuçları benzerlik göstermektedir.

Nilüfer Çayı (Bursa)'nda havzada en düşük 59,98 mg/L CaCO_3 , en yüksek alkalinite değeri 508,63 mg/L CaCO_3 bildirilmiştir (Ayaz, 2021). Turnasuyu Çayı'nda ortalama 39,36 mg/L (Ustaoğlu ve ark., 2020a), Melet Irmağı'nda ortalama 79 mg/L bulunmuştur (Ustaoğlu ve ark., 2017). Bu çalışmada ise Melet Irmağı mevsimsel ortalama 95 mg/L bulunmuştur. Zaman içerisinde aynı ırmaktaki bu değişimin sebebinin ise Melet Irmağı'nda Ordu Büyükşehir Belediyesi tarafından gerçekleştirilen proje kapsamında ırmak içerisinde yoğun olarak iş makinelerinin çalışma yapması ve ırmak yatağından malzeme çıkarılması işlemleri olduğu düşünülmektedir.

Toplam sertlik suda özellikle Ca ve Mg elementlerinin derişimine bağılı olarak değişen tatlı su analizlerinde önemli bir parametredir. 0–60 mg/L CaCO_3 arası yumuşak sular, 61–120 mg/L orta sertlikte su, 121–180 mg/L sert su ve >180 mg/L çok sert su olarak sınıflandırılmaktadır (Boyd ve ark., 2016). Toplam sertlik mevsimsel olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama sonuçları mg/L CaCO_3 olarak Yeşilırmak Nehri (211), Terme Çayı (149,5), Cevizdere Deresi (147), Melet Irmağı (134,75), Aksu Deresi (186,25) ve Harşit Çayı (122)'nda hesaplanmıştır. Yeşilırmak Nehri ve Aksu Deresi çok sert sular sınıfına girerken, geri kalan istasyonlar sert su sınıfındadır. TS ve TA birbirinden etkilenen parametrelerdir, bu durum yapılan korelasyon analizi ile de desteklenmiştir. Toplam sertlik ile toplam alkalinite arasında ($r = 0,09$; $p < 0,01$) pozitif yönlü güçlü ilişki tespit edilmiştir. Benzer şekilde TS ile EC, tuzluluk ve TDS arasında pozitif yönlü orta düzeyde ilişki görülmüştür (Tablo 4.7.). Köprüçay (Antalya)'da yıllık ortalama TS değeri $223,54 \pm 11,347$ mg/L CaCO_3 (Çiçek ve Ertan, 2012), Nilüfer Çayı (Bursa)'nda ortalama 237,26 mg/L CaCO_3 'dır (Ayaz, 2021). Taş ve Kolören (2017) Yeşilırmak Nehri'nde 153 mg/L CaCO_3 , Kızılırmak Nehri'nde 233 mg/L CaCO_3 TS değeri bildirmişlerdir. Tepe ve Aydın (2017), Batlama Deresi'nde ortalama 103,66 mg/L CaCO_3 , Ustaoğlu ve arkadaşları (2017) Melet Irmağı'nda ortalama 97 mg/L CaCO_3 TS tespit etmişlerdir. Mutlu ve arkadaşları (2017) Güneydoğu Karadeniz'de Rize kıyılarına dökülen bazı akarsularda 46,96–52,07 mg/L CaCO_3 aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Tatlı sularda yaşayan canlılar için önemli bir etkiye sahip olan Toplam Fosfor (TP) parametresi kirlenmemiş sularda 0,01-0,03 mg/L arasında olup çok düşük seviyelerde bulunmaktadır (Tepe ve Boyd, 2003). Çalışma alanımızdaki altı akarsuda

mevsimsel ortalama TP değeri 0,10–0,48 mg/L aralığında tespit edilmiş olup 0,01 mg/L ile en düşük kış mevsiminde Melet Irmağı'nda, en yüksek 0,97 mg/L ile kış mevsiminde Yeşilırmak Nehri'nde ölçülmüştür. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Anonim, 2004) kalite sınıflarına göre Yeşilırmak Nehri III. sınıf, Terme Çayı, Cevizdere Deresi, Melet Irmağı, Aksu Deresi ve Harşit Çayı ise II. sınıf bulunmuştur (Anonim, 2021). İstatiksel açıdan istasyonlar arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$). Korelasyon analizine göre TP ile TS arasında pozitif yönlü orta düzeyli ($r=0,414$; $p<0,05$) bir ilişki bulunmuştur. Yeşilırmak Nehri'ndeki TP yüksekliği göze çarpmaktadır. Akarsulara TP girdisi tarımsal gübreler, evsel atıklar ve özellikle deterjan kirliliği ile olduğu bilinmektedir. Numune alınan konum itibarıyla tüm kirlilik yükünün toplanarak denize döküldüğü deşarj noktası olduğundan TP değerinin yüksek olduğu düşünülmektedir. Gedik ve arkadaşları (2012) Fırtına Deresi'nde ortalama 0,12 mg/L, altı örneklem noktasında Haziran ayında 0,183 mg/L ve Aralık ayında 0,172 mg/L bulmuşlardır. Bakan ve Şenel (2000) Mert Irmağı'nda 0,71 mg/L, Ustaoglu ve arkadaşları (2020c) Çömlekçi Deresi'nde $0,34\pm0,32$ mg/L TP bildirmişlerdir. Aydın ve arkadaşlarının (2021) Pazarsuyu Deresi, Batlama Deresi, Aksu Deresi, Yağlıdere Deresi, Gelevera Deresi, Harşit Deresi ve Görele Deresi'nde yaptıkları çalışmada TP değeri 0,03–1,1 mg/L aralığında tespit edilmiştir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre (Anonim, 2012) Pazarsuyu ve Yağlıdere derelerinin I. Sınıf ($<0,08$ mg/L) ve geri kalanlar II. Sınıf su kalitesine sahip ($<0,2$ mg/L) olduğu ifade edilmiştir. Bu sonuçlar çalışma alanındaki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

SRP sucul canlıların yaşamsal faaliyetlerinde kullandıkları bileşiklerdir. Çözünebilir reaktif fosfor değeri fosforun biyolojik olarak kullanılabilir miktarını ifade eder, canlılar tarafından hızlıca alındığından çok düşük miktarlarda bulunmaktadır (Aydın, 2015). Çalışma alanında 0,03–0,14 mg/L aralığında bulunmuştur. En yüksek ortalama Yeşilırmak Nehri'nde en düşük ortalama ise Cevizdere Deresi'nde analiz edilmiştir. Korelasyon testinde TP parametresi ile arasında pozitif yönlü yüksek ilişki ($r=0,834$; $p<0,05$) görülmüştür. SRP parametresi toplam fosforun bir kısmını temsil ettiğinden TP ile ilişkili olan bir parametredir. Bölgede yapılan çalışmalara bakıldığında benzer sonuçlar görülmüştür. Batlama Deresi'nde 0,020 mg/L (Tepe ve Aydın, 2017), Gelevera Deresi'nde 0,019 mg/L (Yıldız, 2013) ve Çanakçı Deresi'nde

0,020 mg/L (Dinçer, 2014), Çömlekçi Deresi'nde 0,032±0,047 mg/L (Ustaoğlu ve ark., 2020c) olarak bulunmuştur. Ceyhan Nehri'nde yapılan çalışmada iki istasyonda 0,01 ve 0,03 mg/L bulunmuştur (Şahan ve ark., 2017).

TAN, amonyum ve iyonize olmamış amonyak iyonlarının toplamını belirtmektedir. Azotlu bileşikler olan nitrit, nitrat ve amonyak miktarının yüksek seviyeleri sucul canlılar için zehirli etkiye sebep olabilir, bu durum pH ve sıcaklığın artması paralelinde artmaktadır (Tepe ve ark., 2006). Toplam amonyum nitrojeni (TAN) parametresi çalışma alanında tüm istasyonlarda mevsimsel olarak ölçülmüştür. Mevsimsel ortalama sonuçlarına göre 0,17 mg/L ile en düşük Aksu Deresi, 0,76 mg/L ile en yüksek Yeşilirmak Nehri'nde analiz edilmiştir. Yapılan korelasyon analizinde TAN ile TP arasında pozitif yönlü yüksek düzeyli ($r=0,713$; $p<0,01$), yine aynı şekilde SRP ile ($r=0,723$; $p<0,01$) pozitif yönlü güçlü ilişki görülmüştür. TAN parametresi ile sıcaklık ve pH arasında negatif yönlü ilişki görülmüştür. Yapılan çalışmalara bakıldığında Tepe ve Aydın (2017) Batlama Deresi'nde ortalama 0,34 mg/L, Tepe ve Mutlu (2004) ortalama 0,12 mg/L, Ustaoğlu ve Tepe (2019) Pazarsuyu Deresi'nde ortalama $0,31 \pm 0,08$ mg/L olarak bildirmiştir.

Askıda katı madde (AKM), su ortamlarındaki maddelerin reaktivitesini, taşınmasını ve biyolojik etkilerini kontrol etmede etkili olup aynı zamanda besin zinciri arasındaki kimyasal bileşenler için çok önemli bir bağlantı sağlamaktadır. Sucul ortamda kirlilik izlenmesinde kullanıldığı gibi canlı organizmaların besin kaynağını da oluşturmaktadır (Turner ve Millward, 2002). Askıda katı madde mevsimsel ortalama sonuçlarına göre Yeşilirmak Nehri 211 mg/L, Terme Çayı 93,08 mg/L, Cevizdere Deresi 83 mg/L, Melet Irmağı 62,23 mg/L, Aksu Deresi 33,58 mg/L ve Harşit Çayı 103,33 mg/L olarak hesaplanmıştır. İstatiksel açıdan istasyonlar arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$). Harşit Çayı'nda diğer istasyonlara göre yüksek çıkmıştır. Bu durumun sebebi arazi çalışmalarının yapıldığı dönemde sel felaketi yaşanması ve dere içerisinde ıslah çalışmaları yapılması olarak söylenebilir. Benzer çalışmalara bakıldığında, Gümüş (2021), Akarçay Akarsuyu (Afyon)'nda ortalama 147,29 mg/L, Zeydan ve arkadaşları (2019), Kozlu Deresi (Zonguldak)'nde Haziran döneminde en yüksek 112 mg/L ve 88 mg/L, aralık döneminde ise yağışlar nedeniyle 1 mg/L'nin altına düştüğünü bildirmişlerdir. Çoruh Nehri'nde iki

istasyonda 16–17 mg/L ifade edilmiştir (Birici ve ark., 2017). Topaldemir (2021), Miliç sulak alanında yıllık ortalama 22,77 mg/L olarak bildirmiştir.

Bulanıklık kil ve silt gibi asılı partiküller, manganez ve demir gibi kimyasal çökeltiler, insan ve hayvan atıkları, bitki artıkları ve organizmalar gibi organik partiküllerin neden olduğu, suyun izlenmesinde kullanılan bir parametredir. Bulanıklık genellikle önemli bir halk sağlığı riskini temsil etmez. Bununla birlikte, patojenik mikroorganizmaların ve tehlikeli olayların varlığının bir göstergesi olabilir (Tsamo ve ark.,2021). Çalışma bölgemizde bulunan altı istasyonda bulanıklık parametresi mevsimsel olarak ölçülmüştür. Yeşilırmak Nehri 21,02 NTU, Terme Çayı 8,19 NTU, Cevizdere Deresi 11,25 NTU, Melet Irmağı 14 NTU, Aksu Deresi 67,68 NTU ve Harşit Çayı 19,50 NTU olarak kaydedilmiştir. Karadeniz bölgesinde yapılan bu çalışmada istasyonlarda bulanıklık parametresinin yüksek görülmesinin sebebi yağış fazlalığı, sedimentin taşınması, tarımsal faaliyetler ve evsel atıklar olarak söylenebilir. Ayrıca tüm istasyonlar denize deşarj noktaları olduğundan kirlilik yükünün bu bölgede birikmesi muhtemeldir. Gümüş (2021), Akarçay Akarsuyu (Afyon)’nda bulanıklık parametresini 105,29 NTU, Taş ve arkadaşları (2021) Elekçi Deresi’nde 39,31 NTU, 43,32 NTU ve 81,47 NTU olarak bildirmişlerdir. Taş ve Kolören (2017) Terme Çayı’nda sonbahar döneminde 24,4 NTU, ilkbahar döneminde 8,86 NTU olarak yine aynı çalışmada Yeşilırmak Nehri’nde sonbahar döneminde 7,55 NTU ve ilkbahar döneminde 10,3 NTU bildirmişlerdir. Tokatlı (2015) Meriç Nehri’nde beş farklı istasyonda 9–65 NTU aralığında tespit etmiştir. Pakistan’da Kabil Nehri’nde bulanıklık 18–99 NTU aralığında ortalama da 45 NTU olarak ifade edilmiş, bulanıklıktaki yüksekliğin evsel ve endüstriyel atıklardan kaynaklandığı bildirilmiştir (Ullah ve ark., 2013).

BOİ₅, önemli su kalitesi parametresi olup organik kirliliğin göstergesidir. Çalışma alanında altı istasyonda ortalama BOİ₅ sırası ile Yeşilırmak Nehri 3,84 mg/L, Terme Çayı 3,06 mg/L, Cevizdere Deresi 1,98 mg/L, Melet Irmağı 1,65 mg/L, Aksu Deresi 2,69 mg/L ve Harşit Çayı 4,03 mg/L olarak hesaplanmıştır. Harşit Çayı II. sınıf su kalitesine sahipken diğer istasyonların hepsi I.sınıf olarak tespit edilmiştir (Anonim, 2004; 2021). Tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılan istatistiksel hesaplamalarda Harşit Çayı ve Melet Irmağı arasında anlamlı düzeyde bir fark tespit edilmiştir ($p<0,05$). Yapılan korelasyon analizine göre ise

BOİ₅ ile çözünmüş oksijen arasında negatif yönlü orta düzey bir ilişki ($r = - 0,426$; $p < 0,05$) görülmüştür. BOİ₅ yüksek çıkması su ortamında organik maddenin ayrışması için gerekli oksijen miktarını gösterdiğinden sudaki oksijenin azalmasına sebep olmaktadır. Korelasyon sonucu da bu durumu desteklemektedir. Topaldemir (2021), Miliç kıyı sulak alanındaki istasyonlarda BOİ₅ değeri 3,83–15,7 mg/L arasında olup II. sınıf su kalitesi niteliğine sahip olduğunu bildirmiştir. Boyar (2019) Göksu Nehri'nde ortalama 1,40 mg/L ve BOİ₅ bakımından I. sınıf su kalitesinde olduğunu bildirmiştir. Mutlu ve arkadaşları (2017) Güneydoğu Karadeniz'de Rize kıyılarına dökülen Sarayköy, Derepaşarı, Çiftekavak, Taşlıdere derelerinde sırasıyla 0,91 mg/L, 0,99 mg/L, 0,74 mg/L ve 0,77 mg/L tespit etmişlerdir. Öner ve Çelik (2011) Gediz Nehri'nde 67,7 mg/L, Gedik ve arkadaşları (2012) Fırtına Deresi'nde yaptıkları çalışmada 1,85 mg/L tespit etmişlerdir. Obaid (2021), Shatt Al-Hillah (Irak)'ta yaptığı çalışmaya göre BOİ₅ değerlerinin 1,49 mg/L–4,8 mg/L arasında değiştiğini göstermiştir. Bazı istasyonların evsel kanalizasyon ve endüstriyel atıklardan etkilendiğini bildirmiştir.

Günümüzde çok yaygın olan metal kirliliğinin beş kaynağı vardır. Bunlar; jeolojik olaylar, cevherler ve metallerin endüstriyel üretimi, metal ve metal bileşiklerinin kullanımı, çöp ve katı atıkların doğaya boşaltılması, ağır metaller içeren hayvan ve insan atıklarıdır. Şehirleşme, endüstri, metalürji ve endüstrideki son gelişmeler ile birlikte alüminyum, cıva, bakır, kobalt, çinko, boya sanayinde, plastik sanayinde, kâğıt, kaplamada demir, nikel, kurşun ve kadmiyum gibi ağır metaller, pil ve pestisit yapımında kullanılmakta ve bunun bir sonucu olarak su ekosistemlerine giren ağır metallerde artış olduğu birçok çalışmada belirlenmiştir (Canpolat ve Uzun, 2019).

Sulardaki ağır metal kirliliği büyük önem taşımaktadır. Çünkü ağır metaller kolay parçalanmazlar, sucul yaşam ve insanlar için tehlike oluştururlar (Ustaoglu ve İslam, 2020). Nehirler endüstriyel atıklarla kirlenirse ağır metal konsantrasyonları da artmaktadır. Ayrıca kimyasal gübrelerin kontrolsüz olarak kullanılması sonucunda yer altı ve yüzey su kaynakları kirlenmekte, besin ve su kaynaklarına ağır metaller karışarak insan sağlığı tehlikeye girmektedir. Türkiye'nin Doğu Karadeniz kıyısında var olan metal kirliliğinin sebebi tarımsal akıntılar ve arıtılmamış atık sular olarak görülmektedir. Ayrıca Doğu Karadeniz bölgesinde zengin Cu, Zn ve Pb maden rezervleri bulunmaktadır. Bu nedenle madenlerin atıkları nehirler yoluyla deniz

ortamına taşınmaktadır. Doğu Karadeniz bölgesindeki sucul çevredeki kirliliğin ana kaynağını oluşturmaktadır. Ağır metaller tarafından su ortamının kirlilik seviyeleri su, sediment ve denizel analiz yapılarak tahmin edilebilir (Baltaş ve ark., 2017).

Çalışma kapsamında su örneklerinde bazı ağır metallerin tespit yapılmıştı. Sudaki tespiti yapılan ağır metallerin istasyonlara göre sıralaması yapılmıştır. Yeşilırmak Nehri'nde $Al > Zn > Fe > Mn > As > Cu > Ni > Cr > Pb$, Terme Çayı'nda $Al > Fe > Zn > Mn > Cu > As > Ni > Pb > Cr$, Cevizdere Deresi'nde $Al > Fe > Zn > Mn > As > Cu > Cr > Ni > Pb$, Melet Irmağı'nda $Al > Fe > Zn > Mn > As > Cu > Ni > Pb > Cr$, Aksu Deresi'nde $Al > Fe > Zn > Mn > Cu > Cr > As > Pb > Ni$, Harşit Çayı'nda ise $Al > Fe > Zn > Mn > Cu > As > Pb > Cr > Ni$ olarak sıralanmıştır. Genel olarak tüm istasyonlarda alüminyum, demir, mangan ve çinko elementleri en yüksek ölçüm değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Alüminyum metali tüm istasyonlarda en yüksek miktara sahip olup Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre III. Sınıf su kalitesinde tespit edilmiştir (Anonim, 2012). En düşük Yeşilırmak Nehri'nde 449,72 µg/L, en yüksek 749,60 µg/L Aksu Deresi'nde kaydedilmiştir. Ayrıca WHO (2011) de belirtilen sınır değer olan 200 µg/L, tüm istasyonlarda aşılmış ve hepsinde en yüksek miktarlarda tespit edilmiştir. Alüminyum doğada fazla miktarlarda bulunan bir element olup çeşitli yollarla akarsulara ulaşarak canlı yapısına aktarılmaktadır (Kurucu, 2020).

Demir metali su örneklerinde mevsimsel ortalama olarak Yeşilırmak Nehri (118,32 µg/L), Terme Çayı (201,92 µg/L), Cevizdere Deresi (144,39 µg/L), Melet Irmağı (183,20 µg/L), Aksu Deresi (692,58 µg/L) ve Harşit Çayı (228,53 µg/L)'nda hesaplanmıştır. En yüksek Aksu deresi en düşük ise Yeşilırmak Nehri'nde görülmüştür. Demir metali bakımından Aksu Deresi ve Harşit Çayı II. sınıf geri kalan ırmaklar ise I. sınıf su kalitesine sahip bulunmuştur. Demir metali de alüminyumdan sonra doğada en çok bulunan elementlerden biridir. Tüm canlılar tarafından ihtiyaç duyulan ancak belirli miktarın üstünde toksik etki yapabilen bir elementtir (Kurucu, 2020).

Çinko bakımından mevsimsel ortalama sıralaması, Yeşilırmak Nehri > Aksu Deresi > Terme Çayı > Harşit Çayı > Cevizdere Deresi > Melet Irmağı şeklindedir. En düşük ortalama 101,42 µg/L Melet Irmağı, en yüksek ortalama 292,30 µg/L

Yeşilırmak Nehri'nde kaydedilmiştir. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre sadece Yeşilırmak Nehri II. sınıf su kalitesine sahipken geri kalan istasyonlarımız I.sınıf su kalitesine sahiptir. Çinko, hemen hemen tüm gıda ve içme sularında bulunan temel bir eser element olup tuzlar veya organik moleküller halinde bulunmaktadır. Yüzey ve yeraltı sularındaki çinko seviyeleri normalde 0,01-0,05 mg/L arasında bulunsa da musluk sularında çinko borulardan kaynaklı olarak yüksek olabilir (WHO, 2011).

Çalışma alanımızda Cr miktarı en düşük 0,82 µg/L Terme Çayı'nda en yüksek 4,12 µg/L Aksu Deresi'nde tespit edilmiştir. Mn, en düşük 26,87 µg/L Cevizdere Deresi'nde en yüksek 82,75 µg/L Terme Çayı'nda tespit edilmiştir. Ni, en düşük 0,94 µg/L Harşit Çayı'nda en yüksek 3,64 µg/L Yeşilırmak Nehri'nde, As, en düşük 3,72 µg/L Aksu Deresi'nde en yüksek 8,99 µg/L Yeşilırmak Nehri'nde tespit edilmiştir. Pb ise en düşük 0,70 µg/L Cevizdere Deresi'nde en yüksek 2,30 µg/L Aksu Deresi'nde kaydedilmiştir. Cr, Mn, Ni, As ve Pb bakımından tüm istasyonlarımız I. sınıf su kategorisindedir (Anonim, 2004). Tablo 4.7.'de verilen korelasyon sonuçlarına göre demir ile pH arasında ($r = 0,524$; $p < 0,01$) pozitif yönlü orta düzeyli, Ç.O ile ($r = 0,526$; $p < 0,01$) pozitif yönlü orta düzeyli ilişki tespit edilmiştir. Fe ile Al arasında da ($r = 0,695$; $p < 0,01$) pozitif yönlü orta düzeyli ilişki göze çarpmaktadır. Pb metali ile de bulanıklık, demir, bakır ve çinko ile pozitif yönlü orta düzeyli ilişkiler görülmektedir.

Çalışma kapsamında Samsun, Ordu ve Giresun illerinde bulunan altı istasyondan alınan su örneklerinin bazı metal (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) oranları kıta içi yerüstü su kaynakları için kalite kriterleri (Anonim, 2012) sınır değerlerine göre mevsimsel olarak da değerlendirilmiştir. Buna göre Al elementi Yeşilırmak Nehri'nde sonbahar, Terme Çayı'nda kış, Aksu Deresi'nde ilkbahar, Harşit Çayı'nda yaz mevsiminde izin verilen aralıkta ölçülmüştür. Geri kalan tüm istasyon ve mevsimlerde izin verilebilir çevre kalite standardının üzerinde ölçülmüştür. Krom, nikel, arsenik ve kurşun metalleri tüm istasyon ve mevsimlerde I. sınıf kategorisindedir. Demir metali bakımından Yeşilırmak Nehri yaz, Terme Çayı ilkbahar ve yaz, Melet Irmağı yaz, Harşit Çayı sonbahar mevsimlerinde II sınıf, Harşit Çayı ilkbaharda III. Sınıf olarak belirlenmiştir. Mangan metali açısından ise

Aksu Deresi ilkbahar ve Harşit Çayı sonbahar mevsiminde II. sınıf olarak bulunurken geri kalan tüm istasyon ve mevsimlerde I. Sınıf olarak belirlenmiştir.

Suda ağır metal tespiti ile ilgili çalışmalara bakıldığında, Gediz Nehir suyundaki ağır metal kirlilik boyutunu belirlemek için yapılan bir çalışmada alınan su örneklerinde metal miktarı belirlenmiştir. Pb, $27,0 \pm 0,8$ µg/L Nif Çayı, Cr: $48,9 \pm 0,9$ µg/L Muradiye Köprüsü, Cd: $121,0 \pm 0,6$ µg/L İstanbul Köprüsü, Cu: $90,2 \pm 0,4$ µg/L Muradiye Köprüsü'nde ölçülmüştür. Ni, Fe ve Zn ise sırasıyla $309,8 \pm 0,7$ µg/L, $914,1 \pm 0,3$ µg/L, $208,3 \pm 0,5$ µg/L olarak Karaçay istasyonunda en yüksek değerlerinde bularak Gediz Nehri'nin IV. sınıf su kalitesine sahip olduğunu bildirmişlerdir (Öner ve Çelik, 2011). Kalyoncu ve arkadaşlarının (2016) Isparta Deresi'nde suda bazı ağır metallerin miktarını belirledikleri çalışmada, en fazla biriken ağır metalin Fe, en az biriken ağır metalin ise Cd olduğunu bildirmişlerdir. Sudaki ağır metallerin miktarlarının Cd (0,06–1,37), Cr (0,09–9,89), Cu (0,77–35,44), Ni (10,41–55,50), Pb (9,88–26,43), Zn (1,09–57,90) ve Fe (291,85–3082,41) ppb arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Kurucu (2020) Curi Deresi'nde nehir ağzı istasyonunda Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn metallerinin varlığını araştırmıştır. Al, Cu, Fe, Pb ve Zn değerlerini sınır değerlerin üzerinde bularak özellikle kurşun elementinin benzinde, kurşun bazlı boyalarda ve su borusu yapımında yoğun kullanılmakta olduğunu belirterek Pb yüksekliğini dere kenarında yoğun araç trafiğinin olmasına bağlamıştır. Melet Irmağı'ndaki bir çalışmada nehir ağzı istasyon sonuçlarına göre yaz mevsiminde arsenik, sonbahar mevsiminde alüminyum, arsenik ve demir metalleri, kış mevsiminde arsenik metali su kalite kriterlerinden yüksek oranda bulunmuştur (Kontaş, 2018). Osmanoğlu (2019), Artvin Murgul Deresi'nde su kalitesini belirlemeye yönelik yaptığı çalışmada Cu (5669 ppb), Fe (4647 ppb), Pb (43 ppb) ve Zn (2837 ppb) için en yüksek değerleri maden sahası çıkışında ölçerek maden sahasından gelen atık suların olumsuz etkiye yol açtığını belirtmiştir.

Son yıllarda su ve sediment kalitesini değerlendirmek için birçok indeks kullanılmaktadır. Bu indeksler hesaplanırken birçok parametre dâhil edildiğinden tek tek değerlendirmek yerine toplu bir şekilde değerlendirme imkânı elde edilmektedir. Bu çalışmada su kalitesini değerlendirmek için hesaplanan indekslerden biri su kalite indeksidir (WQI). Bu indeks sonuçları Tablo 4.4.'te verilmiştir. Hesaplama sırasında

13 fizikokimyasal parametre ve bu parametrelerin WHO (2011)'deki sınır değerleri kullanılmıştır (Tablo 4.3.). Cevizdere Deresi (48,48) ve Harşit ayı (47,48) mükemmel su ($WQI < 50$) sınıfında bulunurken, Yeşilırmak Nehri (53,65), Terme ayı (55,13), Melet Irmağı (58,95) ve Aksu Deresi (75,99) iyi su ($50 \leq WQI < 100$) sınıfında bulunmuştur. Bölgede yapılan çalışmalara bakıldığında WQI değerleri çalışmamızda biraz yüksek bulunmuştur. Bunun sebebi olarak örnekleme noktalarımızın mansap bölgesi olması ve tüm deredeki kirlilik yükünün bu bölgelerde toplanması olarak görölmektedir. Ustaoglu ve arkadaşları (2020a) Turnasuyu ayı'nda yaptığı çalışmada akarsuyun WQI değerlerini ilkbahar 21,30, yaz 17,04, sonbahar 20,75 ve kış 16,94, ortalama WQI değerini ise 18,97 bildirmişlerdir. Suyun içme–kullanma, tarımsal faaliyetler için uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Aydın ve arkadaşları (2021) Giresun ilinin önemli yedi akarsuyunda yaptıkları çalışmada yıllık ortalama sonuçlarına göre WQI değerini en düşük Gelevera Deresi (25,69)'nde en yüksek Batlama Deresi (32,39)'nde kaydetmişlerdir. Bu indekse göre antropojenik faaliyetlerin henüz su kalitesini etkilemediğini ifade etmişlerdir. Tüm dereleri kaliteli sınıf olarak değerlendirmişlerdir. Batı Karadeniz havzasında yer alan Melen ayı'nda ise WQI değeri hesaplanmış, yukarı bölgelerde “orta”, mansap istasyonlarında ise “zayıf” sınıfında bulmuşlardır. Mansap istasyonlarındaki durumu kentsel atık su ve tarımsal faaliyetler ile açıklamışlardır (Karakaya ve Evrendilek, 2010). Taş ve arkadaşları (2020) Elekçi Deresi'nde yaptığı çalışmada kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde WQI değerini sırasıyla 19,2, 18,3, 19,96 ve 22,16 olarak, ortalama ise 19,86 hesaplamış ve mükemmel su sınıfına ait olduğunu belirtmişlerdir. avuşlu Deresi'nde yapılan bir çalışmada dört istasyondan alınana su örneklerinden çöp depolama sahası yakınında bulunan 1.istasyonda WQI değeri 131,42 olarak hesaplanmış, diğer 2, 3 ve 4. istasyonlarda sıra ile 28,43, 15,45 ve 18,68 olarak hesaplanmıştır (Yüksel ve ark., 2022).

Ganj Nehri'nde yapılan çalışmada ise kış, yaz ve sonbahar mevsimlerinde WQI değeri sırasıyla 41,69, 39,4 ve 35,6 olarak gözlemlenmiştir. Üç mevsimde iyi su kalitesinde iken ilkbahar mevsiminde ise WQI değeri 65,3 bulunarak kötü su kalitesinde olduğu bildirilmiştir (Matta ve ark., 2020).

HPI her metalin su kalitesi üzerinde birleşik etkisini gösteren genel su kalitesini değerlendiren bir indekstir. Çalışmada HPI sonuçları mevsimsel ortalama olarak

Yeşilırmak Nehri (10,87), Cevizdere Deresi (11) Terme Çayı (8,57), Melet Irmağı (13,91), Aksu Deresi (17,33) ve Harşit Çayı (11,08)'nda hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre ağır metaller açısından kirlilik düşüktür. Çünkü HPI < 100 olduğunda su içme ve kullanım için uygundur (Saleh ve ark.,2018). Bölgemizdeki benzer çalışmalardan Terme Çayı'nda 15,61 olarak bulunmuştur (Ustaoğlu ve ark.,2021a). Ustaoğlu ve Aydın (2020) Giresun ilinde yaptıkları çalışmada HPI değerini 57,68–69,44 aralığında bulmuşlardır. Antalya Boğazı Nehri'nde ise HPI 7,81–43,97 aralığında bulunmuştur (Cengiz ve ark., 2017). Kumar ve Sing (2018) Hindistan'da Ajay Nehri'nde 78–270 aralığında bularak yüksek çıkan sonuçları havzadaki Cd, Cu, Pb ve Ni elementlerinin antropojenik endüstriyel, kentsel kaynaklardan gelen etkiler, tarımsal atıklar, madencilik faaliyetleri ve kanalizasyon atıklarına bağlamışlardır.

HEI yine ağır metal kirliliğini değerlendirdiğimiz indekstir. Bu indekse göre 6 istasyonun ortalama HEI değerleri 3,83–7,04 arasında değişim göstermiştir (Tablo 4.6.). Kış mevsiminde Aksu Deresi'nde 11,73 ile en yüksek, sonbahar mevsiminde Cevizdere Deresi'nde 0,81 ile en düşük olarak hesaplanmıştır. HEI < 10 olduğunda ağır metal açısından düşük kirliliğe işaret etmektedir (Saleh ve ark., 2018) Bu nedenle tüm istasyonlarımız da suda ağır metaller açısından düşük kirlilik görülmüştür.

Terme Çayı'nda ortalama HEI 0,78 olarak bildirilmiştir (Ustaoğlu ve ark., 2021a). Ustaoğlu ve Aydın (2020) Giresun'da yaptıkları yedi farklı akarsuda HEI değerini 1,94–2,76 aralığında tespit etmişlerdir. Aynı bölgedeki çalışmalarla benzerlik göstermektedir.

Tokatlı ve arkadaşları (2021), Karadeniz Bölgesi Şehriban Çayı sularındaki demir, kurşun, bakır, kadmiyum, cıva, nikel ve çinko birikimlerinin mekânsal-zamansal değişimlerini incelemişler ve su kalitesini WQI ve HEI gibi indekslerle değerlendirmişlerdir. WQI ve HEI sonucunda akarsu sırasıyla “A Sınıfı – Mükemmel (<50)” ve “Düşük Kirlilik (<10)” olarak bulmuşlardır. Herojeet ve arkadaşlarının (2015) Sirsa Nehri'nde (Hindistan) HEI değerini 9,45–55,53 aralığında tespit ederek su kalitesinin bozulmasından sorumlu faktörleri, endüstriyel atıkların deşarjı, nehir yatağı madenciliği ve tarımsal akış olarak belirtmişlerdir.

Çalışma kapsamında sediment kalitesini belirlemek için altı istasyondan örnekler alınarak pH, % organik madde ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Sediment pH değerleri mevsimsel sonuçları Tablo 4.9.'da verilmiştir. Yıllık ortalama sonuçları ise pH parametresi için, Yeşilırmak Nehri (7,29), Cevizdere Deresi (7,30), Terme Çayı (7,76), Melet Irmağı (7,93), Aksu Deresi (7,77) ve Harşit Çayı (7,20)'nda belirlenmiştir. Sedimentlerde pH değişimleri endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. pH, metallerin çoğunun çözünmelerine de neden olabilir (Aydın, 2015). Bu açıdan bakıldığında sediment pH'nın hafif bazik olduğu ve metallerin çözünmesine neden olacak kadar asidik veya bazik olmadığı görülmektedir. Aydın (2015) Giresun ili Batlama Deresi sediment pH'nın yıllık ortalama değerini 7,75, Semerci (2007) Porsuk Çayı sedimentlerinde ortalama 7,73, Ustaoglu ve Tepe (2018) Pazarsuyu Deresi sedimentlerinde pH'ı 6,64, Bakan ve Şenel (2000) Mert Irmağı'nda 6,8–7,65 aralığında, Ustaoglu ve arkadaşları (2017) Melet Irmağı'nda 6,71–8,3 aralığında tespit etmişlerdir.

Sediment %'de organik madde sonuçları ise Tablo 4.11.'de mevsimsel olarak verilmiştir. Dört mevsim ortalaması ise Yeşilırmak Nehri, Terme Çayı, Cevizdere Deresi, Melet Irmağı, Aksu Deresi, Harşit Çayı'nda sıra ile %8,64, 10,36, 8,96, 6,23, 4,67 ve 8,54 olarak hesaplanmıştır. Sedimentteki organik madde yüzdesi akarsuya taşınan organik maddelerin varlığını göstermektedir. Bu taşınma evsel atık veya tarımsal kaynaklı olabilmektedir (Bakan ve Şenel, 2000). Bakan ve Şenel (2000) Mert Irmağı'nda organik madde miktarını %5,61, Ustaoglu ve arkadaşları (2017) Melet Irmağı sedimentinde %5,77 olduğunu tespit etmişlerdir. Topaldemir (2021) Miliç kıyı sulak alanından alınan sediment örneklerinde % organik madde miktarının 3,62–4,84 arasında olduğunu ifade etmiştir. Çalışma istasyonlarında Yeşilırmak Nehri, Terme Çayı, Cevizdere Deresi ve Harşit Çayı'nda organik madde miktarı diğer çalışmalara göre yüksek bulunmuştur. Aradan geçen zaman, evsel ve tarımsal atıkların artışı bu yüksekliğin sebebi olabilir.

Çalışma kapsamında altı farklı istasyondan mevsimsel alınan sediment örneklerinde ağır metal miktarları tespit edilmiştir. Tablo 4.9.'da ortalama, en düşük ve en yüksek değerler verilmiştir. Dört mevsim ortalamasına göre metal birikimleri sıralaması yapılmıştır. Buna göre sıralamalar;

Yeşilırmak Nehri $Fe > Al > Mn > Cr > Zn > Ni > Cu > Pb > Co > As > Cd > Hg$, Terme Çayı'nda $Fe > Al > Mn > Cr > Zn > Cu > Ni > Pb > Co > As > Cd > Hg$, Cevizdere Deresi'nde $Fe > Al > Mn > Cr > Zn > Cu > Pb > Ni > Co > As > Cd > Hg$, Melet Irmağı'nda $Fe > Al > Mn > Zn > Pb > Cu > Cr > Ni > Co > As > Cd > Hg$, Aksu Deresi'nde $Fe > Al > Mn > Zn > Pb > Cu > Cr > Ni > As > Co > Cd > Hg$ ve Harşit Çayı'nda $Fe > Al > Mn > Zn > Pb > Cu > Cr > As > Ni > Co > Cd > Hg$ şeklinde kaydedilmiştir.

Ayrıca Tablo 5.1.'de yer kabuğunda metaller için belirlenmiş sınır değerleri (Turekian ve Wedepohl, 1961) kullanılarak yapılan değerlendirmede Al ve Hg bakımından tüm istasyonlarda sınır değerleri aşmadığı, Mn, Cu, Cd ve Pb bakımından tüm istasyon ve mevsimlerde sınır değerleri aştığı görülmüştür. Cr bakımından ise Yeşilırmak Nehri, Terme Çayı, Cevizdere Deresi ve Melet Çayı'nda sınır değerleri aştığı, Fe metalinin Cevizdere Deresi ve Harşit Çayı'nda aşmadığı diğer istasyonlarda ise yüksek olduğu görülmüştür. Co Yeşilırmak Nehri ve Terme Çayı'nda, Ni sadece Yeşilırmak Nehri'nde, Zn ise Harşit Çayı hariç tüm istasyonlarda, arsenik ise Aksu Deresi ve Harşit Çayı'nda sınır değerleri aştığı görülmüştür. Kontaş (2018) Melet Irmağı'nda Pb, Cd ve Zn metalleri açısından yüksek bulurken, yine aynı bölgedeki Curi Deresi'nde Kurucu (2018) genel olarak düşük sadece Mn ve Cu metalleri bakımından yüksek bulmuştur. Parametreler, MacDonald ve arkadaşları (2000) tarafından önerilen TEL ve PEL değerleri kullanılarak değerlendirilmiştir (Tablo 5.1.). TEL değerleri açısından değerlendirmede Cr, Ni, Zn, As ve Cd metalleri bütün istasyonlarda belirtilen sınır değerleri aşmıştır. Cu, Cevizdere ve Aksu dereleri hariç tüm istasyonlarda sınır değeri aşarken Hg hiçbir istasyonda aşmamıştır. Aynı bölgedeki çalışmalardan Şimşek (2020) Orta Karadeniz Bölgesi, Kızılırmak, Engiz Çayı, Mert Irmağı, Abdal Irmağı ve Yeşilırmak Nehri sediment örneklerinde Cr metalini TEL seviyesinin üzerinde bulmuştur. Ayrıca sediment örneklerini mevsimsel ortalama sonuçlarına göre ağır metal birikimleri açısından Yeşilırmak > Kızılırmak > Abdal Irmağı > Engiz Çayı > Mert Irmağı şeklinde sıralamıştır. Sediment ve su açısından kirlilik yükünün en fazla olduğu akarsu Yeşilırmak olmuştur. Aynı çalışma sahası içinde yer alan ortak istasyonumuz Yeşilırmak Nehri'nde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

PEL değerlerine göre Cr, Yeşilırmak Nehri, Terme Çayı ve Cevizdere Deresi'nde, Ni, Yeşilırmak Nehri ve Terme Çayı'nda, As, Aksu Deresi ve Harşit Çayı'nda, Pb ise sadece Harşit Çayı'nda sınır değerleri aşmıştır. Cu, Zn, Cd ve Hg hiçbir istasyonda sınır değerleri aşmamıştır.

Ustaoğlu (2021) Çömlekçi Deresi'nde Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb ortalama derişimlerinin eşik değeri aşmadığını bildirmiştir (Tablo 5.1.). Akarsu sedimentindeki ağır metal varlığının sucul yaşam için risk oluşturmadığını belirtmiştir.

Tablo 5.1.'de bölgemizde ve ülkemizde yer alan bazı akarsuların sediment çalışmaları verilmiştir. Tarım ve sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu Ergene Nehri'nde Ni, As, Hg ve Pb metalleri hem TEL hem de PEL değerlerini aşmıştır (Sarı ve ark., 2016). Bölgemizde bulunan ve Türkiye'nin en büyük akarsuyu olan Kızılırmak'ta Cr ve Hg bakımından TEL ve PEL değerlerinin üzerinde bulunmuştur (Akbulut ve Akbulut, 2010).

Saydam Eker ve Özkan (2017), Ankara Çayı dere yatağı sedimentlerinin içermiş olduğu zararlı metallerin miktarı ve kaynağını araştırmışlardır. Ankara Çayı dere yatağı sedimentlerinde ortalama Zn, Ni, Cu, Pb, As, Co ve Cd değerleri sırasıyla 111, 65,7, 32, 17,6, 16,4, 16,1 ve 0,2 ppm olarak hesaplamışlardır. Pb, Cu, Zn, Co ve Cd elementlerince yerel olarak, Ni ve As elementlerince ise genel olarak kirlilik tespit etmişlerdir.

Ustaoğlu ve arkadaşları (2021b), Batlama Deresi'nde Haziran 2014-Temmuz 2015 tarihleri arasında mevsimsel olarak yaptıkları çalışma ile sediment kirliliğini araştırmışlardır. Sediment ağır metal oranlarını Cr (7,08), Mn (63,62), Fe (858,04), Co (5,47), Ni (4,99), Cu (20,61), Zn (49,60), Cd (0,09) ve Pb (20,68) mg/kg olarak tespit etmişlerdir.

Tablo 5. 1 Çalışma bölgesindeki akarsuların sediment ağır metal derişimleri (mg/kg), yer kabuğı oranları ve benzer çalışmalarla kıyaslanması

	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb	
Yeşilırmak Nehri	33025	220,6	1167,3	52647	19,15	100,4	72,1	133,7	12,1	0,63	0,2	38,8	Bu çalışma
Terme Çayı	41684	231,3	1196	64363	23,47	80,13	96,5	135,1	9,76	0,73	0,2	35,6	Bu çalışma
Cevizdere Deresi	41359	103,8	1181,1	55508	18,52	28,51	61,1	93,88	5,99	0,69	0,2	35,3	Bu çalışma
Melet Irmağı	37160	66,5	1144,7	66822	17,33	21,38	92,3	218,82	10,3	1,34	0,1	168	Bu çalışma
Aksu Deresi	41188	56,2	981,66	50653	15,36	20,55	56,6	110,77	17,4	0,60	0,1	87,1	Bu çalışma
Harşit Çayı	44132	46,2	1340,4	49966	14,01	18,57	117	237,87	26,3	1,93	0,2	197	Bu çalışma
Çömlekçi Deresi		7,9	297	8597	5,77	7,01	35,3	60,09		0,11		19,9	(Ustaoglu, 2021)
Dicle Nehri		135,8	1257		190	284	1257	509,84		3,02		380	(Varol ve ark.,2012)
Ergene Nehri	73961	160,0	348	28341	11	72,9	66,8	183	25	1,34	2,2	97,6	(Sarı ve ark.,2016)
Çalışlar Deresi		3,5	272,6	8135	5,13	3,62	13	25,68		0,01		3,74	(Ustaoglu ve ark.,2020a)
Akçaoa Deresi		4,9	287	9939	6,2	10,95	19,3	24,24		0,09		3,97	(Ustaoglu ve ark.,2020a)
Kızılırmak Nehri		153,5			6,57		7,11	129,7			15	30,6	(Akbulut ve Akbulut, 2010)
Sürmene Nehri	33501	34,8	936,6	30974	13,2	17,7	36,3	67,7	10,2			22,5	(Alkan ve ark., 2018)
Yerkabuğı	80000	90,0	850	47200	19	68	45	95	13	0,3	0,4	20	(Turekein ve Wedepohl, 1961)
TEL		37,3				18	35,7	123	5,9	0,6	0,2	35	(MacDonald ve ark.,2000)
PEL		90				36	197	315	17	3,53	0,5	91,3	(MacDonald ve ark.,2000)

TEL (Threshold effect level) Bu sınırın altında sedimentteki canlılarda olumsuz etkiler çok nadiren gözlenir.

PEL (probable effect level) Bu sınırın üzerinde ise sedimentte yaşayan organizmalarda olumsuz etkilerin gözlenmesi muhtemeldir.

Sökmen ve arkadaşları (2018) Karasu Nehri (Erzincan) sediment örneklerinde ortalama değerlerine göre metal birikimini; $Fe > Ni > Cr > Zn > Pb > As$ olarak ifade etmişlerdir. Ayrıca sedimentte bulunan minimum ve maksimum metal değerleri; As: 0,037–0,151; Cr: 128,360–899,802; Fe: 912,721–11246,596; Ni: 127,112–980,126; Pb: 0,359–5,647; Zn: 3,226–62,320 mg/kg arasında olduğunu bildirmişlerdir. Sediment örneklerindeki sonuçların kabul edilebilir değerin üzerinde olmasını tarımsal ilaçlar, gübreler, kanalizasyon ve evsel atıkların nehre karışması ile açıklamışlardır.

Keskin (2017) Melen Çayı (Düzce) sediment örneklerinde ortalama ağır metal oranlarını Cu 30,38, Pb 10,43, Zn 61,48, Ni 63,63, As 4,95, Cr 52,58, Cd 0,12 ppm ve Al %1,84 olarak bildirmiştir. Ayrıca ağır metal sıralamasını tüm istasyonlarda $Ni > Zn > Cr > Cu > Pb > As > Cd$ şeklinde ifade etmiştir.

Arıman ve arkadaşları (2007) Orta Karadeniz kıyı şeridinde yer alan nehirlerden (Yeşilırmak, Abdal, Mert, Kürtün, Engiz ve Kızılırmak) bölgenin ağır metal kirlilik yükünü belirlemek amacıyla su ve yüzey sediment örnekleri alarak tüm metal derişimlerini (Zn hariç) ortalama dünya yüzey kayaç seviyesini aşmış durumda olduğunu bildirmiştir. Sediment örneklerinde özellikle Mn (~713–17995 mg/kg), Ni (~385–5775 mg/kg) ve Pb (~654–1022 mg/kg) diğer ağır metal türlerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Orta Karadeniz bölgesinin gelişmekte olan bir bölge olup noktasal ve noktasal olmayan kirliliğe maruz kaldığını belirtmişlerdir.

Ezewudo ve arkadaşlarının (2021) Nijerya'nın Nijer Nehri'nde yaptıkları çalışmada Nijerya'nın güney bölgesindeki nehrin aşağı kesimlerinde belirlenen 12 istasyonda As, Fe, Cu, Pb, Cd, Zn ve Hg parametreleri atomik absorpsiyon spektrofotometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Sedimentte ortalama As, Fe, Cu, Pb, Cd, Zn ve Hg seviyeleri sırasıyla 12, 115, 18, 11, 0,71, 36 ve 0,59 mg/kg olarak bulmuşlardır.

Sedimentte depolanan potansiyel toksik elementler uygun ortam oluşması durumunda suya geri salınma özelliği taşıdıklarından canlılar için risk oluşturmaktadırlar Antropojenik etkilerle zenginleşen sediment ekosistem ve insan sağlığı için çeşitli seviyelerde risk yaratmaktadır (Fural ve Kükrer, 2021).

Ayrıca bu tez çalışmasında sedimentte ağır metal birikimleri bazı indekslerle belirlenmiştir. Bunlardan bir tanesi Kontaminasyon Faktörüdür. Al, As ve Hg açısından $CF < 1$ olduğundan düşük kirlilik, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd ve Pb metalleri açısından genel olarak orta düzeyli kirlilik tespit edilmiştir. Ancak Harşit Çayı ve Melet Irmağı'nda kurşun metali açısından çok yüksek derecede kontaminasyon tespit edilmiştir (Tablo 4.12.). Pb yüksekliği bu bölgedeki kurşun yataklarından ve ayrıca istasyonların Karadeniz sahil yolu üzerinde bulunmasından dolayı trafik yoğunluğundan kaynaklanabilir.

Topaldemir (2021) Miliç kıyı sulak alan istasyonlarından alınan sediment örneklerinin ortalama metal miktarlarını kullanarak hesapladığı kontaminasyon faktörü sediment metal CF değerleri 0,159–0,633 arasında bularak çalışma alanını düşük kontaminasyon sınıfında belirtmiştir. Ustaoglu ve arkadaşları (2020a) Akçaova ve Çalışlar derelerinde yaptıkları çalışmada CF hesaplamışlar ve Akçaova Deresi'nde Ag bakımından orta dereceli kontaminasyon geri kalan metaller ve istasyonlar için düşük kontaminasyon sınıfında bulmuşlardır. CF sıralaması Akçaova Deresi'nde $Ag > Cu > Mn > Co > Zn > Fe > Pb > Cd > Ni > Cr$, Çalışlar Deresi'nde $Mn > Cu > Co > Zn > Pb > Fe > Ni > Cr > Cd$ olarak bildirmişlerdir.

Zenginleştirme faktörü insan kaynaklı kirliliğe işaret eden bir indekstir. Çalışma alanındaki altı istasyonda bu indeks hesaplanarak Tablo 4.13.'te verilmiştir. Tüm istasyonların ortalamasına göre EF sıralaması $Pb (4,07) > Cd (2,94) > Cu(1,54) > Zn(1,35) > Mn (1,19) > Cr (1,00) > Fe (1,00) > As (0,89) > Co (0,80) > Ni (0,50) > Al (0,44) > Hg (0,38)$ olarak hesaplanmıştır. Yeşilirmak Nehri'nde Cr, Cevizdere Deresi Cd ve Pb, Melet Irmağı Cd, Aksu Deresi'nde Pb, Harşit Çayı'nda ise Cu ve Zn, bakımından orta düzeyli zenginleşme, Melet Irmağında kurşun, Harşit Çayı'nda ise kadmiyum ve kurşun metalleri açısından "belirgin zenginleşme" sınıfında olduğu görülmüştür.

Tarımda yaygın olarak kullanılan pestisitlerde Cu ve Mn (Anonim, 2014) ve suni gübrelerde ise Cr, Ni, Mn içeriği yüksek olarak bulunmaktadır (Köleli ve Kantar, 2005; Kumbur ve ark., 2008). Yağmur ve insan faaliyetleri sonucu akarsulara karışmaktadır. Pb, Cu ve Zn ile birlikte bulunmaktadır (Ustaoglu ve ark., 2021b). Dolayısıyla çalışma bölgemizdeki bu metallerin yüksek çıkması evsel atık, gübre ve

tüm istasyonların Karadeniz sahil yolunda bulunmasından dolayı trafik yoğunluğu ile açıklanabilir.

Zhang ve Liu (2002) EF değerleri 0,05 ile 1,5 arasında olduğunda metalin yer kabuğunda bulunması yani doğal süreç olarak açıklarken, 1,5'ten yüksek EF değerlerini ise antropojenik olma olasılığı daha yüksek olarak ifade etmiştir. Çalışmamızda da Cu, Cr, Pb ve Cd birçok mevsim ve istasyonda 1,5'in üzerinde bulunmuş ve antropojenik etkiyi işaret etmektedir.

Aynı bölgede yer alan akarsulardan biri olan Batlama Deresi sedimentinde EF hesaplanmıştır. EF sıralaması $Pb > Zn > Cu > Mn > Cd > Co > Fe > Cr > Ni$ olarak verilmiştir. Çalışmada EF değeri Mn, Cu, Zn ve Pb metalleri için $>1,5$ olarak belirlenmiştir. Bu durumu antropojenik etkiler ve bölgede doğal olarak bulunan kurşun yatakları ile açıklamışlardır (Ustaoglu ve ark., 2021b). Varol ve Şen (2012) Dicle Nehri sedimentinde Cr ve Mn dışında çalışılan tüm metaller için ortalama EF değerleri $>1,5$ olarak bulmuş ve antropojenik etkiyi düşündürmüştür. En yüksek EF değerleri Maden ilçesinde bakır madeni fabrikasının atık su deşarjları nedeniyle 1.istasyonda bulunmuştur. Çalışılan on metal içinde en yüksek zenginleşme Cu metalinde bulunmuştur. Cu için EF 31,34 olarak kaydedilmiş ve çok şiddetli zenginleşme sınıfında belirtilmiştir. Ustaoglu (2020) Çömlekçi Deresi (Giresun)'nde sediment örneklerinde EF hesaplamıştır. $Pb (5,46) > Cu (4,3) > Zn (3,47) > Cd (1,99) > Mn (1,92) > Co (1,67) > Fe (1,00) > Ni (0,57) > Cr (0,48)$ olarak sıralanmıştır. Pb bakımından kirli, Zn ve Cu bakımından orta ve diğer metaller bakımından kirliliğin düşük seviyede olduğunu bildirmiştir. Chen ve arkadaşları (2017) Yangtze Nehri'nde (Çin) zenginleştirme faktörünü (EF) çalıştıkları bütün ağır metaller için 2 'nin altında bulmuşlardır. Tatone ve arkadaşları (2016) Uruguay Nehri'nde sediment örneklerinde ağır metalleri araştırmışlardır. Sediment değerlendirmede EF indeksini kullanmışlardır. Zn, Cr, Ni ve Pb'nin ortalama EF'sini 1,5'in altında hesaplamışlar ve doğal kaynaklı, Cu ve Mn için daha yüksek ($EF > 2$) hesaplamışlar ve antropojenik kaynaklı olduğunu belirtmişlerdir.

Sediment kalitesine ağır metallerin etkisini değerlendiren indekslerden biri de Müller (1969) tarafından geliştirilen Jeoakümülyasyon indeksi (*Igeo*) tüm istasyonlarımız için hesaplanmıştır. Mevsimsel olarak alınan sediment örneklerinde yıllık ortalama

sonuçlarına göre I_{geo} sıralaması $Pb (1,21) > Cd (0,98) > Cu (0,18) > Zn (-0,07) > Mn (-0,15) > Fe (-0,36) > Cr (-0,62) > Co (-0,71) > As (-0,80) > Al (-1,58) > Ni (-1,69) > Hg (-2,39)$ olarak bulunmuştur. Yeşilirmak Nehri Cr, Cd, Cu ve Pb metalleri, Terme Çayı Cr, Fe, Cu ve Cd, Cevizdere deresi Cd ve Pb, Melet Irmağı Cu, Zn ve Pb, Aksu Deresi Cd, Harşit Çayı Mn, Cu, Zn, As açısından “kirlenmemiş-orta kirlilik” sınıfında bulunmuştur. Melet Irmağı Cd için orta kirlilik, Pb orta-güçlü kirlilik sınıfında, Harşit Çayı ise Cd ve Pb metalleri için orta-güçlü kirlilik sınıfında yer almıştır.

Çalışma bölgesinde yer alan Miliç sulak alanı sediment örneklerinde I_{geo} indeksi 0,032-0,155 aralığında bulunmuştur. Sıralaması ise $Ni (0,155) > Cd (0,127) > Pb (0,092) > Cu (0,080) > Co (0,067) > Mn (0,049) > Fe (0,046) > Cr (0,037) > Al (0,033) > Zn (0,033) > As (0,032)$ şeklinde olup kirlenmemiş- orta kirlilik sınıfında olduğu bildirilmiştir (Topaldemir, 2021). Akarsu ve arkadaşları (2022) Çanakkale Sarıçay Nehri’nde ağır metallerin ortalama I_{geo} değerlerini $Cd > Pb > Ni > Cr > Au > Ag > Ba > Bi > Tl > Zn > Mg > K > As > Sb > Mn > U > P > Na > Ca > Co > Sr > Fe > Al > Hg > Cu > Ti$ olarak bulmuşlardır. Cd için güçlü-kuvvetli kirlilik, Pb için kuvvetli kirlilik ve Ni, Cr, Au, Ag için orta-kuvvetli kirlilik sınıfında bulmuşlardır. Mg için orta kirlilik, Mn için kontamine olmamış ila orta derecede kontamine, Co ve As için kirlenmemiş olarak bildirmişlerdir. Ustaoglu (2020), Giresun Çömlekçi Deresi sedimentinde I_{geo} indeksini $Cu > Pb > Zn > Cd > Mn > Co > Fe > Ni > Cr$ olarak bulmuştur. Pb ve Cu metalleri dışında kalan metaller için kirlilik olmadığını bildirmiştir.

Ayari ve arkadaşları (2021) Kuzeybatı Tunus’taki Oued Rarai havzasından sedimentte çeşitli metal ve metaloidleri inceledikleri çalışmada I_{geo} oranlarını As ($I_{geo} > 5$), Cd ($I_{geo} > 5$), Cr ($1 < I_{geo} < 3$), Cu ($I_{geo} < 1$), Pb ($I_{geo} > 5$) ve Hg ($I_{geo} > 5$) hesaplamışlardır. Yüksek indeks değerleri ile ilgili olarak Cr ve Cu’nin esas olarak doğal anakaya ve topraktan, Cd’un, hem doğal hem de madencilik faaliyetlerinden, Hg ve Pb’un çoğunlukla Oued Rarai sahasındaki eski cevherle ilgili faaliyetlerden kaynaklandığını ve uygun çevre yönetimi stratejilerine dikkat edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Chen ve arkadaşları (2017) Yangtze Nehri’nden Cr, Cu, Ni, Pb, Zn ve V’nin ortalama I_{geo} değerlerini sırasıyla -0,6, -1,7, -1,0, -0,9, -1,0 ve -1,0 bularak tüm ağır metaller kirlenmemiş kategorisinde olduğunu bildirmişlerdir.

Potansiyel Risk Faktörü çalışma alanında bulunan altı istasyon için hesaplanmıştır. Yeşilirmak Nehri için E_r^i Cd (63,85) > Hg (22,97) > Pb (9,71) > As (9,34) > Cu (8,01) > Ni (7,38) > Cr (4,90) > Zn (1,41) sıralamasında bulunmuştur. Terme Çayı için Cd (72,63) > Hg (17,78) > Cu (13,09) > Pb (7,11) > As (5,12) > Cr (4,87) > Ni (3,84) > Zn (1,15) olarak hesaplanmıştır. Cevizdere Deresi için Cd (75,67) > Hg (22,13) > Pb (9,41) > Cu (4,67) > As(4,45) > Ni (1,77) > Cr (1,35) > Zn (0,84) hesaplanmıştır. Melet Irmağı için E_r^i değeri Cd (133,82) > Pb (42,00) > Cu (10,25) > Hg (9,27) > As (7,93) > Zn (2,30) > Ni (1,57) > Cr (1,48) hesaplanmıştır. Aksu Deresi için Cd (60,16) > Pb (21,77) > As (13,42) > Hg (11,91) > Cu (6,29) > Ni (1,51) > Cr (1,25) > Zn (1,17) ve Harşit Çayı Cd (193,45) > Pb (49,35) > As (20,22) > Hg(19,91) > Cu (13,05) > Zn (2,50) > Ni (1,37) > Cr (1,03) sıralamasında bulunmuştur. Tüm istasyonlarda Cd ağır metali bakımından orta ve yüksek ekolojik risk bulunmuştur. Ayrıca Melet Irmağı ve Aksu Deresi'nde Pb bakımından orta düzeyli ekolojik risk tespit edilmiştir.

Ustaoğlu ve arkadaşları (2020a) Akçaova ve Çalışlar derelerinde E_r^i değerlerini hesaplamışlardır. Çalışlar ve Akçaova derelerinde tüm metaller için Potansiyel Ekolojik Risk Faktörünü ($E_r^i < 40$) düşük risk sınıfında bulmuşlardır. Akçaova Deresi'nde Ni, Cu ve Cd daha yüksek potansiyele sahipken Çalışlar Deresi daha düşük olarak bulunmuştur.

Tokatlı ve arkadaşları (2021) Emet Nehir havzasında su ve sediment kalitesini belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmada birçok indeks kullanmışlardır. Sediment için uygulanan indekslerin mevsimsel ortalama değerlerini PERI için 33,72–130,56, I_{geo} için -3,92-5,99 arasında değişmekte olduğunu ifade etmişlerdir.

Tokatlı ve arkadaşları (2017), ülkemizde İç Anadolu Bölgesinde Seydisuyu Çayı Havzası'nın sediment kalitesinin değerlendirdikleri çalışmada 15 istasyondan örnek alarak ağır metal analizleri yapmışlardır. Ayrıca sediment kalitesini Potansiyel Ekolojik Risk İndeksine göre değerlendirip en yüksek risk teşkil eden toksik metallerin kadmiyum ve krom olduğu sonucuna varmışlardır.

Tokatlı ve Islam (2022) Gala Gölü (Trakya) sedimentini değerlendirdikleri çalışmada Ni, Cr, As, Zn, Pb, Cu metallerini kullanarak tüm istasyonlar için Potansiyel Ekolojik Risk Faktörü ($E_r^i < 40$) hesaplamışlardır. Düşük risk olduğunu belirtmişlerdir.

Keskin (2017) Melen Irmağı'nda on beş istasyondan aldığı örnekte ortalama E_r^i değerini 45,38 hesaplamıştır. Bazı istasyonlarda Cd elementi için E_r^i değerini >80 olarak bulmuştur. E_r^i değerleri diğer tüm sediment örnekleri için düşük risk göstermiştir. Toplam kirlilik seviyesinden yola çıkarak, yedi metalin ekolojik risk sırası $Cd > As > Ni > Cu > Pb > Cr > Zn$ olarak bildirmiştir. Bu sonuçları esas olarak sanayileşme, kentleşme, endüstriyel ve evsel atık su ve diğerleri gibi faaliyetlerden kaynaklanan antropojenik etki nedeniyle oluşan ağır metal kirliliği olarak açıklanmıştır.

Tajan Nehri'nde (İran) yapılan çalışmada E_r^i hesaplanmış ve tüm istasyonlar için ($E_r^i < 40$) düşük ekolojik risk sınıfında bulunmuştur. Araştırmacılar nehirde çevresel açıdan tehlike olmadığını belirtmişlerdir (Alahabadi ve Malvandi, 2018).

PLI sedimentte ağır metal kirliliğini toplu şekilde gösteren bir indeks olup hesaplaması yapılan tüm CF değerleri kullanılarak bulunmaktadır. Çalışma kapsamında dört mevsim alınan örneklerin ortalama sonuçlarına göre PLI değerleri Harşit Çayı (1,36) > Yeşilırmak Nehri (1,22) > Terme Çayı (1,22) > Melet Irmağı (1,16) > Aksu Deresi (0,94) > Cevizdere Deresi (0,81) şeklinde sıralanmıştır. $PLI < 1$ olduğunda ağır metallerin kitlilik oluturmadiğı belirtilir. Bu durumda Aksu Deresi ve Cevizdere Deresi dışındaki tüm istasyonlarımızda kirlilik mevcuttur.

Tokatlı ve Islam (2022) Gala Gölü (Trakya) sedimentini değerlendirdikleri çalışmada Ni, Cr, As, Zn, Pb, Cu metalleri ile PLI indeksi hesaplamışlar ve PLI değerini 0,138-0,316 aralığında tespit etmişlerdir. Karadeniz kıyısı Çayeli (Rize) bakır maden sahası çevresinde, Büyükdere ve Sabuncular derelerinde 12 istasyondan alınan sediment örneklerinden PLI değerleri hesaplanmış ve ortalama PLI 0,47 olarak bulunmuştur. $PLI < 1$ olduğundan test edilen metaller açısından bir kirlenme olmadığını bildirmişlerdir (Kırış ve Baltaş, 2021). Keskin (2017) Melen Irmağı'nda onbeş istasyondan alınan sediment örneklerinde PLI değerini hesaplamıştır. Ortalama PLI değeri 6,59, en yüksek PLI değeri 11,36 Melen Irmağı'nın mansap kısmında, en düşük PLI değeri ise 1,5 olarak memba kısmında gözlenmiştir.

Tajan Nehri'nde (İran) yapılan çalışmada sedimentlerde elementlerin kontaminasyonunu değerlendirmek için uygulanan PLI indeksi 0,30–0,55 aralığında

bulunmuş ve tüm istasyonlarda $PLI < 1$ olduğundan kirlilik olmadığı belirtilmiştir (Alahabadi ve Malvandi, 2018).

Ali ve arkadaşları (2021) Bangladeş kıyı bölgesinde bulunan Kirtankhola Nehri'nde su ve sedimentte ağır metal kirliliğini araştırmışlardır. Metallerin miktarını hem suda hem de sedimentte $Cr > Pb > As > Cd$ olarak gözlemlemişlerdir. Su örneklerinde test edilen metal seviyelerinin, kabul edilebilir içme suyu kalitesi sınırlarını aştığını ve bu nehirde gelen suyun içme ve pişirme için güvenli olmadığını ve nehir ekosistemi için risk oluşturabileceğini bildirmişlerdir. Kirlilik yükü indeksi (PLI) değerlerinin bire yakın olması, çalışma nehrinin sedimentinin düşük kontaminasyonda olduğunu göstermektedir. Kontaminasyon faktörü (CF), As, Cd ve Pb'nin sediment numuneleri metal seviyesinin orta ila aşırı derecede kirlendiğini göstermiş olup, durumun çok endişe verici olduğunu ve muhtemelen bu nehir ekosisteminin su ekolojisini ciddi şekilde etkilediği ifade edilmiştir.

Calmuc ve arkadaşları (2021), Romanya Tuna Nehri sedimentinde ağır metal kirliliğini PLI indeksi ile değerlendirmişlerdir. PLI'nin izlenen iki mevsime (2018 sonbaharı ve 2019 ilkbaharı) ilişkin mekânsal dağılımı incelendiğinde, sonbahar aylarında PLI değerlerinin 0,53–1,17 aralığında değiştiği görülmüştür. İzlenen istasyonların %73'ünde ağır metal kirliliğinin ($PLI < 1$) olmadığını bildirmişlerdir. 2019 baharında, ($PLI > 1$) sediment ağır metal kirliliğinin varlığını gösteren PLI değerlerinin 0,57–1,53 aralığında değiştiğini ifade etmişlerdir.

Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) verilerine göre Samsun ilinde kurşun, çinko ve manganez kaynakları bulunmakta olup aynı zamanda eski zamanlarda açılmış olan iki adet arama ve üretim galerisi bulunmaktadır. Manganez kaynakları Kavak, Ladik ve Vezirköprü ilçelerinde yer almaktadır (Anonim, 2010a). Ordu ili genel olarak volkanik kayaların hâkim olduğu bir bölge olup metalik madenlerden bakır, kurşun, çinko, altın, gümüş ve manganez görülmektedir. Cu-Pb-Zn yatak ve zuhurları bulunmaktadır (Anonim, 2010b). Giresun ili ve çevresi önemli maden yatakları içermekte olup, bakır ve çinko bakımından zengin potansiyele sahiptir. Hemen hemen tüm ilçelerde bakır, kurşun ve çinko yataklarına rastlamak mümkündür (Anonim, 2010c).

Çalışma istasyonlarından olan Ordu ilinde yer alan Melet Irmağı ve Giresun ilinde yer alan Harşit Çayı ve Aksu Deresi'nde Pb fazlalığı bölgede bulunan kurşun yatakları ve numune alınan istasyonların sahil yolu üzerinde bulunmasından dolayı trafik yoğunluğu ile açıklanabilir.

Sucul ekosistemlerde çöplerin büyük çoğunluğunu plastikler ve mikroplastikler (MP) oluşturmaktadır. Plastik kirliliği tüm dünyayı olduğu gibi ülkemizi de tehdit eden bir çevre sorunudur. Bu tehdidin boyutunu belirlemek için mikroplastiklerin miktar ve karakterini belirlemek büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma ile MP'lerin miktarının yanı sıra renk ve çeşit olarak da analizi yapılmıştır.

Mikroplastik analizi, su ve sediment analizleri ile aynı günde 6 istasyonda ve dört mevsimde gerçekleştirilmiştir. Her istasyonda akarsuların denize deşarj noktalarından su yüzeyinden ve sediment yüzeyinden toplam 48 örnekleme yapılmıştır. Mikroplastikler analiz edilerek renk, boyut ve tür olarak gruplamaları yapılmıştır.

Araştırma sonuçlarımıza göre su örneklerinde mikroplastik sayıları mevsimlere göre Tablo 4.17.'de verilmiştir. Ortalama sonuçlar ise Yeşilırmak Nehri 55 adet/m³, Terme Çayı 51,25 adet/m³, Cevizdere Deresi 44,75 adet/m³, Melet Irmağı 58,5 adet/m³, Aksu Deresi 43,75 adet/m³ ve son olarak Harşit Çayı 72,75 adet/m³ olarak tespit edilmiştir. En yüksek Melet Irmağı'nda kış mevsiminde (98 adet/m³) en düşük ise yaz mevsiminde Yeşilırmak Nehri'nde (21 adet/m³) sayılmıştır. Çalışma sonuçları diğer çalışmalarla benzerlik göstermiştir. Ancak mikroplastik analizlerinde ülkemizde ve dünyada sabit bir metot olmayıp farklı yöntem ve birimler kullanılmaktadır. Mikroplastiklerin tespitine yönelik Güven ve arkadaşları (2017) Doğu Akdeniz'de maksimum mikroplastik kirliliği birim alanda 0,5 parçacık/m² olarak bulurken, Gürbüz (2018) Marmara Denizi'nde 2373 adet /m² bulmuştur. Bu durumu da Marmara Denizi'nin yarı kapalı havza olması ve yoğun baskı altında olması ile açıklamıştır. Kang ve arkadaşları (2015) ve Cózar ve arkadaşları (2015), en yüksek mikroplastik bolluğunun nüfuslu alanlarda, belediye atık su arıtma tesislerine ve su ürünleri çiftliklerine yakın konumlarda bulunan istasyonlarda gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Nehir akışına yakın veya kentsel alanlara yakın örnekleme alanlarında daha yüksek mikroplastik miktarlarının bulunacağını

belirtmişlerdir (Frias ve ark., 2014). Çalışmadaki tüm istasyonlarımız kentsel alanlara yakın olan denize dökülme noktaları ve nüfus yoğunluğunun çok olduğu şehir ve ilçe merkezlerinde olması mikroplastik yoğunluğunu açıklamaktadır. Öztekin ve Bat (2017), Karadeniz'in önemli sulak alanlarından biri olan Sinop Sarıkum Lagünü kıyısında deniz yüzeyi ve su sütununda 2015–2016 yılları arasında yaptıkları çalışmada deniz yüzeyi için $2,667 \pm 2,325$ adet/m³ ve su kolonu için $24,475 \pm 26,153$ adet/m³ olarak tespit etmişlerdir. İtalya Po Nehri'nde yapılan çalışmada 1-84 adet/m³ olarak bulunmuştur. Mikroplastik çalışmalarının çoğunlukla açık denizlerde yoğunlaştığını, nehirlerde çalışmaların az olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca sürüklenerek gelen mikroplastiklerin nehir ağzlarında bir süre birikerek gözlenebileceğini belirtmişlerdir. (Atwood ve ark., 2019). Campanale ve arkadaşları (2020) Ofanto Nehri (İtalya)'nda su örneklerinde 0,5–18 adet/m³ mikroplastik tespit etmişlerdir. Ofanto nehrinin ağzının batısında 16 aylık bir süre boyunca beş örnekleme yapmışlardır. Toplanan mikroplastiklerin şekil ve renk kompozisyonu, büyük olasılıkla şeffaf parçaların ve siyah parçaların büyük bir kısmının tarımsal faaliyetlerden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bujaczek ve arkadaşlarının (2021) Kanada'nın Saskatchewan Nehri'ndeki mikroplastik kirliliği ile ilgili yaptıkları çalışmada mikroplastik miktarını 4,6–88,3 adet/m³ (ortalama = $26,2 \pm 18,4$ adet/m³) olarak bildirmişlerdir. Çalışmalarında liflerin baskın olduğunu, tür olarak da polietilen veya polipropilen çoğunlukta olduğunu, Raman mikro spektroskopisi ile boyalı pamuk veya polyester olduğunu bildirmişlerdir.

Sediment örneklerinde tespit edilen mikroplastik yoğunluğu Tablo 4.24.'te verilmiştir. Sedimentte ortalama olarak Yeşilirmak Nehri 300,75 adet/kg, Terme Çayı 133 adet/kg, Cevizdere Deresi 144,5 adet/kg, Melet Irmağı 242,75 adet/kg, Aksu Deresi 106 adet/kg ve Harşit Çayı 195,75 adet/kg olarak bulunmuştur. En yüksek ilkbahar mevsiminde Yeşilirmak Nehri'nde 686 adet/kg en düşük ise sonbahar mevsiminde Harşit Çayı'nda 58 adet/kg tespit edilmiştir. Doğruyol ve arkadaşları (2019) Haliç (İstanbul) sedimentlerinde yaptığı mikroplastik çalışmasında dört mevsimde toplamda 566 adet olarak belirtmiştir. En fazla kış mevsiminde 243 en az ise 103 adet sonbahar mevsiminde kaydetmiştir. En yaygın boyut >5 mm plastikler (198 parçacık), ardından 1–2 mm (118 parçacık) aralığında mikroplastikler olarak belirlemişlerdir. Haliç'in (Haliç) plastik döküntülerle kirlendiğini ifade

etmişlerdir. Lots ve arkadaşlarının (2017) yaptığı kapsamlı çalışmanın bir istasyonu olan Dikili (Türkiye)'de sedimentte 248 adet/kg olarak bulunmuştur. Gökdağ (2017) Akdeniz'in kuzeydoğusunda yaptığı çalışmada sediment numunelerinde 2015 yılında 80–1720 parçacık arasında, 2016 yılında 73,33–553,33 parçacık arasında olduğunu ifade etmiştir. Mikroplastiklerin %94'ünün boyutunun ise 0,1–2,5 mm arasında olduğunu belirtmiştir. Gürbüz (2018), Marmara Denizi genelinde yüzeyde yaptığı sedimentte 2044 adet /m² olarak tespit etmiştir.

Güven ve arkadaşları (2017) Akdeniz bölgesinin Mersin sularında mikroplastik miktarının yüzey suyu numunelerinin km² başına 16339–520213 adet aralığında değişim gösterdiğini bulmuşlardır. Denizlerde ve haliçlerde yapılan çalışmalarda mikroplastik sayısı daha fazla olmaktadır. Birçok çalışma mikroplastiklerin yüzücü olmaları ve ayrışmamaları nedeniyle denizlere ulaştığını bildirmiştir (Akarsu ve ark., 2017; Ziajahromi ve ark., 2016; Talvitie ve ark., 2017).

Olarinmoye ve arkadaşları (2020) Nijerya'da yaptıkları çalışmada sedimentte 310–2319 adet/kg aralığında mikroplastik tespit etmişlerdir. Nijerya'nın plastik girdisi hakkında sonuç çıkarmak için yaptıkları çalışmada Lagos Lagünü ve komşu nehirlerde mikroplastiklerin neden olduğu kirliliği göstermeye çalışmışlardır. Diğer birçok çalışmada kanıtlanmış olduğu gibi en yaygın polimerler polietilen (PE) ve propilen (PP) bulmuşlardır. Lagos Lagünü, Gine Körfezi'ne bağlı olduğundan, plastiğin bir kısmının en çok muhtemelen Atlantik Okyanusu'na taşınacağını bildirmişlerdir. Amazon Nehri (Brezilya) sediment örneklerinde yapılan çalışmada 417-8178 adet/kg kuru sediment (mikroplastikler: 0,063–5 mm) ve 0–5725 adet/kg kuru sediment (mikroplastikler: 0,063–1 mm) aralığında tespit edilmiştir. En yüksek mikroplastik miktarını, Manaus'u çevreleyen Negro Nehri'nin daha düşük su hızına sahip sığ su (su derinliği 5–7 m) alanlarından alınan numunelerde gözlemlemişlerdir. Amazon Nehri'nin daha derin bölgesinde (34 m su derinliği) toplanan en uzak numunede en düşük miktarları tespit etmişlerdir (Gerolin ve ark., 2020).

Mikroplastiklerin tipleri bakımından analizine ait sonuçlar tüm istasyonların mevsimsel olarak bulgular kısmında verilmiştir. Su örneklerinde istasyonların ortalama sonuçlarına bakıldığında ise Yeşilirmak Nehri 19,25 lif, 9,25 pelet, 18,5 parça ve 8,25 film türünde mikroplastik sayılmıştır. Terme Çayı'nda 18 lif, 8,25

pelet, 17,75 parça ve 7,25 film türünde, Cevizdere Deresi'nde 13,75 lif, 11,75 pelet, 14,25 parça ve 5 film türünde tespit edilmiştir. Melet Irmağı'nda 15,5 lif, 11,75 pelet, 25,25 parça ve 6 film, Aksu Deresi'nde 14,5 lif, 10 pelet, 15,5 parça ve 3,75 film türünde ve Harşit Çayı 17,5 lif, 11 pelet, 35,25 parça ve 9 film tipinde mikroplastik tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında tüm istasyonlarda genel olarak lif tipi baskın olarak görülmüştür. Bu mikroplastiklerin tamamı 1 mm'den küçük olarak tespit edilmiştir.

Sediment örneklerinde ise istasyonların ortalama sonuçlarına bakıldığında Yeşilırmak Nehri 38 lif, 16 pelet, 233,5 parça ve 13,25 film türünde mikroplastik sayılmıştır. Terme Çayı'nda 11,75 lif, 23 pelet, 95,5 parça ve 2,75 film türünde, Cevizdere Deresi'nde 14,25 lif, 19,5 pelet, 109,75 parça ve 1 film türünde tespit edilmiştir. Melet Irmağı'nda 27,5 lif, 16,25 pelet, 192,75 parça ve 6,25 film, Aksu Deresi'nde 11,75 lif, 13,5 pelet, 78,75 parça ve 2 film türünde ve Harşit Çayı 27,5 lif, 9 pelet, 151 parça ve 8,25 film tipinde mikroplastik tespit edilmiştir. Bu mikroplastiklerin tamamı 1 mm'den küçük olarak tespit edilmiştir. Sediment örneklerinde parça tipinde mikroplastik baskın olarak görülmüştür.

Mikroplastiklerin boyutları deniz canlıları tarafından besin olarak görülmeleri ve tüketilmelerine yola açmaktadır. 1 mm'den küçük olanlar özellikle zooplankton ve omurgasızlar tarafından tüketilirken 1–5 mm arası olanlar balıklar tarafından tercih edilmektedir (Doğruyol ve ark., 2019).

Bu çalışmada olduğu gibi lifler birçok su ve sediment çalışmasında baskın olarak göze çarpmaktadır. Bu durumun sebepleri evsel atıkların su ortamlarına geçişi, kanalizasyon atıkları, çamaşır yıkanması sonucu oluşan atık sular, mevsimsel taşkınlar, karasal akıntılar olarak görülmektedir (Dris ve ark., 2015; Vaughan ve ark., 2017; Li ve ark., 2020; Vermaire ve ark., 2017). Yine tatlı su, sediment, balık ve midyelerde yapılan başka çalışmalarda da liflerin baskın tür olduğu bildirilmiştir (Vendel ve ark., 2017; Gürbüz, 2018; Gedik ve Eryaşar, 2020; Güven,2021).

Aytan ve arkadaşları (2020), Güneydoğu Karadeniz'deki Karasu, Kızılırmak, Yeşilırmak, Melet, Aksu, Değirmendere ve Fırtına nehirlerinin denize deşarj noktalarındaki çalışmalarında parça (%49), film (%31,3), lif (%17,7), köpük (%1,9) ve boncuk (%0,1) tipte mikroplastikler tespit etmişlerdir. Sedimentte ise lifler

(%66,4), parça (%19,9), film (%13,3) ve boncuk (%0,4) türlerinde tespit edilmiş olup köpük türü bulunmamıştır.

Sucul ortamlardaki plastiğin çoğunluğu; büyük nüfuslu kıyı kentleri üzerine kurulmuş sanayi tesislerinden doğrudan kıyılara, büyük nehirlere, akarsulara veya belediyelerce deşarj ile denizlere aktarılır. Ayrıca balıkçı tekneleri, gezi tekneleri, yük gemileri ve plajlarda bırakılan atıklar diğer önemli MP kaynaklarıdır (Gündoğdu ve Çevik, 2017). Şiddetli yağmurun neden olduğu sel, önemli miktarda kirleticiyi deniz ortamlarına taşımaktadır (Gündoğdu ve ark., 2018).

Mevcut çalışmada mikroplastikler renklerine göre de sayılmıştır. Genel olarak tüm istasyonlarda mevsimsel ortalama sonuçlarına göre su örneklerinde mavi, siyah ve kırmızı rengin baskın olduğu görülmektedir. Su örneklerinde Yeşilırmak Nehri'nde %30 mavi, %9,1 kırmızı, %43,6 siyah, %10 kahve ve %7,3 yeşil renkte mikroplastiklere rastlanmıştır. Terme Çayı'nda %32,7 mavi, %9,8 kırmızı, %46,3 siyah, %5,9 kahve ve %5,4 yeşil renkte mikroplastikler, Cevizdere Deresi'nde %27,4 mavi, %7,3 kırmızı, % 52,5 siyah, %8,9 kahve ve %3,9 yeşil renkte mikroplastikler görülmüştür. Melet Irmağı'nda %29,5 mavi, %8,5 kırmızı, %50,4 siyah, %6,8 kahve ve %4,7 yeşil renkte mikroplastikler sayılmıştır. Aksu Deresi'nde %29,1 mavi, %10,9 kırmızı, %50,3 siyah, %4,6 kahve ve %5,1 yeşil renkte, Harşit Çayı'nda ise %21,3 mavi, %7,9 kırmızı, %63,9 siyah, %3,1 kahve ve %3,8 yeşil renkte mikroplastikler yoğunluktadır.

Aynı şekilde sediment örneklerinde de mikroplastikler renklerine göre % de olarak hesaplanmıştır. Mevsimsel ortalama sonuçlarına göre Yeşilırmak Nehri'nde %9,5 mavi, %3,1 kırmızı, %84,6 siyah , %1,2 kahve ve %1,7 yeşil renkte mikroplastiklere rastlanmıştır. Terme Çayı'nda %6,2 mavi, %4,1 kırmızı, %87,6 siyah, %1,1 kahve ve %0,9 yeşil renkte mikroplastikler, Cevizdere Deresi'nde %13,8 mavi, %6,9 kırmızı, %71,6 siyah, %4,2 kahve ve %3,5 yeşil renkte mikroplastikler görülmüştür. Melet Irmağı'nda %3,2 mavi, %3,3 kırmızı, %91,7 siyah, %0,4 kahve ve %1,4 yeşil renkte mikroplastikler sayılmıştır. Aksu Deresi'nde %6,4 mavi, %3,8 kırmızı, %86,6 siyah, %0,2 kahve ve %3,1 yeşil renkte, Harşit Çayı'nda ise %8,2 mavi, %6,3 kırmızı, %77,8 siyah, %6,6 kahve ve %1,1 yeşil renkte mikroplastikler yoğunluktadır.

Güven (2021) Antalya Körfezi çevresinde bulunan üç ana tatlı su sistemi (Aksu ve Köprü Dereleri, Manavgat Nehri) ve balık alanlarında yaptığı çalışmada mikroplastikleri renkleri bakımından da araştırmıştır. Dört rengi baskın olarak gözlemlemiş, bu renkleri siyah (%27,3), beyaz (%19,4), kırmızı (%18,7) ve mavi (%16,2) olarak rapor etmiştir.

Öztekin ve Bat (2017) Güney Karadeniz'in Sinop Sarıkum sahilinde yaptıkları ön çalışmada beyaz (%40,04), mavi (%14,35), kırmızı (%12,74), siyah (%10,70), gri (%8,52), yeşil (%6,52), şeffaf (%3,91), sarı (%2,87) ve mor (%0,35) renklerinde plastikler kaydetmişlerdir. Pojar ve arkadaşları (2021) Tuna Deltası (Romanya)'nda yaptıkları çalışmada siyah (%46,6), beyaz (%24,6), mavi (%16), yeşil (%6) kırmızı (%4) ve sarı (%3) renkte mikroplastikler bildirmişlerdir.

Aytan ve arkadaşları (2020), Güneydoğu Karadeniz'deki Karasu, Kızılırmak, Yeşilirmak, Melet, Aksu, Değirmendere ve Fırtına nehirlerinin kıyı bölgelerinde mikroplastik kirliliğini araştırmışlardır. On iki farklı renkte mikroplastik tespit edip en yaygın rengin beyaz (%34,3) olduğu yüzey sularında bunu şeffaf (%28,9) ve mavi (%11,8) renkler izlemiştir. Sedimentte on farklı renkte mikroplastik bulunmuş olup mavi en yaygın renk (%40,7), ardından kırmızı (%23,5) ve şeffaf (%15,9) renklerdir. Umman Denizi'ndeki Chabahar Körfezi (İran)'nde yapılan çalışmada yüzey suyu ve sedimentte en bol bulunan formlar, parçalar (%42,34) ve liflerdir (%32,22). En yüksek frekans renkleri sırasıyla siyah, şeffaf ve beyaz olarak bildirilmiştir (Hosseini ve ark., 2020).

Plastik ürünleri üretmek için kullanılan polimerler termoplastikler, termosetler ve elastomerlerdir. Binlerce plastik olmasına rağmen polimer türleri termoplastikler pazara hâkimdir. Genel olarak polietilen (PE), polietilen tereftalat (PET), polipropilen (PP), polistiren (PS) ve polivinil klorür (PVC) tipi plastikler, dünyadaki en yaygın termoplastiklerdir. Poliüretan (PUR), en yaygın olarak kullanılan termoset plastik polimer tipidir. Bu altı tip polimer, toplam plastik üretiminin yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır. Lifler de plastik üretiminde önemli bir paya sahiptir. Üretilen toplam sentetik polimerin yaklaşık %15'i liflerden oluşur (örn. polyester, akrilik) (Gündoğdu, 2022).

Günümüzde mikroplastiklerin polimer türünü tespit etmek amacıyla en yaygın kullanılan tekniklerden biri FT-IR spektroskopisidir. FTIR, bir polimeri 10 µm çözünürlükte tespit edebilmektedir. Numuneler analizden sonra tekrar kullanılabilirliği gibi az numune gerektirmektedir. Ancak kalın mikroplastikler kolaylıkla tespit edilirken ince ve küçük olanlar tespit edilemediğinden verimli görülmemektedir. Bilinmeyen numunenin polimeri belirlenirken bilinen biriyle kızılötesi spektrumlarının karşılaştırılması yoluyla yapılmaktadır. Karşılaştırmalar yapılırken de spektral kütüphaneler kullanılmaktadır (Khan ve ark., 2022).

Bu çalışmada gerçekleştirilen FT-IR analizi sonrası üç farklı polimer türü tespit edilmiştir. Bunlar polipropilen (PP), polyamid (PA) (nylon) ve Polyester (PES)dir. Diğer çalışma sonuçları ile kıyaslandığında tespit edilenlerden PP ve PES çok rastlanan polimer tiplerindendir. FTIR analizi sonuçlarına göre tüm istasyonlarda en çok tespit edilen polimer türü %41,67 oranı ile PP (Polipropilen) olmuştur. Bunu %31,25 PES (Polyester) ve %27,08 PA (Polyamid) polimeri takip etmiştir.

PP, Ambalaj, giyim, tıbbi, ev, boru, gıda sanayi, inşaat, tekstil, tarım ve tek kullanımlık ürünlerde yer alan bir plastik türüdür. PES, tekstil, ambalaj, inşaat, tek kullanımlık ürünler ve tıbbi uygulama ürünlerinde kullanılmaktadır (Gündoğdu, 2022). Nylon çok yaygın olarak yıllardır kullanılmaktadır. Yapısında karbon ve hidrojene ilaveten azot atomu içermektedir. Çorap, perde, ameliyat iplikleri, balık ağları, bavul yapımı şemsiye kumaşlarında oldukça kullanılmaktadır (Önder ve ark., 2020). PES ise en çok tekstil sanayinde kullanılan, çamaşır yıkama sonucu su ortamlarına katılan bir polimer türüdür (Gündoğdu, 2022).

Çalışma alanında bulunan mikroplastik polimer türleri aynı zamanda nehirlere atılan çöplerin içeriği hakkında da bilgi vermektedir. Bu durumda altı istasyonumuz evsel, endüstriyel atıklarla, aynı zamanda gıda, tıbbi ve mobilya üretim atıklarıyla karşı karşıyadır. Tespit edilen polimer türleri de bu durumu doğrulamaktadır.

Aytan ve arkadaşları (2020) yaptıkları çalışmada yüzey, su sütunu ve sediment örneklerinde sekiz farklı polimer tespit etmişlerdir. Bunların en yaygını ise polietilen ve polipropilen olarak bildirilmiştir. Güven (2021), Antalya Körfezi kıyı hattı boyunca yer alan üç ana tatlı su sisteminde (Aksu ve Köprü Çayları, Manavgat Nehri) mikroplastik miktarını araştırıp en yaygın polimer türünü %50 ile polipropilen

(PP) bildirmiştir. Gündoğdu ve arkadaşları (2018) yaptıkları çalışmada rastgele seçilen örneklerde dört farklı polimer türü tespit etmişlerdir. Bunlar polietilen (PE %55,2), polipropilen (PP %26,9) PS (Polistiren) ve SAAC (Stiren/Alil Alkol Kopolimeri) türleridir.

Umman Denizi'ndeki Chabahar Körfezi (İran)'nde yapılan çalışmada polietilen, polietilen tereftalat ve naylon tespit edilmiştir. Polietilen toplam polimerlerin %38'ini oluşturmuştur. Giysi, sıvı ve gıda kaplarında kullanılan polietilen tereftalat, toplam mikroplastiklerin %29'unda bulunmuştur (Hosseini ve ark., 2020).

Su ve arkadaşları (2020) Büyük Melbourne Bölgesi ve Batı Liman Bölgesi (Avustralya) yüzey suları ve sedimentte mikroplastik kirliliği ile ilgili araştırma yapmışlardır. Suda PET (%26,1), PP (%10,1), PE (%11,6), PA (%10,1) ve suni ipek %5,6; sedimentte PET (%22,7), PP (%16,3), PE (%5,0) ve PA %9,1 olarak bildirmişlerdir.

Doğal Hayatı Koruma Vakfı (WWF) 2019 yılında yayınladığı rapora göre Türkiye'de yapılan çalışmalarda, özellikle kumsallar, sediment, denizler, deniz tabanı ve göllerde mikroplastiklerin bulunduğu bildirmiştir. Ayrıca su ortamında yaşayan çeşitli canlılarda özellikle balıklarda ve midyelerde mikroplastikler bulunmuştur. Mikroplastikler besin zinciri yolu ile aktararak risk oluşturmaktadır. Dünya genelinde 344 canlı türü ve Akdeniz'de 134 canlı türü plastik atıkların zararları ile karşı karşıyadır. Balinalar, balıklar, deniz kuşları kaplumbağalar ve mikroskobik zooplanktonlarda mikroplastik tespit edilmiştir. Balık ve midye tüketen insanlar da mikroplastığa maruz kalabilmektedir (WWF, 2019).

İnsanlar içme suyu tüketimi, havadan soluma yoluyla, deniz ürünleri tüketimi ve kozmetik ürünlerin kullanımı ile de mikroplastığa maruz kalmaktadır (Batool ve ark., 2022). Ayrıca, insanların soluduğu mikrofiberler akciğer dokusunda birikerek kanserlere neden olabilir (Mishra ve ark. 2019). Cox ve arkadaşlarının (2019) yaptığı çalışmaya göre insanlar çoğunlukla mikroplastiklere yutma yolu ile maruz kalmaktadır. Kontamine olmuş gıdaların tüketilmesiyle yılda 39000-52000 parçacık/kişi olarak tahmin etmişlerdir.

Plastikler hayatımızı kolaylaştırdığı için birçok alanda kullanılmakta, kıyafetlerimizden yiyeceklerimizi sakladığımız kaplara kadar hayatımızın içinde yer almaktadır. Fakat plastik atıkların çevreye atılması ile daha küçük parçalara ayrılıp mikroplastiklere dönüşmesi tehlike yaratmaktadır. Doğada ve su ortamında birçok canlı besin zannederek tüketmektedir. Besin zinciri yolu ile bir üst basamaktaki canlılara aktararak sofralarımıza kadar ulaşmaktadır. Tüm dünyada bu konuda önlemler alınmakta olup ülkemizde de plastik poşet kullanımı ücretli hale getirilerek kullanımı azaltılmıştır. Geri dönüşüm uygulamaları da yapılmakta olmakla birlikte plastiklerin yalnızca bir kez geri dönüştürülebildiği unutulmamalıdır. Doğa için yapılabilecek en iyi şey plastik kullanımını azaltmak, tek kullanımlık plastik tabak, kaşık ve çatal kullanımının önüne geçmek olacaktır.

Bu çalışma, deniz ortamına giren mikroplastiklerin bir taşıma ortamı olarak tatlı su ekosistemlerinin önemli bir rolü olduğunu gösteren kentsel akış, nehirlerin hidrolojik parametreleri ve mikroplastik miktarları arasındaki bir ilişkinin mevcut olduğuna dair diğer yayınların sonuçlarını da doğrulayan bir çalışma olmuştur.

Sonuç olarak bu çalışma ile Samsun–Ordu–Giresun illerinden denize dökülen 6 farklı akarsuyun mevsimsel olarak su, sediment kalitesi incelenmiş, mikroplastik miktarları tespit edilmiştir. İstasyonlar su kalitesi parametrelerine göre I–III. Sınıf aralığında değişim göstermiştir. Metal analizlerinin su ve sedimentte ölçümleri yapılmıştır. Su örneklerinde Al elementi tüm istasyonlarda izin verilebilir çevre kalite standardının üzerinde ölçülmüştür. Krom, nikel, arsenik, mangan ve kurşun metalleri tüm istasyon ve mevsimlerde I. sınıf kategorisindedir. Demir metali bakımından Aksu Deresi ve Harşit Çayı II. sınıf, geri kalanlar I.sınıf olarak tespit edilmiştir. WQI indeksine göre Cevizdere Deresi (48,48) ve Harşit Çayı (47,48) mükemmel su sınıfında bulunurken, Yeşılırmak Nehri (53,65), Terme Çayı (55,13), Melet Irmağı (58,95) ve Aksu Deresi (75,99) iyi su sınıfında bulunmuştur. Ağır metal kirliliğinin değerlendirildiği HPI ve HEI indeksleri açısından risk yoktur. Sedimentte yer kabuğu değerleri kullanılarak yapılan değerlendirmede Mn, Cu, Cd ve Pb bakımından tüm istasyon ve mevsimlerde sınır değerleri aştığı görülmüştür. Ayrıca sediment kalitesi indekslerle değerlendirilmiştir. Bu indekslere göre CF bakımından Harşit Çayı ve Melet Irmağı'nda kurşun metali açısından çok yüksek derecede kontaminasyon tespit edilmiştir. EF indeksine göre ise Melet Irmağı

kurşun, Harşit Çayı kadmiyum ve kurşun bakımından belirgin zenginleşme sınıfında yer almıştır. Jeoakümülyasyon indeksine göre Melet ve Harşit ırmaklarında Cd ve Pb metalleri açısından orta-güçlü kirlilik hesaplanmıştır. Potansiyel ekolojik risk faktörü bakımında ise tüm istasyonlarda Cd ağır metali bakımından orta ve yüksek ekolojik risk bulunurken Melet Irmağı ve Aksu Deresi'nde Pb bakımından orta düzeyli ekolojik risk bulunmaktadır. Tüm metallerin etkisini topluca gösteren PLI indeksine göre ise Yeşilırmak Nehri, Terme Çayı, Melet Irmağı ve Harşit Çayı $PLI > 1$ olduğundan risk altındadır.

Orta ve Doğu Karadeniz bölgesi kıyı alanları endüstriyel ve kentsel gelişimin yoğun olduğu bir bölge olup noktasal ve noktasal olmayan kirleticilere maruz kalmaktadır. Akarsularımız gün geçtikte kirlenmekte ve çeşitli etkenlerle baskı altında kalmaktadır. Evsel ve endüstriyel atıklar, tarımsal gübreler, sel olayları ile toprak taşınması, fabrikaların dere kenarlarına kurulması ve atıklarını bırakması, bilinçsiz avlanma suçul hayatı olumsuz yönde etkilemektedir. Çalışma süresi boyunca bir kez sel felaketi yaşanmış Harşit Çayı bu durumdan olumsuz etkilenmiştir. Yine Harşit Çayı ve Melet Irmağı'nda dere yatağından çakıl taşı ve malzeme çıkarılması görülmüştür. Haziran 2021'de DSI, Melet Irmağı'nda personel ve makineli çalışmalarla dere yatağından yaklaşık 1,5 milyon metreküp malzemenin çıkarıldığını duyurmuştur. Bu gibi durumlar sedimentte bulunan inorganik maddelerin akarsuya karışmasına sebep olup canlı yaşamını olumsuz etkilemektedir.

Dünyada ve ülkemizde hızla artan çevre kirliliğini özellikle de su kirliliğini azaltmak için önlemler alınmalıdır. Bu önlemler,

- Tarımda kimyasal gübrelerin kullanımının azaltılması,
- Evsel çöplerin tesislerde işlenmesi,
- Sanayi ve endüstri alanında faaliyet gösteren fabrikaların atıklarının arıtılarak doğaya bırakılması,
- Suyun çok kullanıldığı sanayi ve endüstriyel üretim sektörlerde suyun verimli kullanılmasını sağlayan yöntemlerin uygulanması
- Kimyasal maddelerin canlılarda birikim yapma ihtimali olduğundan deterjan ve dezenfektan kullanımında dikkatli olunması gerekliliği,
- Plastik kullanımının azaltılması ve sınırlama getirilmesi,

- Plastik yerine doğada çözünen biyoplastiklerin yaygınlaştırılması şeklinde olabilir.



KAYNAKLAR

- Akarsu, C., Kideys, A. E., Kumbur, H. 2017. Evsel atık su arıtma tesislerinin sucul ekosisteme mikroplastik tehditi. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 74(EK-1), 73-78.
- Akarsu, T., Kükrer, S., Erginal, A. E. 2022. Trace Metal-Induced Ecological Risk Analysis of Sarıçay River Sediments, Çanakkale, NW Turkey. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 9(2), 45-53.
- Akbulut, A., Akbulut, N. E. 2010. The study of heavy metal pollution and accumulation in water, sediment, and fish tissue in Kızılırmak River Basin in Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 167(1), 521-526.
- Alahabadi, A., Malvandi, H. 2018. Contamination and ecological risk assessment of heavy metals and metalloids in surface sediments of the Tajan River, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 741-749.
- Alam, R., Ahmed, Z., Seefat, S. M., Nahin, K. T. K. 2021. Assessment of surface water quality around a landfill using multivariate statistical method, Sylhet, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring Management*, 15, 100422.
- Ali, M. M., Ali, M. L., Rakib, M. R. J., Islam, M. S., Habib, A., Hossen, S., Phoungthong, K. 2021. Contamination and ecological risk assessment of heavy metals in water and sediment from hubs of fish resource river in a developing country. *Toxin Reviews*, 1-16.
- Alkan, N., Alkan, A., Erüz, C. 2018. Determination of metals in water and sediment samples of the Sürmene River, Turkey. In *Exergy for A Better Environment and Improved Sustainability 2* (pp. 175-181). Springer, Cham.
- Al-qadasy, M. K. O., Babaqi, A. S., Al-Abyadh, M. M., Al-kaf, A. G. A. 2017. Investigation of toxic metals pollution in water, sediment and fish at Aden Coast, Gulf of Aden, Yemen. *Univ J Pharm Res*, 2, 42-49.
- Andrady, A. L. 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 62(8), 1596-1605.
- Anonim 2004. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 31/12/2004, Sayı: 25687, Ankara.
- Anonim 2010a. https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/maden_potansiyel_2010/Sam_sun_madenler.pdf erişim tarihi:31.01.2021

- Anonim 2010b.
https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/meden_potansiyel_2010/Ordu_Madenler.pdf erişim tarihi:31.01.2021
- Anonim 2010c.
https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/meden_potansiyel_2010/Giresun_Madenler.pdf erişim tarihi:31.01.2021
- Anonim 2012. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği. 30/11/2012, Sayı: 28483, Ankara.
- Anonim 2014. Giresun Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Giresun İli 2013 Çevre Durum Raporu, Giresun.
- Anonim 2021. Kıta içi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (Değişik:RG-16/6/2021-31513)
- Arıman, S., Cüce, H., Özbayrak, E., Bakan, G., Büyükgüngör, H. 2007. Orta Karadeniz Kıyı Şeridi nehirleri su ve sediman ortalamalarında ağır metal kirliliği. 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 24(27), 864-868.
- Atwood, E. C., Falcieri, F. M., Piehl, S., Bochow, M., Matthies, M., Franke, J., Siegert, F. 2019. Coastal accumulation of microplastic particles emitted from the Po River, Northern Italy: comparing remote sensing and hydrodynamic modelling with in situ sample collections. Marine pollution bulletin, 138, 561-574.
- Avcı, B. 2021. Doğal kaynak sularında sertlik, iletkenlik ve askıda katı madde gideriminin araştırılması. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- AWWA, 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd edition, Part 3000 Metals, 3030 Preliminary Treatment Of Samples. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Ayari, J., Barbieri, M., Agnan, Y., Sellami, A., Braham, A., Dhaha, F., Charef, A. 2021. Trace element contamination in the mine-affected stream sediments of Oued Rarai in north-western Tunisia: a river basin scale assessment. Environmental Geochemistry and Health, 1-16.
- Ayaz, G. 2021. Nilüfer Çayının su kalitesinin belirlenmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Aydın, E. 2020. Yüzey sularında mikroplastik kirliliğinin incelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Aydın, H. 2015. Batlama Deresi Su Kalitesi ve Kirlilik Düzeyinin Belirlenmesi. Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji ABD, Yüksek Lisans Tezi.

- Aydin, H., Ustaoglu, F., Tepe, Y., Soylu, E. N. 2021. Assessment of water quality of streams in northeast Turkey by water quality index and multiple statistical methods. *Environmental Forensics*, 22(1-2), 270-287.
- Aytan, U., Valente, A., Senturk, Y., Usta, R., Sahin, F. B. E., Mazlum, R. E., Agirbas, E. 2016. First evaluation of neustonic microplastics in Black Sea waters. *Marine environmental research*, 119, 22-30.
- Aytan, Ü., Pogojeva, M., Simeonova, A. (Eds.) 2020. *Marine Litter in the Black Sea*. Turkish Marine Research Foundation (TUDAV) Publication No: 56, Istanbul, Turkey
- Ayyıldız, C. 2019. Estimation of diffuse pollution loads of pesticides in tersakan sub-basin of Yeşilirmak river. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Bakan, G., Şenel, B. 2000. Samsun Mert Irmağı-Karadeniz deşarjında yüzey sediman (dip çamur) ve su kalitesi araştırması. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 24(3), 135-141.
- Balık, İ., Tunca, E. 2015. A review of sediment contamination assessment methods. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 1(1), 7-17.
- Baltas, H., Sirin, M., Dalgic, G., Bayrak, E. Y., Akdeniz, A. 2017. Assessment of metal concentrations (Cu, Zn, and Pb) in seawater, sediment and biota samples in the coastal area of Eastern Black Sea, Turkey. *Marine pollution bulletin*, 122(1-2), 475-482.
- Başoren, Ö. Kazancı, N. 2020. Distribution of Aquatic Diptera larvae of Yeşilirmak River (Turkey) and ecological characteristics. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(4), 397-407. DOI: 10.12714/egejfas.37.4.11
- Başören, Ö., Kazancı, N. 2016. Water quality assessment of Fırtına Stream (Rize, Turkey) by using various macroinvertebrate based metrics and physicochemical variables. *Review of Hydrobiology*, 9(1), 1-16.
- Batool, I., Qadir, A. 2022. Atmospheric Microplastic Distribution, Fate, and Behavior in Context to Pollution. In *Microplastic Pollution* (pp. 111-132). Springer, Cham.
- Bayram, A. 2011. Harşit Çayı su kalitesinin mevsimsel değişiminin incelenmesi ve askı madde konsantrasyonunun yapay sinir ağları yöntemi ile tahmin edilmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, Doktora Tezi.
- Beden, N. 2019. Cevizdere havzasının sayısal modelleme sistemlerine dayalı taşkın analizi ve taşkın zararlarının değerlendirilmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, Doktora Tezi.
- Birici, N., Karakaya, G., Şeker, T., Küçükylmaz, M., Balcı, M., Özbey, N., Güneş, M. 2017. Çoruh Nehri su kalitesinin su kirliliği kontrolü yönetmeliğine göre değerlendirilmesi. *Int. J. Pure Appl. Sci*, 3(1), 54-64.
- Boyacioglu, H. 2014. Spatial differentiation of water quality between reservoirs under anthropogenic and natural factors based on statistical approach. *Archives of Environmental Protection*. 40(1), 41-50

- Boyar, M. 2019. Göksu nehri (Mersin-Türkiye)nin bazı su kalite parametrelerindeki mevsimsel değişimler. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Boyd, C. E. 2000. Water quality: An introduction, 2nd Edition. Springer. <https://www.springer.com/gp/book/9783319330624>.
- Boyd, C. E. 2015. Dissolved solids. In Water Quality (pp. 71-100). Springer, Cham.
- Boyd, C. E., Claude, E. 2000. Water Quality: An introduction kluwer academic publishers. Norwell, Massachusetts, 2061.
- Boyd, C. E., Tucker, C. S., Somridhivej, B. 2016. Alkalinity and hardness: critical but elusive concepts in aquaculture. Journal of the World Aquaculture Society, 47(1), 6-41.
- Boyd, C.E. ve Tucker, C.S. 1992. Water Quality And Pond Soil Analyses For Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama, USA.
- Bujaczek, T., Kolter, S., Locky, D., Ross, M. S. 2021. Characterization of microplastics and anthropogenic fibers in surface waters of the North Saskatchewan River, Alberta, Canada. FACETS, 6(1), 26-43.
- Büyüköztürk, Ş. 2004. Veri analizi el kitabı. 214s
- Büyüköztürk, Ş., Çakmak, E. K., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş., Demirel, F. 2017. Bilimsel araştırma yöntemleri. Pegem Atıf İndeksi, 2017, 1-360.
- Calmuc, V. A., Calmuc, M., Arseni, M., Topa, C. M., Timofti, M., Burada, A., Georgescu, L. P. 2021. Assessment of heavy metal pollution levels in sediments and of ecological risk by quality indices, applying a case study: The Lower Danube River, Romania. Water, 13(13), 1801.
- Campanale, C., Stock, F., Massarelli, C., Kochleus, C., Bagnuolo, G., Reifferscheid, G., Uricchio, V. F. 2020. Microplastics and their possible sources: The example of Ofanto river in southeast Italy. Environmental Pollution, 258, 113284.
- Candan, E. D. 2011. Melet Irmağı'nda (Ordu) Bulunan Cladophora (chlorophyta) Örneklerindeki Ağır Metal Birikimi Üzerine Bir Araştırma. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Canpolat, Ö., Uzun, S. K. 2019. Kahramanmaraş Organize Sanayi Bölgesi atık sularının Sır Baraj Gölü'nde meydana getirdiği ağır metal kirliliğinin belirlenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(3), 816-825.
- Cengiz, M. F., Kilic, S., Yalcin, F., Kilic, M., Yalcin, M. G. 2017. Evaluation of heavy metal risk potential in Bogacayi River water (Antalya, Turkey). Environmental monitoring and assessment, 189(6), 248.
- Chalmers, J. M. 2006. Infrared spectroscopy in analysis of polymers and rubbers. Encyclopedia of Analytical Chemistry: Applications, Theory and Instrumentation.
- Chen, B., Liu, J., Qiu, J., Zhang, X., Wang, S., Liu, J. 2017. Spatio-temporal distribution and environmental risk of sedimentary heavy metals in the Yangtze River Estuary and its adjacent areas. Marine pollution bulletin, 116(1-2), 469-478.

- Chin, D. A. 2006. Water–Quality Engineering in Natural Systems. University of Miami, Coral Gables, Florida.
- Cirik, S., Cirik, Ş., 1999. Limnology, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No. 21, s.166
- Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F., Dudas, S. E. 2019. Human consumption of microplastics. Environmental science technology, 53(12), 7068-7074.
- Cózar, A., Sanz-Martín, M., Martí, E., González-Gordillo, J. I., Ubeda, B., Á.gálvez, J., Duarte, C. M. 2015. Plastic accumulation in the mediterranean sea. PLoS ONE, 10(4), 1–12.
- Cüce, H., Kalipci, E., Ustaoglu, F., Baser, V., Türkmen, M. 2022. Ecotoxicological health risk analysis of potential toxic elements accumulation in the sediments of Kızılırmak River. International Journal of Environmental Science and Technology, 1-14.
- Çetin, M. 2012. Ilıca Deresi (Fatsa, Ordu) algleri ve su kalitesinin incelenmesi. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Çevik, C., Kıdeys, A. E., Tavşanoğlu, Ü. N., Kankılıç, G. B., Gündoğdu, S. 2021. A review of plastic pollution in aquatic ecosystems of Turkey. Environmental Science and Pollution Research, 1-20.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. 2019. Ç. V. Ş., ÇED, İ. V. D. G. M. Deniz İzleme Kılavuzları.
- Çiçek, N. L., Ertan, Ö. O. 2012. Köprüçay Nehri (Antalya)’nın fiziko-kimyasal özelliklerine göre su kalitesinin belirlenmesi. Ekoloji, 21(84), 54-65.
- Dede, Ö. T., Sezer, M. 2017. Aksu Deresi Su Kalitesinin Belirlenmesinde Kanada Su Kalitesi İndeks (Cwqi) Modelinin Uygulanması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(3), 909-917
- Demir, N., Balci, E., Fakioglu, O., Keskin, E., Coskun, T. 2021. Excessive Growth Of Fennel Pondweed (Stuckenia Pectinata) In The Kızılırmak River, Cappadocia, Turkey. Applied Ecology And Environmental Research, 19(5), 4055-4067.
- Dimri, D., Daverey, A., Kumar, A., Sharma, A. 2021. Monitoring water quality of River Ganga using multivariate techniques and WQI (Water Quality Index) in Western Himalayan region of Uttarakhand, India. Environmental Nanotechnology, Monitoring Management, 15, 100375.
- Diğer, S. 2014. Çanakçı Deresi Su kalitesi ve Kirlilik Düzeyinin Belirlenmesi. Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Doğruyol, P., Şener, M., Balkaya, N. 2019. Determination of microplastics and large plastics in the sediments of the Golden Horn Estuary (Halic), Istanbul, Turkey. Desalin Water Treat, 172, 344-350.
- Döndü, M., Özdemir, N. 2019. Kadın Azmağı’nın (Gökova Körfezi-Muğla) Su Kalitesi Yönünden Mevsimsel İncelenmesi. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(2), 169-178.

- Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., Tassin, B. 2015. Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry*, 12(5), 592-599.
- DSİ. 2015. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/tcdr_tr_2015.pdf (erişim tarihi:15.11.2021)
- Edet, A. E. Offiong, O. E. 2002. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring. a study case from Akpabuyo-Odukpani area, lower cross river basin (southeastern Nigeria). *Geojournal*, 57(4), 295–304.
- Edition, F. 2011. Guidelines for drinking-water quality. *WHO chronicle*, 38(4), 104-108.
- Egemen, Ö. 1999. Çevre ve Su Kirliliği (Ders Kitabı). Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Bornova-İzmir, 42, 75–77.
- Egemen, Ö. 2011. Su Kalitesi, Ege Üniversitesi Yayınları, İzmir.
- Erdoğan, Ö., Bakioğlu, B. 2021. Boğa Çayı (Antalya) Su Kalitesinin Değerlendirilmesi. *Uluborlu Mesleki Bilimler Dergisi*, 4(2), 91-98.
- Ersoy, A. F., Karagüllü, D. 2018. Söğütlü Deresi (Trabzon) Su Kalitesi Parametrelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 42(1), 1-16.
- Esensoy, F. B., Şentürk, Y., Aytan, Ü. 2020. Microbial biofilm on plastics in the southeastern Black Sea. *Marine Litter in the Black Sea*, 56, 268-286.
- Esmeray, E., Armutcu, C. 2020. Mikroplastikler, Çevre Ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri Ve Analiz Yöntemleri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 839-868.
- Ezewudo, B. I., Mgbenka, B. O., Islam, M. S., Proshad, R., Odo, G. E. 2021. Appraisal of metal contamination in sediments of lower reaches of Niger River, Nigeria, using contamination indices and sediment quality guidelines. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-20.
- Frias, J. P. G. L., Otero, V., Sobral, P. 2014. Evidence of microplastics in samples of zooplankton from Portuguese coastal waters. *Marine Environmental Research*, 95, 89-95
- Fural, Ş., Kükrer, S. 2021. Sulak alanlarda potansiyel toksik element (PTE) kaynaklı bölgesel ekolojik risk araştırmalarında kullanılan analitik metotlar. *Türk Coğrafya Dergisi*, (77), 211-222.
- Garg, V., Rout, C. 2021. Assessment of Water Quality using Principal Component Analysis and Cluster Analysis for River Markanda, India. *International Journal for Research in Applied Science Engineering Technology* ISSN, 2321-9653.
- Gedik, K., Eryaşar, A. R. 2020. Microplastic pollution profile of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) collected along the Turkish coasts. *Chemosphere*, 260, 127570.
- Gedik, K., Verep, B., Terzi, E. ve Fevzioğlu, S. 2012. Fırtına Deresi (Rize)'nin Fiziko-Kimyasal Açısından Su Kalitesinin Belirlenmesi, *Ekoloji* 19, 76, 25-35.

- Gerolin, C. R., Pupim, F. N., Sawakuchi, A. O., Grohmann, C. H., Labuto, G., Semensatto, D. 2020. Microplastics in sediments from Amazon rivers, Brazil. *Science of the Total Environment*, 749, 141604.
- Goher, M. E., Hassan, A. M., Abdel-Moniem, I. A., Fahmy, A. H. Elsayed, S. M. 2014. Evaluation of surface water quality and heavy metal indices of Ismailia Canal, Nile River, Egypt. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 40(3), 225–233.
- Gökdağ, K. 2017. Microplastic pollution in seawater, sediment and gastrointestinal tract of fishes of the north-eastern Mediterranean Sea. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deniz Biyolojisi ve Balıkçılık ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Gümüş, N. E. 2021. Akarçay Akarsuyu (Afyonkarahisar) su kalitesi ve ağır metal kirliliği. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6(1), 120-127.
- Gündoğdu S. 2022. Polymer Types of Microplastic in Coastal Areas. In: Hashmi M.Z. (eds) *Microplastic Pollution. Emerging Contaminants and Associated Treatment Technologies*. Springer, Cham.
- 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.
- Gündoğdu, S., Çevik, C., Ayat, B., Aydoğan, B., Karaca, S. 2018. How microplastics quantities increase with flood events? An example from Mersin Bay NE Levantine coast of Turkey. *Environmental pollution*, 239, 342-350.
- Gürbüz, Ö. 2018. Marmara denizi mikroplastik karakterizasyonu ve dağılımı. İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Fiziksel Oşinografi ve Deniz Biyolojisi ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Güven, O. 2021. Spatio-Temporal Distribution and Characterization of Microplastic Pollution in The Three Main Freshwater Systems (Aksu and Köprü Streams, Manavgat River) And Fishing Grounds Located in Their Vicinities in The Antalya Bay. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 22(12).
- Güven, O., Gökdağ, K., Jovanović, B., Kideys, A. E. 2017. Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish. *Environmental pollution*, 223, 286-294.
- Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, 14(8), 975-1001.
- Herojeet, R., Rishi, M. S., Kishore, N. 2015. Integrated approach of heavy metal pollution indices and complexity quantification using chemometric models in the Sirsa Basin, Nalagarh valley, Himachal Pradesh, India. *Chinese Journal of Geochemistry*, 34(4), 620-633
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., Thiel, M. 2012. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental science & technology*, 46(6), 3060-3075.
- Horton, R. K. 1965. An index number system for rating water quality. *J Water Pollut Control Fed*, 37(3), 300-306.

- Hosseini R, Sayadi MH, Aazami J, Savabieasfehiani M. 2020. Accumulation and distribution of microplastics in the sediment and coastal water samples of Chabahar Bay in the Oman Sea, Iran. *Mar Pollut Bull* 160:111682.
- Ji, Z. G. 2008. Hydrodynamics and water quality. Modeling rivers, lakes, and estuaries. A John Wiley Sons. Inc. Publication.
- Kalyoncu, H., Özcan, C., Tekin-Özcan, S. 2016. Isparta Deresi'nin su ve sedimentlerindeki ağır metal birikiminin incelenmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(Ek (Suppl.) 1), 268-280.
- Kang, J. H., Kwon, O. Y., Shim, W. J. 2015. Potential threat of microplastics to zooplanktivores in the surface waters of the Southern Sea of Korea. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 69(3), 340-351.
- Karakaya, N., Evrendilek, F. 2010. Water quality time series for Big Melen stream (Turkey): its decomposition analysis and comparison to upstream. *Environmental monitoring and assessment*, 165(1), 125-136.
- Katare, P. Y., Sankhla, M. S., Singhal, M., Ekta, B., Jadhav, K. P., Bhagyashri, T. N., Bhardwaj, L. 2021. Microplastics in aquatic environments: Sources, ecotoxicity, detection remediation. *Biointerface Res. Appl. Chem*, 12, 3407-3428.
- Kazancı, N., Türkmen, G., Ertunç, Ö., Ekingen, P., Öz, B., Gültutan, Y. 2010. Assessment of ecological quality of Yeşilırmak River (Turkey) by using macroinvertebrate-based methods in the content of Water Framework Directive. *Review of Hydrobiology*, 3(2), 89-110.
- Keskin, S. 2017. Heavy metal contamination and ecological risk assessment in the sediments of Melen River, Duzce, Turkey. *Fresen. Environ. Bull*, 26(7), 4357-4366.
- Khan, Q. F., Anum, S., Sharif, F., Farhan, M., Sakandar, H. A., Rasheed, R., Shahzad, L. 2022. Monitoring of Microplastic Pollution. *Microplastic Pollution: Environmental Occurrence and Treatment Technologies*, 67.
- Kırıs, E., Baltas, H. 2021. Assessing pollution levels and health effects of heavy metals in sediments around Cayeli copper mine area, Rize, Turkey. *Environmental Forensics*, 22(3-4), 372-384.
- Kontaş, S. 2018. Melet Irmağı su, sediment ve bazı balık türlerinde ağır metal birikimi ve genotoksik etkilerinin araştırılması. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Kour, G., Kothari, R., Dhar, S., Pathania, D., Tyagi, V. V. 2021. Impact assessment on water quality in the polluted stretch using a cluster analysis during pre-and COVID-19 lockdown of Tawi river basin, Jammu, North India: an environment resiliency. *Energy, Ecology and Environment*, 1-12.
- Köleli, N., Kantar, Ç. 2005. Toxic Heavy Metal (Cd, Pb, Ni, As) Concentration in Phosphate Rock, Phosphoric Acid and Phosphorus Fertilizers. *Ecology* 14(55): 1-5.
- Kumar, B., Singh, U. K. 2018. Source apportionment of heavy metals and their ecological risk in a tropical river basin system. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(25), 25443-25457.

- Kumbur, H., Özsoy, H.D., Özer, Z. 2008. Determination of the Effects of Chemicals Used in Agricultural Areas on Water Quality in Mersin. *Ecology* 17(68): 54-58.
- Kurucu, G. 2020. Curi Deresi'nin su, sediment ve bazı balık türlerinde ağır metal birikimi ve genotoksik etkilerinin araştırılması. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Küçükali, S. 2019. Filyos Nehri'nin Fiziksel Su Kalitesi Parametrelerinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 4(3), 519-524
- Kükrer, S., Çakır, Ç., Kaya, H., Erginal, A. E. 2019. Historical record of metals in Lake Küçükçekmece and Lake Terkos (İstanbul, Turkey) based on anthropogenic impacts and ecological risk assessment. *Environmental Forensics*, 20(4), 385-401.
- Kükrer, S., Mutlu, E. 2019. Assessment of surface water quality using water quality index and multivariate statistical analyses in Saraydüzü Dam Lake, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 191(2), 1-16.
- Lawson, E. O. 2011. Physico-chemical parameters and heavy metal contents of water from the Mangrove Swamps of Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria. *Advances in biological research*, 5(1), 8-21.
- Li, C., Busquets, R., Campos, L. C. 2020. Assessment of microplastics in freshwater systems: A review. *Science of the Total Environment*, 707, 135578.
- Lots, F. A., Behrens, P., Vijver, M. G., Horton, A. A., Bosker, T. 2017. A large-scale investigation of microplastic contamination: abundance and characteristics of microplastics in European beach sediment. *Marine pollution bulletin*, 123(1-2), 219-226.
- MacDonald, D. D., Ingersoll, C. G., Berger, T. A. 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 39(1), 20-31.
- Matta, G., Kumar, A., Nayak, A., Kumar, P., Kumar, A., Tiwari, A. K. 2020. Determination of water quality of Ganga River System in Himalayan region, referencing indexing techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(19), 1-11.
- McHugh, M. L. 2011. Multiple comparison analysis testing in ANOVA. *Biochemia medica*, 21(3), 203-209.
- Mishra, S., charan Rath, C., Das, A. P. 2019. Marine microfiber pollution: a review on present status and future challenges. *Marine pollution bulletin*, 140, 188-197.
- Mohan, S. V., Nithila, P., Reddy, S. J. 1996. Estimation of heavy metals in drinking water and development of heavy metal pollution index. *Journal of Environmental Science Health Part A*, 31(2), 283-289.
- Mutlu, E., Arslan, N. 2021. Water Quality Assessment of Boyalı Dam Lake (Sinop, Turkey) by Using Ecological and Statistical Indicators. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus*, 20(1), 77-85.
- Mutlu, T. 2019. Doğu Karadeniz Havzasında bazı akarsuların eser element düzeyleri ve Karadeniz'e girdilerinin duraylı karbon ve azot izotop oranlarıyla

- belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Rize.
- Mutlu, T., Verap, B., Onay, D., Kıriloğlu, K. 2017. Güneydoğu Karadeniz Rize kıyılarına dökülen bazı akarsuların fiziko-kimyasal su kalitesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 2(3), 67-71.
- Müller, G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal* 2: 108-118
- Natali, C., Bianchini, G., Marchina, C., Knöller, K. 2016. Geochemistry of the Adige River water from the Eastern Alps to the Adriatic Sea (Italy): evidences for distinct hydrological components and water-rock interactions. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(12), 11677-11694.
- Ngoye, E., Machiwa, J. F. 2004. The influence of land-use patterns in the Ruvu river watershed on water quality in the river system. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 29(15-18), 1161-1166.
- Obaid, Z. H. 2021. Assessing The Water Quality At Shatt Al-Hillah/Iraq, Using The Biological Oxygen Requirement BOD5. *NVEO-NATURAL VOLATILES ESSENTIAL OILS Journal| NVEO*, 11397-11402.
- Olarinmoye, O. M., Stock, F., Scherf, N., Whenu, O., Asenime, C., Ganzallo, S. 2020. Microplastic Presence in Sediment and Water of a Lagoon Bordering the Urban Agglomeration of Lagos, Southwest Nigeria. *Geosciences*, 10(12), 494.
- Omwene, P. I., Öncel, M. S., Çelen, M., Kobya, M. 2018. Heavy metal pollution and spatial distribution in surface sediments of Mustafakemalpaşa stream located in the world's largest borate basin (Turkey). *Chemosphere*, 208, 782-792.
- Osmanoğlu, Ş., Özalp, M. 2019. Artvin'in Murgul Deresi'nde su miktarı, su kalitesi ve askıda sediment değerlerinin belirlenmesi (Master's thesis, Artvin Çoruh Üniversitesi/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- Önder, S., Günal, Ç., Dinçel, A. S. 2020. Plastikleri Attığımızda Ne Oluyor? Mikroplastikler. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(4), 181-186
- Öner, Ö., Çelik, A. 2011. Gediz Nehri Aşağı Gediz Havzası'ndan alınan su ve sediment örneklerinde bazı kirlilik parametrelerinin incelenmesi. *Ekoloji*, 20(78), 48-52.
- Özay, G. 2019. Çoklu nehir tipi hidroelektrik santrallerinin (HES) Kabaca Deresi'nin su miktarı, su kalitesi ve askıda sediment değerleri üzerine etkilerinin araştırılması. Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Öztekin, A., Bat, L. 2017. Microlitter pollution in sea water: a preliminary study from Sinop Sarikum coast of the southern Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 17:1431-1440
- Plastics Europe 2019. *Plastics- the Facts 2019: An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data*. FINAL web version *Plastics the facts 2019* 14102019.pdf.

- Pojar, I., Stănică, A., Stock, F., Kochleus, C., Schultz, M., Bradley, C. 2021. Sedimentary microplastic concentrations from the Romanian Danube River to the Black Sea. *Scientific reports*, 11(1), 1-9.
- Qu, L., Huang, H., Xia, F., Liu, Y., Dahlgren, R. A., Zhang, M., Mei, K. 2018. Risk analysis of heavy metal concentration in surface waters across the rural-urban interface of the Wen-Rui Tang River, China. *Environmental pollution*, 237, 639-649.
- Qu, L., Huang, H., Xia, F., Liu, Y., Dahlgren, R. A., Zhang, M., Mei, K. 2018. Risk analysis of heavy metal concentration in surface waters across the rural-urban interface of the Wen-Rui Tang River, China. *Environmental pollution*, 237, 639-649.
- Rostom, N. G., Shalaby, A. A., Issa, Y. M., Afifi, A. A. 2017. Evaluation of Mariut Lake water quality using Hyperspectral Remote Sensing and laboratory works. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20, S39-S48.
- Sağlam, M. T., Bellitürk, K. 2003. Su kirliliği ve toprak üzerindeki etkisi. *Alatırım*, 2(1), 46-49.
- Saleh, H. N., Panahande, M., Yousefi, M., Asghari, F. B., Oliveri, C. G., Talaee, E. Mohammadi, A. A. 2019. Carcinogenic and noncarcinogenic risk assessment of heavy metals in groundwater wells in Neyshabur Plain, Iran. *Biological Trace Element Research*, 190(1), 251-261.
- Sarı, E., Neven, C., Stanislav, F. B., Ali, K. M., Mihri, H. 2016. Contamination assessment of ecotoxic metals in recent sediments from the Ergene River, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 75(13), 1-11.
- Sawyer C., McCarty P., Parkin G., 2013, Çevre Mühendisliği ve Bilimi İçin Kimya, Çeviri Editörü: İsmail TORÖZ.
- Sawyer, C. N. 2013. Çevre mühendisliği ve bilimi için kimya. Nobel.
- Saydam Eker, Ç., Özkan, Ö. (2017). Ankara Çayı Dere Yatağı Sedimanlarının Zararlı Element İçeriği. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 208-210.
- Semerci, H. 2007. Porsuk sedimentlerinin geoteknik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi (Doctoral dissertation, Anadolu University (Turkey)).
- Sert, Ç. 2019. Amanos dağları'nda bazı doğal su kaynaklarının su parametrelerinin araştırılması. *İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri ABD, Yüksek Lisans Tezi*.
- Shrestha, S., Kazama, F. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling Software* 22:464-475
- Singh, K. R., Goswami, A. P., Kalamdhad, A. S., and Kumar, B. 2020. Development of irrigation water quality index incorporating information entropy. *Environment, Development and Sustainability* 22:3119-3132.

- SKKY. 2015. Yüzeysel su kalitesi yönetimi yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik. Yayımlandığı resmi gazete: Tarih 15 Nisan 2015, Resmi gazete no: 29327
- Sökmen, T. Ö., Güneş, M., Kirici, M. 2018. Karasu Nehri'nden (Erzincan) alınan su, sediment ve Capoeta umbla dokularındaki ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 5(4), 578-588.
- Sönmez, V. Z., Akarsu, C., Cumbul Altay, M., Sivri, N. 2022. Extraction, Enumeration, and Identification Methods for Monitoring Microplastics in the Aquatic Environment. In Microplastic Pollution (pp. 21-66). Springer, Cham.
- Su, L., Sharp, S. M., Pettigrove, V. J., Craig, N. J., Nan, B., Du, F., Shi, H. 2020. Superimposed microplastic pollution in a coastal metropolis. Water research, 168, 115140.
- Suresh G, Ramasamy V, Meenakshisundaram V, Venkatachalapathy R, Ponnusamy V. 2011. Influence of mineralogical and heavy metal composition on natural radionuclide contents in the river sediments. Applied Radiation and Isotopes, 69: 1466–1474. DOI:
- Sutherland, RA. 2000. Bed sediment associated trace metals in an urban stream, Oahu. Hawaii Environmental Geology, 39: 611–627.
- Şahan, A., Özütok, S., Çevik, F. 2017. Ceyhan Nehri (Adana-Türkiye)'nin farklı bölgelerinden yakalanan Afrika kedi balığı (Clarias gariepinus Burchell, 1822)'nda su kalitesinin bazı hematolojik parametreler üzerine etkisi. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 34(4), 375-382.
- Şener, Ş., Şener, E., Davraz, A. 2017. Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). Science of the Total Environment, 584, 131-144.
- Şimşek, A. 2020. Orta Karadeniz kıyılarında kirlenmiş sediman ortamlarında ekotoksikolojik olarak ağır metal kirliliğinin araştırılması. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., Setälä, O. 2017. Solutions to microplastic pollution–Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. Water research, 123, 401-407.
- Tanyolaç, J. 2004. Limnoloji: tatlısu bilimi. Hatiboğlu Yayınevi.
- Taş, B., Candan, A. Y., Can, Ö., Topkara, S. 2010. Ulugöl (Ordu)'ün Bazı Fiziko-Kimyasal Özellikleri. Journal of FisheriesSciences. com, 4(3), 254-263.
- Taş, B., Ertürk, Ö., ve Şahin, H. 2019. Trabzon-Araklı Şifalı Suyunun Özellikleri. 3. Uluslararası ÜNİDOKAP Karadeniz Sempozyumu, 437-443.
- Taş, B., Kolören, Z. 2017. Evaluation of water qualities of discharging area of some running waters into Black Sea in the Central Black Sea Region of Turkey. Review of Hydrobiology, 10(1).
- Taş, B., Tepe, Y., Ustaoglu, F., Alptekin, S. 2019. Benthic algal diversity and water quality evaluation by biological approach of Turnasuyu Creek, NE Turkey. Desalination and water treatment, 155, 402-415.

- Taş, B., Yılmaz, Ö., Ustaoglu, F. 2021. Ilıman Bir Türkiye Nehir Havzasında Dere Su Kalitesinin Çok Değişkenli Analiz ve Biyolojik Yaklaşımlarla Değerlendirilmesi. *Acta Aquatica Turcica*, 17(1), 34-55.
- Tatone, L. M., Bilos, C., Skorupka, C. N., Colombo, J. C. 2016. Comparative approach for trace metal risk evaluation in settling particles from the Uruguay River, Argentina: enrichment factors, sediment quality guidelines and metal speciation. *Environmental Earth Sciences*, 75(7), 575
- Tavşanoğlu, Ü., Kankiliç, G. and Erdoğan, Ş. 2020. Tatlısu Ekosistemlerinde Arazi ve Laboratuvar Yöntemleri. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, ss. 492, ISBN:978-625-402-870-0
- Tepe, Y., Ateş, A., Mutlu, E., Töre, Y. 2006. Hasan Çayı (Erzin-Hatay) Su Kalitesi Özellikleri ve Aylık Değişimleri. *Su Ürünleri Dergisi*, 23(1), 149-154.
- Tepe, Y., Aydın, H. 2017. Water quality assessment of an urban water, Batlama Creek (Giresun), Turkey by applying multivariate statistical techniques. *Fresenius Environ Bull*, 26, 6413-6420.
- Tepe, Y., Boyd, C. E. 2002. Nitrogen fertilization of golden shiner ponds. *North American Journal of Aquaculture*, 64(4), 284-289.
- Tepe, Y., Boyd, C. E. 2003. A reassessment of nitrogen fertilization for sunfish ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 34(4), 505-511.
- Tepe, Y., Mutlu, E. 2004. Hatay Harbiye kaynak suyu'nun fizikokimyasal özellikleri. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (006), 77-88.
- Tepe, Y., Türkmen, A., Mutlu, E., Ateş, A. 2005. Some Physicochemical Characteristics of Yarseli Lake, Hatay, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 5(1).
- Thompson, R. C., Moore, C. J., Vom Saal, F. S., Swan, S. H. 2009. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 364(1526), 2153-2166.
- Tokatlı, C. 2020. An Application Of A Simple Ecological Indicator Of Freshwater Quality Assessment: A Case Study Of Havsa Creek In Turkey. In *International Scientific Conference "UNITECH (Vol. 2, p. 333).*
- Tokatlı, C., Çiçek, A., Köse, E. 2017. Biyo-Ekolojik Risk İndeksleri Kullanılarak Seydisuyu Havzası Sediment Kalitesini Değerlendirilmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 7(2), 115-123.
- Tokatlı, C., Köse, E., Arslan, N., Emiroğlu, Ö., Çiçek, A., Dayıoğlu, H. 2016. Water quality of emet stream basin. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 9-24.
- Tokatlı, C. 2015. Assessment of Water Quality in the Meriç River as an Ecosystem Element in Turkey's Thrace Region. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(5).

- Tokatli, C. 2019. Sediment quality of Ergene River Basin: Bio-ecological risk assessment of toxic metals. *Environmental Monitoring and Assessment* 191(11):706
- Tokatli, C. 2021. Assessment of Spatial–Temporal Variations in Freshwater Pollution by Means of Water Quality Index: A Case Study of Hasanağa Stream Basin (Edirne, Turkey). *Aquatic Sciences and Engineering*, 36(2), 66-71.
- Tokatli, C., Islam, M. S. 2022. Spatiotemporal variations and bio-geo-ecological risk assessment of heavy metals in sediments of a wetland of international importance in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(1), 1-14.
- Tokatli, C., Mutlu, E., Arslan, N. (2021). Assessment of the potentially toxic element contamination in water of Şehriban Stream (Black Sea Region, Turkey) by using statistical and ecological indicators. *Water Environment Research*, 93(10), 2060-2071.
- Tokatli, C., Uğurluoğlu, A., Köse, E., Çiçek, A., Arslan, N., Dayioğlu, H., Emiroğlu, Ö. 2021. Ecological risk assessment of toxic metal contamination in a significant mining basin in Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 80(1), 1-19.
- Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R., Jeffrey, D. W. 1980. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer meeresuntersuchungen*, 33(1), 566.
- Topaldemir, H. 2021. Miliç Kıyı Sulak Alanının (Terme/Samsun) Su-Sediment Kalitesi Ve Sucul Makrofit Çeşitliliğinin İncelenmesi. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik ABD, Doktora Tezi.
- Tsamo, C., Zama, E. F., Yerima, N. E., Mandela Fuh, A. N. 2021. Comparing the coagulation performance of rice husk, cypress leaves, and Eucalyptus leaves powders with that of alum in improving the turbidity and pH of some local water sources in Bamenda, Cameroon. *International Journal of Chemical Engineering*, 2021.
- Tunc Dede, O., Telci, I.T., Aral, M.M. 2013. The Use of Water Quality Index Models for the Evaluation of Surface Water Quality: A Case Study for Kirmir Basin, Ankara, Turkey. *Water Qual Expo Health* 5, 41–56.
- Tunc Dede, O. 2016. Application of the Heavy Metal Pollution Index for Surface Waters: A Case Study for Çamlıdere, Hacettepe *Journal of Biology and Chemistry*, 44 (4), 499-504.
- Tunçelli, İ. C., Erkan, N. 2020. Gıda güvenliği açısından su ürünlerinde mikroplastik riski ve araştırma yöntemleri. *Aquatic Research*, 4(1), 73-87.
- Turekian, K. K., Wedepohl, K. H., 1961. Distribution of the Elements in some major units of the Earth's crust. *Geological Society of America, Bulletin* 72: 175-192.
- Turner, A., Millward, G. E. 2002. Suspended particles: their role in estuarine biogeochemical cycles. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55(6), 857-883
- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., Dobhal, R. 2013. Water quality assessment in terms of water quality index. *American Journal of water resources*, 1(3), 34-38.

- Uddin, M. G., Nash, S., Olbert, A. I. 2021. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*, 122, 107218.
- Ullah, Z., Khan, H., Waseem, A., Mahmood, Q., Farooq, U. 2013. Water quality assessment of the River Kabul at Peshawar, Pakistan: industrial and urban wastewater impacts. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 35(4), 170-176
- USEPA, 2001. Methods for collection, storage and manipulation of sediments for chemical and toxicological analyses: technical manual, EPA-823-B-01-002, Office of Science & Technology, Office of Water, Washington, D.C.
- Ustaoğlu, F., Tepe, Y., Taş, B. 2020b. Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: a combined approach using statistical analysis and water quality index. *Ecological Indicators*, 113.
- Ustaoğlu, F., Aydın, H. 2020. Health risk assessment of dissolved heavy metals in surface water in a subtropical rivers basin system of Giresun (north-eastern Turkey). *Desalination and Water Treatment*, 194,222–234.
- Ustaoğlu, F., Islam, S. 2020. Potential toxic elements in sediment of some rivers at Giresun, Northeast Turkey: A preliminary assessment for ecotoxicological status and health risk. *Ecological Indicators*, 113, 106237.
- Ustaoğlu, F., Tepe, Y. 2018. Determination of the sediment quality of Pazarsuyu Stream (Giresun, Turkey) by multivariate statistical methods. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 6(3),304–312.
- Ustaoğlu, F., Tepe, Y. 2019. Water quality and sediment contamination assessment of Pazarsuyu Stream, Turkey using multivariate statistical methods and pollution indicators. *Int Soil Water Conserv Res*, 7,47– 56.
- Ustaoğlu, F. 2017. Pazarsuyu deresi (Bulancağ-Giresun) su ve sediment kalitesinin belirlenmesi. Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji ABD, Doktora Tezi.
- Ustaoğlu, F. 2020. Evaluation of the effect of dissolved metals detected in Değirmendere Dam (Amasya, Turkey) on drinking and irrigation water quality. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(12), 2729-2737.
- Ustaoğlu, F. 2021. Ecotoxicological risk assessment and source identification of heavy metals in the surface sediments of Çömlekçi stream, Giresun, Turkey. *Environmental Forensics*, 22(1-2), 130-142.
- Ustaoğlu, F., Kutlu, B., Tepe, Y., Aydın, H. 2021b. Dissemination of heavy metal contamination in surface sediments of batlama stream, Giresun, Turkey. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 39(1), 13-23.
- Ustaoğlu, F., Taş, B., Tepe, Y., Topaldemir, H. 2021a. Comprehensive assessment of water quality and associated health risk by using physicochemical quality indices and multivariate analysis in Terme River, Turkey. *Environmental science and pollution research*, 1-19.

- Ustaoğlu, F., Tepe, Y., Aydın, H. 2020a. Heavy metals in sediments of two nearby streams from Southeastern Black Sea coast: Contamination and ecological risk assessment. *Environmental Forensics*, 21(2),145-156.
- Ustaoğlu, F., Tepe, Y., Aydın, H., Akbaş, A. 2017. Investigation of water quality and pollution level of lower Melet River, Ordu, Turkey. *Alinteri Zirai Bilimler Dergisi*, 32(1), 69-79.
- Ustaoğlu, F., Tepe, Y., Aydın, H., Akbas, A. 2020c. Evaluation of surface water quality by multivariate statistical analyses and WQI: case of comlekci stream,(Giresun-Turkey). *Fresenius Environmental Bulletin*, 29(01), 167-177.
- Varol, M. 2011. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. *Journal of hazardous materials*, 195, 355-364.
- Varol, M. 2020. Use of water quality index and multivariate statistical methods for the evaluation of water quality of a stream affected by multiple stressors: A case study. *Environmental Pollution*, 266, 115417.
- Varol, M., Karakaya, G., Sünbül, M. R. 2021. Spatiotemporal variations, health risks, pollution status and possible sources of dissolved trace metal (loid) s in the Karasu River, Turkey. *Environmental Research*, 202, 111733.
- Varol, M., Şen, B. 2012. Assessment of nutrient and heavy metal contamination in surface water and sediments of the upper Tigris River, Turkey. *Catena*, 92, 1-10.
- Varol, M., Ustaoğlu, F., Tokath, C. 2022. Ecological risks and controlling factors of trace elements in sediments of dam lakes in the Black Sea Region (Turkey). *Environmental Research*, 205, 112478.
- Varol, S., Davraz, A. 2015. Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). *Environmental Earth Science*, 73, 1725–1744.
- Vaughan, R., Turner, S. D., Rose, N. L. 2017. Microplastics in the sediments of a UK urban lake. *Environmental Pollution*, 229, 10-18.
- Vendel, A. L., Bessa, F., Alves, V. E. N., Amorim, A. L. A., Patrício, J., Palma, A. R. T. 2017. Widespread microplastic ingestion by fish assemblages in tropical estuaries subjected to anthropogenic pressures. *Marine Pollution Bulletin*, 117(1-2), 448-455.
- Verep, B., Serdar, O., Turan, D., Şahin, C. 2005. İyidere (Trabzon)'nin fiziko-kimyasal açıdan su kalitesinin belirlenmesi. *Ekoloji*, 14(57), 26-35.
- Vermaire, J. C., Pomeroy, C., Herczegh, S. M., Haggart, O., Murphy, M. 2017. Microplastic abundance and distribution in the open water and sediment of the Ottawa River, Canada, and its tributaries. *Facets*, 2(1), 301-314.
- Walker, D., Jakovljević, D., Savić, D., Radovanović, M. 2015. Multi-criterion water quality analysis of the Danube River in Serbia: A visualisation approach. *Water research*, 79, 158-172.
- Wetzel, R. G. 2001. *Limnology: lake and river ecosystems* (No. 551.48 W538l Ej. 1 019387). Academic Press.

- WHO (World Health Organization) 2011. Guidelines for Drinking-water Quality. World Health Organization Library Cataloguing-in-Publication Data, NLM classification: WA 675.
- Wu, P., Huang, J., Zheng, Y., Yang, Y., Zhang, Y., He, F., Gao, B. 2019. Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics. *Ecotoxicology and environmental safety*, 184, 109612.
- Xiao, J., Wang, L., Deng, L., Jin, Z. 2019. Characteristics, sources, water quality and health risk assessment of trace elements in river water and well water in the Chinese Loess Plateau. *Science of the Total Environment*, 650, 2004-2012.
- Yang, L., Zhang, Y., Kang, S., Wang, Z., Wu, C. 2021. Microplastics in soil: A review on methods, occurrence, sources, and potential risk. *Science of the Total Environment*, 780, 146546.
- Yılmaz, H. Ş., Kökten, K. 2019. Kadmiyum (Cd) uygulamasının tane sorgumda (*Sorghum bicolor* L.) bazı morfolojik özellikler üzerine etkisinin belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(3), 447-456.
- Yıldız, İ. 2013. Gelevera Deresi su kalitesi ve kirlilik düzeyinin belirlenmesi. Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- YSKY, 2021. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği. Resmî Gazete, 30.11.2012(Sayı:28483).
- Yuksel B, Arica E. 2018. Assessment of Toxic, Essential, and Other Metal Levels by ICP-MS in Lake Eymir and Mogan in Ankara, Turkey: An Environmental Application. *Atomic Spectroscopy*, 39(5):179-184.
- Yurtsever, M. 2015. Mikroplastikler'e Genel Bir Bakış. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 17(50), 68-83.
- Yurtsever, M. 2019. Tiny, shiny, and colorful microplastics: Are regular glitters a significant source of microplastics?. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 678-682.
- Yüksel, B., Ustaoglu, F., Arica, E. 2021. Impacts of a garbage disposal facility on the water quality of çavuşlu stream in Giresun, Turkey: a health risk assessment study by a validated ICP-MS assay. *Aquatic sciences and engineering*, 36(4), 181-192.
- Yüksel, B., Ustaoglu, F., Arica, E. 2021. Impacts of a garbage disposal facility on the water quality of çavuşlu stream in Giresun, Turkey: a health risk assessment study by a validated ICP-MS assay. *Aquatic sciences and engineering*, 36(4), 181-192.
- Zeydan, Ö., Özdoğan, N., Taştepe, P. Ş., Demirtaş, D. 2019. Kozlu deresinde (Zonguldak) su kalitesinin incelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 187-197.
- Zhang, J., Liu, C. L. 2002. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China—weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. *Estuarine, coastal and shelf science*, 54(6), 1051-1070.
- Ziajahromi, S., Neale, P. A., Leusch, F. D. 2016. Wastewater treatment plant effluent as a source of microplastics: review of the fate, chemical interactions

and potential risks to aquatic organisms. *Water science and technology*, 74(10), 2253-2269.

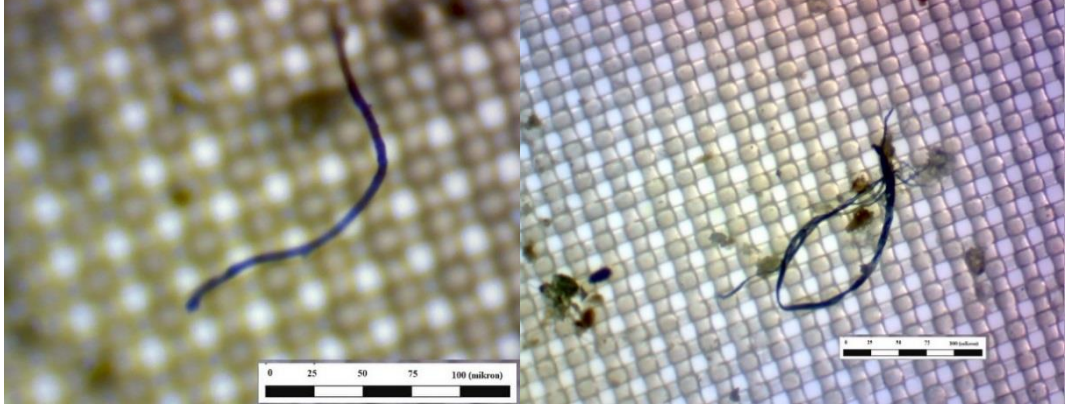
Zounemat-Kermani, M., Alizamir, M., Fadaee, M., Sankaran Namboothiri, A., Shiri, J. 2021. Online sequential extreme learning machine in river water quality (turbidity) prediction: a comparative study on different data mining approaches. *Water and Environment Journal*, 35(1), 335-348.





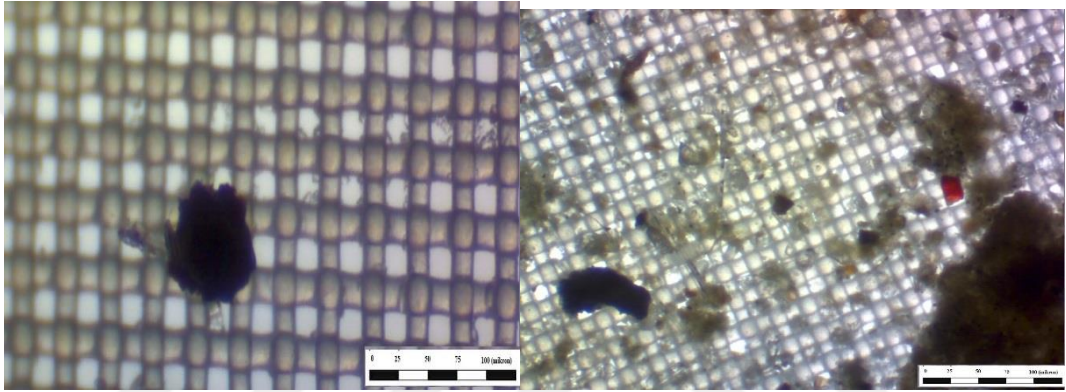
EKLER

Ek 1. Su örneklerinde mikroplastiklerin tanımlanan tiplerinin mikroskop fotoğrafları



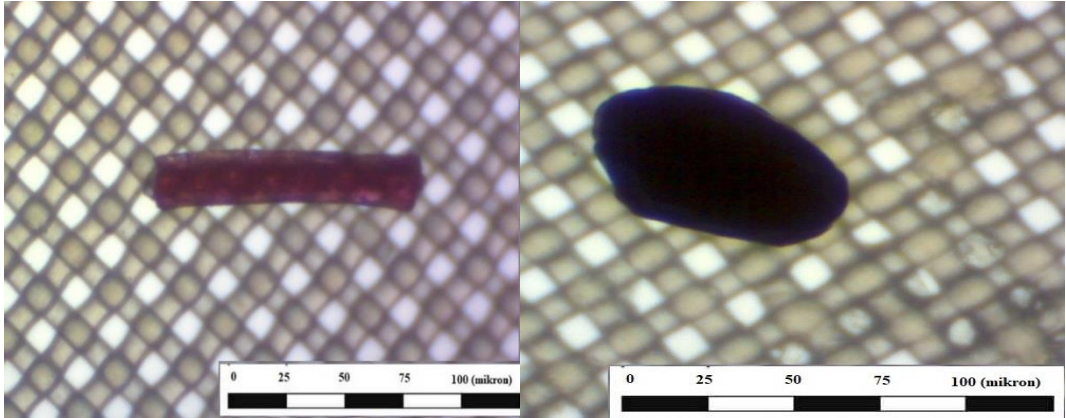
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

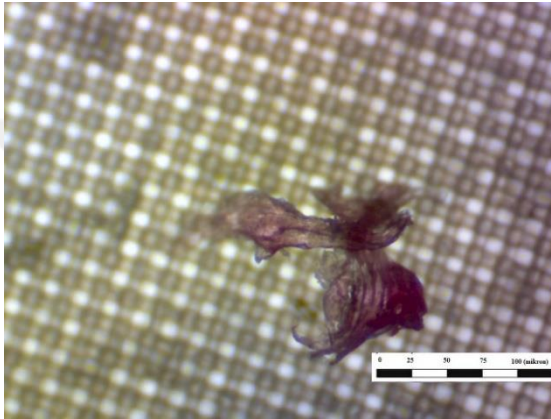
(f)



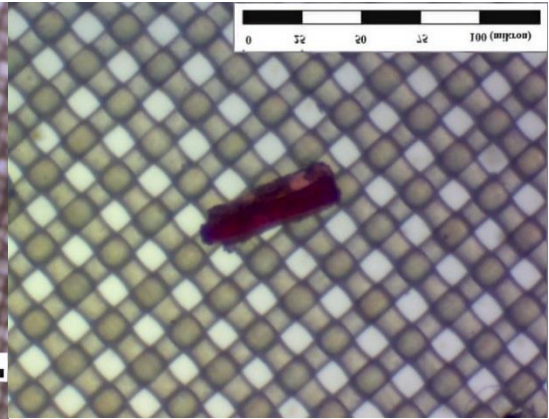
(g)



(h)



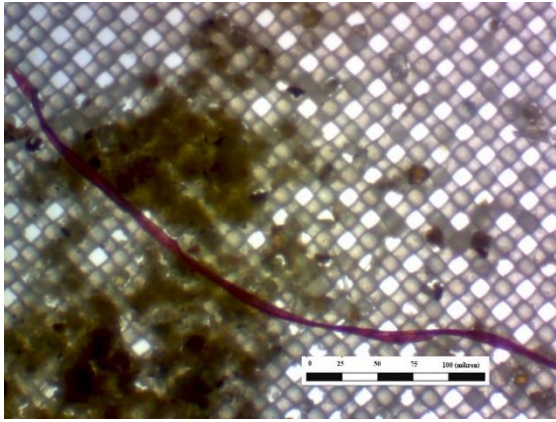
(i)



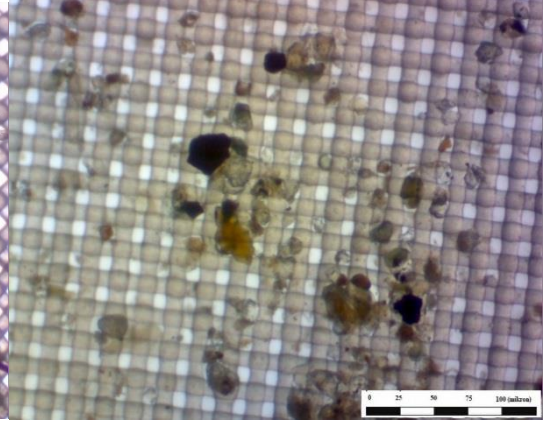
(i)

a,b, g:lif c, f:parça d: parça, film, e, i: pelet h: lif, film ve parça, ı:film

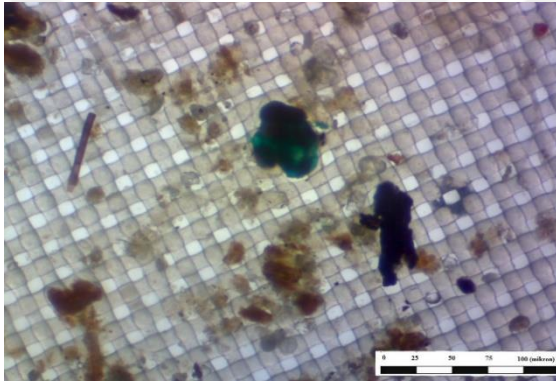
EK 2. Sediment örneklerinde mikroplastiklerin tanımlanan tiplerinin mikroskop fotoğrafları



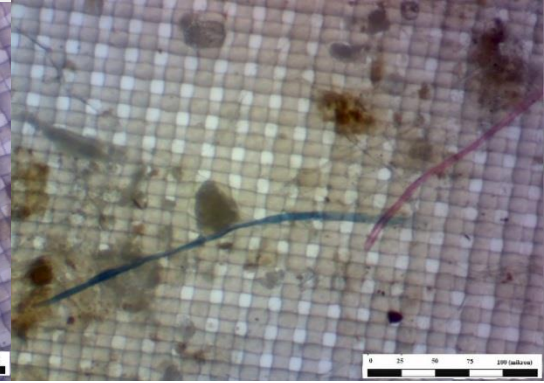
(a)



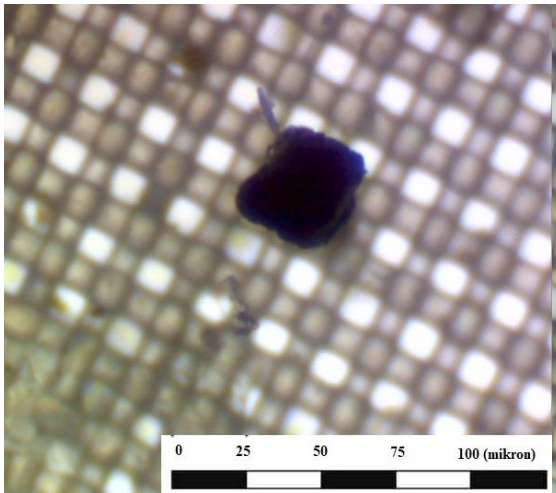
(b)



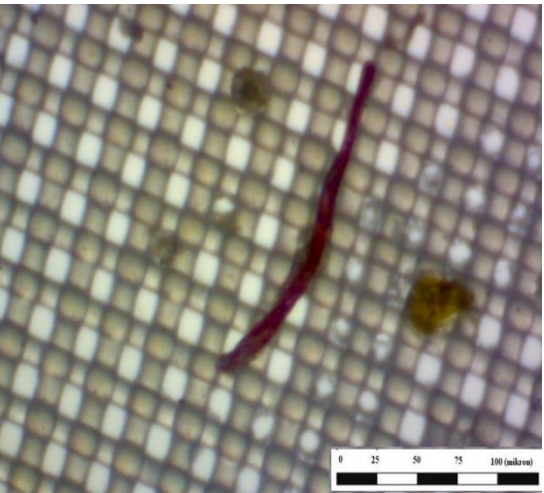
(c)



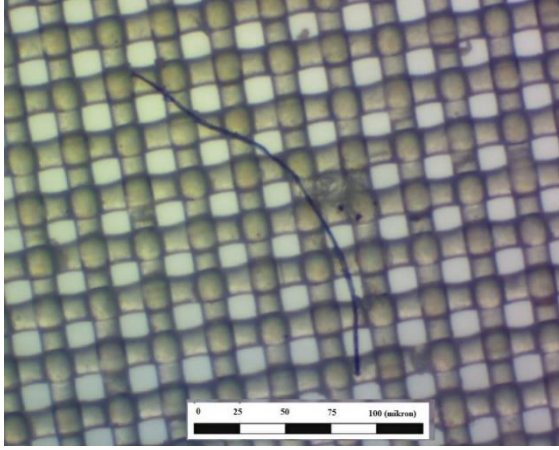
(d)



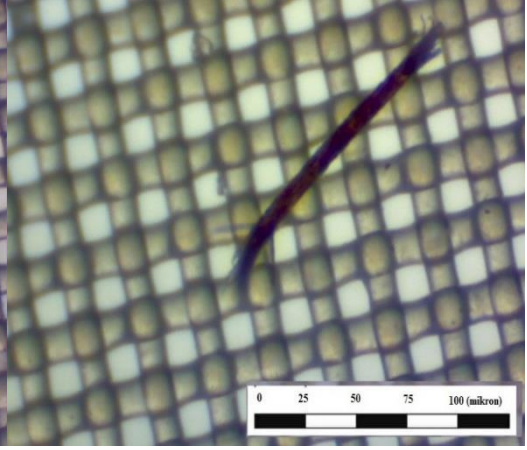
(e)



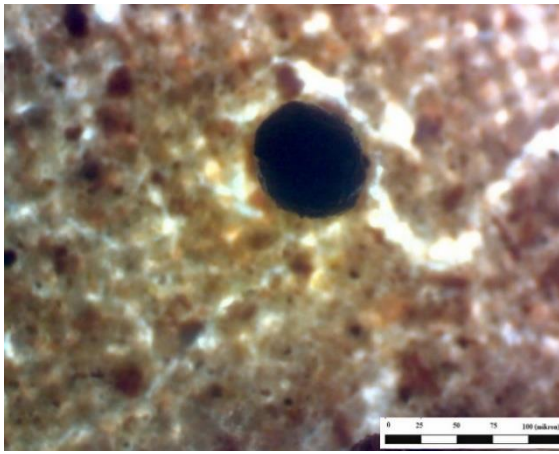
(f)



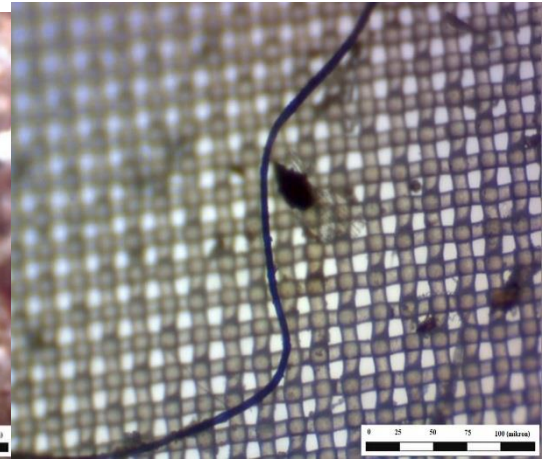
(g)



(h)



(i)



(i)

a, d, g, i: lif, b: parça, lif, c: parça, film, pelet, e: parça, f: pelet, film, h: pelet, ı: parça

ÖZGEÇMİŞ

Handan Aydın ilk, orta ve lise eğitimini Antalya ilinde tamamladı. 1994 yılında Antalya Çağlayan Lisesi'nden mezun oldu. 1995 yılında başladığı Atatürk Üniversitesi Biyoloji Öğretmenliği Bölümü'nü 1999 yılında bitirdi. 2015 yılında Giresun Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimini bitirdi. 2017 yılında Giresun Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalında doktora eğitimine başladı. 1999 yılında Milli Eğitim Bakanlığı'nda Biyoloji öğretmeni olarak çalışmaya başladı. Halen Giresun Bilim ve Sanat Merkezi'nde Biyoloji öğretmeni olarak görev yapmaktadır.