



**MERİÇ-ERGENE NEHİR HAVZASI
SEDİMENTLERİNDE AĞIR METAL
KİRLİLİĞİNİN TESPİTİ**

Hazal KAÇAR

Yüksek Lisans

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Asude HANEDAR**

2021

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERİÇ-ERGENE NEHİR HAVZASI SEDİMENTLERİNDE AĞIR METAL
KİRLİLİĞİNİN TESPİTİ**

Hazal KAÇAR

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Doç. Dr. Asude HANEDAR

TEKİRDAĞ-2021

Her hakkı saklıdır.



Bu tez TÜBİTAK tarafından 119Y028 numaralı proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

Yüksek Lisans

MERİÇ-ERGENE NEHİR HAVZASI SEDİMENTLERİNDE AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN TESPİTİ

Hazal KAÇAR

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Asude HANEDAR

Çalışmada Meriç-Ergene Havzası'nda sediment örneklerinde ağır metal birikiminin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla Meriç-Ergene Nehri Havzası'nda, 1 yıllık süre içinde Temmuz 2020 ve Aralık 2020 olmak üzere 2 farklı periyotta kirletici kaynak ilişkisi ve memba-mansap ilişkisi göz önüne alınarak seçilmiş 41 örnekleme noktasında toplanan 82 sediment numunesinde, 3 yarı metal, 11 metal ve TOK konsantrasyonlarının tespiti yapılmış, elde edilen sonuçlar kirlilik faktörü değerleri ve çeşitli istatistiksel değerlendirmeler ile birbirleri ile ilişkileri ve kaynak dağılımları açılarından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde havzada endüstriyel alanda ölçülen TOK ve ağır metal değerleri, tüm örnekleme noktaları için ve 2. dönem (Aralık 2020) örnekleme için yüksek seviyelerde tespit edilmiştir. TOK ölçümleri ortalamaları tüm istasyonlar için %0,7-8,6 arasında değişmiştir. Ağır metal seviyeleri de literatür değerleri ile karşılaştırıldığında özellikle endüstriyel alanlar için yüksek seviyelerde bulunmuştur. Ağır metalde endüstriyel ve evsel deşarj kaynaklı olduğu bilinen pek çok metal birbirleri ile yüksek korelasyon vermiş TOK değerleri ile ağır metal türlerinin korelasyonu da 0,01 güven aralığı için pek çok metal için yüksek seviyelerde tespit edilmiştir. Çalışmada ağır metal ve örnekleme noktaları bazında kümeleme analizi gerçekleştirilmiştir. Ağır metal gruplarının endüstriyel ve tarım+evsel kirlenmeyi gösteren iki gruba ayrıldığı belirlenmiştir. Örnekleme noktalarının kümeleme analizinde ise belirgin üç küme analiz edilmiş ve HCA sonuçlarının örnekleme noktalarının kirletici kaynak grup dağılımlarını ve özellikle tarımsal ve endüstri yoğun bölgelerin ağır metal konsantrasyon dağılımlarındaki ayrımı net bir şekilde ifade ettiği belirlenmiştir. Çalışmada, sedimentlerde ağır metal kirliliğinin boyutu her bir örnekleme noktası için zenginleşme faktörü (EF), kirlenme faktörü (CF), kirlilik yükü indeksi (PLI), jeoakümülyasyon faktörü (I_{geo}) ve potansiyel ekolojik risk indeksi (PERI) gibi çeşitli indeksler ile belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarında, özellikle endüstri yoğun bölgelerdeki sedimentlerdeki örnekleme noktaları için hesaplanan tüm indeksler yoğun kirlenmeyi işaret etmektedir. Bölgede Cd açısından referans alanlarında, tarım yoğun alanlarda ve endüstri yoğun alanlarda orta ve/veya şiddetli kirlenme olduğu görülmüştür. Endüstri yoğun alanlarda özellikle Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn'nin değerleri tüm indekslerde orta ve/veya yoğun kirlenmeyi işaret etmiştir. Tarım yoğun bölgelerdeki bazı noktalarda da tüm indekslerde Cd, Cu ve Pb açısından düşük, orta veya yoğun kirlenme görülmüştür. Bu durumun kullanılan gübre ve pestisitlerdeki ağır metallerden kaynaklandığı düşünülmüştür.

Anahtar kelimeler: Meriç-Ergene Havzası, Sediment, Ağır metal, Kirlilik

ABSTRACT

MSc

DETERMINATION OF HEAVY METAL POLLUTION IN MERIÇ-ERGENE RIVER BASIN SEDIMENTS

Hazal KAÇAR

Tekirdağ Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environment

Supervisor: Doç. Dr. Asude HANEDAR

In the study, it was aimed to determine heavy metal accumulation in sediment samples in Meriç-Ergene Basin. For this purpose, 3 semi-metal, 11 metal and TOC concentrations were determined in 82 sediment samples collected at 41 sampling points selected by considering the pollutant source relationship and upstream-downstream relationship in 2 different periods, July 2020 and December 2020 in Meriç-Ergene River Basin. The results obtained were evaluated in terms of pollution factor values, their relationships with each other and source distributions with various statistical evaluations. When the results obtained are evaluated in general, TOC and heavy metal values measured in the industrial area in the basin and samples for the 2nd period (December 2020) for all sampling points were determined at high levels. Average values of TOC measurements vary between 0.7-8.6% for all stations. Heavy metal concentrations were found at high levels when compared to literature values. The correlation between TOC values and heavy metal species, which are known to be caused by industrial and domestic discharge, have been found to be high for many metals for a confidence interval of 0.01. In the study, cluster analysis was performed on the basis of heavy metal and sampling points. It has been determined that heavy metal groups are divided into 2 groups indicating industrial and agriculture + domestic pollution. In the cluster analysis of the sampling points, three distinct clusters were analyzed and it was determined that the HCA results clearly express the pollutant source group distributions of the sampling points and the heavy metal concentration distributions especially in the agricultural and industrial regions. In the study, the size of heavy metal pollution in sediments was determined for each sampling point by various indices such as enrichment factor (EF), pollution factor (CF), pollution load index (PLI), geoaccumulation factor (Igeo) and potential ecological risk index (PERI). In the results of the study, all the indices calculated for sampling points in sediments especially in industry-intensive regions point to heavy pollution. Moderate and / or severe pollution was observed in reference areas in terms of Cd, in agriculture-intensive areas and industrial-intensive areas in the region. The values of Cd, Cr, Cu, Pb and Zn in industry intensive areas pointed to medium and / or heavy contamination in all indices. Low, medium or heavy contamination in terms of Cd, Cu and Pb was observed in all indices at some points in the agriculture-intensive regions. This situation was thought to be caused by heavy metals in the fertilizers and pesticides used.

Key words: Meriç-Ergene Basin, Sediment, Heavy metal, Pollution

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	v
ŞEKİL DİZİNİ.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Ağır Metallerin Tanımı ve Özellikleri.....	2
1.3. Sedimentlerde Ağır Metal Birikimi.....	5
1.4. Sediment Örnekleme.....	6
1.5. Sedimentte Ağır Metal Örnekleme ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	6
1.6. Meriç-Ergene Havzası.....	17
1.6.1. Coğrafi Konum ve Genel Özellikler.....	17
1.6.2. Meteorolojik özellikler.....	19
1.6.3. Arazi Kullanımı.....	23
1.6.4. Demografik, Ekonomik ve Sosyal Yapı.....	24
1.6.5. Sanayi.....	25
1.6.6. Su Kaynakları.....	26
1.6.7. Su Potansiyeli.....	27
1.6.8. Ergene Havzası'nda Kirlilik Baskıları.....	28
2. MATERYAL VE METOT.....	32
2.1. Örnekleme Çalışması.....	32
2.1.1. Örnekleme Planı.....	32
2.2. Örnekleme Noktaları.....	33
2.3. Analiz Çalışmaları.....	37
2.4. Ağır Metal Kirliliğinin Su Sedimentlerinde Değerlendirilme Yöntemleri.....	40
2.4.1. Kirlilik İndeksleri.....	40
2.5. Kaynak Belirleme Çalışmaları.....	43
3. BULGULAR ve TARTIŞMA	44
3.1. Nem, pH, Sıcaklık Değerleri.....	44
3.2. Toplam Organik Karbon Sonuçları ve Değerlendirmesi.....	46

3.3. Yarı Metal ve Eser Element Sonuçlarının Değerlendirilmesi	52
3.4. Ağır Metal Sonuçlarının Değerlendirilmesi	54
3.5. Ağır Metal ve TOK Sonuçlarının Korelasyonu.....	63
3.6. Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA).....	64
3.7. Kirlilik İndeksleri.....	67
3.7.1. Zenginleştirme Faktörü.....	68
3.7.2. Kirlenme Faktörü (CF) ve Kirlilik Yükü İndeksi (PLI)	71
3.7.3. Jeoakümülyasyon İndeksi (I_{geo}).....	75
3.7.4. Potansiyel Ekolojik Risk İndeksi (E_r^i ve RI)	78
4. SONUÇLAR.....	83
KAYNAKLAR.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	99

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1.1 Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli'nin arazi kullanım dağılımı [39]	24
Çizelge 1.2 Ergene Havzası yüzeysel su potansiyeli [43]	28
Çizelge 1.3 Havza kapsamında OSB içinde tekil ve sanayi tesisi sayıları [40]	29
Çizelge 1.4 Tekirdağ- Atıksu Arıtma Tesisleri [40].....	30
Çizelge 1.5 Kırklareli ili Evsel Atıksu Arıtma tesisleri [40]	30
Çizelge 1.6 Edirne ili Evsel Atıksu Arıtma tesisleri [40]	30
Çizelge 2.1 Numune alma bölgeleri ve sayıları.....	33
Çizelge 2.2 Örneklem noktaları	36
Çizelge 3.1 Numunelerin pH, sıcaklık ve nem değerleri.....	45
Çizelge 3.2 Örneklem noktalarında ölçülen TOK değerleri (%).....	49
Çizelge 3.3 Kaynak dağılıma göre TOK sonuçları (%).....	50
Çizelge 3.4 Potasyum, Fosfor ve Kükürt elementlerinin ortalama değerleri	54
Çizelge 3.5 Ağır metal sonuçları için örneklem alanlarına bağlı olarak tanımlayıcı istatistik değerleri.....	60
Çizelge 3.6 Literatür Sonuçları.....	62
Çizelge 3.7 Ağır metal ve TOK sonuçlarının korelasyon değerleri	63
Çizelge 3.8 Ağır Metal Kaynakları.....	65
Çizelge 3.9 EF'nin değerlendirilme kriterleri.....	68
Çizelge 3.10 Referans bölgeler için EF değerlendirmesi	69
Çizelge 3.11 Tarım yoğun bölgeler için EF değerlendirmesi.....	69
Çizelge 3.12 Endüstri yoğun bölgeler için EF değerlendirmesi.....	70
Çizelge 3.13 CF ve PLI'nın değerlendirilme kriterleri.....	71
Çizelge 3.14 Referans olarak seçilen bölgelerin CF ve PLI değerleri.....	72
Çizelge 3.15 Tarım yoğun bölgelerdeki CF ve PLI değerleri	73
Çizelge 3.16 Endüstri yoğun bölgelerdeki CF ve PLI değerleri.....	74
Çizelge 3.17 I _{geo} değerlendirilme kriterleri	75
Çizelge 3.18 Referans olarak seçilen bölgelerin I _{geo} değerleri	76
Çizelge 3.19 Tarım yoğun bölgelerin I _{geo} değerleri.....	76
Çizelge 3.20 Endüstri yoğun bölgelerin I _{geo} değerleri.....	77
Çizelge 3.21 E _r ⁱ ve RI'nın değerlendirilme kriterleri	78
Çizelge 3.22 Referans olarak seçilen bölgelerin E _r ⁱ ve RI değerleri	79
Çizelge 3.23 Tarım yoğun bölgelerin E _r ⁱ ve RI değerleri	80
Çizelge 3.24 Endüstri yoğun bölgelerin E _r ⁱ ve RI değerleri	81

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1.1 Periyodik Tabloda Ağır Metaller [3].....	3
Şekil 1.2 Meriç-Ergene Havzası ve Çalışma Alanının Coğrafi Konumu [45]	18
Şekil 1.3 Meriç-Ergene Havzası'nda Yer Alan İl ve İlçeler [38].....	18
Şekil 1.4 Aylık ortalama sıcaklık değerlerinin değişimi [45].....	20
Şekil 1.5 Referans dönem ortalama sıcaklık haritası [45].....	20
Şekil 1.6 Aylık toplam yağış değerlerinin değişimi [45].....	21
Şekil 1.7 Referans dönem ortalama toplam yağış haritası [45].....	21
Şekil 1.8 Ergene Nehri Lüleburgaz Akım Gözlem İstasyonunda Gözlenen Akım ve Yağış Değerleri	23
Şekil 1.9 Ergene Nehri İnanlı Akım Gözlem İstasyonunda Gözlenen Akım ve Yağış Değerleri	23
Şekil 1.10 Ergene Havzası'nda nüfus değişimleri [39]	25
Şekil 1.11. Ergene Havzası'nda sanayi tesislerinin sektörel dağılımı [39]	26
Şekil 1.12. Ergene Nehri ve Kolları [38].....	27
Şekil 1.13 İller bazında yetiştirilen ürün miktarları [42]	31
Şekil 2.1. Çalışma alanındaki numune alma bölgeleri	32
Şekil 2.2 Çalışma alanındaki belirlenen 41 nokta	33
Şekil 2.3 Çalışma alanındaki referans noktaları	34
Şekil 2.4 Çalışma alanındaki endüstriyel noktalar	34
Şekil 2.5 Çalışma alanındaki tarımsal noktalar	35
Şekil 2.6 Örneklemeye noktası, kurak ve yağışlı dönem	37
Şekil 2.7 Numune alımı, kurak ve yağışlı dönem	37
Şekil 2.8. Numunelere uygulanan işlemler.....	38
Şekil 2.9 Laboratuvarda kullanılan 63 µm'lik elek.....	39
Şekil 2.10 Van Veen tipi kepçe	39
Şekil 2.11 Numunelerin kurutulduğu etüv cihazı.....	39
Şekil 3.1 Örneklemeye noktalarında ölçülen TOK değerleri (%).....	50
Şekil 3.2 Ergene Nehri boyunca ölçülen TOK değerleri ve örneklemeye noktalarının haritadaki yerleri.....	51
Şekil 3.3 Potasyum'un 1. ve 2. dönem analiz sonuçları	53
Şekil 3.4 Fosfor'un 1. ve 2. dönem analiz sonuçları	53
Şekil 3.5 Kükürt'ün 1. ve 2. dönem analiz sonuçları	53
Şekil 3.6 Örneklemeye noktalarında Bor analizi sonuçları	56
Şekil 3.7 Örneklemeye noktalarında Kadmiyum analizi sonuçları	56
Şekil 3.8 Örneklemeye noktalarında Kobalt analizi sonuçları	56
Şekil 3.9 Örneklemeye noktalarında Krom analizi sonuçları	57
Şekil 3.10 Örneklemeye noktalarında Bakır analizi sonuçları	57
Şekil 3.11 Örneklemeye noktalarında Demir analizi sonuçları.....	57
Şekil 3.12 Örneklemeye noktalarında Magnezyum analizi sonuçları	58
Şekil 3.13 Örneklemeye noktalarında Mangan analizi sonuçları.....	58
Şekil 3.14 Örneklemeye noktalarında Nikel analizi sonuçları	58
Şekil 3.15 Örneklemeye noktalarında Kurşun analizi sonuçları	59
Şekil 3.16 Örneklemeye noktalarında Çinko analizi sonuçları	59
Şekil 3.17 Metal türleri- HCA analizi	66

Şekil 3.18 Örnekleme noktaları HCA analizi ve haritadaki yerleri.....	67
Şekil 3.19 RF, TY ve EY bölgelerindeki ağır metallerin EF'lerinin ortalama değerlerinin karşılaştırılması.....	71
Şekil 3.20 RF, TY ve EY bölgelerindeki ağır metallerin CF ve PLI'larının ortalama değerlerinin karşılaştırılması	75
Şekil 3.21 RF, TY ve EY bölgelerindeki ağır metallerin I_{geo} ortalama değerlerinin karşılaştırılması.....	78
Şekil 3.22 RF, TY ve EY bölgelerindeki ağır metallerin Eri ve RI ortalama değerlerinin karşılaştırılması.....	82



TEŞEKKÜR

Gerek ders dönemimde ve gerekse tez çalışmalarımda, bana danışmanlık ederek, yüksek lisans eğitimime başladığım günden bu güne gelmemde bilgi ve desteğini esirgemeyen ve her türlü olanağı sağlayan danışman hocam Doç. Dr. Asude HANEDAR'a,

Deneysel çalışmalardaki yardımlarından ve desteklerinden dolayı Prof. Dr. Yalçın GÜNEŞ ve Doç. Dr. Elçin GÜNEŞ'e,

Yüksek lisans eğitimim sürecinde ders aldığım ve bu süreçte benden bilgilerini esirgemeyen Namık Kemal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü hocalarıma,

Hayatımın her alanında her daim yanımda olup bana destek olan canım aileme,

Teşekkürü bir borç biliyorum.

Ocak, 2021

Hazal KAÇAR
Çevre Mühendisi

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Meriç ve Ergene Nehri verimli ve elverişli arazi ve toprak yapısından dolayı uzun zamandır yoğun tarımsal faaliyetlerin yanında son 30 yıldır yoğun bir endüstrileşme faaliyeti ile karşı karşıya kalmıştır. Bölgesel olarak tekstil, deri ve gıda sanayinin yoğunlaştığı havza sınırları dahilinde çok sayıda sayı ve türde 1.00'in üzerinde endüstriyel faaliyet bulunmaktadır. Söz konusu faaliyetler onlarca yıldır yoğun olarak yüzeysel ve/veya yeraltı suyunu, proseslerinde kullandıktan sonra, arıtarak ya da arıtmadan nehir ve nehir kollarına deşarj etmektedirler. Nehir ve kollarındaki antropojenik kaynaklı kirlenme, son yıllarda gerek bölge halkı gerekse yönetim düzeyinde oldukça dikkat çekici hale gelmiş ve havzanın iyileştirilmesi ve yaşanabilir hale getirilebilmesi için 2000'li yılların başından itibaren oldukça önemli adımlar atılmıştır.

Çalışmada uzun yıllardır tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin etkisi ile yoğun kirlilik baskısı altında kalmış ve son on yılda kirliliğin önemli boyutlara ulaştığı bilinen Meriç-Ergene Havzası'nda sediment örneklerinde ağır metal birikiminin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla Meriç-Ergene Nehri Havzası'nda, 1 yıllık süre içinde 2 farklı periyotta kirletici kaynak ilişkisi ve memba-mansap ilişkisi göz önüne alınarak seçilmiş 41 örnekleme noktasında toplanacak 82 sediment numunesinde, Su Çerçeve Direktifi'nde belirlenen ve "Yüzeysel Su Kalitesinin Korunması Yönetmeliği"nde adı geçen 11 tür metal konsantrasyonunun tespiti yapılmıştır. Yüksek lisans tezi kapsamında yapılan çalışmalar şu şekildedir:

- Memba-mansap özellikleri dikkate alınarak seçilen örnekleme bölgelerinde kirletici varlığına bağlı olarak sedimentte mevcut TOK ve ağır metal türleri ve konsantrasyonu tespit edilmiştir.
- TOK ve ağır metal değerlerinin mekâna ve kaynak dağılımına bağlı değişimleri ortaya konmuştur.
- Çeşitli indisler kullanılarak toksisite değerlendirmesi yapılmış ve kontaminasyon seviyesi belirlenmiştir.
- Elde edilen verilere örnekler arasındaki benzerlikler için Hiyerarşik kluster analizi uygulanmıştır.

Bu tez çalışması dört ana başlık altında toplanmıştır: Birinci bölümde çalışmanın amaç ve kapsamı açıklanmış, ağır metallerin kısaca tanımından ve özelliklerinden bahsedilerek sedimentte ağır metal kirliliği hakkında, daha önce yapılmış çalışmalar ve çalışma alanı ile ilgili bilgiler verilmiştir. İkinci bölüm, saha, laboratuvar ve veri analiz çalışmalarının anlatıldığı materyal ve metot bölümünden oluşmaktadır. Üçüncü bölümde, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve değerlendirilmiştir.

1.2. Ağır Metallerin Tanımı ve Özellikleri

Ağır metaller, suya kıyasla nispeten yüksek yoğunluğa sahip metalik elementler olarak tanımlanır [1]. Ağır metaller aynı zamanda düşük maruziyet seviyesinde toksisiteye neden olabilen metaloidleri de içerir.

Ağır metaller biyolojik süreçlere etki derecelerine göre yaşamsal (esansiyel) ve yaşamsal olmayan (non-esansiyel) olarak sınıflandırılırlar. Yaşamsal olan ağır metaller canlılarda eser miktarda bulunan, hormon ve vitaminlerin yapısına katılan, enzimatik reaksiyonlarda yer alan demir, bakır gibi metallerdir. Yaşamsal olmayan ağır metaller, çok düşük derişimlerde bile toksik etki gösteren, vücutta birikerek çeşitli sağlık problemlerine neden olan kurşun, kadmiyum, arsenik, cıva gibi metallerdir [2].

Ağır metaller, yerkabuğunda doğal olarak bulunan elementler olmasına rağmen, madencilik, ev içinde kullanılan metal içerikli eşyalar ve tarımsal kullanımı gibi antropojenik faaliyetlerden kaynaklanmaktadır [1]. Hava koşulları ve volkanik patlamalar gibi doğa olaylarının da ağır metal kirliliğine önemli ölçüde katkıda bulunduğu bilinmektedir. Metal kirliliğinde endüstriyel kaynaklar arasında rafinerilerde metal işleme, enerji santrallerinde kömür yakma, petrol yakma, nükleer güç istasyonları ve yüksek gerilim hatları, plastikler, tekstiller, mikroelektronik, ahşap koruma ve kâğıt işleme tesisleri bulunmaktadır. Şekil 1.1'de periyodik tablodaki ağır metallerin görseli verilmiştir.

1 H 1.007																	2 He 4.00
3 Li 6.941	4 Be 9.012											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.00	8 O 15.99	9 F 18.99	10 Ne 20.18
11 Na 22.99	12 Mg 24.30											13 Al 26.98	14 Si 28.08	15 P 30.97	16 S 32.06	17 Cl 35.45	18 Ar 39.94
19 K 39.09	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 51.99	25 Mn 54.94	26 Fe 55.84	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.54	30 Zn 65.37	31 Ga 69.72	32 Ge 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.79
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.90	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.90	46 Pd 106.42	47 Ag 107.86	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29
55 Cs 132.9	56 Ba 137.33	57 La 138.9	58 Ce 140.9	59 Pr 140.9	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.5	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.96	
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (288)	102 No (289)	103 Lr (262)	

Şekil 1.1 Periyodik Tabloda Ağır Metaller [3]

Ağır metaller organizmaya; ağız, solunum ve deri yolu ile alınabilmektedir. Organizmaya eser miktarlarda girmeleri bile metabolizmadan dışarı çok yavaş atıldıkları için zamanla organizmada birikerek tehlikeli doza ulaşırlar [2].

Çevrede yaygın dağılımları nedeniyle zarar verme potansiyeli en yüksek olan ağır metallerden bu çalışmada değerlendirmesi yapılan Krom (Cr), Kadmiyum (Cd) ve Kurşun (Pb) ile ilgili özellikler aşağıda verilmiştir.

Kadmiyum (Cd): Kadmiyum, önemli çevresel ve mesleki kaygılara sahip ağır bir metaldir. Yerkabuğunda, ortalama 0,1 mg / kg konsantrasyonda geniş çapta dağılmıştır [1]. Ortamdaki en yüksek kadmiyum bileşikleri, tortul kayalarda birikir ve deniz fosfatları yaklaşık 15 mg kadmiyum / kg içerir. Kadmiyum, çeşitli endüstriyel faaliyetlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Kadmiyumun başlıca endüstriyel uygulamaları alaşımların, pigmentlerin ve pillerin üretimidir. Bataryalarda kadmiyum kullanımı son yıllarda önemli bir büyüme göstermiş olsa da, çevresel kaygılar nedeniyle gelişmiş ülkelerde ticari kullanımı azalmıştır. Kadmiyuma maruz kalmanın yolları, solunum veya sigara dumanı ve yiyecek ile yutulmasıdır. Deri emilimi nadirdir. İnsanların kadmiyuma maruz kalması, kontamine yiyecekler yemek, sigara içmek ve kadmiyumla kirlenmiş iş yerlerinde çalışmak gibi birçok kaynakla mümkündür. Diğer kadmiyum kaynakları arasında madencilik, eritme ve pil, pigment, stabilizatör ve alaşım üretimi gibi endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlar bulunur. Kadmiyum ayrıca yapraklı sebzeler, patatesler, tahıllar ve tohumlar, karaciğer ve böbrek, kabuklular ve yumuşakçalar gibi belirli yiyeceklerde eser miktarda bulunur. Ek olarak, kadmiyum açısından

zengin gıda maddeleri olan mantarlar, kabuklu deniz hayvanları, midye, kakao tozu ve kurutulmuş deniz yosunu gibi ürünler insan vücudundaki kadmiyum konsantrasyonunu büyük ölçüde artırabilir. Kadmiyum, solunduğunda veya yutulduğunda ölümcül olabilen bir ağır metaldir. Akut alımından sonra karın ağrısı, yanma hissi, bulantı, kusma, tükürük salgısı, kas krampları, baş dönmesi, şok, bilinç kaybı gibi semptomlar genellikle 15 ila 30 dakika içinde ortaya çıkar. Akut kadmiyum yutulması, zehirlenme yoluna bağlı olarak akciğer, karaciğer veya böbrek hasarına ve komaya da neden olabilir.

Krom (Cr): Krom (Cr), krom (II) ile krom (VI) arasında değişen oksidasyon durumları (veya değerlik durumları) ile yer kabuğunda doğal olarak bulunan bir elementtir [1]. Krom, çok çeşitli doğal ve antropojenik kaynaklardan hava, su ve toprağa girer ve en büyük salınım endüstriyel kuruluşlardan gelir. Krom salınımına en büyük katkısı olan sektörler arasında metal işleme, tabakhane tesisleri, kromat üretimi, paslanmaz çelik kaynağı ve ferrokrom ve krom pigment üretimi bulunmaktadır. Antropojenik aktiviteden çevreye salınan krom esas olarak altı değerlikli formda [Cr (VI)] oluşur. Yüksek düzeyde krom (VI) solunması, burun kaplamasında ve burun ülserlerinde tahrişe neden olabilir. Hayvanlarda krom (VI) bileşiklerini yuttuktan sonra görülen başlıca sağlık sorunları mide ve ince bağırsakta tahriş ve ülserler, anemi, sperm hasarı ve erkek üreme sistemi hasarıdır. Krom (III) bileşikleri çok daha az toksiktir ve bu sorunlara neden olduğu görülmektedir. Bazı kişiler krom (VI) veya krom (III) 'e aşırı derecede duyarlıdır, şiddetli kızarıklık ve cildin şişmesinden oluşan alerjik reaksiyonlar gösterdikleri tespit edilmiştir. İçme suyunda krom (VI) 'ya maruz kalan insan ve hayvanlarda mide tümörlerinde artış gözlenmiştir. İnsanlar tarafından aşırı yüksek dozlarda krom (VI) bileşiklerinin kazara veya kasıtlı olarak yutulması, ciddi solunum, kardiyovasküler, gastrointestinal, hematolojik, hepatik, renal ve nörolojik etkilere neden olmuştur.

Kurşun (Pb): Kurşun, yer kabuğunda az miktarda bulunan, doğal olarak oluşan mavimsi gri bir metaldir [1]. Kurşun çevrede doğal olarak oluşmasına rağmen, fosil yakıtların yakılması, madencilik ve üretim gibi antropojenik faaliyetler de yüksek konsantrasyonlarda salınmasına katkıda bulunur. Günümüzde çocuklarda kurşun zehirlenmesinin en büyük kaynağı, iç yüzeylerdeki kurşun boyanın bozulmasıyla ortaya çıkan toz ve talaşlardan gelmektedir. Son yıllarda, kurşunun endüstriyel kullanımı boya ve seramik ürünler, kalafatlama ve boru lehiminden önemli ölçüde azaltıldı. Kurşuna maruz kalma, esas olarak kurşunla kirlenmiş toz partiküllerinin veya aerosollerin solunması ve kurşunla kirlenmiş gıda, su ve boyaların yutulması yoluyla gerçekleşir. Yetişkinler kurşunun %35 ila 50'sini içme suyuyla emer ve çocuklar için bu oran %50'den fazla olabilir. Kurşun emilimi yaş ve fizyolojik durum gibi

faktörlerden etkilenir. İnsan vücudunda kurşun en fazla böbreğe alınır bunu karaciğer, kalp ve beyin gibi diğer yumuşak dokular izler. Kurşun zehirlenmesinde en çok etkilenen sistem Sinir sistemidir. Kurşuna maruz kalmanın merkezi sinir sistemi üzerindeki etkilerinin erken belirtileri baş ağrısı, dikkat eksikliği istenmeyen mesajlar, sinirlilik, hafıza kaybı ve donukluktur.

1.3. Sedimentlerde Ağır Metal Birikimi

Metaller iki yolla ekosisteme girmektedirler. Bunlardan birincisi doğal yollar ile diğeri ise antropojenik kaynaklı emisyonlardır. Doğada metallerin bazıları düşük dozda bile yüksek etki gösterirken bazıları ise canlılar için esansiyel etki göstermektedir.

Sucul ekosistemde metal birikimi çalışmalarında sedimentin önemi büyüktür. Sediment içinde iz elementlerin de olduğu farklı zararlı ve toksik maddeler ile bir arada bulunurlar [5]. Sediment ister doğal olsun ister antropojenik olsun suya karışan metalin büyük oranda depolandığı ortamdır. Hidrolojik döngüde kontaminantın sudaki miktarı %1'den az iken sedimentteki oranı %99'un üstündedir. Ayrıca değişen ortam şartlarıyla beraber sedimentte depolanan kontaminantlar tekrar suda çözülerek, sudaki kontaminant konsantrasyonunu arttırmalar. Bu şekilde sediment sudaki kirlilik için ikinci bir kaynak oluşturur. Bu sebeplerden ötürü sedimentteki metal miktarlarının ortaya konarak, insan kaynaklı etkinin araştırılması ve biriken metalin canlılar üzerinde gösterdiği toksik etkinin anlaşılması için pek çok farklı yöntem ve sınır değerler belirlenmiştir. Ancak sedimentteki metal birikiminin kompleks kimyasal yapısından ötürü dünya genelinde kabul edilmiş sediment kalite standartları yoktur. Sedimentler, değişken fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı su sistemlerinde kirleticiliği görevi görür. Tortulardaki kirleticiliği maddelerin analizi, süspansiyon içindeki malzeme ve ince taneli parçacıklar tarafından adsorbe edildikleri için hayati önem taşır. Pekey (2006), ağır metallerin su ortamlarında sıkışıp tortularda birikme eğiliminde olduğunu göstermiştir. Caeiro ve ark., metal kirleticilerin konsantrasyonunu üç tipte göstermiştir [55]:

- Kirleticileri başka yerde ölçülen temiz veya kirli istasyonlarla karşılaştıran kirlenme indeksleri.

- Arkaplan zenginleştirme indeksleri- kirleticiler için sonuçları temel veya arka plan seviyeleriyle karşılaştırır.

- Ekolojik risk indeksleri-kirleticiler için sonuçları Sediment Kalite Kılavuzları (SQG) ile karşılaştırır [6].

Çevresel kalite endeksleri, çevresel bilgileri değerlendirmek ve ilgili yerlere ve halka iletmek için önemli bir araçtır. Sediment kalite değerleri, sediment içindeki kirletici maddelerin potansiyelini görmek ve sediment kirletici konsantrasyonuna karşılık gelen kalite kılavuzuyla karşılaştırma yapmak için faydalıdır. Bu endeksler, sediment ile ilişkili kimyasal durumun suda yaşayan organizmaları ne ölçüde olumsuz etkileyebileceğini değerlendirmek ve sediment kalitesinin yorumlanmasına yardımcı olmak için tasarlanmıştır.

1.4. Sediment Örnekleme

Sediment bir akarsu tarafından taşınmış olan kaya veya biyolojik kökenli materyallerden meydana gelen partikül yığını ifade eder [4]. Sedimentasyon ise sularda bulunan askıdaki katı maddelerin, yer çekimi, yoğunluk ya da suyun akış hızı gibi faktörlerden etkilenerek suyun dibine çökmesi eylemini ifade eder.

“*Yer Üstü Suları, Yer Altı Suları ve Sedimentten Numune Alma ve Biyolojik Örnekleme Tebliği*” ne göre, sedimentten kimyasal analiz için numune alınırken öncelikle, sedimentten numune alma noktaları sedimentin kalitesine ve bölge içerisinde değişimini karakterize edecek şekilde ve sayıda belirlenmelidir. Bu bölgeler seçilirken suyun hidrolojik bilgisi dikkate alınmalıdır. Numune alma noktaları seçilirken sedimentte kirlilik oluşturabilecek potansiyel kirlilik kaynakları belirlenmelidir. Numune alınırken sedimentin bozulmamış kısmından numune alınmasına dikkat edilmelidir. Birikim hızına bağlı olarak sedimentin en üst katmanından 1 ila 5 cm arası derinlikten numune alınır. Akış hızının yüksek olduğu bölgelerde numune alma derinliği 5 cm’den daha fazla olabilir. Sedimentten numune alma sıklığı sedimentasyon ve suyun akış hızı ile değişmekle birlikte yılda en az bir kez olacak şekilde belirlenir.

1.5. Sedimentte Ağır Metal Örnekleme ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Yüzeysel sularda ve özellikle nehir kolları sedimentlerinde ağır metal birikimini belirlemek ve değerlendirmek amacıyla yapılmış pek çok çalışma mevcuttur.

Kumar yaptığı bu çalışmada, Hindistan, Gomti Nehri’nden 9 km’lik alan belirlenmiştir. Mart 1987’de 8 sediment toplanmıştır [37]. Fe, Co, Ni, Cd, Cu, Pb, Zn ve Mn ağır metal türleri

analiz edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, Fe, Co ve Ni herhangi bir artış göstermemiş ve Cd saptanabilir sınırlar içinde değildir. Kanalizasyon yoluyla nehre boşaltılan belediye atığının daha yüksek ağır metal değerlerinden sorumlu olduğu sonucuna varılmıştır, ancak genel olarak Gomti Nehri çökeltileri ağır metallerle kirlenmemiş olarak belirlenmiştir.

Kahkönen ve ark tarafından yapılan çalışmada, L.Vesijarvi'nin farklı bölümlerindeki çalışma alanları'ndan 8-23 Ağustos 1995 tarihleri arasında sediment toplanmıştır [44]. Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Cr ağır metal türleri analiz edilmiştir. Farklı bölgelerden toplanan sedimentlere ağır metal konsantrasyonlarını incelemek için PCA (Temel Bileşen Analizi) kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, sedimentteki Cr, Ni, Cu, Zn ve Fe sırası farklı örnekleme yerleri arasında aynıydı. Mn bu sırayla biraz farklı olduğu ortaya konmuştur.

Akçay ve ark tarafından yapılan çalışmada, 1996 ve 1998 arasındaki Büyük Menderes ve Gediz nehirlerinin çeşitli kısımlarından toplam 120 yüzey sediment örneği toplanmıştır [11]. Çalışmada Pb, Cr, Mn, Zn, Co ağır metalleri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, yüksek konsantrasyonlarda Zn, Mn ve Cr'nin antropojenik etkilerden, endüstri ve tarımda kullanılan pestisitlerden kaynaklandığı ve kirlilik riski oluşturduğu tespit edilmiştir. Gediz Nehri sedimentlerinde Pb zenginleştirme değişken bir karaktere sahiptir ve bu nehirde kirlilik potansiyelini temsil eder.

Türkmen ve Aras yaptıkları çalışmada, İskenderun Körfezi'nde Ağustos 2001 ile Temmuz 2002 tarihleri arasında 150 km'lik bir sahil şeridi boyunca deniz suyu ve dip sedimenti 5 istasyondan toplanmıştır [15]. Cd, Fe, Cu, Pb, Zn, Co, Cr, Al, Mn, Ni ağır metalleri analiz edilmiştir. Yapılan korelasyon analizinde su ve sedimentteki ağır metal konsantrasyonları arasında pozitif yönde önemli korelasyonlar bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, İskenderun Körfezi'nde oluşan ağır metal kirliliği tehdidinin önlenmesi için, ekosistemde yaşayan organizma çeşitliliğinin de göz önüne alınarak, bir an önce koruyucu tedbirlerin başlatılmasının kaçınılmaz olduğu kanaatine varılmıştır.

Suzer ve ark tarafından yapılan çalışmada, Gediz Deltası'nda seçilmiş örnekleme noktalarından yüzey sediment örnekleri Eylül 2005 tarihinde van Veen grab ile toplanmıştır [20]. Hg, Pb, Cr, Cu, Zn ağır metal ölçümleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, en yüksek metal konsantrasyonları, Çamlatı Tuzlası, Kırdeniz ve Çilazmak Dalyanlarında saptanmıştır. Tüm çalışma bölgesi için Pb, Cr, Ni' nin yansıra özellikle Çilazmak ve Çamlatı Tuzlası alanlarında Hg kirlilikleri antropojenik kaynaklı olarak belirlenmiştir. Çalışma alanının

tümünde Ni konsantrasyonları PEL değerinin, Pb ve Cr seviyeleri ise TEL değerinin üstündedir. SOQ kriterlerine göre tüm istasyonlar Ni ve Cr açısından aşırı kirli; Pb için ise kısmen kirli olarak sınıflandırılmıştır. En yüksek kirlilik dereceleri Kırdeniz ve Çilazmak Dalyanlarında tespit edilmiştir.

Ruilian ve ark tarafından yapılan çalışmada, Quanzhou Körfezi'nden 13 sediment örneği (0-5 cm) Aralık 2006'da bir Van veen grab örnekleyici kullanılarak toplanmıştır [13]. Çalışmada Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni, Hg, As ağır metalleri incelenmiştir. Yapılan çalışma, Quanzhou kıyı bölgesindeki hızlı sanayileşme ve ekonomik gelişme ile Quanzhou Körfezi sedimentlerindeki metal kirlenmesinin gösterdiği çevresel etkinin ciddi bir çevresel sorun haline geldiğini göstermiştir.

Alkarkhi ve ark tarafından yapılan çalışmada, çökelti örnekleme, 2006 yılında Malezya'nın Juru ve Jejawi Haliçlerinde, beş saha gezisi sırasında gerçekleştirilmiştir [31]. Sediment numuneleri, 20 noktadan Eijkelkamp oyuk burgusu ile düşük gelgitte toplanmıştır. Cu, Zn, Cd, Fe, Pb, Cr analizinde alev atomik absorpsiyon spektrometresi kullanılmıştır. Çok değişkenli istatistiksel tekniklerin sonuçları, iki bölgenin seçilen ağır metaller açısından farklı özelliklere sahip olduğunu ve her bölgenin farklı kaynaklardan kirlilik aldığını göstermiştir. Sonuçlar ayrıca Fe, Mn, Cd, Hg ve Cu'nun toplam varyansın % 51.15'ini açıklayan büyük uzaysal varyasyonlardan sorumlu olduğunu, Zn ve Pb ise toplam varyansın yalnızca 18.93'ünü açıkladığını göstermiştir.

İşeri ve Arıman tarafından yapılan çalışmada, Orta Karadeniz kıyı şeridinde bulunan; Kızılırmak, Yeşilirmak, Mert ırmağı, Abdal ırmağı ve Kurupelit bölgelerinde mevsimsel olarak 2007-2008 yılları arasında toplam 5 noktadan numune alınmıştır [10]. Sedimentte ağır metal analizleri (Cu, Pb, Cd, Fe, Al, Cr, Cu, Zn, Mn, Sr) gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak sedimentte ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde fizikokimyasal parametreler kullanılarak her bir ağır metal konsantrasyonunun tahminlemesinde MPR (Çoklu Değişkenli Polinomal Regresyon) modeli kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, sediment kalitesinin belirlenmesi ve kirlenmiş sedimentlerin iyileştirme çalışmalarına yön verebilir.

Gao ve ark tarafından yapılan çalışmada, Mayıs 2008'de Bohai Körfezi'nin kuzeybatı kıyısından toplam 42 sediment örneği analiz edilmiştir [14]. Çalışmada Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn ağır metalleri incelenmiştir. Çalışma sonucuna göre, birkaç nehir numunesi dışında, Cd, Pb ve Zn içerikleri kıyı Bohai Körfezi sedimentleri kirlenmemiş seviyelerin özellikleriydi. Ayrıca,

ortalama olarak Cr, Cu, Ni ve Zn'nin %50'den fazlası artık fraksiyonla ilişkilendirilmiştir. Bir bütün olarak ele alındığında, Bohai Körfezi kıyısındaki sedimentleri, ortalama etki aralığı-medyan oranına göre %21'lik bir toksisite olasılığına sahip olduğu anlaşılmıştır.

Sekabira ve ark tarafından yapılan çalışmada, Uganda, Nakivubo Kanalı Kampala'da sediment örnekleri, Ağustos 2008 ile Kasım 2009 arasında, Nakivubo dere ve kolları ve Watindo deresi boyunca bir el malası kullanılarak toplanmıştır [12]. Pb, Cd, Cu, Zn, Mn ve Fe ağır metal elementleri analiz edilmiştir. EF, PLI ve Igeo değerleri, Nakivubo kanallı dere çökellerinde Pb, Cd ve Zn tarafından yaygın kirliliğe işaret etmiştir.

Özkan ve Büyükişık yaptıkları çalışmada, Güney Karadeniz sedimentlerdeki ağır metal konsantrasyonlarını belirlemek için 10 istasyon seçilmiştir [18]. Boğaz'dan Trabzon'a kadar altı istasyon, Karadeniz'in Batı ve Doğu havza merkezlerine kadar dört istasyon yer almıştır. Nisan 2008, Mayıs 2008 ve Eylül 2008'de sediment 9 noktada örneklendirilmiştir. Cu, Pb, Zn, Mn, Fe, As, Sr, Bi, V, Cr, Mg, Zr, Y, Sb, Sn, Ni ağır metalleri ICP-MS kullanılarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada Jeoakumulasyon indeksine göre, Güney Karadeniz'in yüzey sedimentleri Cu, Pb, Zn, Mn, Fe, As, Sr, Bi, V, Cr, Mg, Zr, Y, Sb, Sn ve Ni açısından kirlenmemiş-kısmen kirlenmiş; Hg ve Cd açısından kısmen kirlenmiş ve S ve Mo açısından ise kuvvetlice kirlenmiştir. Sedimentteki toplam birikim konsantrasyonları jeoakümülyasyon indeksi yüzey sedimentlerinin P, Ba ve Ti açısından kirlenmediğini göstermektedir.

Özbay ve ark tarafından yapılan çalışmada, Tarsus, Berdan Çayı'nda Aralık 2008-Kasım 2009 tarihleri arasında mevsimsel olarak 6 istasyonda gerçekleştirilmiştir [36]. İstasyonların seçiminde bölgenin kirlilik yükünü yansıtabilecek bölgeler olmasına dikkat edilmiştir. İstasyonların çalışma alanındaki dağılımı ve özellikleri şu şekilde olmuştur: 1. istasyon, baraj çıkış suyunun durağan bir göl oluşturduğu bölgede yer alırken, çevresi mesire alanı olarak kullanılmaktadır. 2. istasyon, çay üzerinde mevcut olan şelalenin çıkış noktasıdır. 3. istasyon olarak ise, şehir etkisinin son bulunduğu nokta olarak belirlenmiştir. 4. istasyon, önceki istasyonun yaklaşık olarak 12 km güneyinde yer almaktadır. 3. istasyondan 4. istasyona kadar çay, fabrikaların, hayvancılığın, tarımsal alanların ve evsel atıkların etkisindedir. Ayrıca bu alanda sulama kanalları tekrardan çaya karışmaktadır. 5. istasyon tarımsal alanların etkisinde iken, 6. istasyonda buna ilave olarak deniz etkisi görülmektedir. Özellikle 4. ve 5. istasyonların sedimenti balçık, 6. İstasyonun sedimenti ise alüvyon yapıdadır. Tarsus ilçesinde evsel atıklar, sadece ilçe merkezinde kanalizasyon sistemi ile arıtma tesisine bağlı iken Berdan Çayı boyunca (ilçe çıkışından denize kadar olan bölge) yer alan yerleşim yerlerinde kanalizasyon bağlantısı

bulunmamaktadır. İlçe merkezinden sadece yağmur sularının toplandığı kanallar çaya farklı noktalardan verilmektedir. Cd, Cr, Mn, Ni, Zn, Cu, Pb, Fe, Al ağır metalleri ICP-MS (cihazı ile analiz edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre sedimentte ağır metal birikim düzeyleri, Fe; 18521,91 µg/g, Al;12907,70 µg/g, Mn;377,40 µg/g, Ni; 167,68 µg/g, Cr; 57,81 µg/g, Zn; 45,59 µg/g, Cu; 28,38 µg/g, Pb; 22,82 µg/g ve Cd; 4,54 µg/g olarak tespit edilmiş ve ağır metaller Fe>Al>Mn>Ni>Cr>Zn>Cu>Pb>Cd olarak sıralama göstermiştir. Sonuç olarak Berdan Çayı'nın kirlilik tehdidi altında olduğu saptanmıştır.

Nguyen ve ark tarafından yapılan çalışmada, Vietnam'ın Kızıl Nehir sedimentlerinde 2007 ve 2015 yılları arasında toplam 50 sediment örneği toplanmıştır [27]. Numuneler, bir grafit fırın atomik absorpsiyon spektrometresi (Perkin Elmer A Analyst 800) kullanılarak Cd, Cu ve Pb konsantrasyonları ve ICP-MS ile (Al, Fe, Cr, Mn, Ni, V ve Zn konsantrasyonları için) analiz edilmiştir. Yapılan çalışma sonucuna göre, sediment Cr ve V konsantrasyonlarının, partikül boyutu kadar Al, Fe, Mn ve toplam organik karbon konsantrasyonları ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğu, bu durum da bu iki elementin öncelikle doğal kaynaklardan elde edildiğini ve tortuların ince fraksiyonunda zenginleştiğini düşündürmüştür. Buna karşılık, Cu, Cd, Pb, Ni ve Zn konsantrasyonları, nehrin üst erişimindeki çeşitli yerlerde gözlenen çok yüksek konsantrasyonlarla, bu ağır metallerin olası bir kaynağı olarak antropojenik girdiye işaret ederek, partikül boyutu ile daha zayıf korelasyonlar göstermiştir. Cu, Cd, Pb, Ni ve Zn'nin zenginleştirme faktörleri (EF), yukarı akışta önemli ölçüde yüksek değerlere sahip çökeltelerde ağır metal kirliliğinin mevcut olduğunu göstermektedir. Veri analizi, Cd, Cu ve Pb'nin Kızıl Nehir'deki baskın kirleticiler olduğunu ve konsantrasyonlarının orta ila ciddi kirlilik seviyelerine ulaştığını göstermektedir.

Yılğör, Bafa Gölü sedimentlerindeki ağır metal kirliliğinin araştırılması çalışmasında, Bafa Gölü'nün yüzey sedimentleri Eylül 2010 tarihinde van Veen tipi grab kullanılarak, karot örnekleri ise Kasım 2010 tarihinde gravite karotu yardımıyla toplanmıştır [16]. 15 yüzey ve 3 karot örneği alınmıştır. Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Cr, Pb ve Hg içerikleri belirlenmiştir. Yapılan tez çalışması sonucunda, Cr, Mn, Pb, Ni ve Zn ve Cu için zenginleşme faktörleri neredeyse gölün genelinde 1.5 değerinden düşük bulunmakta, fakat Cu için EF değerlerinin 8, 9 ve 10 numaralı istasyonlarda 1.5 değerinden çok az yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum da; göl için bu metaller açısından bir kirlenmenin söz konusu olmadığını göstermiştir. Ancak Hg metaline ait zenginleşme faktörü değerleri neredeyse bütün istasyonlar için 1.5 değerinden oldukça yüksek

bulunmuş, bunun sonucu olarak da çalışma alanının genelinin Hg açısından kirli olduğu ortaya çıkmıştır.

Tokatlı ve ark tarafından yapılan çalışmada, Seydisuyu Çayı Havzası'nda 2012 yılının yaz mevsiminde, havza üzerinde belirlenen 15 istasyondan (2 istasyon Kunduzlar Baraj Gölü'nden ve 3 istasyon Çatören Baraj Gölü'nden) sediment örnekleri alınmıştır [17]. ICP-OES cihazı kullanılarak As, Cr, Cu, Pb, Zn ağır metallerinin konsantrasyonları belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre, krom ve kadmiyum, nikel ve kurşun, Seydisuyu Çayı Havzası için en riskli ağır metaller olarak tespit edilmiştir.

Şener Ş. ve Şener E. yaptıkları çalışmada, Isparta, Kovada Gölü'nden Mayıs (2012) ve Ekim (2013) aylarında, toplam 11 lokasyondan numune alınmıştır [19]. Mn, Ni, Zn, Cu, Pb, As, Co, Fe ağır metallerin kimyasal analizleri ICP-MS kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre göl genelindeki ağır metal ortalama birikim düzeyleri Mn>Ni>Zn>Cu>Pb>As>Co>Fe şeklinde sıralanmaktadır. Göl dip sedimentlerinde Fe, Co ve Pb değerleri genel olarak ortalama şeyl değerinin altında iken Cu, Zn, Ni, Mn ve As değerlerinin ortalama şeyl değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan zenginleşme faktörü değerlerine göre Kovada Gölü'nde söz konusu elementler az ve/veya orta zenginleşme göstermektedir ve bu durumun doğal veya antropojenik kaynaklardan uzun dönemli taşınım ile gerçekleşmiş olabileceği düşünülmektedir.

Wang ve ark tarafından yapılan çalışmada, örnekler Kelantan bölgesinde toplanmıştır (28 Kasım-3 Aralık 2014 tarihleri arasında) [21]. Nehir kanalı yüzey sedimentleri esas olarak nehir kanalı noktası çubuğunun su hattı yakınında alınmış ve 10 sediment örneği elde edilmiştir. Alüminyum (Al), krom (Cr), nikel (Ni), bakır (Cu), çinko (Zn), kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) içeriği ICP-MS ile analiz edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, yüzeysel çökelti Pb kirliliği yaşadı; Cr, haliçin kıyı bölgesinde yalnızca belirli bir düzeyde kirlilik göstermiştir, ancak diğer bölgelerde göstermedi ve Ni, Cu, Zn ve Cd hiçbir kirlilik göstermemiştir. Ağır metaller çoğunlukla doğal hava koşullarından ve havzadaki kayaların ve toprakların erozyonundan kaynaklanmaktadır ve nehir ağzının yakınında zenginleşmiştir. Toplam organik karbon, çökeltielerde ağır metallerin zenginleşmesini teşvik edebilir.

Liao ve ark tarafından yapılan çalışmada, Güney Çin'in Maba Nehri'nden 16 nehir örnekleme alanı seçilmiştir [23]. Yüzey sediment örnekleri Mart 2013-Ocak 2014 tarihleri arasında her mevsimde üç aylık aralıklarla (dört mevsim) toplanmıştır. Çalışmada Pb, As, Zn,

Cu, Hg, Cd ağır metalleri incelenmiştir. Sonuçlar, Maba Nehri sedimentlerinde maruz kalan ağır metallerin büyük ölçüde eritme ve madencilik gibi antropojenik kaynaklardan etkilendiğini göstermiştir. Yüzeysel çökeltilerinde bulunan ağır metal konsantrasyonları, özellikle karışık bölgede yerel arka plan değerlerinden önemli ölçüde daha yüksekti. Nehir metallerinin taşınım ve dönüşüm süreci esas olarak hidrolik koşullar ve sediment özelliklerinden etkilenmiştir. Igeo (Jeobirikim İndeksi) ve SQG'ler (Sediment Kalitesi Yönergeleri) çökeltilerde benzer seviyelerde ağır metal kirliliği üretti ve böylece birbirlerinin sonuçlarını teyit ederek Maba Nehri'nin yoğun şekilde kirlendiğini ve As, Hg, Pb, Zn, Cd ve Cu'nun muhtemelen su ekosistemini etkilediğini göstermiştir. MSA (Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz) ve FA-MLR (Faktör Analizi-Çoklu Doğrusal Regresyon)'ye göre sonuçlar, Cu'nun yaklaşık %87'sinin maden artığı atık su akışından geldiğini, Tl, Hg ve Cd'nin sırasıyla %77, %66 ve %72'sinin eritme atık su deşarjından kaynaklandığını göstermiştir.

Zhao ve ark tarafından yapılan çalışmada, Mayıs 2013'te Çin'in Hainan Adası'ndaki 8 nehrin (Nandu, Wenlan, Beimen, Zhubi, Changhua, Ningyuan, Lingshui ve Wanquan nehirleri) alt bölgelerinde toplam 36 sediment (0-5 cm) numune toplanmıştır [24]. Ağır metaller (As, Hg, Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn) ICP-AES ile analiz edilmiştir. Çalışma sonucu, kontaminasyon faktörü, zenginleştirme faktörü ve jeokümülyasyon indeksi dahil kontaminasyon indeksleri ve çok değişkenli istatistiksel analizler, Wenlan Nehri'nin nispeten önemli bir kirlilik seviyesinde olduğunu göstermiştir; Nandu, Changhua, Lingshui, Wanquan ve Zhubi nehirleri düşük ila orta kirlilik seviyesinde; Beimen ve Ningyuan nehirleri nispeten düşük bir kirlilik seviyesine olduğunu göstermiştir. Temel bileşen analizi, Cd, Pb, Cr ve Zn'nin ağırlıklı olarak antropojenik kaynaklardan elde edildiğini göstermiştir; Cu, As ve Hg ise litojenik kaynaklı olduğu belirlenmiştir.

Kiracı'nın yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında, Aydın, Azap gölünün çeşitli özellikleri dikkate alınarak beş farklı istasyon belirlenmiştir [35]. Her bir istasyonda iki aylık periyotlar halinde Eylül 2013-Mayıs 2014 tarihleri arasında 5 kez su ve sediment örnekleri alınmıştır. Alınan sediment örneklerinde ağır metal (Fe, Al, Mn, Cr, Co, Cd, Cu, Ni, Ba, Pb, Zn, B) analizi; su örneklerinde ise pH, sıcaklık, iletkenlik, toplam sertlik, alkanite ve ağır metal (Fe, Al, Mn, Cr, Co, Cd, Cu, Ni, Ba, Pb, Zn, B) analizi yapılmıştır. Su ve sediment örneklerindeki ağır metal analiz sonuçlarına göre Fe, B ve Al diğer ağır metallere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Su örneklerinde genel olarak Cr, Co, Cd ve Pb; sediment örneklerinde ise Pb tayin edilememiştir.

Güldiren ve Özan tarafından yapılan bir çalışmada, Seyhan Baraj Gölü (Adana)'nde Ekim 2014'te 4 seferlik arazi çalışması yapılmıştır [7]. Örnekler Seyhan Baraj Gölü'nün farklı bölgelerinden tespit edilen 3 istasyondan alınmıştır. Su ve sedimentlerde Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Pb ve Zn ağır metaller analizleri yapılmıştır. Suda yapılan analizler sonuçları incelendiğinde Cd'un sonbahar, ilkbahar ve kış mevsimlerinde belirlenemediği görülmüştür. Suda en fazla biriken metalin Fe, en az biriken metalin ise Cd olduğu belirlenmiştir. Sudaki metal miktarlarının genel olarak yaz mevsiminde arttığı saptanmıştır. Sediment örneklerinde tüm metaller her mevsimde belirlenmiştir. Sedimentte en fazla biriken metal Fe iken, en az biriken metalin ise Cd olduğu saptanmıştır. Sedimentteki metal miktarları genelde yaz mevsiminde artış göstermiştir.

Duodu ve ark tarafından yapılan çalışmada, Avustralya, Brisbane Nehri'nin farklı ve kullanım türlerini ve çeşitli kentleşme düzeylerini kapsayacak şekilde 2014-2015'te 22 bölgeden örnek alınmıştır [26]. Ag, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn ağır metallerin ölçümleri için LA-ICP-MS kullanılmıştır. Çalışma sonucuna göre, Avustralya SQG (Sediment Kalitesi Yönergeleri)'lerinin uygulanması, Ag, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn'nin nadiren biyolojik etkilere neden olma potansiyeline sahip olduğunu, Hg'nin ise belirli bölgelerde yaygın olarak biyolojik etkilere neden olabileceğini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, ekolojik risk indeksi (RI) değerleri, çökeltinin orta ila önemli ölçüde ekolojik risk teşkil ettiğini göstermiştir.

Ustaoglu ve Tepe tarafından yapılan bir başka çalışmada, Pazarsuyu Deresi (Giresun)'nde arazi çalışmaları Haziran 2014-Mayıs 2015 tarihleri arasında mevsimlik örneklemelemlerle belirlenen 4 istasyonda yürütülmüştür [8]. ICP-MS spektrometresi ile Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Cd, Pb ağır metallerin miktarları saptanmıştır. Çalışmada sedimentte tespit edilen ağır metal miktarları ortalaması büyükten küçüğe doğru Fe>Mn>Zn>Pb>Cu>Cr >Co>Cd şeklinde belirlenmiştir. Sonuçlar sediment kalite kriterleriyle karşılaştırıldığında sadece Cu ortalamasının LEL seviyesini biraz aştığı görülmektedir. Evsel, tarımsal atıklar, zirai gübre ve ilaçlar ile HES inşaatları, taş ve çakıl ocaklarının baskısına maruz kalan Pazarsuyu Deresi sedimentinde tespit edilen ağır metal seviyelerinin sucül yaşam için tehlike oluşturacak boyutta olmadığı değerlendirilmiştir.

Kalyoncu ve ark tarafından yapılan çalışmada, Isparta Deresi'nden Nisan 2014- Ocak 2015 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir [32]. Her istasyondan 3'er adet su ve sediment örneği alınmıştır. Dereden 6 istasyondan örnek alınmıştır. Su ve sediment örneklerinden metal analizi ICP-AES cihazında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ölçülen ağır metaller Cd, Cr, Cu, Fe, Mn,

Mo, Ni, Pb, Se, Zn'dir. Yapılan çalışma sonucunda, Isparta Deresi'nin suyunda Cu'nun 2. istasyonda tespit edilmediği, diğer metallerin tüm istasyonlarda belirlendiği ve tüm metallerin her mevsimde saptandığı görülmüştür. Suda en fazla tespit edilen metal Fe, en az belirlenen ise Cd olmuştur. Sudaki metal seviyeleri ile suyun fizikokimyasal parametreleri arasında negatif ve pozitif ilişki-ler tespit edilmiştir. Isparta Deresi'nin sedimentlerindeki tüm metaller her mevsimde ve istasyonda belirlenmiştir. Metal seviyelerinin 1. 5. ve 6. istasyonlarda arttığı, 3. istasyonda azaldığı tespit edilmiştir. Sediment örneklerindeki Cd, Cu, Mn ve Ni'in sonbaharda, Cr, Fe, Pb ve Se'un ilkbaharda, Mo'in yaz mevsiminde ve Zn'un kış mevsiminde arttığı, Cd, Mn, Mo, Pb ve Se'un kış mevsiminde, Cr'un sonbaharda, Cu, Fe, Ni ve Zn'un yaz mevsiminde azaldığı belirlenmiştir. Sedimentte en fazla rastlanan metal Fe, en az rastlanan ise Cd olmuştur.

Ali ve ark tarafından yapılan çalışmada, Eylül 2014 (yaz) ve Mart 2015'te (kış) Bangladeş'in Karnaphuli Nehri'nin 10 örnekleme noktasından yaklaşık 40 kompozit sediment ve su örneği toplanmış ve Pb, Cd, Cr ve As analiz edilmiştir [28]. Yapılan çalışma sonucunda, su örneklerinde incelenen metallerin seviyesi içme suyunun güvenli sınırlarını aşmış, bu nehirden gelen suyun içme ve/veya yemek pişirmek için güvenli olmadığını göstermiştir. Kontaminasyon faktörü (CF), tortu örneklerinin As, Cd ve Pb tarafından orta ila yüksek düzeyde kontaminasyon olduğunu doğrulamıştır. Kirlilik yük indeksi (PLI) değerlerinin 1'in üzerinde olması, sediment kalitesinin ileri düzeyde azaldığını göstermiştir. Çalışma sonucunda As, Cd ve Pb elementlerinin sürekli olarak izlenmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Kadhun ve ark tarafından yapılan çalışmada, Malezya, Langat Nehri'ndeki 9 istasyondan 27 yüzey sediment örneği (0-5 cm) Ocak-Şubat 2015 arasında toplanmıştır [22]. Çalışmada Cd, Ni, Cr, Sn ağır metalleri incelenmiştir. Kirlilik değerlendirmesinin sonuçları, Langat Nehri sedimentlerinin şiddetli Sn zenginleşmesine ve orta ila şiddetli Cd zenginleşmesine sahip olduğunu göstermiştir. Langat Nehri için PLI (Kirlilik Yük İndeksi) sonuçları, örnekleme istasyonlarının Jugra, Jenjarom ve Jalan Hulu Langat istasyonları dışında kirlenmediğini göstermektedir.

Bhuyan ve ark tarafından yapılan çalışmada, Bangladeş'in Meghna Nehri'nde örnekleme üç aşamada gerçekleştirilmiştir: ilki, Eylül 2015 (Yağmurlu sezon); ikincisi Ocak 2016 (Kış sezonu) ve üçüncüsü, Mart 2016 (Muson Öncesi) . Toplam 24 numune (sırasıyla 12 su numunesi ve sediment numunesi) toplanmıştır [25]. Çalışmada Zn, Al, Cd, Pb, Cu, Ni, Fe, Mn, Cr, Co ağır metalleri analiz edilmiştir. Sonuçlar, Fe, Ni ve Al hariç olmak üzere sudaki tüm metallerin WHO (1993) ve EU (1998) içme suyu standardının güvenli sınırının altında

bulduğunu göstermiştir. Sedimentte, tüm eser metaller diğer bilimsel sonuçlara kıyasla sınırın altında kaydedilmiştir. İki örnekleme noktasında üç mevsim için anlamlılık düzeyinde ağır metallerde anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p > 0.05$). Temel bileşen analizi ve korelasyon matrisi gibi çok değişkenli istatistiksel analizler, su ve sedimentteki Zn, Al, Cd, Pb, Cu, Ni, Fe, Mn, Cr, Co'nun yaygın antropojenik girişimlerini ortaya çıkarmıştır.

Islam ve ark tarafından yapılan çalışmada, toplamda, Bangladeş'in Feni Nehri Haliçindeki 10 istasyondan 60 sediment örneği (0- 5 cm) ıslak (Haziran 2016) ve kuru (Ocak 2017) mevsimlerinde Ekman taraması kullanılarak toplanmıştır [29]. Co, Ni, Hg, Cr, Pb, As ve Mn'nin toplam metal konsantrasyonları ICP-MS) kullanılarak üç kez belirlenmiştir. Sediment kalitesi yönergelerine (SQG'ler) göre, çökelti numuneleri yoğun şekilde Ag ve Hg ve orta derecede Co ile kirlenmiştir. Eşik etki konsantrasyonu (TEC) ve olası etki konsantrasyonu (PEC) değerleri, yalnızca Ni ve Cr konsantrasyonunun bazen ekosistem üzerinde olumsuz etkiler göstermesinin muhtemel olduğunu göstermiştir. Zenginleştirme faktörü (EF), jeo-birikim indeksi (Igeo) ve kirlilik faktörü (CF) analizleri, Ag, Co ve Hg'nin orta ila yüksek kirlilik seviyelerinde olduğunu ve geri kalanların (As, Cr, Ni, Pb ve Mn) en düşük seviyede olduğunu ortaya koymuştur. Potansiyel ekolojik risk indeksi (PERI) ayrıca Ag, Co ve Hg'nin bu çalışılan alanda belirlenen en potansiyel ekolojik risk faktörü olduğunu göstermiştir.

Tunca yaptığı çalışmada, 2016 yılında Beyşehir Gölü'nde bir kez olmak üzere ve kirletici kaynakların su sistemlerine karıştığı bölgeler göz önünde bulundurularak 3 istasyonda örnekleme yapılmıştır [30]. Ağır metal analizleri için kullanılmak üzere her istasyondan 3'er su ve sediment örneği alınmıştır. Araziden getirilen su örnekleri ICP-MS kullanılarak su örnekleri içerisinde bulunan ağır metaller (Pb, Cu, Cr, Ni, As, Mn, Al, Fe, Zn) tespit edilmiştir. XRF (X-Ray Floresans Spektroskopisi) cihazı kullanılarak da sedimentteki ağır metal miktarları tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, sedimentte 2. istasyonun diğer istasyonlara göre daha kontamine ve toksik olduğu (%76 oranında) tespit edilmiştir. Arsenik (As) açısından orta seviyede diğer metaller açısından ise yüksek oranda etkilenmiş olduğu görülmektedir. Bu durum sedimentteki As' nin canlılar üzerindeki potansiyel toksik etkisinin ciddi seviyede olduğunu göstermiştir.

Hedayatzadeh ve Hassanzadeh yaptıkları çalışmada, İran, Karun boyunca 6 istasyon, Ahvaz ve Mollasani'deki su temin noktalarından seçilmiştir [34]. Bu istasyondan 2015 ve 2016 yıllarında yaz ve kış aylarında 0-10 cm derinliğinde toplam 36 adet sediment alınmıştır.

Karun'dan alınan sedimentlerde Pb, Zn, Cr ve Cd konsantrasyonları belirlenmiştir. Tüm endekslere göre, istasyon 4 en fazla kontamine alan ve Cd en yüksek riskle rapor edilmiştir.

Karthikeyan ve ark tarafından yapılan çalışmada, Ocak 2017'de Emerald Gölü'nün farklı yerlerinden 25 yüzey sediment örneği alınmıştır [33]. Çalışmada Mn, Zn, Ni, Co, Pb, Cr, Cu, Fe ağır metalleri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucuna göre ortalama zenginleştirme faktörü $Zn > Pb > Zn > Ni > Cr > Co > Cu$ sırasına göre azalmıştır. Zenginleştirme faktörü, orta derecede şiddetli zenginleşmeyi gösteren Ccu değerlerinin antropojenik kaynaklarını ortaya koymaktadır. Kontaminasyon derecesi, modifiye kontaminasyon derecesi ve kontaminasyon faktörü kullanılarak da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tüm endekslerin sonuçları, hemen hemen tüm alanların ağır metaller tarafından kirlendiğini göstermiştir. Bu metal kombinasyonu, tortudaki yüksek varlığı nedeniyle antropojenik bir bileşen olarak tanımlanabilir. Cu, Fe, Ni, Cr ve Pb metalleri ile ilgili olarak, araştırma alanının maksimum bir kısmı, diğer bireysel metallere kıyasla yüksek potansiyel tehlikeye sahiptir.

Sökmen ve ark. tarafından yapılan bir çalışma, Karasu Nehri (Erzincan)'nde Mart – Mayıs 2018 tarihleri arasında 3 istasyondan alınan örneklerle gerçekleştirilmiştir [9]. Her istasyondan su ve sediment örnekleri her ay için 3'er kez alınmıştır. Çalışmada Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn ağır metalleri incelenmiştir. Suda yapılan analizler sonucunda en fazla As ölçülürken, Al, Fe, Pb ve Zn metalleri suda tespit edilememiştir. Sedimentte yapılan analizler sonucunda en yüksek birikim Fe metalinde ölçülmüşken, Al, Cu ve Mn metalleri ise tespit edilememiştir.

Bantan ve ark tarafından yapılan çalışmada, Suudi Arabistan, Cidde Güney Corniche'de 2020 yılında 63 yüzeysel (2 cm üstte) sediment, daha derin sularda bir Van Veen kepçe örnekleme vasıtasıyla ve 1 m'den daha az sığ sularda bir spatula ile numune toplanmıştır [45]. Çalışmada Fe, Mn, Cu, Pb, Cr, Zn, Ni, Co ağır metalleri incelenmiştir. Sonuçlar, kıyı şeridi ve Lagün bölgelerindeki en yüksek ağır metal konsantrasyonlarının temel olarak evsel ve endüstriyel atık suların çamur, OM, tuzluluk ve pH ile ilişkili oldukları bölgeye akışından kaynaklandığını göstermiştir. Dip çökeltilerindeki Fe ve Co için kirlenme faktörü (CF), özellikle Lagün ve Al-Budhai bölgesinde eşik 3 değerinden daha yüksek değerler sergilemiştir. Çökelti örneklerinin kirlilik yük indeksi (PLI) değerleri, özellikle kıyıya yakın örneklerde, kaynak alandan uzaklaştıkça metal birikiminin arttığını gösteren kontamine örnekler olarak sınıflandırılabilir. PCA, Fe ve Mn'nin, muhtemelen çözünmüş oksijen varlığında yüksek

adsorpsiyon kapasiteleri nedeniyle tüm ağır metallere pozitif korelasyon gösterdiğini göstermiştir.

Shibini Mol ve Sujatha tarafından yapılan çalışmada, Hindistan'ın Karela bölgesinden toplam 12 yüzey sediment örneği toplanmıştır [46]. Çalışmada incelenen ağır metaller Cd, Pb, Cu, Zn, Mn, Co, Ni, Fe. Çalışma sonucuna göre ağır metallerin dağılım şekli; Fe> Mg> Mn> Zn> Pb> Ni> Cu> Co> Cd. Munambam bölgesinde balık limanının bitişiğindeki alanlar, muhtemelen bu bölgedeki yüksek nakliye faaliyetlerinden dolayı, özellikle Pb, Co, Zn, Ni ve Fe olmak üzere toplam metal konsantrasyonu açısından en kirli yer olduğu ortaya çıkmıştır.

Mehr ve ark tarafından yapılan çalışmada, Arabistan'ın Basra Körfezinin en büyük haliç'i olan Musa Haliçindeki çökellerde toplam 68 sediment toplanmıştır [47]. Çalışmada Hg, Ni, Zn, Cu, Pb, Cr ağır metalleri incelenmiştir. Çalışma sonucuna göre, zenginleştirme faktörü (EF) ve ekolojik risk (E) hesaplaması, çoğunlukla bölgedeki bir petrokimya kompleksinin aktivitesinden dolayı Hg için en yüksek kirliliği ve riski ortaya çıkarmıştır. Mann-Whitney U test sonuçları göre, Arıtma lagünleri ve Haliç sedimentleri arasındaki Ni, Cr, Hg ve PPAH konsantrasyonunda anlamlı bir fark gösterdiğinden, atık su arıtımının kirletici seviyelerini azaltmada iyi bir verime sahip olduğunu göstermiştir.

1.6. Meriç-Ergene Havzası

1.6.1. Coğrafi Konum ve Genel Özellikler

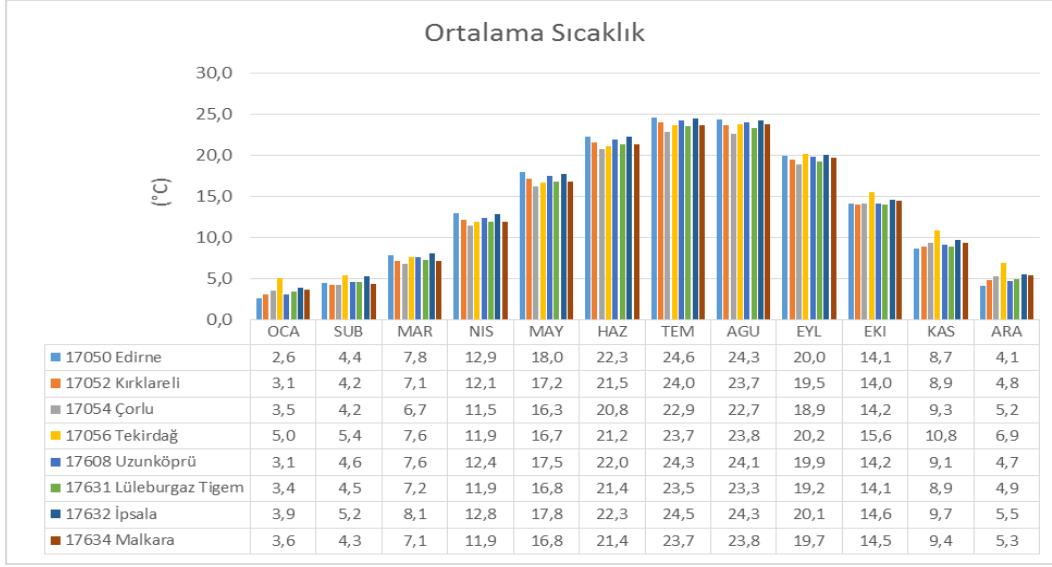
Meriç-Ergene Havzası Marmara Bölgesi'nden Avrupa'ya geçiş alanında, doğuda İstanbul il sınırı ile başlayan, batıda Bulgaristan ve Yunanistan ülke sınırları ile biten alanı kapsayan Trakya Alt Bölgesi'nde yer almaktadır. Ergene Havzası Trakya'da Kuzey Marmara Havzası, Meriç Havzası ve Bulgaristan sınırı ile çevrilidir [38]. Ergene Havzası'nın doğu-batı uzunluğu 160 km, kuzey-güney uzunluğu 140 km olup, Havza toplam alanı 12.438 km²'dir. Ergene Havzası coğrafi konumu Şekil 1.2 ile verilmiştir. Havzada yer alan iller Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli'dir. Şekil 1.3'de Meriç-Ergene Havzası'nda yer alan il ve ilçeler verilmiştir.

üzere 4 kategoriye ayrılmıştır. Bu kategorilere göre havzada 78 nehir ve 37 göl bulunmaktadır [43].

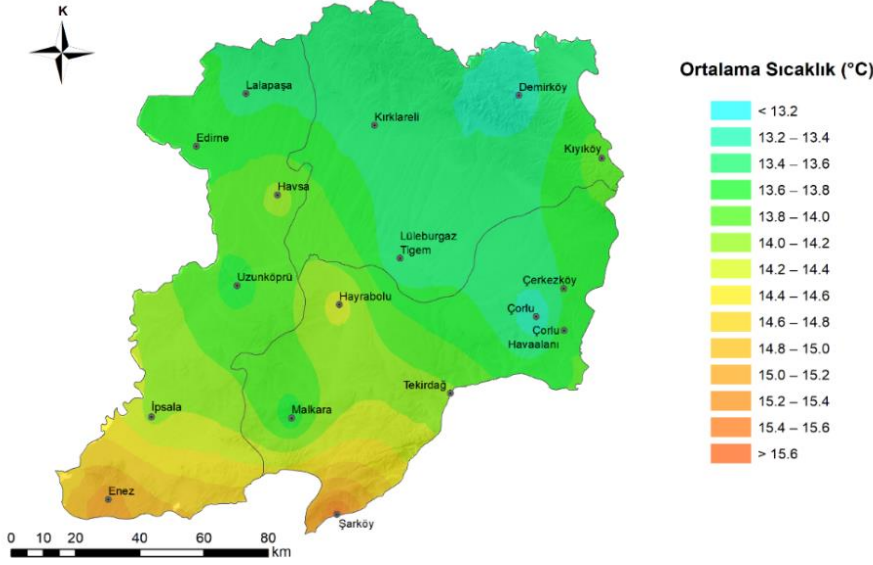
Meriç-Ergene Havzası'nda yer alan en önemli yerüstü su kaynakları Meriç ve Ergene Nehirleri ve kollarıdır. Ergene Nehri, Ergene Deresi adıyla Tekirdağ Saray İlçesi'nin kuzeyinde Yıldız (Istiranca) Dağları'nın 312 rakımlı Taşpınar Tepesi civarındaki Güneşkaya mevkiindeki kaynaklardan doğar ve Kuzeydoğu - Güneybatı yönünde akar. İnanlı yakınlarında Çorlu Deresi ile birleşerek Ergene Nehri adı altında kuzeybatıya döner. Uzunköprü İlçesi'nin 40 km güneybatısında Meriç-Adasarhanlı köyü yakınlarında 7 m kotunda Meriç Nehri ile birleşir. Ergene Deresi nehir uzunluğu, Yıldız Dağları'ndaki mabdan Çorlu Deresi ile birleşim yerine kadar 91 km, Ergene Nehri adını aldıktan sonra Meriç Nehri ile birleştiği yere kadar ise 194 km olmak üzere toplam 285 km'dir. Ergene Nehri'nin en önemli kolları; Çorlu Deresi, Sulucak Dere, Lüleburgaz Deresi, Şeytan Dere, Teke Dere, Ana Dere ve Hayrabolu Deresi'dir.

1.6.2. Meteorolojik özellikler

Ortalama sıcaklık: Belirlenen meteoroloji istasyonları için uzun dönem aylık ortalama sıcaklıkların değişimi Şekil 1.4 ile verilmiştir. Yapılan değerlendirmede çalışma alanında ortalama sıcaklık değerinin 13,6 °C olduğu ve en düşük sıcaklıklarının ocak ayında en yüksek sıcaklıkların ise Haziran ve temmuz aylarında kaydedildiği belirlenmiştir. Şekil 1.5 ile uzun dönem ortalama sıcaklık değerleri harita ile gösterilmiştir. Haritaya göre yaz aylarında sıcaklığın en yüksek değerlere ulaştığı il Edirne olurken kış aylarında uzun dönem ortalama verilerine göre en düşük sıcaklıklara Kırklareli ve Edirne illerinde rastlanmıştır [43].



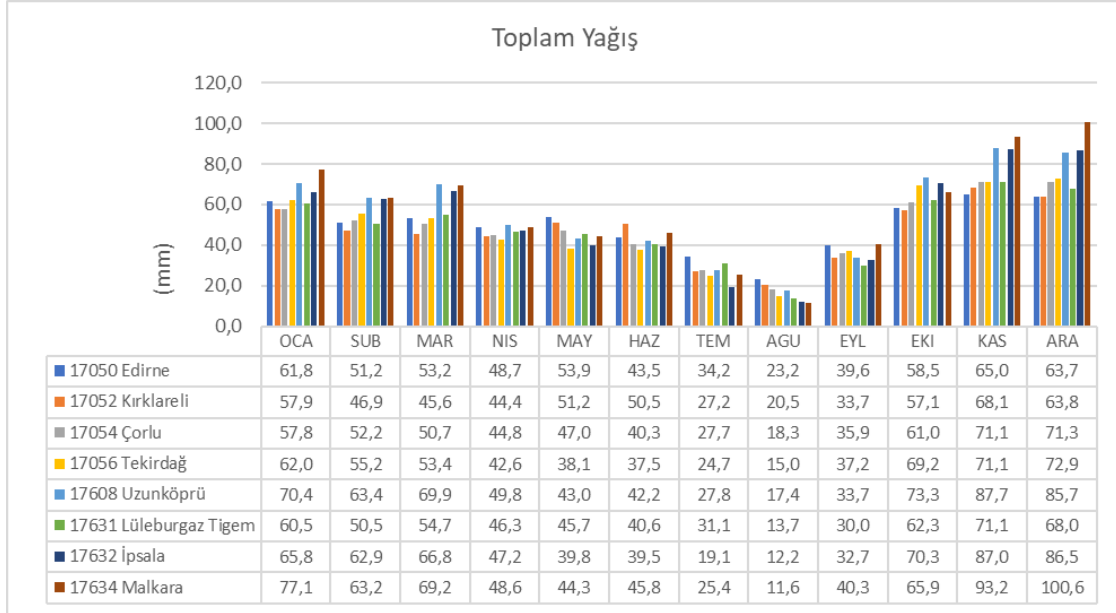
Şekil 1.4 Aylık ortalama sıcaklık değerlerinin değişimi [43]



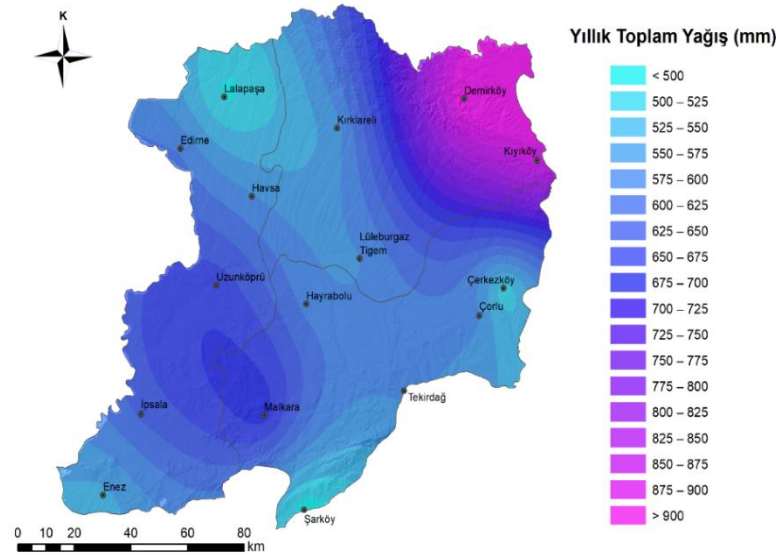
Şekil 1.5 Referans dönem ortalama sıcaklık haritası [43]

Toplam Yağış: Çalışma alanı sınırları içinde belirlenen meteoroloji istasyonlarında uzun dönem kaydedilen aylık toplam yağış değerlerinin meteoroloji istasyonu bazında grafiği Şekil 1.6'da verilmiştir. Yapılan değerlendirmede çalışma alanında toplam yağış değerlerinin uzun dönem verilerine göre 11,6-100 mm arasında değiştiği, en düşük yağışların Ağustos ayında, en yüksek yağışların ise Edirne ve Kırklareli'nde Kasım ayında, Tekirdağ ilinde Aralık ayında gözlemlendiği belirlenmiştir. Şekil 1.7 ile uzun dönem ortalama toplam yağış ve mevsimsel toplam yağış değerleri harita ile gösterilmiştir. Buna göre en yüksek yağışların alındığı mevsim sonbahar ve

kış ayları olurken, ilkbaharda özellikle Tekirdağ'ın batısı ve denizden iç kesimlere gidildikçe yağış miktarı yükselmektedir. Yaz aylarında ise yağışlar genel olarak tüm bölgede 100 mm'nin altına düşmektedir.



Şekil 1.6 Aylık toplam yağış değerlerinin değişimi [43]



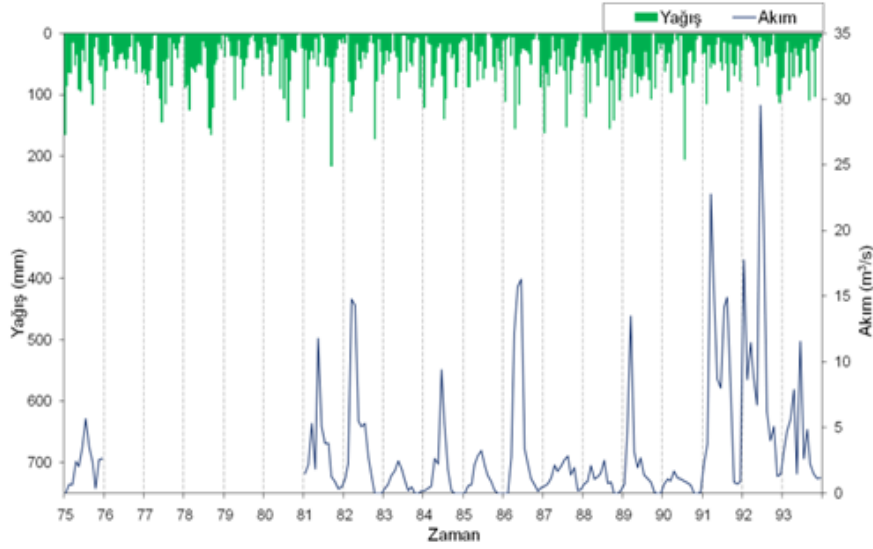
Şekil 1.7 Referans dönem ortalama toplam yağış haritası [43]

Trakya Alt Bölgesi Marmara geçiş iklim tipi içinde yer almaktadır [38]. Bölgenin kuzeyindeki dağlık ve platoluk kesim, Karadeniz'in ve Balkanlar'ın etkisi altında olup, güneye ve güneydoğuya doğru gidildikçe etkileri azalmaktadır. Havzada kışın Balkanlar'dan gelen

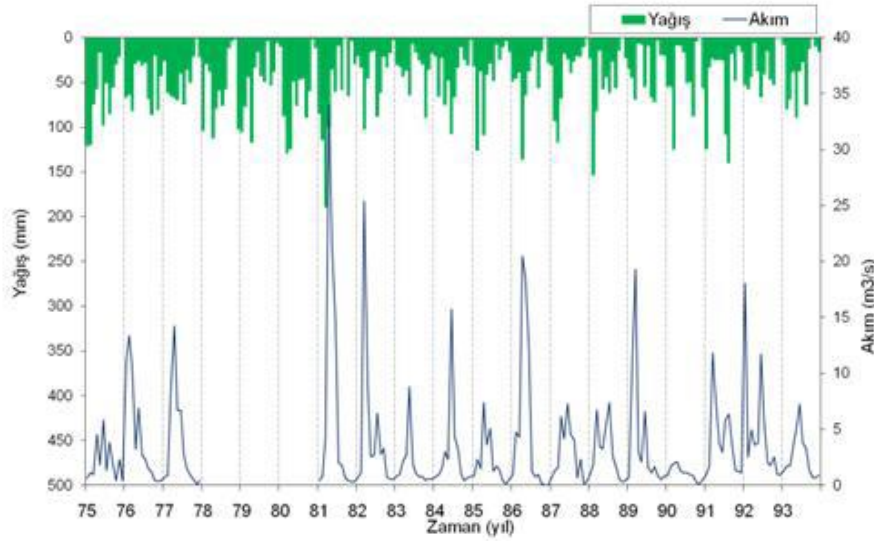
soğuk hava dalgalarının etkileri gözlenirken, bazen de Akdeniz'den gelen ılık lodoslu havalar etkindir. Havzanın güneyinde Akdeniz iklimi hâkim olup yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı geçmektedir. Kış aylarında, havzanın güneyinde yer alan Tekirdağ'da daha ılık koşullar hakimken, bahar ve yaz aylarında ise Edirne daha sıcak iklim koşullarına sahiptir. Havzada en az yağış Ağustos ayında gözlenirken en çok yağış Kasım ayında gerçekleşmektedir. Yağışın yıl içerisindeki dağılımı havza içerisinde coğrafi olarak benzerlik göstermektedir. Bahar yağışları tüm havzada ortalama 45 mm/ay civarında gerçekleşmektedir.

Havzada en yüksek yağış, havzanın kuzeydoğusunda yer alan Saray İlçesi'nin yüksek kesimlerine düşmektedir. Bu bölge aynı zamanda Ergene Deresi'ni oluşturan kaynakların beslenme alanını oluşturmaktadır. Kış yağışları genel olarak bahar yağışlarından daha fazla olmaktadır. Ergene Nehri'nin güneyinde yer alan havzalar ortalama yağış miktarından daha yüksek yağış almaktadır. Bu havzalar Ergene Nehri'ne, Uzunköprü'nün akış aşağısında drene olmaktadır. Ergene Nehri'nin kuzeyinde yer alan havzalara ise ortalama ya da daha az miktarda yağış düşmektedir. Çerkezköy-Çorlu-Lüleburgaz gibi sanayi ve nüfus artışının en yüksek olduğu bölgelerde yağış miktarı daha az gerçekleşmektedir.

Havzadaki en önemli yer üstü su kaynaklarından biri olan Ergene Nehri ve kollarının yağışlara bağlı olarak akış özelliklerinin belirlenmesi, DSİ Genel Müdürlüğü ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından işletilen akım gözlem istasyonları tarafından yapılmaktadır. EİE akım gözlem istasyonlarından sadece Lüleburgaz ve İnanlı istasyonları gözleme devam etmekte olup, diğer istasyonlar kapanmıştır. Akımın en yüksek olduğu zaman genellikle bahar aylarının başlangıcında olmaktadır. 1991 yılından itibaren, yağışın olmadığı yaz aylarında akım değerlerinin hiçbir zaman sıfır olmadığı ve nehirde sürekli bir akımın olduğu gözlenmektedir. Bu durum nehir ve kollarının doğal akım mekanizmasından farklıdır ve su kaynağına hidrolojik çevrim dışında yapay bir su katkısının varlığını göstermektedir. Bu durum, havzada özellikle 1990 yılı sonrasında sanayi tesislerinin hızla artması ve bu tesislerin kullandıkları yeraltı suyu ya da şebeke sularını nehre boşaltmaları ve nüfus artışına bağlı olarak nehir ve kollarına deşarj edilen evsel atık su miktarının artması nedeniyle nehrin doğal akım mekanizmasının bozulması ile açıklanabilmektedir. Şekil 1.8 ve 1.9'da Ergene Nehri Lüleburgaz akım gözlem istasyonunda gözlenen akım ve yağış değerleri ve Ergene Nehri İnanlı akım gözlem istasyonunda gözlenen akım ve yağış değerleri verilmiştir.



Şekil 1.8 Ergene Nehri Lüleburgaz Akım Gözlem İstasyonunda Gözlenen Akım ve Yağış Değerleri



Şekil 1.9 Ergene Nehri İnanlı Akım Gözlem İstasyonunda Gözlenen Akım ve Yağış Değerleri

1.6.3. Arazi Kullanımı

Ergene Havzasının önemli bir bölümü tarım arazilerinden meydana gelmektedir [39]. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı (mülga) tarafından 2000 yılı sonrası alınan uydu görüntüleri kullanılarak Havza'nın arazi kullanım haritası oluşturulmuştur. Çizelge 1.1'de Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli'nin arazi kullanım dağılımı verilmiştir.

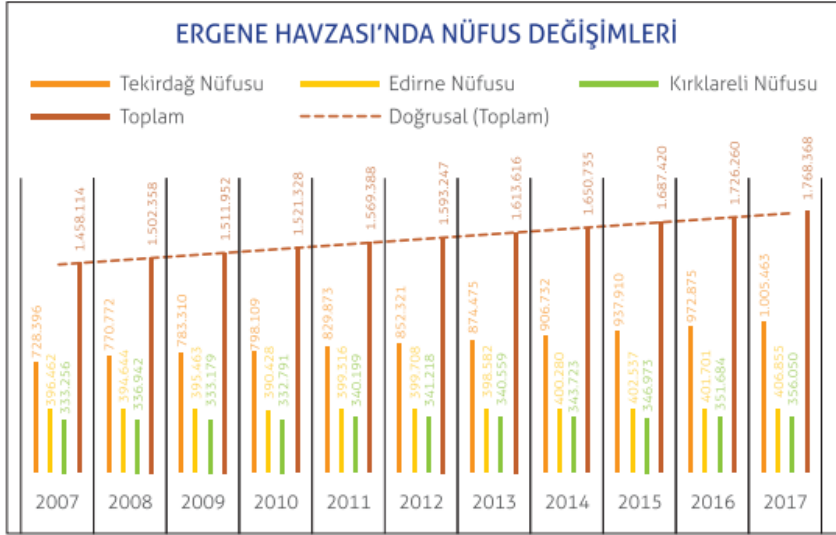
Çizelge 1.1 Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli'nin arazi kullanım dağılımı [39]

Kullanım Şekli	Alan (ha)	Oran (%)
Tarım arazisi	1.239.102	65,06
Çayır-Mera	109.512	5,75
Orman-Funda	512.380	26,90
Tarım dışı arazi	31.510	1,65
Diğer araziler	2.532	0,13
Su yüzeyi	9.383	0,49
TOPLAM	1.904.419	100,00

1.6.4. Demografik, Ekonomik ve Sosyal Yapı

İstanbul'un sürekli gelişmesi ve üzerindeki sanayi yükünü yakın çevresindeki bölgelere dağıtmasından dolayı Ergene Havzası nüfusunda da yıllara bağlı olarak artış gözlenmektedir [39]. Ulaşım sistemlerine olan yakınlığı, tabii kaynakların bölgede bulunuyor olması, kalifiye iş gücüne erişimin kolaylığı ve teşvikler, Ergene Havzası'nda elverişli sanayi arazisinin günden güne artmasında etkin faktörler arasında yer almıştır. Trakya Alt Bölgesi'nde verimli tarım topraklarının yaratmış olduğu tarıma dayalı ekonomi sonucu bölgede sanayinin başlangıcı tarımsal girdiler kullanan sanayi tesislerinin kurulması ile olmuştur.

Bölgesel olarak Edirne ve Kırklareli'nin nüfusu azalma eğilimindeyken, güçlü ve çok çeşitli sanayi kollarını bünyesinde barındıran Tekirdağ'ın nüfus artışı Havza'da da artışa neden olmaktadır. Tarımsal faaliyetlerin de yürütüldüğü bir bölge olmasına rağmen, sanayinin gelişmesiyle artan bir nüfusa sahip olması nedeniyle, bölgede kırsal nüfusun azalma eğilimi ve kentsel nüfusun ise artma eğilimi söz konusudur. Şekil 1.10'da Ergene Havzası'nda nüfus değişimleri verilmiştir.

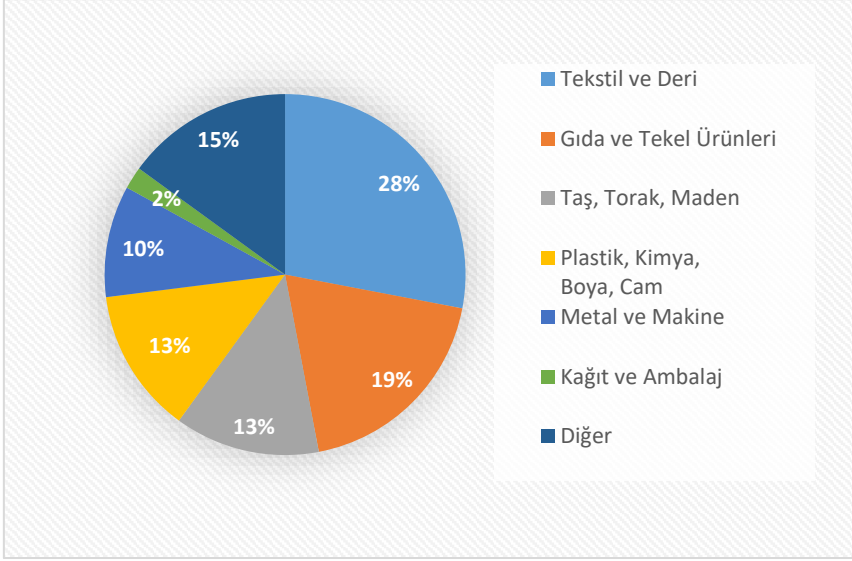


Şekil 1.10 Ergene Havzası'nda nüfus değişimleri [39]

1.6.5. Sanayi

Ergene Havzası özellikle coğrafi konumu gereği sanayinin cazibe merkezi olmuştur [39]. Özellikle havzanın doğu kesimi sanayileşmenin çok yoğun olduğu bir bölgedir. Bölgede 1990 yılından sonra hızla artan çarpık sanayileşme çok sayıda çevresel sorunu beraberinde getirmiştir.

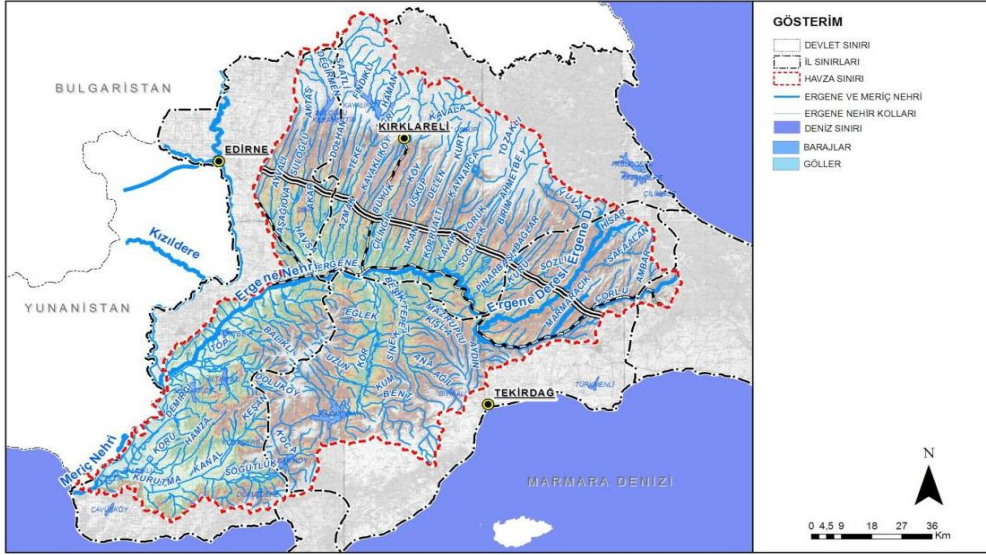
İllere göre sanayinin dağılımı incelendiğinde Tekirdağ ilinin sanayi açısından en önemli merkez olduğu göze çarpmaktadır [38]. Sanayi sektörlerinin illere göre dağılımı incelendiğinde ise sanayinin en yoğun olduğu il olan Tekirdağ'daki sanayi tesislerinin önemli bir bölümünün tekstil işletmelerinden oluştuğu görülmektedir. Tekstil ve konfeksiyon sanayinin ihtiyaç duyduğu hammadde, su, enerji ve nitelikli işgücü gibi kaynaklar açısından Tekirdağ geniş potansiyele sahip olduğu için bu sektör açısından il çekim merkezi haline gelmiştir. Bölgede başta tekstil olmak üzere, halı, metal, makine, kimya, elektrik ve elektronik sanayinde faaliyet gösteren fabrikalar kurulmuştur. Sanayilerin sektörlerine göre dağılımı incelendiğinde Çorlu'da deri sanayinin yoğunluğu, Çerkezköy ve Muratlı'da ise tekstil sektörünün yoğunluğu göze çarpmaktadır [39]. Hemen her sektörün en yoğun biçimde Ergene Nehri'nin kaynaklarının bulunduğu Çorlu-Çerkezköy-Muratlı ve Ergene Deresi alt havzalarında yoğunlaştığı görülmektedir. Deri sanayinin sadece Çorlu yöresinde, gıda sanayinin ise Çorlu-Lüleburgaz arasında Ergene Nehri kıyısında yoğunlaştığı görülmektedir. Tekstil, kimya, metal ve maden sanayinin Çorlu-Çerkezköy alt havzasında yoğunlaştığı görülmektedir. Şekil 1.11'de Ergene Havzası'nda sanayi tesislerinin sektörel dağılımı verilmiştir.



Şekil 1.11 Ergene Havzası'nda sanayi tesislerinin sektörel dağılımı [39]

1.6.6. Su Kaynakları

Havzada önemli su kaynaklarını yüzeysel sular ve yeraltı suları oluşturmaktadır [38]. Havza'nın sahip olduğu su potansiyelinin %78'i yüzeysel kaynaklardan oluşurken, %22'sinin ise yer altı suyu olduğu bilinmektedir. Başlıca yüzeysel su kaynaklarını Meriç ve Ergene nehirleri ile bu nehirlerin kolları oluşturmaktadır. Ergene Havzası 26'sı büyük olmak üzere toplam 67 alt havzadan oluşmaktadır. Ergene Nehri'nin en önemli kolları; Ergene Deresi, Çorlu Deresi, Sulucak Deresi, Lüleburgaz Deresi, Babaeski (Şeytan) Deresi, Teke Deresi, Ana Dere ve Hayrabolu Deresi'dir. Şekil 1.12'de Ergene Nehri ve kolları verilmiştir.



Şekil 1.12 Ergene Nehri ve Kolları [38]

1.6.7. Su Potansiyeli

Türkiye'nin kullanılabilir su varlığı yıllık olarak yaklaşık 112 km^3 olarak kabul edilmektedir [38]. Bu miktar çalışma bölgesinin içinde yer aldığı Trakya bölgesi için yaklaşık $3,6 \text{ km}^3$ olup, bunun $2,5 \text{ km}^3$ 'ü yerüstü, $0,7 \text{ km}^3$ 'ü dış kaynaklı (Meriç Nehri) ve $0,4 \text{ km}^3$ 'ü ise yeraltı suyudur. Bu su potansiyeli ile Trakya'da kişi başına düşen su miktarının yıllık olarak 650 m^3 olduğu görülmektedir. Türkiye'de kişi başına düşen su miktarının yaklaşık $1.500 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olduğu göz önüne alındığında, Trakya bölgesinin su varlığının yetersizliği ortaya çıkmaktadır.

Türkiye'de kişi başına düşen su miktarı 1.450 m^3 olup, Trakya Bölgesi'nde bu miktar 500 m^3 'tür. 8.000 m^3 olan dünya ortalamasının oldukça altında olan bu değerlere göre ülkemiz ve Trakya Bölgesi, Dünya Su Konseyi'ne göre su sıkıntısıyla karşı karşıya olan bölgedir. Bu durumda susuzluk, gıda üretimi, ekonomik gelişme ve doğal hayatın korumasında ciddi sorunların yaşanacağı ileri sürülmektedir [43].

Trakya Alt Bölgesi; Meriç-Ergene Havzası 14.560 km^2 ; Kuzey Marmara Havzası 4105 km^2 olmak üzere toplam alanı 18.665 km^2 olan iki alt havzadan oluşmaktadır. Bölge, 9461 milyon m^3 'ü yerüstü suyu, $392,7$ milyon m^3 'ü yeraltı suyu olmak üzere toplam yıllık $9.853,7$ milyon m^3 su potansiyeline sahiptir. Bu suyun $7.739,3$ milyon m^3 'ü Edirne, $1.231,4$ milyon m^3 'ü Kırklareli, 883 milyon m^3 'ü ise Tekirdağ il sınırları içerisinde bulunmaktadır. Edirne ilinin su potansiyelinin 611 milyon m^3 'ü kendi havzasından, 5.842 milyon m^3 'ü yabancı havzadan (Meriç Nehri sınır girişi) ve 1.158 milyon m^3 'ü Meriç'e Yunanistan kesiminden gelmektedir.

Bölgenin yerüstü ve yeraltı su kaynakları karşılaştırıldığında Trakya Alt Bölgesi'ndeki yıllık toplam su potansiyelinin %96'sının yüzey suyu, %4'ünün yeraltı suyu olduğu görülmektedir. Ergene Havzası yüzeysel su potansiyeli Çizelge 1.2'de verilmektedir.

Çizelge 1.2 Ergene Havzası yüzeysel su potansiyeli [42]

Akarsu Adı	Doğal Su Potansiyeli (hm ³)	Mevcut Su Potansiyeli (hm ³)	Mutasavver Su Potansiyeli(hm ³)
Ergene Nehri	152,8	165,2	165,2-(5+12,2)=148,0
Hayrabolu Deresi	186,2	156,5	156,5-(7,3+7,1)=142,1
Beşiktepe Deresi	60,1	54,8	54,8
Ovadere	27,6	23,8	23,8-6,98=16,82
Anaçay Deresi	64,2	58,4	58,4

1.6.8. Ergene Havzası'nda Kirlilik Baskıları

Havzada yüzeysel sularda kirliliğe yol açan kaynaklar endüstriyel atıksu deşarjları, evsel atıksu arıtımından kaynaklanan deşarjlar ve tarımsal kaynaklar olmak üzere 3 gruba ayrılabilir [40]:

Havzada Endüstri Kaynaklı Kirlenme: Havza endüstriyel faaliyetlerin oldukça yoğun olduğu bir bölgedir. Havza kapsamında atıksu deşarjı olan ve olmayan toplam 1303 sanayi tesisi ve işletme bulunmakta ve bunlardan 1074 adet olmak üzere %82'si Tekirdağ il sınırları içinde, 128 adet olmak üzere %10'u Kırklareli il sınırları içinde ve 101 adet olmak üzere %8'i Edirne il sınırları içinde bulunmaktadır. Bu tesislerden bazıları organize sanayi bölgelerinde bulunmakta ve atıksu deşarjları OSB ortak arıtmalarına verilmektedir. Bu kapsamda havza sınırları dahilinde OSB'ler ve tekil tesis sayıları aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 1.3). Havzada toplam 1303 sanayi tesisinden 676 adet endüstrinin atıksu deşarjları olduğu tespiti yapılmıştır.

Çizelge 1.3 Havza kapsamında OSB içinde tekil ve sanayi tesisi sayıları [40]

İL-OSB	Sanayi Tesisi Sayısı
TEKİRDAĞ	
Avrupa Serbest Bölgesi	11
Çerkezköy OSB	261
Çorlu Deri OSB	81
Ergene 1 OSB	54
Ergene 2 OSB	121
Hayrabolu OSB	5
Kapaklı OSB	6
Muratlı OSB	21
Türkgücü OSB	45
Velimeşe OSB	191
Veliköy OSB	36
Yalıboyu OSB	7
Tekil Sanayi	235
TOPLAM	1074
KIRKLARELİ	
Kırklareli OSB	44
Büyükkarıştıran OSB	21
Evrensekiz OSB	9
Tekil Sanayi	54
TOPLAM	128
EDİRNE	
Edirne OSB	5
Tekil Sanayi	96
TOPLAM	101
HAVZA TOPLAMI	1303

Havzada Evsel Atıksu Arıtma Tesisleri: Tekirdağ ilinde mevcut kentsel atıksu arıtma tesislerinin isimleri, güncel debileri ve tasarım debileri Çizelge 1.4’de verilmiştir. Çizelge 1.5 ve 1.6’da ise Kırklareli ve Edirne illerindeki kentsel atıksu arıtma tesislerinin durumları verilmiştir.

Çizelge 1.4 Tekirdağ- Atıksu Arıtma Tesisleri [40]

Atıksu Arıtma Tesisi	Tasarım Debisi (m ³ /gün)	Güncel Debi (m ³ /gün)
Süleymanpaşa İ.B.A.A.T.	40.440	39.000
Çorlu İ.B.A.A.T.	60.000	20.000
Çorlu Yenice İ.B.A.A.T.	3.000	400-2.400
Çerkezköy İ.B.A.A.T.	52.800	20.000
Saray İ.B.A.A.T.	7.166	4.000
Malkara İ.B.A.A.T.	7.320	5.000
Hayrabolu İ.B.A.A.T.	5.339	3.200
Mürefte A.A.T.	1.000	1.000–2.000

Çizelge 1.5 Kırklareli ili Evsel Atıksu Arıtma tesisleri [40]

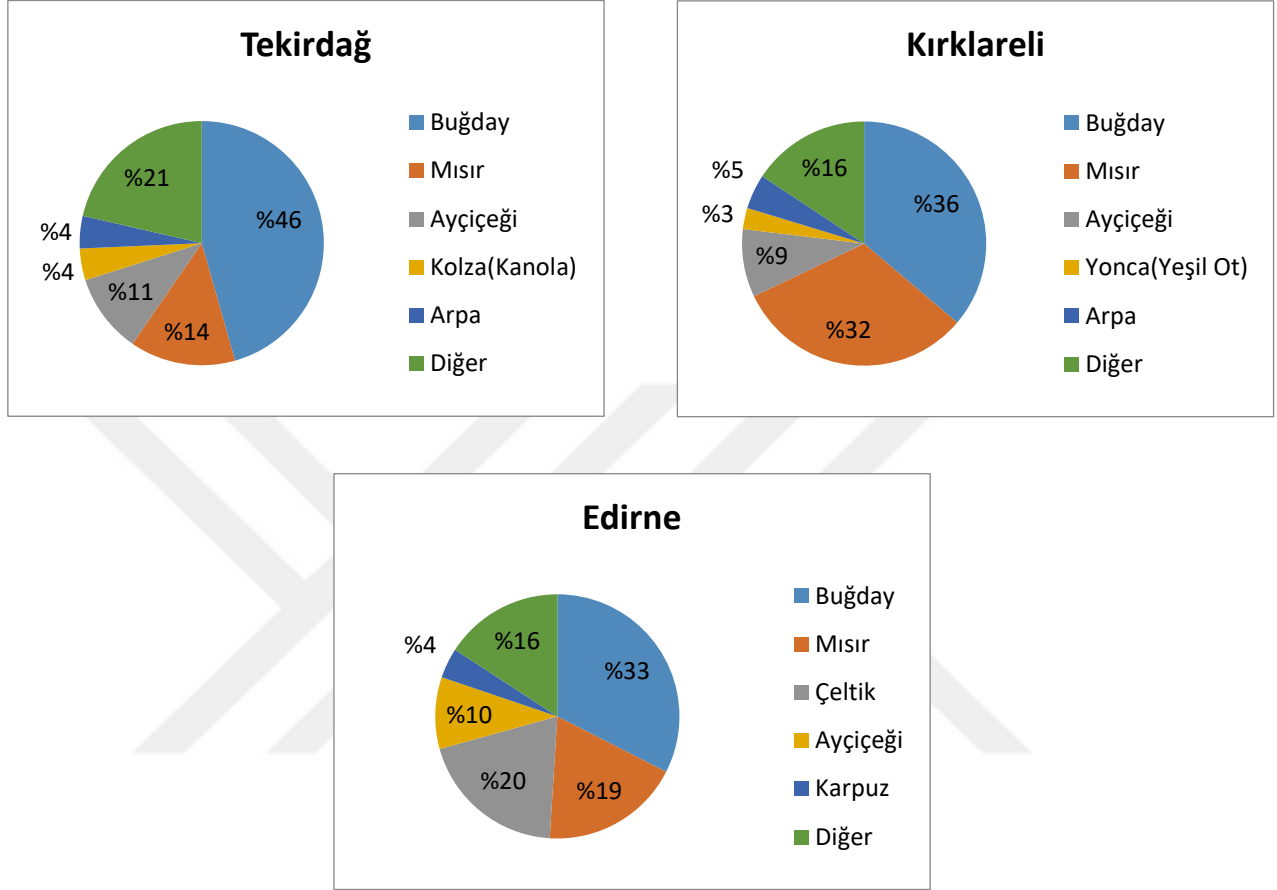
KIRKLARELİ	Durum	Arıtma Tipi
Vize	Mevcut	İleri Biyolojik
Merkez	Mevcut	İleri Biyolojik
Lüleburgaz	Mevcut	Biyolojik
Pınarhisar	İnşaat	İleri Biyolojik
Babaeski	İnşaat	İleri Biyolojik

Çizelge 1.6 Edirne ili Evsel Atıksu Arıtma tesisleri [40]

EDİRNE	Durum	Arıtma Tipi
Uzunköprü	Mevcut	İleri Biyolojik
Lalapaşa	Mevcut	Biyolojik
Süleoğlu	Mevcut	Biyolojik
Ipsala-Yenikarpuzlu	Mevcut	Biyolojik
Enez	Mevcut	Biyolojik
Enez-Büyükevren Köyü	Mevcut	Biyolojik
Sultan	Mevcut	Doğal Arıtma
Kurtbey	Mevcut	Biyolojik
Sultaniçe-Gülçavuş-Küçükevren	Mevcut	Biyolojik
Merkez	İnşaat	İleri Biyolojik
Keşan+Yenimuhacir	İnşaat	İleri Biyolojik

Havzada tarımsal kaynaklı kirlenme: Meriç-Ergene Havzası'nda tarımda kullanılmak üzere sulama suyu ihtiyacı akarsulardan ve barajlardan karşılanmaktadır. Başta Altinyazı, Hamzadere, Kadıköy, Sultanköy, Süloğlu, Y. Karpuzlu, Kayalıköy, Kırklareli, Karaidemir olmak üzere toplam 100.000 hektar alanın barajlarla sulanması planlanmaktadır. Havzanın

büyük bir kısmını kaplayan Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli illerinde ekimi yapılan en yüksek orana sahip 5 ürünün üretim miktarına göre yüzdelik değerleri Şekil 1.13’de verilmiştir [41].

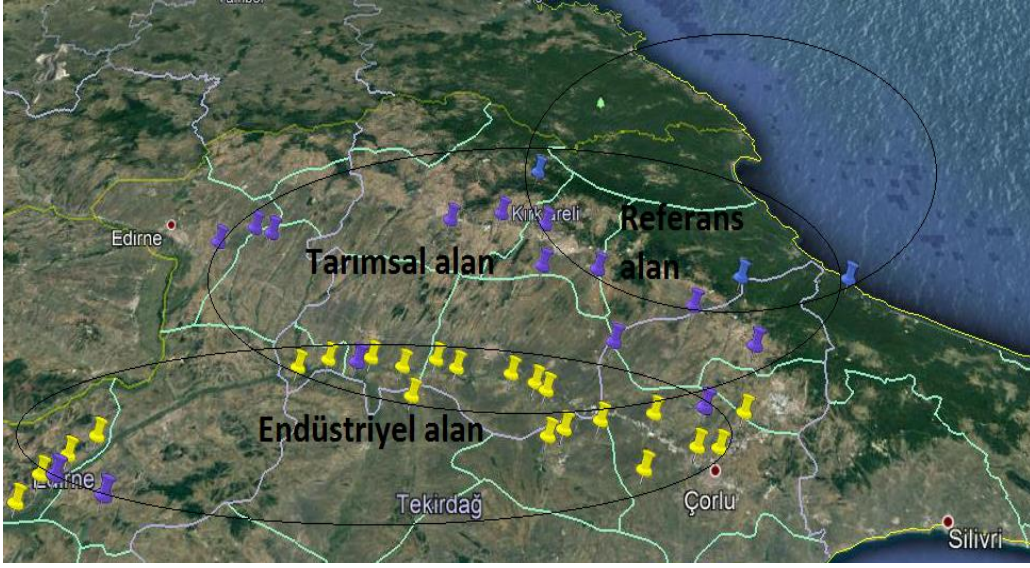


Şekil 1.13 İller bazında yetiştirilen ürün miktarları [41]

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Örnekleme Çalışması

Proje kapsamında havzadaki endüstriyel ve tarımsal ağırlıklı bölgeler ve Ergene Nehri ve kollarında memba-mansap ilişkisi dikkate alınarak belirlenmiş 41 örnekleme noktasında Temmuz ve Aralık 2020 tarihlerinde olmak üzere 2 dönem numune alınmıştır. Şekil 2.1’de çalışma alanındaki numune alma noktaları verilmiştir.



Şekil 2.1 Çalışma alanındaki numune alma bölgeleri

Endüstrilerin sediment kirliliğine etkisini belirlemek için endüstri-yoğun bölgeler olan Çerkezköy, Çorlu, Muratlı ve Lüleburgaz’daki nehir ve derelerden Ergene Nehri’nin Meriç Nehri ile birleştiği noktaya kadar, tarımın etkisini belirlemek için ise daha çok Babaeski, Kırklareli, Edirne hattındaki nehir ve nehir kollarından sediment numuneleri alınmıştır. Referans durumdaki kirlenmemiş sediment kalitesini belirlemek için ise Ergene Nehri’nin kaynağının bulunduğu Saray ilçesindeki bölgeden sediment numunesi alınmıştır.

2.1.1. Örnekleme Planı

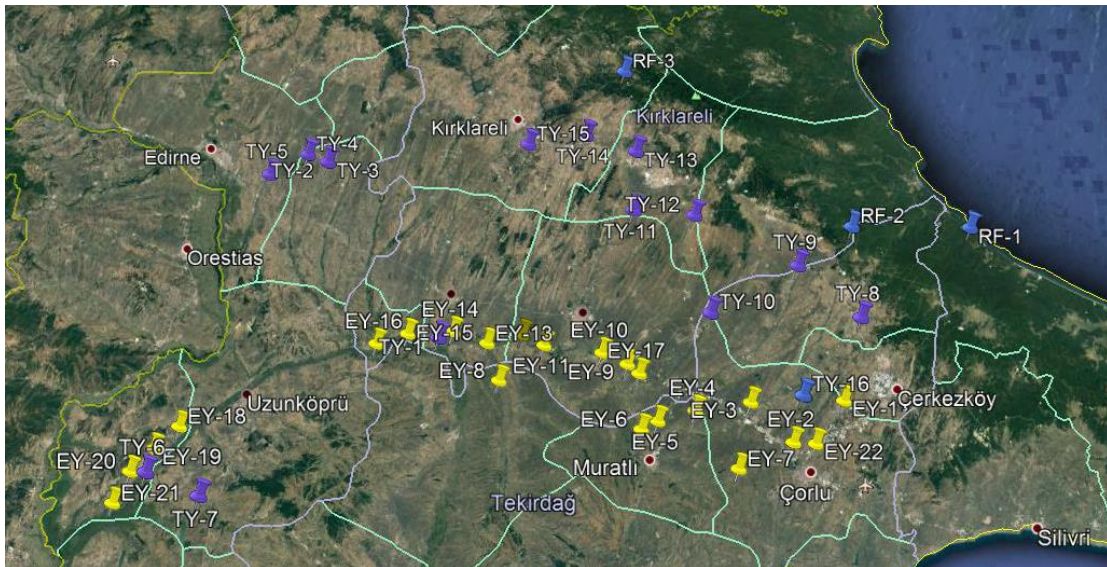
Numune alımları ile ilgili Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 11. Bölge Müdürlüğü’nden gerekli izin alınmıştır. Numune alma bölgeleri ve sayıları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Numune alma bölgeleri ve sayıları

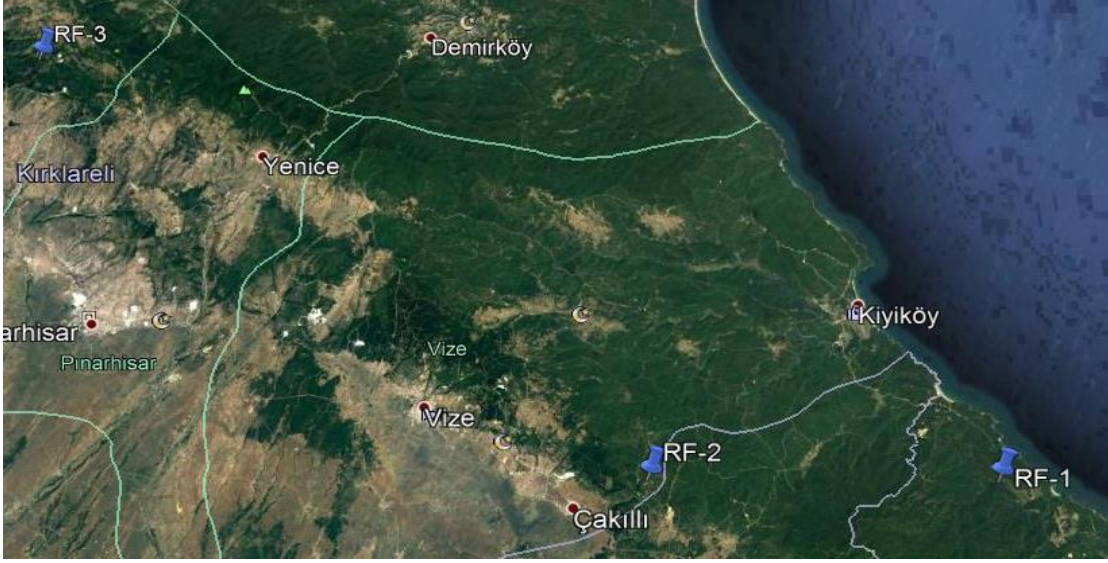
Bölge	Lokasyon	Numune sayısı
Endüstri-yoğun bölge	Çorlu Deresi Ergene Deresi Uzunköprü	Kurak dönem (Temmuz 2020): 22 adet Yağışlı dönem (Aralık 2020): 22 adet
Tarım-yoğun bölge	Ergene	Kurak dönem (Temmuz 2020): 16 adet Yağışlı dönem (Aralık 2020): 16 adet
Referans bölge	Çorlu Deresi Ergene, Çakıllı Büyükdere	Kurak dönem (Temmuz 2020): 3 adet Yağışlı dönem (Aralık 2020): 3 adet
Toplam		82 numune

2.2. Örneklemeye Noktaları

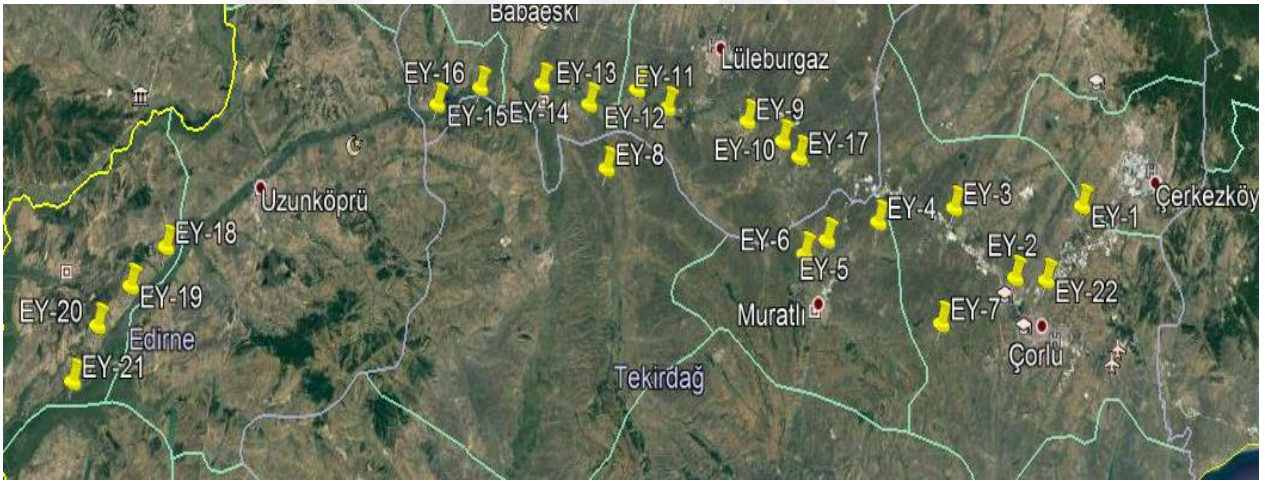
Çalışma alanında mavi renk ile işaretli olan noktalar referans noktalarını, mor renk ile işaretli olan noktalar tarım alanlarını ve sarı ile işaretli olan noktalar ise endüstriyel alanları ifade etmektedir. Çalışmada 3 referans noktası, 16 tarım alanı noktası ve 22 endüstriyel alan noktaları seçilmiştir. Şekil 2.2’de çalışma alanındaki belirlenen 41 nokta harita üzerinde gösterilmiştir. Şekil 2.3, 2.4 ve 2.5’de çalışma alanındaki referans, endüstriyel ve tarımsal noktalar haritada gösterilmiştir. Çizelge 2.2’de ise örneklemeye noktalarının koordinatları gösterilmiştir. Şekil 2.6’da örneklemeye noktasından kurak ve yağışlı dönemlerden görseller verilmiştir. Şekil 2.7’de numune alımı ile ilgili görseller verilmiştir.



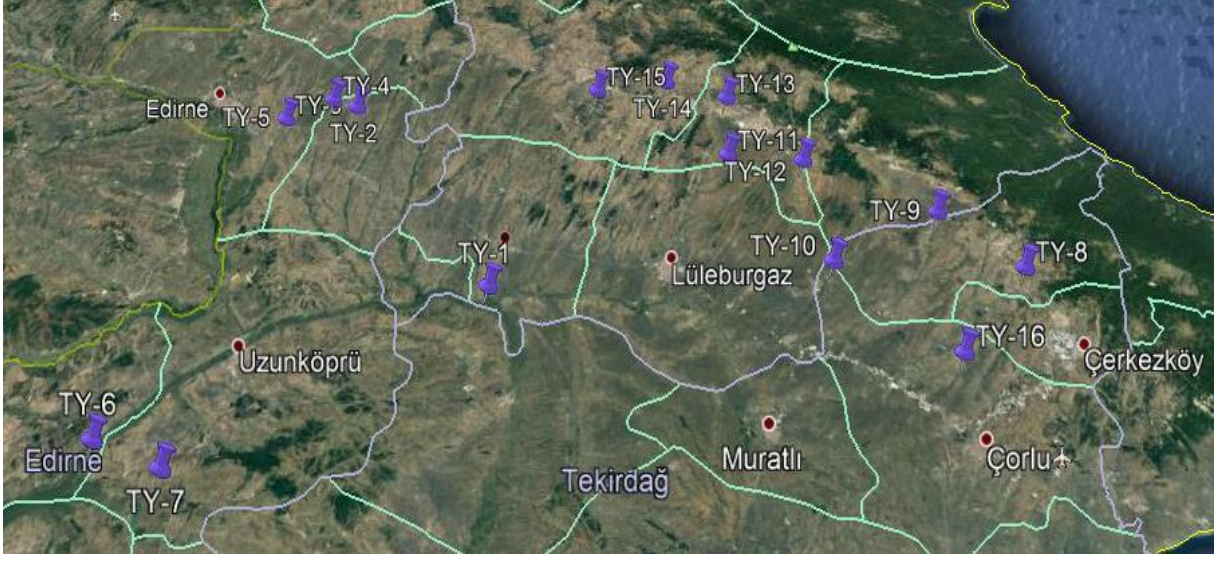
Şekil 2.2 Çalışma alanındaki belirlenen 41 nokta



Şekil 2.3 Çalışma alanındaki referans noktaları



Şekil 2.4 Çalışma alanındaki endüstriyel noktalar



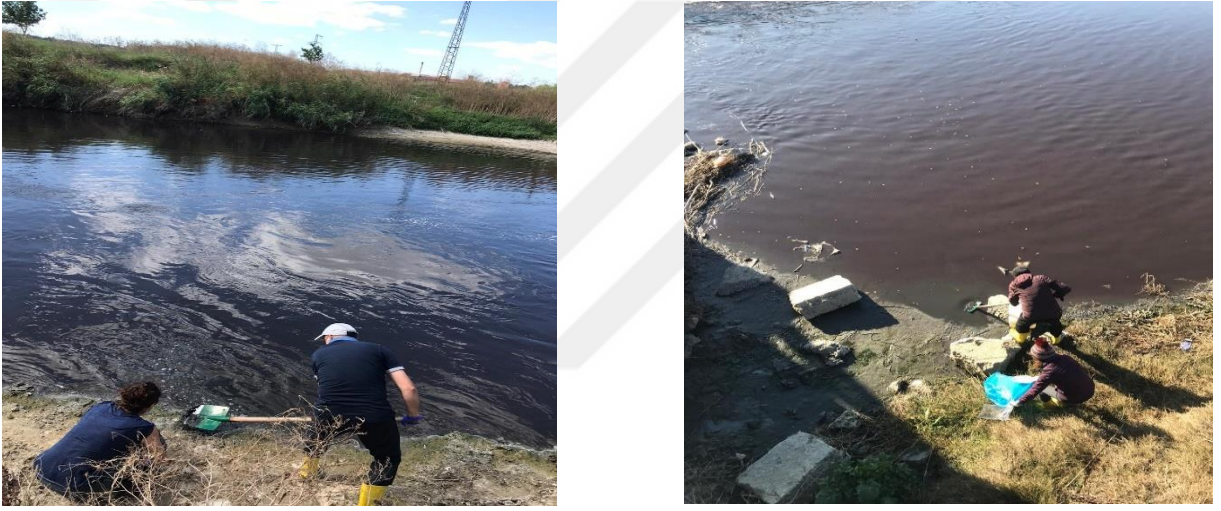
Şekil 2.5 Çalışma alanındaki tarımsal noktalar

Çizelge 2.2 Örnekleme noktaları

Örnekleme bölgesi	Örnekleme numarası	Koordinat	Örnekleme noktasının özellikleri
Referans bölge	RF-1	41.3138, 28.1089	Çorlu Deresi, Ramazan Dere
Endüstri yoğun	EY-1	41.2456, 27.8822	Velimeşe, Çorlu Deresi
Endüstri yoğun	EY-2	41.1800, 27.7773	Çorlu Deri Organize Sanayi Bölgesi
Endüstri yoğun	EY-3	41.2436, 27.6940	Unilever Algida, Ergene Deresi
Endüstri yoğun	EY-4	41.2264, 27.5585	Vakıflar, Ergene Deresi
Endüstri yoğun	EY-5	41.2152, 27.5261	Ballı Hoca, Ergene Deresi
Endüstri yoğun	EY-6	41.2016, 27.4773	İnanlı, Ergene Deresi
Endüstri yoğun	EY-7	41.1498, 27.6568	Sarılar, Çorlu Deresi
Endüstri yoğun	EY-8	41 ⁰ 16,405',27 ⁰ 27,454'	Seyitler, Ergene
Endüstri yoğun	EY-9	41 ⁰ 18,301',27 ⁰ 26,683'	Karamusul, Ergene
Endüstri yoğun	EY-10	41 ⁰ 20,114',27 ⁰ 24,301'	Ovacık, Ergene
Endüstri yoğun	EY-11	41 ⁰ 20,833',27 ⁰ 17,271'	Dügüncübaşı, Ergene
Endüstri yoğun	EY-12	41 ⁰ 21,638',27 ⁰ 13,565'	Oklalı, Ergene
Endüstri yoğun	EY-13	41 ⁰ 21,512', 27 ⁰ 8,681'	Sinanlı, Ergene
Endüstri yoğun	EY-14	41 ⁰ 21,157', 27 ⁰ 4,755'	B. Mandıra, Ergene
Endüstri yoğun	EY-15	41 ⁰ 20,802', 27 ⁰ 0,590'	Kadriye, Ergene
Endüstri yoğun	EY-16	41 ⁰ 20,583',26 ⁰ 56,583'	Akarca, Ergene
Tarım yoğun	TY-1	41 ⁰ 20,744', 27 ⁰ 5,382'	Ergene, Anaçay Deresi
Tarım yoğun	TY-2	41 ⁰ 38,274',26 ⁰ 51,814'	Havsa çayı, Hasköy
Tarım yoğun	TY-3	41 ⁰ 38,331',26 ⁰ 48,152'	Söğütlüdere
Tarım yoğun	TY-4	41 ⁰ 36,163',26 ⁰ 45,186'	Köydere, Oğulpaşa mevki
Tarım yoğun	TY-5	41 ⁰ 36,517',26 ⁰ 40,595'	Sazlıdere köyü
Endüstri yoğun	EY-17	41 ⁰ 14,955',26 ⁰ 37,484'	Çiftlikköy, Uzunköprü
Endüstri yoğun	EY-18	41 ⁰ 11,747',26 ⁰ 33,238'	Paşayenice, Uzunköprü
Endüstri yoğun	EY-19	41 ⁰ 9,738', 26 ⁰ 30,832'	Saatağacı
Endüstri yoğun	EY-20	41 ⁰ 7,725', 26 ⁰ 28,734'	Yenicegörece
Endüstri yoğun	EY-21	41 ⁰ 5,767', 26 ⁰ 26,430'	Adasarhanlı, Küçükaltıtağaç
Tarım yoğun	TY-6	41 ⁰ 7,189', 26 ⁰ 29,448'	Balabankoru, Anadere
Tarım yoğun	TY-7	41 ⁰ 5,881, 26 ⁰ 36,281	Türkobası
Tarım yoğun	TY-8	41 ⁰ 22,938',27 ⁰ 55,876'	Büyükyoncalı
Referans bölge	RF-2	41 ⁰ 31,324',27 ⁰ 55,089'	Çakıllı
Tarım yoğun	TY-9	41 ⁰ 28,353',27 ⁰ 49,204'	Karapürçek
Tarım yoğun	TY-10	41 ⁰ 23,432',27 ⁰ 37,407'	Pınarbaşı
Tarım yoğun	TY-11	41 ⁰ 28,969',27 ⁰ 35,140'	Sulucak çayı
Tarım yoğun	TY-12	41 ⁰ 33,029',27 ⁰ 35,254'	Cevizköy deresi
Tarım yoğun	TY-13	41 ⁰ 40,702',27 ⁰ 26,180'	Kaynarca mevki, Manastır deresi
Referans bölge	RF-3	41 ⁰ 48,486',27 ⁰ 27,498'	Çukurpınar, Büyükdere
Tarım yoğun	TY-14	41 ⁰ 44,577',27 ⁰ 24,477'	Üsküp mevki, Üsküp deresi
Tarım yoğun	TY-15	41 ⁰ 40,138',27 ⁰ 14,705'	Anaçay dere, Şeytan deresi
Tarım yoğun	TY-16	41 ⁰ 15,577',27 ⁰ 47,243'	Bakırca, Ergene
Endüstri yoğun	EY-22	41 ⁰ 10,843',27 ⁰ 48,802'	Sinandede



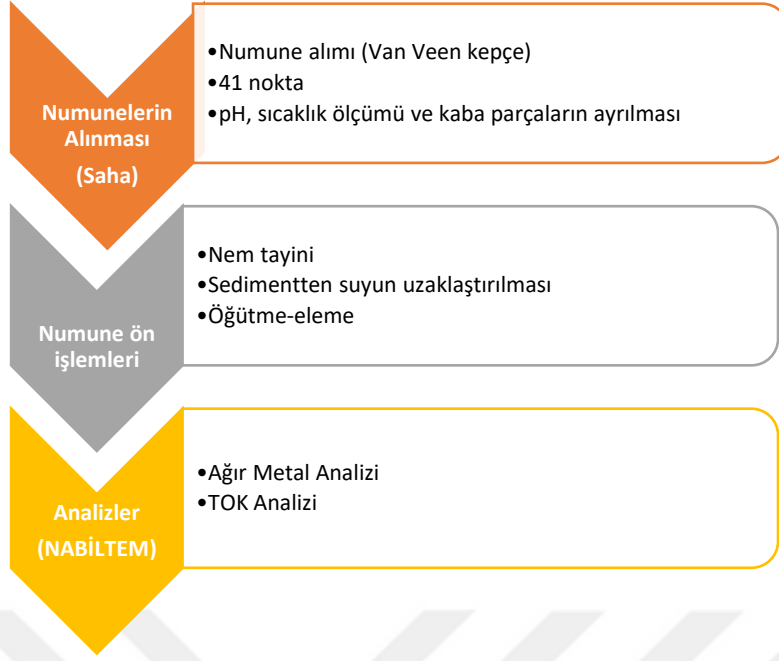
Şekil 2.6 Örnekleme noktası, kurak ve yağışlı dönem



Şekil 2.7 Numune alımı, kurak ve yağışlı dönem

2.3. Analiz Çalışmaları

Proje kapsamında Meriç-Ergene Havzası'nda endüstriyel, tarımsal ve referans alan olarak belirlenmiş 3 bölgede memba-mansap ilişkisi dikkate alınarak belirlenen 41 örnekleme noktasında, 1 yıl içinde kurak ve yağışlı dönemlerde toplam 2 kez olmak üzere 82 sediment numunesi toplanmış ve toplanan numuneler laboratuvarında ön hazırlık işlemlerinden sonra 12 tür metal ve TOK analizleri ICP-MS ve TOK cihazlarında gerçekleştirilmiştir. Numunelere yapılan işlemler Şekil 2.8' de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Numunelere uygulanan işlemler

Sediment numuneleri su akışı ve konumun uygun olduğu noktalarda Van Veen tipi kepçelerle, uygun olmayan durumlarda kürekle nehir ve nehir kollarının 0-10 cm derinliğinden alınmıştır. Numuneler alındığı anda pH ve sıcaklık ölçümleri yapılmış ve yaprak, taş gibi kaba partiküller ayrılmıştır. Alınan sediment örnekleri etiketli plastik kilitli poşetlerle 4°C’de saklanarak en kısa sürede laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvara getirilen numuneler bir gece boyunca etüvde kurutulmuştur. Numunelerin nem oranları laboratuvarında ölçülmüştür. Kurutulan numuneler agat tipi havan yardımıyla dövülerek, birçok çalışmada önerildiği gibi 63 µm’lik plastik elekler kullanılarak elenmiş ve ağır metal analizleri için 63 µm’nin altındaki parçacıklar kullanılmıştır. Şekil 2.9’da laboratuvarında kullanılan 63 µm’lik elek görseli verilmiştir. Şekil 2.10 ve 2.11’de ise Van Veen tipi kepçe ve etüv cihazı görselleri verilmiştir.



Şekil 2.9 Laboratuvarında kullanılan 63 µm'lik elek



Şekil 2.10 Van Veen tipi kepçe



Şekil 2.11 Numunelerin kurutulduğu etüv cihazı

TOK ve ağır metal analizleri Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarında (NABİLTEM)'de gerçekleştirilmiştir.

TOK analizleri TOC-L CPH/CPN marka, SSM 5000 A model TOC cihazı ile yapılmış ağır metallerin ölçümü ise Spectro ICP-MS marka, Spectro MS model ICP-MS cihazı kullanılarak yapılmıştır. TOC- L serisi, 680°C'de yakma katalitik oksidasyon metodu ile

çalışmaktadır. 4 µg/L ile 30,000 mg/L arasında ultra geniş bir ölçüm aralığı sunan bu analizörler ile, NDIR ile koordineli olarak 4 µg/L lik dedeksiyon limitlerine kadar inilebilmektedir. Bu yakma katalitik oksidasyon metodu ile elde edilebilen en yüksek hassasiyet seviyesidir. İlave olarak, yakma katalitik oksidasyon metodu sayesinde yalnızca kolay dekompoze olabilen düşük molekül ağırlıklı organik bileşiklerin değil aynı zamanda çözünmeyen dekompoze olması zor ve makromoleküler organik bileşiklerin de verimli bir şekilde okside olmasını mümkün kılmaktadır.

Ağır metal analizlerinin gerçekleştirildiği Spectro ICP-MS, örnek girişi, plazma, spektrometre ara yüzey, iyon optik ve spektrometreden oluşmaktadır. Spektrometre arayüzey, plazma (~10000 °K, atmosfer basıncı) ve kütle spektrometre (oda sıcaklığı ve yüksek vakum) arasında yol sağlar. Spectro MS ara yüzeyi, örnekleme ve sıyırma konileri ile optimize edilmiştir. Örnekleme konisinde basınç azalır, iyonlar süpersonik hızda sıyırıcı koniye doğru genişleyen demetle hızlanır. Sıyırıcı konisinde iyonlar, spektrometrenin vakum haznesine doğru hızlandırılır. Ara yüzeyden geçtikten sonra, iyon akışı nötral atomlar, elektronlar, fotonlar ve kirlilikler içerir. İyon optik; ara yüzey, einzel lens, ön filtre ve quadropol çiftinden oluşur. Kütle spektrometresi Spektro MS'de Mattauch-Herzog geometrisindedir ve manyetik bölgeyi takiben elektrostatik analizleyici (ESA) içerir. ESA, iyonları kinetik enerjilerine ve kütle/yük oranının temelinde manyetik bölgeye göre ayırır. İyonların tümü magnet tarafından aynı odak düzlemine odaklanır.

2.4. Ağır Metal Kirliliğinin Su Sedimentlerinde Değerlendirilme Yöntemleri

2.4.1. Kirlilik İndeksleri

Zenginleşme Faktörü (EF):

Zenginleşme faktörü (EF), sedimentlerde antropojenik ağır metal kirliliği oranını yansıtan faydalı bir indekstir. Bu indeks, kullanılan çeşitli normalizasyon elementleri (Al, Fe, Mn vb.) ve öncel çalışmalarda verilen background (geçmiş) değerlerinden faydalanılarak hesaplanmaktadır. Birçok çalışmada kullanılan tipik elementler Al, Fe, Mn'dir. Alüminyum koruyucu bir elementtir ve kil minerallerinin ana bileşenidir ve birçok bilim insanı tarafından başarıyla kullanılmıştır. Fe, deniz ve nehir ağzı sedimentleri üzerinde çalışan birçok yazar tarafından kullanılmıştır [54].

Zenginleşme Faktörü aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır [55];

$$EF = \frac{(M/Y)_{numune}}{(M/Y)_{arkaplan}} \quad (2.1)$$

M potansiyel olarak zenginleştirilmiş elementin konsantrasyonudur ve Y, vekil elemanın konsantrasyonudur. Hesaplanan EF değeri sonucu, $EF < 1$ ise zenginleşme olmadığını; 3-5 arası orta dereceli zenginleşme; 5-10 arası orta dereceli şiddetli zenginleşme; 10-25 arası şiddetli zenginleşme; 25-50 arası çok şiddetli zenginleşme; ve > 50 aşırı şiddetli zenginleşmeyi ifade eder.

Kirlenme Faktörü (CF)

Kirlenme faktörü, sedimentte ölçülen metal konsantrasyonu ile aynı metalin doğal jeokimyasal durumdaki konsantrasyonu arasındaki orandır [56].

Kirlenme Faktörü aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır;

$$CF = \frac{C_{ağırmetal}}{C_{arkaplan}} \quad (2.2)$$

Hesaplanan CF değeri sonucu, $CF < 1$ düşük kirlenme; $1 \leq CF < 3$ orta derecede kirlenme; $3 \leq CF < 6$ önemli derecede kirlenme; ve $CF > 6$ çok yüksek derecede kirlenmeyi ifade eder.

Kirlilik Yükü İndeksi (PLI)

Kirlilik Yük İndeksi (PLI), her bir örnekleme noktasındaki ağır metal kirlilik boyutunun değerlendirilmesi için oluşturulmuş bir indekstir.

Kirlilik yükü indeksi aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır [57];

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^n \quad (2.3)$$

CF: kirlenme faktörü

n: metal sayısı

PLI değerinin 0 olması mükemmel (olağanüstü) durumu, 1 olması su kaynağının referans şartlarda (doğal durumda) olduğunu, 1'den büyük değerlerde olması ise derecesine

bağlı olarak bozulduğunu göstermektedir. PLI ölçülen metallere bağlı olarak sediment numunesinin toksisitesi ile ilgili bilgi verir.

Jeoakümülyasyon İndeksi (I_{geo})

Başlangıçta Müller (1969) tarafından tanıtılan jeoakümülyasyon indeksi (I_{geo}), jeokimyasal arka plan konsantrasyonlarına kıyasla çevresel kontaminasyon durumunu değerlendirmek için kullanılabilir [58].

I_{geo} indeksi aşağıdaki denklemle açıklanmaktadır;

$$I_{geo} = \frac{\log_2 C_n}{1,5 \times B_n} \quad (2.4)$$

Burada C_n , n metalinin sedimentte ölçülen değeri ve B_n ise n metalinin bölgedeki doğal arka plan konsantrasyonudur. Bu indeksin hesaplanmasında kullanılan incelenen elementlerin arkaplan değerleri, kirlilik faktörleri (CF'ler) indeksinin hesaplanmasında kullanılanlarla aynıdır [57]. Eşitlikteki 1,5 katsayısı doğal arka plan değerlerindeki olası varyasyonları hesaba katmak için kullanılmaktadır. I_{geo} indeksi 7 sınıf içerir. Sınıf 0 (pratik olarak kirlenmemiş): $I_{geo} \leq 0$; Sınıf 1 (kirlenmemiş ila orta derecede kirlenmiş): $0 < I_{geo} < 1$; Sınıf 2 (orta derecede kirlili): $1 < I_{geo} < 2$; Sınıf 3 (orta derecede kirlenmiş): $2 < I_{geo} < 3$; Sınıf 4 (çok kirlili): $3 < I_{geo} < 4$; Sınıf 5 (ağır ve son derece kirlili): $4 < I_{geo} < 5$; Sınıf 6 (aşırı kirlili): $5 > I_{geo}$.

Potansiyel Ekolojik Risk İndeksi (PERI)

PERI, tortudaki ağır metallerin kapsamlı potansiyel ekolojik riskini değerlendirmek için kullanılmış ve ilk olarak Hakanson (1980) tarafından tanıtılmıştır. Belirli bir metalin (E_r^i) potansiyel ekolojik risk faktörü şu şekilde tanımlanır [56]:

$$E_r^i = T_r^i \times \frac{C_i}{C_0} \quad (2.5)$$

Örneklemin risk endeksini (RI) hesaplamak için;

$$RI = \sum_{i=1}^n T_r^i \times \frac{C_i}{C_0} \quad (2.6)$$

Bu eşitliklerde C_i i metalinin sedimentteki konsantrasyonu, C_0 aynı metalin doğal arka plan konsantrasyonudur [29]. T_r^i metallerin biyolojik toksisite faktörleridir ve literatürde

Cu=Pb=Ni=5, Zn=1, As=10, Cr=2 ve Cd= 30 olarak belirlenmiştir. E_r^i bir metalin ekolojik risk faktörü, RI metallerin potansiyel ekolojik risk indeksidir.

PERI 5 sınıfta belirlenmektedir. Eri ve RI değerleri şu şekilde yorumlanır [58]: Eri <40, düşük ekolojik risk; 40<Eri ≤ 80, orta düzeyde ekolojik risk; 80 <Eri ≤ 160, kayda değer ekolojik risk; 160<Eri ≤ 320, yüksek ekolojik risk; ve Eri >320, ciddi ekolojik risk; RI <150, düşük ekolojik risk; 150 ≤ RI <300, orta düzeyde ekolojik risk; 300 ≤ RI <600, önemli ekolojik risk; RI > 600, incelenen alan için çok yüksek ekolojik risk.

2.5. Kaynak Belirleme Çalışmaları

Çalışma kapsamında analiz sonuçlarına çeşitli istatistik değerlendirmeler yapılmış ve birbirleri arasındaki korelasyonlar belirlenmiştir. Korelasyon çalışmaları kapsamında Pearson Korelasyon tekniği kullanılmıştır.

Kaynak belirleme çalışmaları kapsamında ise Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA) kullanılmıştır. HCA, örneklerin gruplar arasındaki organizasyonunu belirleyen bir kümeleme yöntemidir [95]. HCA sonucu genellikle örneklerin organizasyonunu ve ağaç formundaki ilişkilerini gösteren bir grafik olan dendrogram ile sunulur. HCA'da gruplama gerçekleştirmek toplayıcı veya bölücü olmak üzere iki ana yaklaşım vardır. Gruplamada, her örnek başlangıçta bir küme olarak kabul edilir ve ardından küme çiftleri birleştirilir. Bölücü yaklaşım algoritması, tüm örnekleri içeren bir kümeyle başlar, yineleyen bölmeler gerçekleştirilir. HCA örnekleri farklı gruplara benzerliklerine dayanarak ayırır. Benzerlikler örnekler arasındaki mesafe ölçülerek bulunur (örn; squared Euclidean distance, Chebyshev distance, Minkowski distance) [96].

HCA, çevre mühendisliğinde çeşitli matrislerde ölçülen kirleticilerin ve özellikle ağır metallerin arasındaki çok değişkenli ilişkiyi değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır [86, 97, 98, 99, 100, 101]. Bu çalışmada, benzer kirlilik kaynaklarına sahip örnekleme sahalarını (mekansal değişkenlik) ve benzer kirlilik kaynaklarına sahip ağır metalleri gruplandırmak için sediment analiz parametreleri veri setine hiyerarşik küme analizi-gruplama tekniği uygulanmıştır. HCA analizinde Ward yöntemiyle bağlantılı olarak kare Öklid mesafe yaklaşımı (between-groups linkage/squared Euclidean distance) uygulanmıştır.

Çalışmada istatistik analizlerin tümü SPSS 26 Statistic kullanılmıştır. Çalışmada aynı zamanda analiz sonuçlarına Hiyerarşik Kümeleme Analizi uygulanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında Meriç-Ergene Havzasında endüstri, tarım ve referans alan olarak belirlen üç farklı bölgede, 41 noktada 2 farklı dönemde toplam 82 numunede nem, pH, sıcaklık, TOK ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Aşağıdaki bölümlerde sonuçların değerlendirilmesi verilmiştir.

3.1. Nem, pH, Sıcaklık Değerleri

Yapılan çalışma sonucunda iki dönem içinde nem, sıcaklık ve pH değerleri belirlenmiş ve Çizelge 3.1’de verilmiştir. Yapılan nem ölçümleri sonuçlarına göre, kurak dönemde referans noktaları için ortalama nem değeri %66’lardadır. Yağışlı dönem için ise ortalama nem değeri %43 seviyelerindedir. Endüstriyel noktalar için ölçülen değerlere göre kurak dönemde ortalama nem değeri %63’tür. Yağışlı dönem için ise bu değer %64’tür. Tarım alanı noktalarında ortalama nem değeri %57, yağışlı dönem için ise bu değer %43’tür.

Çizelge 3.1 Numunelerin pH, sıcaklık ve nem değerleri

Bölge		I. Dönem			II. Dönem		
		pH	Sıcaklık (°C)	Nem (%)	pH	Sıcaklık (°C)	Nem (%)
RF-1	Çorlu Deresi Ramazan Dere	6,79	25	57,4	6,8	8	31,7
EY-1	Velimeşe, Çorlu Deresi	8	29	78,8	7	10	60,0
EY-2	Çorlu Deri OSB	8,5	28	65,2	7,2	10	80,2
EY-3	Unilever Algida, Ergene Deresi	7,5	26	76,6	7,3	10	49,8
EY-4	Vakıflar, Ergene Deresi	8,7	29	79,4	7,1	11	72,1
EY-5	Ballı Hoca, Ergene Deresi	8,6	28	77,5	7,2	11	68,2
EY-6	İnanlı, Ergene Deresi	9,6	28	78,8	6,9	11	66,6
EY-7	Sarılar, Çorlu Deresi	10,2	27	71,1	7,3	11	72,7
EY-8	Seyitler, Ergene	8,5	28	66,2	7,1	11	89,6
EY-9	Karamusul, Ergene	8,6	26	59,3	6,7	11	86,4
EY-10	Ovacık, Ergene	7,8	25	74,9	7,1	11	72,4
EY-11	Düğüncübaşı, Ergene	8,6	25	73,2	6,9	12	87,2
EY-12	Oklalı, Ergene	8,2	26	63,5	7,2	10	83,2
EY-13	Sinanlı, Ergene	8,1	27	62,0	7,1	10	85,8
EY-14	B. Mandıra, Ergene	7,95	26	37,8	7,3	10	22,1
EY-15	Kadriye, Ergene	7,8	26	61,2	7,3	11	71,5
EY-16	Akarca, Ergene	7,6	26	57,9	7,3	10	32,1
TY-1	Ergene, Anaçay Deresi	7,4	23	21,2	7,1	9	29,9
TY-2	Havsa Çayı, Hasköy	7,2	22	41,3	7,1	9	62,2
TY-3	Söğütlüdere	7	23	50,4	7	9	23,4
TY-4	Köydere, Oğulpaşa mevki	7,15	22	48,8	7,1	9	71,2
TY-5	Sazlıdere köyü	7	23	65,3	7,3	9	53,9
EY-17	Çiftlikköy, Uzunköprü	7,1	25	22,5	7,3	9	63,2
EY-18	Paşayenice, Uzunköprü	7	25	31,3	7,1	10	52,0
EY-19	Saatağacı	7	25	68,8	7,3	10	86,8
EY-20	Yenicegörece	7	24	54,7	7,3	11	36,5
EY-21	Adasarhanlı, Küçükaltıağaç	7	24	41,4	7,3	11	43,0
TY-6	Balabankoru, Anadere	7	24	55,6	7,3	11	47,9
TY-7	Türkobası	7	23	68,9	7,3	11	37,8
TY-8	Büyükyoncalı	6,9	23	75,2	7,2	9	25,8
RF-2	Çakıllı	7,2	20	74,1	7,5	8	52,3
TY-9	Karapürçek	6,5	23	36,1	7,6	10	29,2
TY-10	Pınarbaşı	6,8	22	57,7	7,4	9	44,0
TY-11	Sulucak çayı	7	22	75,0	7,4	10	54,1
TY-12	Cevizköy deresi	7	23	68,2	7	11	41,1
TY-13	Kaynarca mevki, Manastır deresi	7	23	62,5	7,2	11	50,5
RF-3	Çukurpınar, Büyükdere	7,1	20	68,4	7,3	11	45,5
TY-14	Üsküp mevki, Üsküp deresi	7	23	56,0	7,1	10	45,7
TY-15	Anaçay dere, Şeytan deresi	7	23	61,8	7,2	10	45,3
TY-16	Bakırca, Ergene	7,2	25	84,2	7,4	10	34,9
EY-22	Sinandede	7	24	81,2	7,1	12	45,9

3.2. Toplam Organik Karbon Sonuçları ve Değerlendirmesi

Nehir sedimentlerinde doğal olarak oluşan toplam organik karbon (TOK), bir dizi kimyasal, fiziksel ve biyolojik süreçte anahtar bir bileşendir. Organik asitler yoluyla doğal suların asitliğine, ışık Emilimi ve karbon metabolizması yoluyla biyolojik aktiviteye ve metallerin ve organik kirleticilerin kompleksleşmesi ve mobilizasyonu yoluyla su kimyasına önemli ölçüde katkıda bulunur. TOK'a neden olan bileşikler organik kompleksler oluşturarak besin kullanılabilirliğini etkileyebilir ve kirletici maddelerin çözünürlüğünü ve toksisitesini kontrol edebilir [79, 80].

Genel olarak TOK, çözülmüş ve partiküler organik karbon içerir. Çözülmüş organik karbonun, demir, bakır, alüminyum, çinko ve cıva gibi birçok toksik metal için güçlü bir kompleks yapıcı ajan olduğu bilinmektedir. Ayrıca minerallerin ayrışma oranını arttırabilir ve çözünürlüğü ve dolayısıyla birçok metal ve organik kirletici maddenin hareketliliğini ve taşınımını etkiler. Partiküler organik karbon da kirletici maddeleri nehirler boyunca taşımak için bir taşıyıcı görevi görebilir. Su kolonları ve sedimanlarındaki kirleticilerle ilişkili partiküler organik karbonun ayrışması nehir suyu kalitesinde önemli bir rol oynar [80, 81].

Doğal olarak oluşan TOK'un birincil kaynağı bitki materyalidir. Doğal koşullar altında ağaçların, çalılarının, otların ve diğer yerli bitkilerin yaprakları, gövdeleri ve kökleri su sistemlerine büyük miktarlarda organik kalıntıya neden olur. Bu kalıntılar toprak organizmaları tarafından ayrıştırılıp sindirildikçe, toprak yüzeyinde organik madde haline gelirler ve nehirlere sızma veya yüklenme yoluyla sedimentlerde birikirler. Hayvanlar genellikle TOK'un ikincil kaynakları olarak kabul edilir. Orijinal bitki dokularından beslenirken atık ürünlere katkıda bulunurlar ve kendi vücutları da yaşam döngüleri dolduğunda bir organik karbon kaynağı olarak görev yapar [80, 82]. Sedimentte ve yüzeysel sularda TOK miktarındaki artışların doğal olmayan nedenlerinin başında ise hayvansal atıklardaki artış ve bertarafı, tarım uygulamaları ve atıksu deşarjlarıdır. Arazi kullanımındaki değişiklikler TOK'un antropojenik kaynaklarına önemli katkı yapar. Sedimentte TOK, toksik organik maddeler, ağır metaller, mikrobiyal popülasyon ile birlikte belirli antropojenik faaliyetlerin göstergeleri olarak değerlendirilirler [23].

Doğal sularda, çözünmemiş askıda bulunan organik maddeler ile metaller arasında güçlü bir etkileşim vardır. Söz konusu ortamlarda organik maddeler metaller için toplayıcı görevi yaparak dip sedimanlarında birikmelerine neden olurlar. Bu nedenle sedimentlerdeki

organik madde içeriği sedimentin kirlilik derecesini belirleme de önemli rol oynamaktadır [83, 84]. Sedimentlerde organik madde birikimini birincil üretim ve oksijen gibi su kolonu koşulları, sedimentin geçirgenliği, sedimenti oluşturan malzemenin fiziksel ve mineralojik özellikleri gibi faktörler denetler [85]. Su kolonu ve sediment yüzeylerindeki organik maddeler ayrışma sırasında oksijen harcar ve bentik organizmalarda olumsuz etkilere neden olan H₂S ve metan oluşumu ile sonuçlanan anaerobik koşullar oluştururlar. Buna ek olarak ağır metaller organik madde ayrışması sırasında sediment üzerinde adsorbe olur ve daha sonraki aşamada pH ve redoks potansiyelindeki değişime bağlı olarak desorpsiyon, çözünme, yer değiştirme, hidroliz ya da mikrobiyal aktivite ile sedimentte ayrışır. Bu durum su kalitesinin bozunması ve akuatik ekosistemin olumsuz etkilenmesi ile sonuçlanır [86]. Sedimentlerde TOK miktarının mikroplastik miktarı ile ilişkili olduğu ile ilgili çalışmalar da bulunmaktadır [87].

Bu çalışma kapsamında iki dönem boyunca toplanan 82 sediment örneğinde ağır metal konsantrasyonlarının yanında TOK miktarları da tespit edilmiştir. Aşağıdaki bölümlerde elde edilen TOK sonuçlarının değerlendirilmesi ve ağır metal sonuçları ile karşılaştırması mevcuttur.

TOK Sonuçlarının Değerlendirilmesi

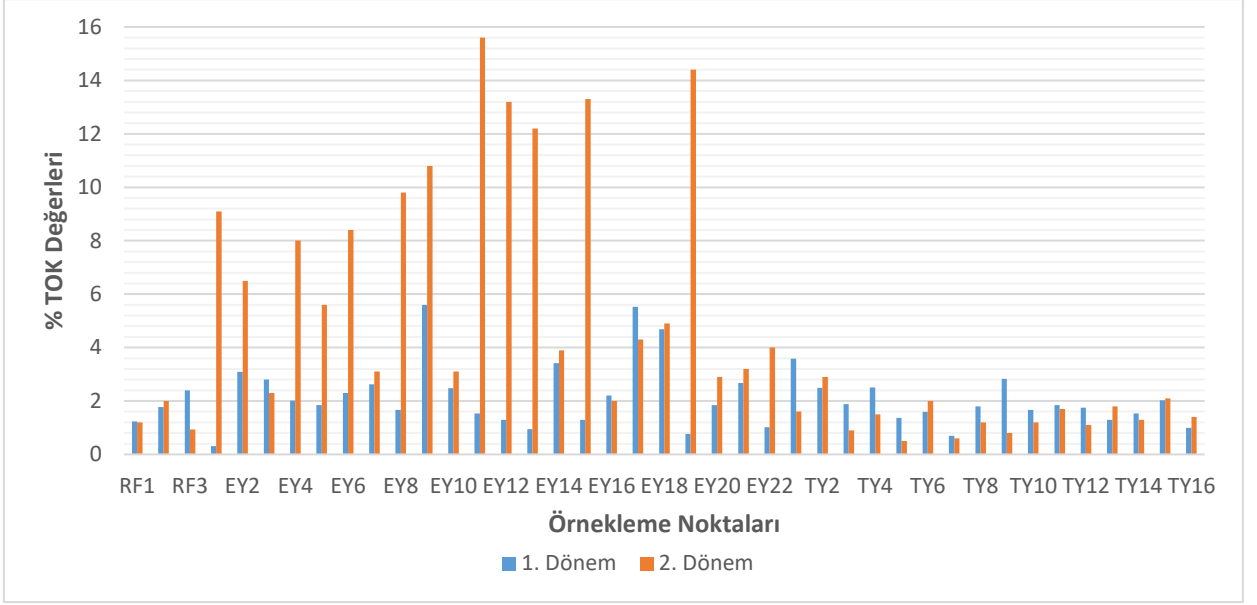
Çizelge 3.2 ve Şekil 3.1’de örnekleme noktalarında tespit edilen TOK sonuçları her bir örnekleme noktası için verilmiştir. Görüldüğü üzere 1. dönem ve 2. dönem 41’er noktada olmak üzere toplam 82 noktada yapılan TOK ölçümleri ortalamaları tüm istasyonlar için %0,7-8,6 arasında değişmektedir. Genel olarak ölçüm noktalarının çoğunda 2. dönem örnekleme sonuçları daha yüksek olarak elde edilmiştir. Şekil 3.1’de özellikle endüstri yoğun bölgeler için dönemler arası farkın yüksek olduğu ve genellikle 2. dönem örnekleme sonuçlarının daha yüksek olarak belirlendiği görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar kaynak dağılımına göre de değerlendirilmiştir. Referans, endüstri yoğun ve tarım yoğun bölgeler için ayrı ayrı olmak üzere TOK sonuçlarının ortalama maksimum ve minimum değerleri Çizelge 3.3’de verilmiştir. Çizelge 3.3’den görüldüğü üzere referans olarak belirlenen toplam 3 noktadan 2 dönem alınan toplam 6 örnekte ölçülen TOK değerleri %1,6±0,6; endüstri yoğun alanda iki dönem için toplam 44 örnekte ölçülen TOK değerleri 4,8±4,1 ve tarım yoğun alanda 1,6±0,7 olarak bulunmuştur. Referans alan ve tarım yoğun alanda ölçülen konsantrasyon değerleri birbirine oldukça yakındır. Ancak endüstri yoğun olarak belirlenen bölgelerde ölçülen TOK değerleri oldukça yüksektir ve kimi örneklerde %15’in üzerinde TOK değerlerine rastlanmıştır.

Ergene Nehri Meriç-Ergene Havzası'nda yer alan en önemli akarsudur ve Trakya'nın kuzey doğusunda Istranca Dağları'ndan doğmakta ve Ergene Deresi adıyla kuzeydoğu-güneybatı istikametinde akmaktadır. Daha sonra İnanlı köyü yakınlarında doğudan gelen Çorlu Çayı ile birleşerek Ergene Nehri adını almaktadır. TOK değerlerindeki değişimi incelemek için endüstri yoğun bölge olarak seçilen Ergene Nehri boyunca bir hat üzerinden alınan örneklerin ardışık konumları ve bu noktalarda ölçülen TOK değerlerinin iki dönem ortalaması Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekil 3.2'den de görüldüğü gibi Ergene Nehri ile birleşen büyük ve küçük çok sayıda dere bulunmaktadır. Nehir EY1'in ilk nokta olarak numaralandığı doğu- kuzeydoğu yönünden, EY-16 olarak belirlenen güneybatı yönüne doğru akmaktadır. Nehir ve nehir kolları drenaj alanlarında bulunan başta endüstriyel kaynaklar olmak üzere çok sayıda antropojenik kirlenici kaynaklarla kirlenmektedir. Nehir ana kolu boyunca alınan ardışık numunelerdeki TOK değerleri mabadan mansaba net bir artış göstermese de hem nehir boyunca mevcut endüstriyel tesislerin hem de küçük derelerin katılımının kimi noktalarda çok yüksek TOK sonuçlarına neden olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.2 Örnekleme noktalarında ölçülen TOK değerleri (%)

Örnekleme Noktası	1. Dönem TOK (%)	2. Dönem TOK (%)	Ortalama TOK (%)
RF1	1,24	1,2	1,2
RF2	1,77	2,0	1,9
RF3	2,40	0,9	1,7
EY1	0,31	9,1	4,7
EY2	3,09	6,5	4,8
EY3	2,80	2,3	2,6
EY4	2,01	8,0	5,0
EY5	1,84	5,6	3,7
EY6	2,30	8,4	5,4
EY7	2,62	3,1	2,9
EY8	1,67	9,8	5,7
EY9	5,60	10,8	8,2
EY10	2,48	3,1	2,8
EY11	1,53	15,6	8,6
EY12	1,30	13,2	7,3
EY13	0,95	12,2	6,6
EY14	3,41	3,9	3,7
EY15	1,30	13,3	7,3
EY16	2,21	2,0	2,1
EY17	5,52	4,3	4,9
EY18	4,68	4,9	4,8
EY19	0,77	14,4	7,6
EY20	1,84	2,9	2,4
EY21	2,67	3,2	2,9
EY22	1,02	4,0	2,5
TY1	3,58	1,6	2,6
TY2	2,49	2,9	2,7
TY3	1,88	0,9	1,4
TY4	2,50	1,5	2,0
TY5	1,37	0,5	0,9
TY6	1,59	2,0	1,8
TY7	0,70	0,6	0,7
TY8	1,80	1,2	1,5
TY9	2,83	0,8	1,8
TY10	1,66	1,2	1,4
TY11	1,85	1,7	1,8
TY12	1,75	1,1	1,4
TY13	1,29	1,8	1,5
TY14	1,53	1,3	1,4
TY15	2,02	2,1	2,1
TY16	1,00	1,4	1,2

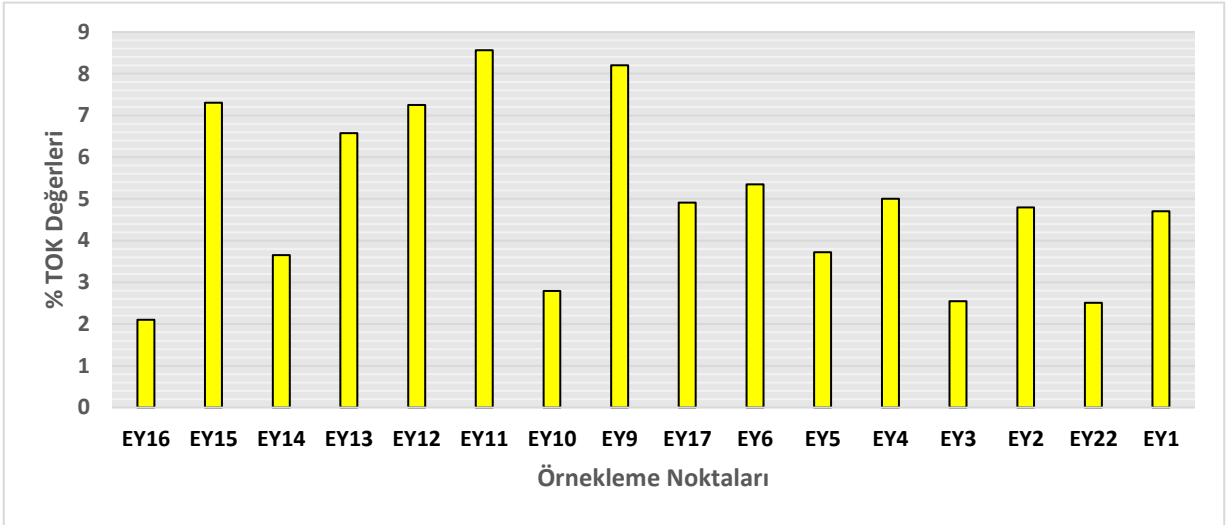
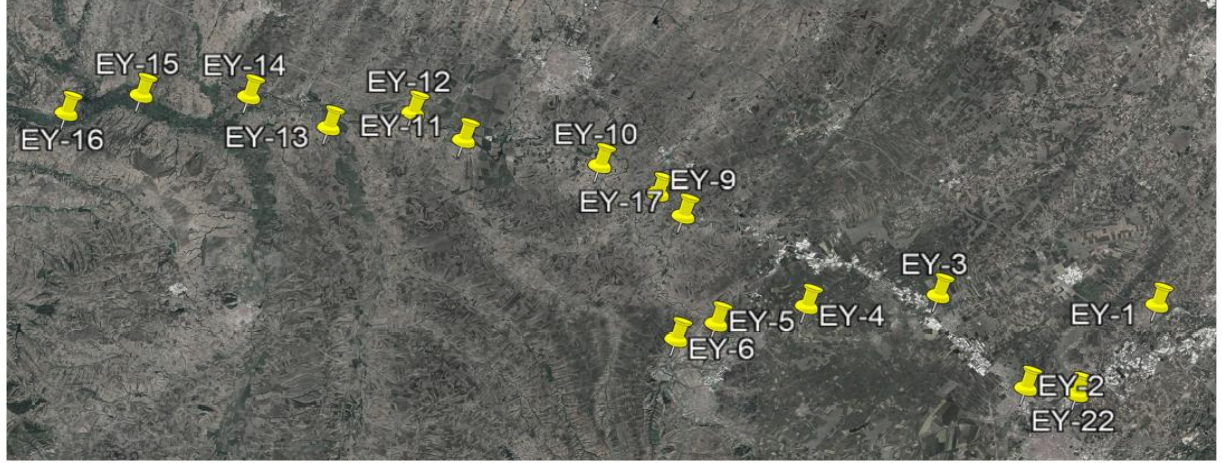


Şekil 3.1 Örneklem noktalarında ölçülen TOK değerleri (%)

Çizelge 3.3 Kaynak dağılıma göre TOK sonuçları (%)

Örneklem Alanı	Örnek sayısı	Maksimum (%)	Minimum (%)	Ortalama (%)	Standart Sapma
Referans bölge	6	2,4	0,9	1,6	0,6
Endüstri yoğun	44	15,6	0,3	4,8	4,1
Tarım yoğun	32	3,6	0,5	1,6	0,7

Çalışmadan elde edilen sonuçlar literatür verileri ile karşılaştırıldığında tarımsal alan ve referans olarak belirlenen, kirlenmenin az olduğu bölgeden alınan ölçümlerin literatürdeki değerler seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Örneğin Kore’de 14 nehir kolunda sediment örneklerinde yapılan bir çalışmada, ölçülen TOK konsantrasyonları %0,05–3,06 aralığında bulunmuştur [86]. Yine Kuzey Çin’de yapılan bir çalışmada nehir sedimentlerinden alınan örneklerde ortalama TOK aralığı %0,99-2,2 arasında tespit edilmiştir. Ankara Çayı sedimentleri için yapılan bir değerlendirme çalışmasında toplam 35 sediment örneğinde ortalama TOK değerleri %2,1 olarak bulunmuştur [83]. Feng vd. (1998), ABD, New York’taki Hudson Nehri sedimentlerindeki TOK içeriklerinin % 1,06 ile %2,73 arasında değiştiğini bildirmiştir [88]. Jia ve Peng (2003), Güney Çin’in Pearl River Haliç’indeki sediment TOK içeriğinin % 0,61 ila 1,54 arasında değiştiğini bulmuştur [92]. Bu değerler bu çalışmada tarım alanları ve referans noktalar için ölçülen %1,6 ortalama TOK değeri ile uyumludur.



Şekil 3.2 Ergene Nehri boyunca ölçülen TOK değerleri ve örnekleme noktalarının haritadaki yerleri

Bu çalışmada ölçülen endüstri yoğun bölgedeki sediment değerleri iki dönem için 0,3-15,6 aralığında değişmekte olup yukarıda verilen değerlerden daha yüksektir. Literatürde yüksek TOK içeriğine sahip nehir sedimentleri araştırılmıştır. Silliman ve Schelske (2003) tarafından Florida, ABD'deki Apopka Gölü üzerinde yapılan bir çalışma, sediment TOK içeriğinin %33 ila 37 arasında değiştiğini ve esas olarak birincil endüstriyel üretimin bu değere neden olduğu sonucuna varmışlardır [89]. Yapılan bir başka çalışmada ABD Florida'da, Sedir ve Ortega Nehirleri sedimentlerindeki ortalama TOC konsantrasyonları, %2,3 ile %22,6 arasında değişmiştir. Çin'in Haihe Nehrinde yapılan bir başka çalışmada sedimentte TOK miktarı ortalama %22,9 olarak bulunmuş ve oldukça kirlenmiş bu nehir yatağındaki TOK değerleri mikroplastik içeriği ile ilişkilendirilmiştir [88]. Yine Çin'de 30 göl sedimentinde yapılan bir başka çalışmada sonuçlar TOK değerlerinin %0,63 ile %10,83 aralığında değiştiğini göstermiştir. Hindistan Ganj Havzası'nda Hooghly Nehri'nde yapılan bir başka çalışmada ise ortalama TOK değerleri %3,24-38,62 olarak bulunmuş ve bu değer organik mikro kirleticiler

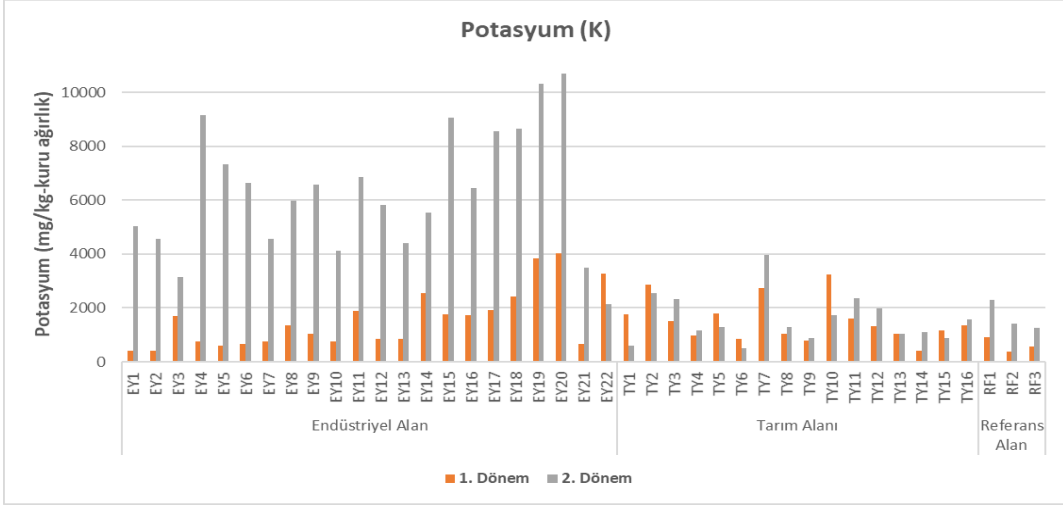
ile plastik ilaç ve kişisel bakım ürünlerinin yoğun olarak bulunduğu evsel atıksu akımları ile ilişkilendirilmiştir [90]. Mueller vd. (1982), Hudson Nehri'ne yapılan TOC girdisinin yaklaşık yarısının atık sulardan kaynaklandığını bildirmiştir [91]. Bu değerlendirmeler endüstri yoğun bölgede tespit edilen yüksek TOK içeriklerinin evsel ve endüstriyel atıksu akımlarının bir sonucu olduğunu göstermektedir.

3.3. Yarı Metal ve Eser Element Sonuçlarının Değerlendirilmesi

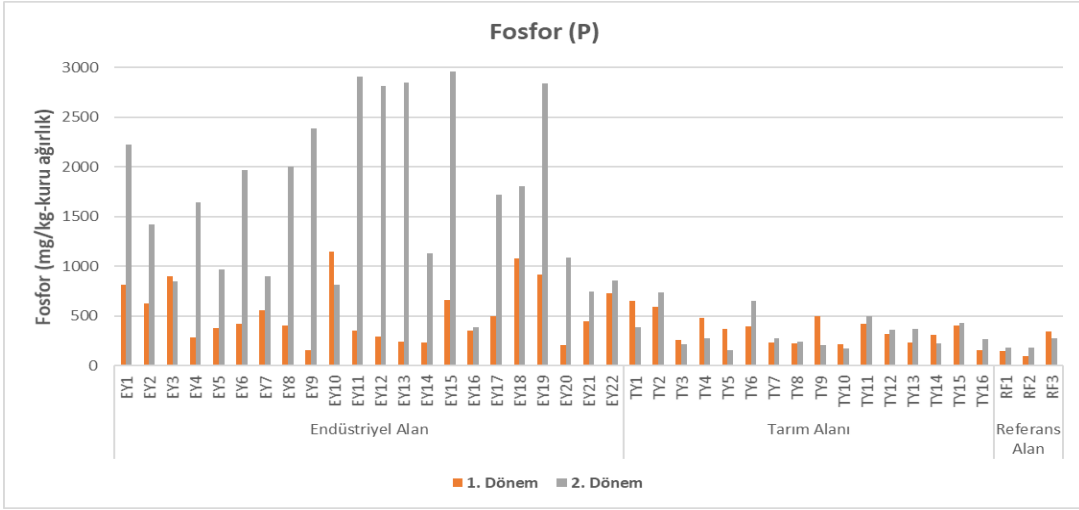
Çalışma kapsamında toplanan sediment numunelerinde ağır metallerin yanında bazı yarı metal ve eser elementleri analizi de gerçekleştirilmiştir. Bu elementler potasyum, fosfor, kükürt elementleridir.

Fosfor insan vücudunda kalsiyumdan sonra en fazla bulunan kimyasal elementtir. Simgesi P'dir. Kullanım alanları; inşaat malzemeleri, elektrikli ve elektronik ürünlerde, plastik ve kauçuk ürünlerde kullanılır. Kükürt, limon sarısında ametel, yalın katı cisimdir (simgesi S olan kimyasal bir elementtir) [59]. Kükürt doğada yaygın olarak bulunan bir elementtir, yer kürenin %0,06'sını oluşturur. Kükürtün kullanım alanları; tarımsal, dolgu malzemelerinde, yakıtlarda, petrol üretiminde kullanılır [59]. Potasyum yumuşak, gümüş-beyaz renkli alkali bir metaldir. Doğada deniz suyunda ve pek çok mineralde diğer elementlere bağlı olarak bulunur. Havada hızla oksitlenir ve suya karşı da çok aktiftir. Kullanım alanları; yapıştırıcılarda, renklendiricilerde, gübreleme va yakıtlardır [59].

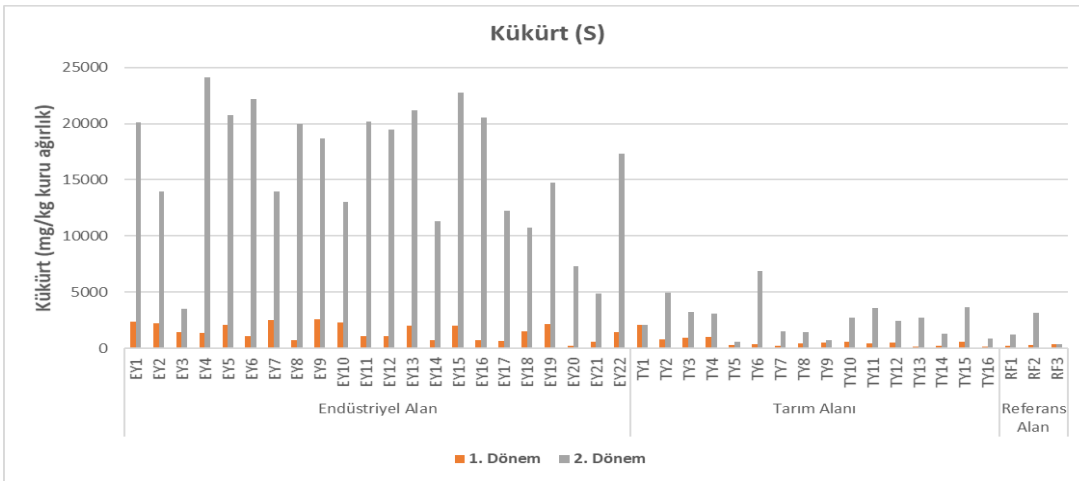
Şekil 3.3, 3.4 ve 3.5'de bu elementlerin 1. dönem ve 2. dönem analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 3.3'de her bir örnekleme noktasında iki dönem analiz sonuçlarına göre potasyum değerleri verilmiştir. Buna göre, EY-20 noktası her iki dönem için de potasyum açısından en yüksek nokta olduğu gözlemlenmiştir. Bunun dışında 2. dönemde genellikle potasyum miktarları önceki döneme göre daha yüksek bulunmuştur. Şekil 3.4'de fosfor değerleri verilmiştir. Buna göre, EY-15 noktası 2. dönem için en yüksek nokta olduğu tespit edilmiştir. 1. dönem için ise EY-10 fosfor açısından en yüksek belirlendiği noktadır. Şekil 3.5'de ise Kükürt değerleri verilmiştir. Buna göre, EY-4 noktası 2. dönem için en yüksek Kükürt oranının olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 3.4'de incelenen elementlerin istatistik değerleri verilmiştir.



Şekil 3.3 Potasyum'un 1. ve 2. dönem analiz sonuçları



Şekil 3.4 Fosfor'un 1. ve 2. dönem analiz sonuçları



Şekil 3.5 Kükürt'ün 1. ve 2. dönem analiz sonuçları

Çizelge 3.4 Potasyum, Fosfor ve Kükürt elementlerinin ortalama değerleri

	Endüstriyel Alan			
	Maksimum	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
Potasyum	7370,4	2068,3	3940,0	1485,8
Fosfor	1880,1	365,8	1112,3	427,0
Kükürt	12751,3	2445,5	8764,4	3070,6
	Tarım Alanı			
	Maksimum	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
Potasyum	3347,6	668,3	1552,7	763,3
Fosfor	664,4	195,8	350,1	134,3
Kükürt	3605,8	430,8	1586,8	890,8
	Referans Alan			
	Maksimum	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
Potasyum	1612,1	888,3	1138,5	410,4
Fosfor	305,8	138,0	201,2	91,2
Kükürt	1721,9	356,8	930,9	707,9

Tokatlı ve ark. yaptıkları çalışmada, 2009 – 2010 yılları arasında porsuk baraj göleti su, sedimentte bazı makro ve mikro element seviyelerini belirlemişlerdir [93]. Yapılan analizler sonucunda potasyum $1144,7 \pm 39,8$ mg/kg, kükürt $431,3 \pm 17,4$ mg/kg ve fosfor $38,8 \pm 0,7$ mg/kg olarak bulunmuştur. Köse ve ark. yaptıkları çalışmada, 2009 yılı içinde Gürleyik Çayı Kaynağı'ndan su ve sediment örnekleri alınarak bazı makro ve mikro element derişimlerinin belirlenmesini amaçlamışlardır [94]. Yapılan analizler sonucunda potasyum $1967,3 \pm 47,4$ mg/kg, kükürt $408,9 \pm 16$ mg/kg ve fosfor $55,3 \pm 2,9$ mg/kg bulunmuştur. Literatür sonuçları ile çalışma sonucunda belirlenen değerler karşılaştırıldığında, projedeki endüstriyel alandaki değerler literatürdeki sonuçlara göre daha yüksektir. Tarım ve referans alanı için potasyum elementinin değeri literatürdeki değerlere oranla bir miktar düşüktür. Ancak fosfor ve kükürt elementlerinin değerleri literatürdeki sonuçlarla karşılaştırıldığında daha yüksek seviyede çıkmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, endüstriyel alanda eser elementlerin ortalama değerleri karşılaştırıldığında; S>K>P, tarım alanında; S>K>P, referans alanda ise K>S>P şeklindedir.

3.4. Ağır Metal Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında bor, kadmiyum, kobalt, krom, bakır, demir, magnezyum, mangan, nikel, kurşun ve çinko olmak üzere 11 tür ağır metal analizi kirlilik kaynaklarına göre ayrılmış üç bölgede, 41 noktada iki dönem olmak üzere gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.6 ile 3.16 arasındaki şekillerde ölçülen ağır metallerin iki dönem sonuçları verilmiştir. Çizelge 3.5'de tüm ağır metal sonuçları için örnekleme alanlarına bağlı olarak tanımlayıcı istatistik değerleri verilmiştir.

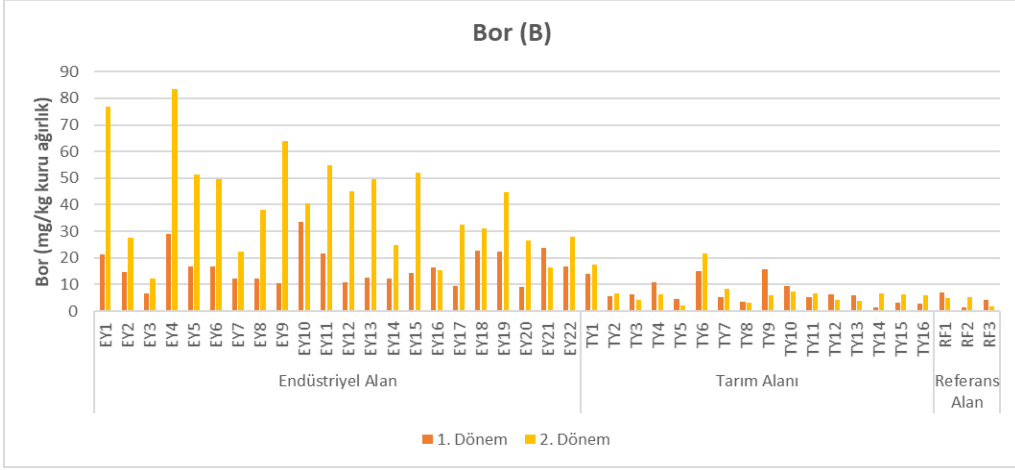
Bor sonuçları için TY9 dışında tüm noktalarda 2. dönem sonuçları daha yüksektir ve endüstriyel bölgelerde belirgin bir artış vardır (ortalama 28,5 mg/kg). Kadmiyum sonuçlarına

bakıldığında genel olarak 2. dönem sonuçları daha yüksek seviyede olmakla birlikte, EY-19, EY-21, TY-9, TY-11, TY-14, TY-15 ve RF-3 noktalarında 1.dönem sonuçları 2. döneme göre daha yüksektir. Kadmiyum için de endüstri bölgeleri için tespit edilen sonuçlar (ortalama 9,1 mg/kg), tarım ve referans bölgelerdekine (sırasıyla ortalama 6 ve 4,9 mg/kg) göre daha yüksek seviyededir. Kobalt elementi de 2. dönem için daha yüksek seviyelerdedir. Genel olarak yüksek sonuçlar tespit edilmiş olmakla birlikte TY1-2-3-4-5-13-14 ve RF 2-3 noktalarında daha düşük seviyeler tespit edilmiştir.

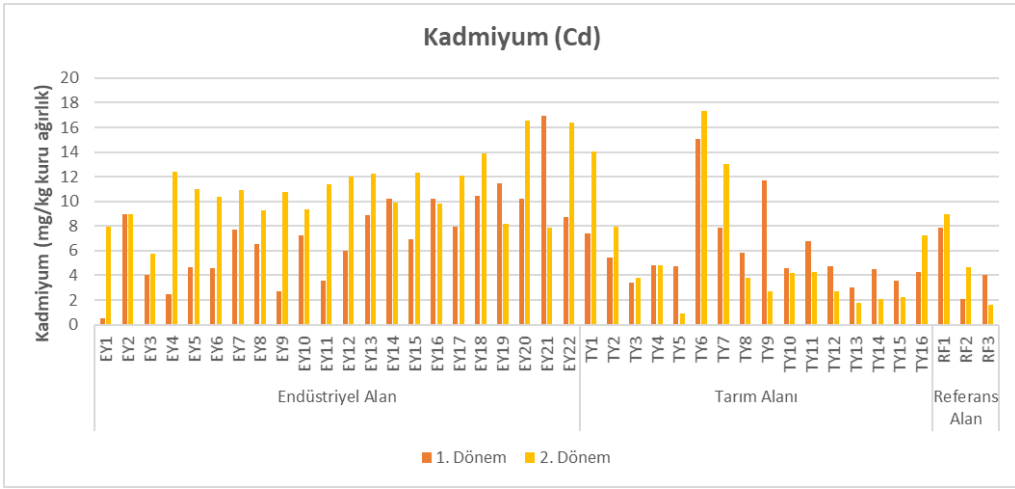
Krom sonuçları için örnekleme noktaları arasında farklılıklar bulunmaktadır. Tüm numuneler için EY-6 ile EY-21 arasındaki ardışık noktalar özellikle 2. dönem için 500-600 mg/kg arasında değişirken diğer noktalar için 100 mg/kg seviyesinin altında tespit edilmiştir. Endüstriyel, tarım ve referans alanda krom sonuçlarının ortalama değerleri sırasıyla 369,7; 52,8 ve 33,1 mg/kg'dır. Bakır için tespit edilen değerlere bakıldığında özellikle 2. dönem için EY20-21-22 dahil olmak üzere tüm tarım ve referans alanlarında tespit edilen değerler 50 mg/kg seviyesinin altında iken diğer noktalar 100 mg/kg seviyesinin üzerindedir.

Demir sonuçları için tüm noktalarda benzer seviyeler elde edilmiştir. Diğer metal türlerinden farklı olarak demir için iki dönem arasındaki fark da düşük seviyelerdedir. Magnezyum için de demire benzer bir durum söz konusudur. Ancak magnezyum özellikle tarım alanlarında bir miktar daha düşük seviyelerdedir ve RF3 bölgesinde 1. dönem için yükselen değerler dikkat çekicidir. Mangan değerleri için genel olarak endüstri bölgelerinde benzer seviyeler belirlenmiş (400-500 mg/kg) tarımsal alanın bazı noktalarında değerlerde artış gözlenmiştir. Örnekleme dönemleri arasındaki fark yüksek seviyelerde değildir.

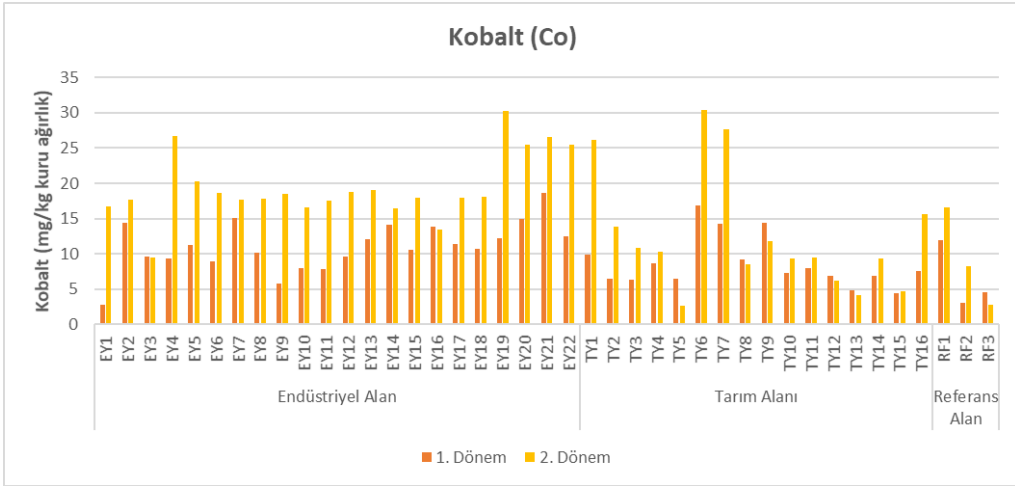
Nikel sonuçları incelendiğinde tüm noktalar için 2. dönem sonuçlarının özellikle endüstriyel noktalarda belirgin seviyede arttığı belirlenmiştir. Endüstriyel noktalarda ortalama 90 mg/kg seviyelerinde olan nikel konsantrasyonları tarım alanlarında ortalama olarak bu değer yarısı seviyelerindedir. Örnekleme noktaları arasında en belirgin farkların nikel için tespit edildiği söylenebilir. Kurşun sonuçları nikel sonuçları ile benzer trend göstermiştir. Endüstriyel alanlarda ölçülen değerler belirgin olarak yüksektir (ortalama 28,7 mg/kg). Tarım alanlarında kurşun seviyeleri ortalama 12,3 mg/kg, referans alanda ise ortalama olarak daha yüksek olarak (19,2 mg/kg) olarak belirlenmiştir. Referans alanda özellikle RF1 alanında kurşun değerlerinde önemli artış tespit edilmiştir. Çinko sonuçları için endüstriyel alanda ve özellikle 2. dönemde oldukça yüksek seviyeler belirlenmiştir (221,6 mg/kg). Tarım alanlarında ortalama çinko değerleri 36 mg/kg ve referans alanda 25,9 mg/kg seviyelerindedir.



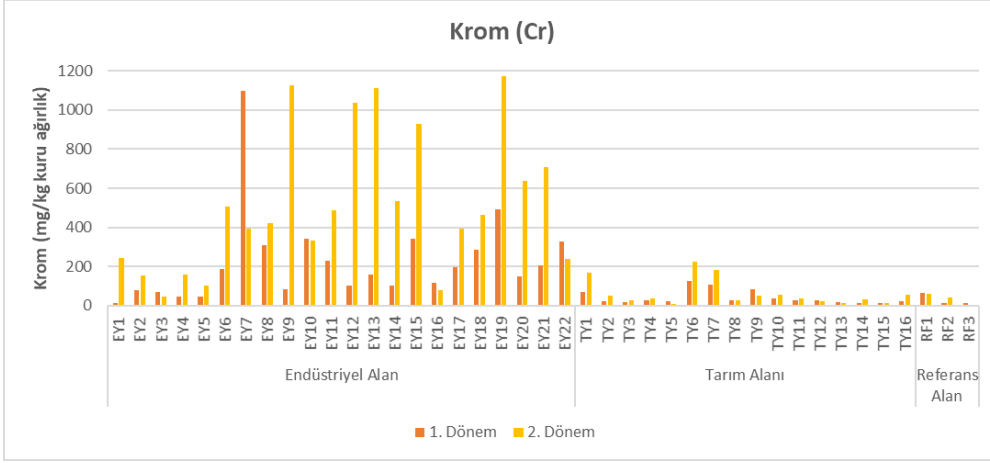
Şekil 3.6 Örnekleme noktalarında Bor analizi sonuçları



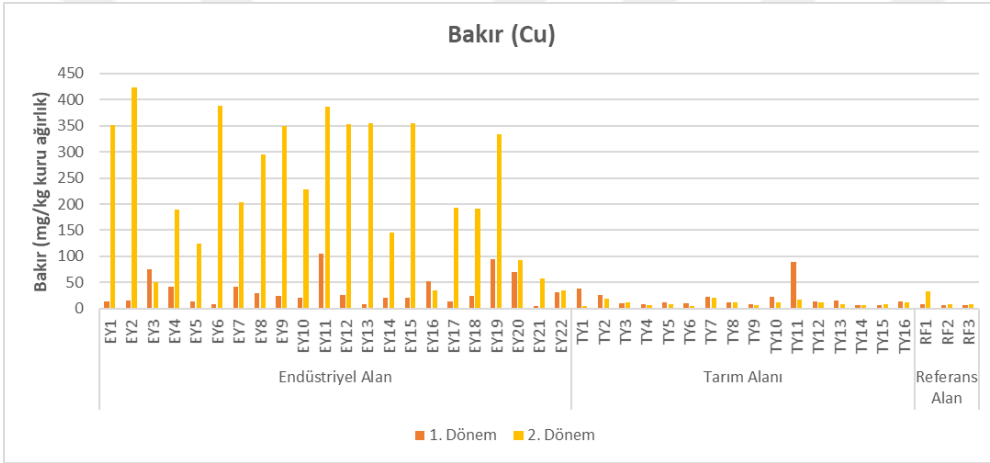
Şekil 3.7 Örnekleme noktalarında Kadmiyum analizi sonuçları



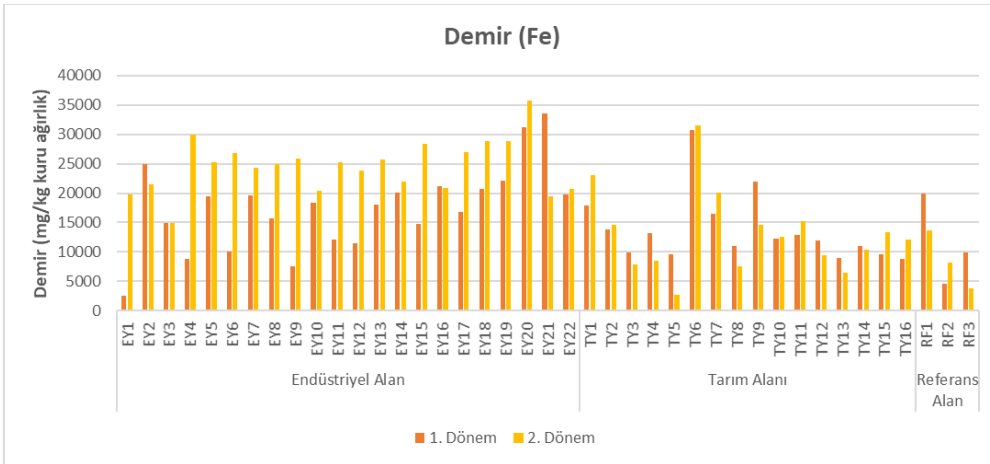
Şekil 3.8 Örnekleme noktalarında Kobalt analizi sonuçları



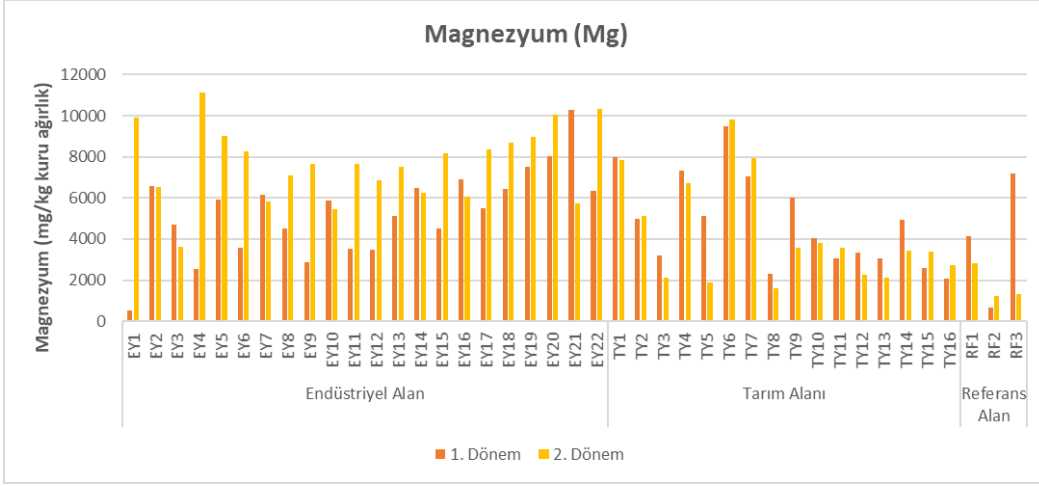
Şekil 3.9 Örnekleme noktalarında Krom analizi sonuçları



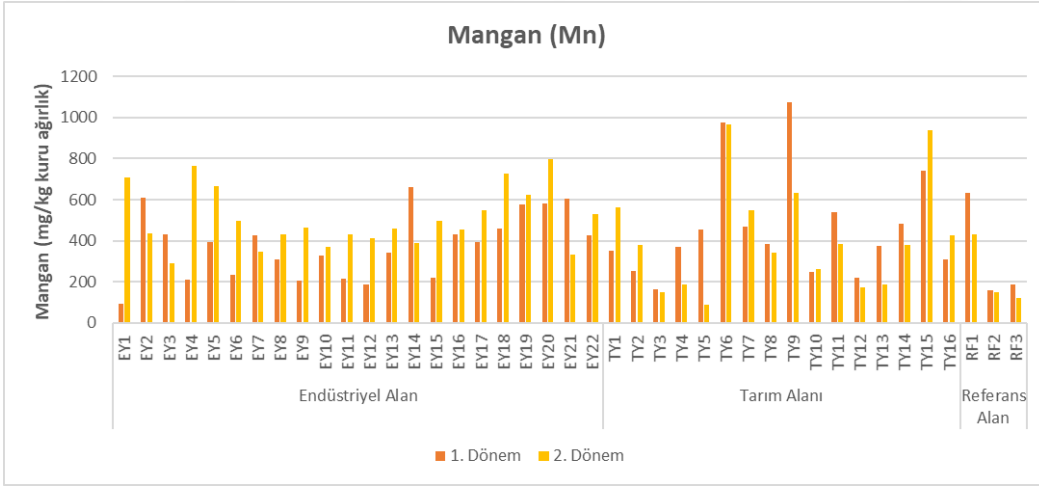
Şekil 3.10 Örnekleme noktalarında Bakır analizi sonuçları



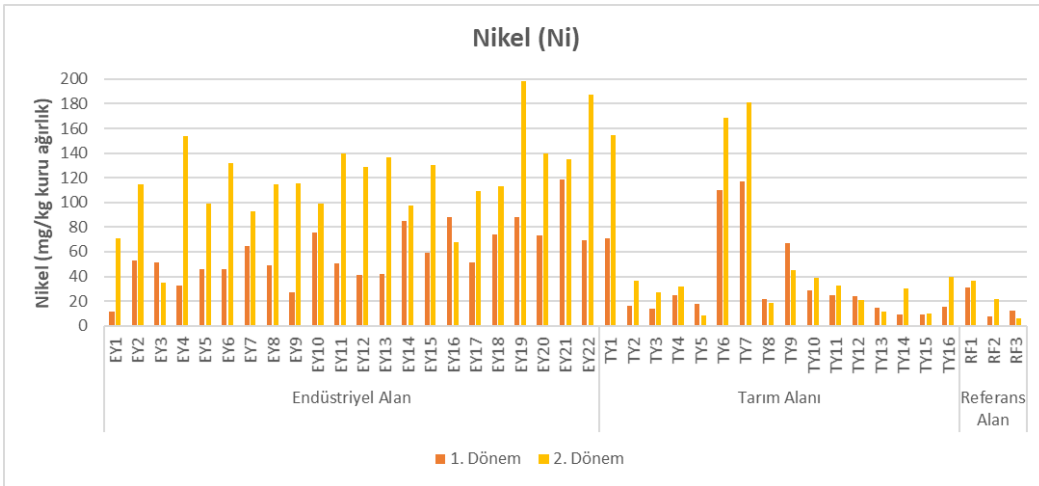
Şekil 3.11 Örnekleme noktalarında Demir analizi sonuçları



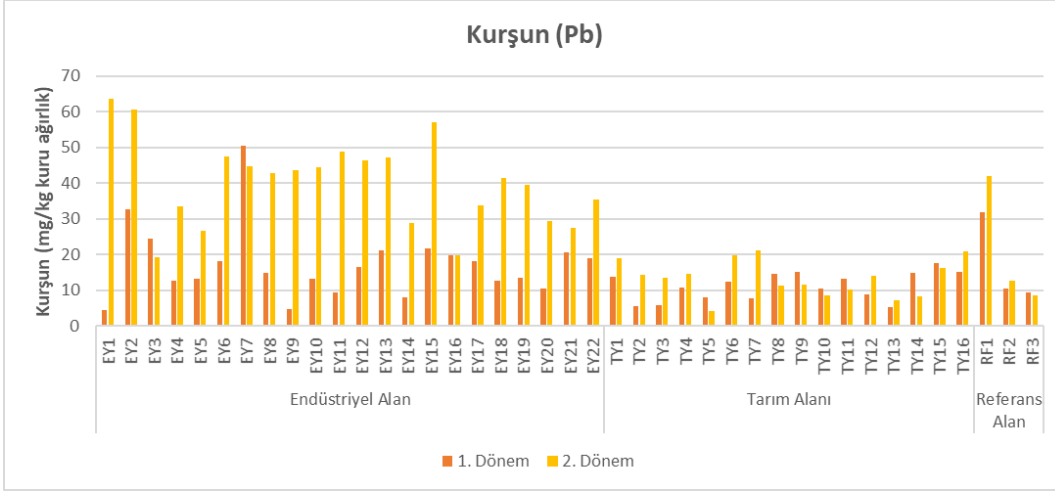
Şekil 3.12 Örnekleme noktalarında Magnezyum analizi sonuçları



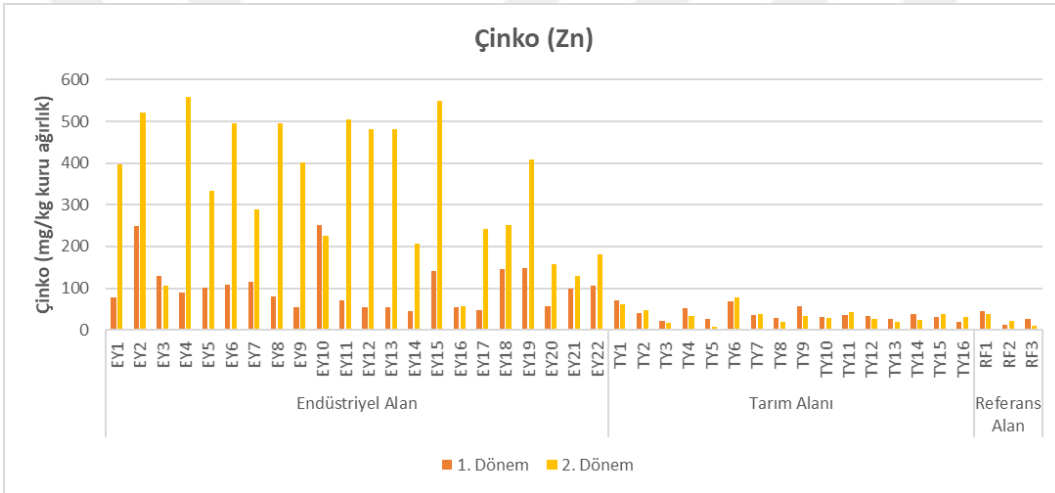
Şekil 3.13 Örnekleme noktalarında Mangan analizi sonuçları



Şekil 3.14 Örnekleme noktalarında Nikel analizi sonuçları



Şekil 3.15 Örnekleme noktalarında Kurşun analizi sonuçları



Şekil 3.16 Örnekleme noktalarında Çinko analizi sonuçları

Çizelge 3.5 Ağır metal sonuçları için örnekleme alanlarına bağlı olarak tanımlayıcı istatistik değerleri

Parametre	Endüstriyel Alan				Tarım Alanı				Referans Alan			
	Maks.	Min.	Ort.	Std. Sap.	Maks.	Min.	Ort.	Std. Sap.	Maks.	Min.	Ort.	Std. Sap.
Bor	56,2	9,4	28,5	11,2	18,2	3,2	7,2	4,4	5,9	3,0	4,1	1,6
Kadmiyum	13,4	4,2	9,1	2,3	16,2	2,4	6,0	3,7	8,4	2,8	4,9	3,1
Kobalt	22,6	9,5	15,2	3,4	23,6	4,4	10,6	5,7	14,2	3,7	7,9	5,6
Krom	834,0	57,4	369,7	225,7	175,6	14,9	52,8	49,3	63,4	9,0	33,1	27,7
Bakır	245,7	31,1	133,8	65,6	53,1	6,7	15,2	11,4	21,1	7,4	12,1	7,7
Demir	33459,9	11176,4	20993,7	4431,4	31089,5	6143,9	13452,9	6155,6	16802,1	6375,7	10030,8	5870,3
Magnezyum	9042,1	4167,9	6510,9	1204,6	9626,0	1955,4	4513,9	2305,6	4246,5	933,2	2885,6	1734,1
Mangan	689,8	299,2	443,5	102,5	969,1	156,3	438,4	244,0	532,2	153,2	280,1	218,3
Nikel	143,2	41,1	88,8	23,6	149,2	9,6	45,0	45,8	33,5	9,0	19,0	12,8
Kurşun	47,7	18,5	28,7	8,0	18,0	6,2	12,3	3,5	37,0	9,0	19,2	15,5
Çinko	385,6	56,3	221,6	87,6	72,9	16,6	36,0	15,6	41,8	17,3	25,9	13,8

Ölçüm sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde neredeyse tüm ağır metal türleri için tüm noktalarda 2. dönem sonuçları daha yüksek seviyelerde elde edilmiştir. Endüstriyel bölgeler için ölçülen sonuçlar diğer noktalara göre daha yüksek seviyelerdedir.

Çizelge 3.5'e göre ağır metal türleri ortalama değerlerinin sıralaması şu şekildedir:

Endüstriyel alan için:

Mg(6511±1205mg/kg)>Fe(20993±4431,4mg/kg)>Mn(443,5±102,5 mg/kg)>Cr(369,7±225,7mg/kg)>Zn(221,6±87,6mg/kg)>Cu(133,8±65,6mg/kg)>Ni(88,8±23,6 mg/kg)>B(28,5±11,2mg/kg)>Pb(28,7±8,0mg/kg)>Co(15,2±3,4mg/kg)>Cd(9,1±2,3mg/kg),

Tarım alan için:

Fe(13452,9±6155,6mg/kg)>Mg(4513,9±2305,6mg/kg)>Mn(483,4±244,0mg/kg)>Cr(52,8±49,3mg/kg)>Ni(45,0±45,8mg/kg)>Zn(36,0±15,6mg/kg)>Cu(15,2±11,4mg/kg)>Pb(12,3±3,5mg/kg)>Co(10,6±5,7mg/kg)>B(7,2±4,4mg/kg)>Cd(6,0±3,7mg/kg)

Referans alan için:

Fe(10030,8±5870,3mg/kg)>Mg(2885,6±1734,1mg/kg)>Mn(280,1±218,3mg/kg)>Cr(33,1±27,7mg/kg)>Zn(25,9±13,8mg/kg)>Pb(19,2±15,5mg/kg)>Ni(19,0±12,8mg/kg)>Cu(12,1±7,7mg/kg)>Co(7,9±5,6mg/kg)>Cd(4,9±3,1mg/kg)>B(4,1±1,6mg/kg)

Çalışmadan elde edilen değerlerin seçilmiş literatür verileri ile karşılaştırılması Çizelge 3.6'da verilmiştir. Karşılaştırmaya göre tarımsal ve referans alan olarak belirlenen bölgelerde genel olarak ağır metal sonuçları literatürdeki değerlere benzer seviyededir. Kore'de 14 nehir kolunda sediment örneklemeinde, ölçülen ağır metal değerleri, bu çalışmada tespit edilen tarım ve referans alanlardaki izleme sonuçlarıyla benzer seviyededir ve Cd ve Pb'nin yüksek konsantrasyonları tarım ve madencilik ile ilişkilendirilmiştir [72]. Berdan Çayı'nda sediment örneklemeinde tespit edilen ağır metal sonuçları ve İslam ve ark. tarafından Bangladeş'de 60 numunede yapılan ölçüm sonuçları yine bu çalışmanın tarım ve referans alan sonuçları ile benzerlik göstermiştir [36, 29]. Bir başka çalışmada İran'da 36 numune ile yapılan sediment örneklemeinde analizler sonucu tespit edilen çinko, bakır, kurşun ve kadmiyum değerleri bu çalışmadaki tarım alanı için ölçülen değerlere oldukça yakındır [34]. Ancak bazı literatür çalışmasında elde edilen sonuçlar bu çalışmaya göre çok daha düşüktür. Örneğin Akçay ve arkadaşları tarafından Büyük Menderes de 120 numune ile yapılan çalışmada, ağır metal ölçümleri 0,65 ile 0,005 ppm arasında değişmiştir ve bu çalışma sonuçlarına göre düşük seviyededir [11].

Bu çalışmada endüstri yoğun bölgede ölçülen ağır metal değerlerinin literatürdeki sonuçlara göre genel olarak daha yüksek seviyelerde olduğu söylenebilir. Zhao ve ark. Çin'de 36 numune ile yapılan sediment örneklemeinde bakır elementi dışında diğer ölçülen ağır metal değerleri çalışma sonucuna yakın değerlerdedir [24]. Bakır elementi Çin'de yapılan çalışmada 4,46–150,89 mg/kg iken çalışma sonucundaki değer ise 31,1- 245,7 mg/kg'dır. Çin'de yapılan çalışma sonucu Cd, Pb, Cr ve Zn'nin ağırlıklı olarak antropojenik kaynaklardan, Cu, As ve Hg'nin litojenik kaynaklardan olduğunu göstermiştir. Ancak bazı literatür çalışmalarında elde edilen sonuçlar bu çalışma sonucuna göre daha yüksek seviyelerdedir. Örneğin Türkmen ve Aras'ın İskenderun Körfezi sedimentlerinde yaptıkları çalışmada demir, kobalt, krom, mangan ve nikel değerleri bu çalışma sonucundaki değerlerden yüksektir [15].

Çizelge 3.6 Literatür Sonuçları

Literatür	Örnekleme Yeri	Numune Sayısı	Sonuç
Akçay vd. , 2003, [11]	Büyük Menderes ve Gediz Nehri	120 numune	BM Nehri; Fe (0.65ppm)>Mn(0.09ppm)>Zn(0.056 ppm)>Pb(0.022 ppm)>Cu(0.012 ppm)>Cr(0.011 ppm)>Ni(0.01 ppm)>Co(0.005 ppm) Gediz Nehri; Fe (1.20 ppm)>Zn(0.08 ppm)>Mn(0.053 ppm) > Pb(0.048 ppm)>Cr(0.02 ppm)>Cu(0.013 ppm)>Ni(0.013 ppm)>Co(0.007 ppm)
Kadhun vd., 2015, [22]	Malezya, Langat Nehri	27 sediment numunesi	Sn(114.27 µg g ⁻¹)>Cr(21.03 µg g ⁻¹)>Ni(7.84 µg g ⁻¹)>Cd(0.59 µg g ⁻¹)
Zhao vd. , 2015, [24]	Hainan Adası nehirleri, Çin	36 numune	Zn (22.11–199.11 mg/kg)>Pb(15.33–69.32 mg/kg)>Cr(6.64–104.95 mg/kg)>Cu(4.46–150.89 mg/kg)>As(1.80–36.87 mg/kg)>Cd(0.09–0.70 mg/kg)>Hg(0.01–0.58 mg/kg)
Bhuyan vd. , 2017, [25]	Meghna Nehri, Bangladeş	24 numune	Fe(737-2385 mg/kg)>Pb(2.355–26.086 mg/kg)>Cr(1.27–6.81 mg/kg)>Co(0.86- 0.20 mg/kg)>Cd(0.53 mg/kg) (Bu çalışmada, Mn, Ni, Zn, Cu ve Al konsantrasyonları limitin altında çıkmıştır)
Özbay vd, 2013, [36]	Berdan Çayı (Tarsus - Mersin)	6 istasyon	Fe(18521,91 µg/g)> Al(12907,70 µg/g),>Mn(377,40 µg/g)> Ni(167,68 µg/g)> Cr(57,81 µg/g)>Zn(45,59 µg/g)> Cu(28,38 µg/g)> Pb(22,82 µg/g) >Cd(4,54 µg/g)
Mohammad Ali vd. , 2016, [28]	Karnaphuli Nehri, Bangladeş	40 numune	Suda Cr> As> Pb> Cd ve Cr> Pb> As> Cd tortusunda metallerin azalma eğilimi gözlenmiştir. Sudaki ağır metal aralıkları 13.31–53.87, 46.09–112.43, 2.54–18.34 ve 5.29–27.45 g / L ve sedimanlar için 11.56–35.48, 37.23–160.32, 0.63–3.56 ve 21.98–73.42 mg / kg . As, Cr, Cd ve Pb.
Islam vd, 2018, [29]	Feni Nehri, Bangladeş	60 numune	Mn (37.85 µg g ⁻¹) > Cr (35.28 µg g ⁻¹) > Ni (33.27 µg g ⁻¹) > Co (31.02 µg g ⁻¹) > Pb (6.47 µg g ⁻¹) > Ag (1.09 µg g ⁻¹) > As (0.85 µg g ⁻¹) > Hg (0.71 µg g ⁻¹)
Hedayatzadeh vd. , 2020, [34]	Karun, Ahvaz, İran	36 numune	Yaz ayı;Zn(72.36 mg/kg dw)>Cr(53.47 mg/kg dw)>Pb(26.27 mg/kg dw)>Cd(3.85 mg/kg dw) Kış ayı;Zn(59.54 mg/kg dw)>Cr(30.28 mg/kg dw)>Pb(13.41 mg/kg dw)>Cd(0.42 mg/kg dw)
Üçüncü, 2016, [30]	Konya, Beyşehir Gölü	18 numune	1. istasyon; Al(113560±2.355 µg/g)>Fe(96668±161 µg/g)>Mn(1931±301 µg/g)>Cr(335±49 µg/g)>Ni(303±31 µg/g)>Zn(221±4 µg/g)>Cu(92±68 µg/g)>As(limit altı)>Pb(limit altı) 2. istasyon; Fe(119686±14.666 µg/g)>Al(104767±7.501 µg/g)>Mn(2632±826 µg/g)>Ni(708±256 µg/g)>Zn(289±6 µg/g)>As(137±12 µg/g)>Cu(104±74 µg/g)>Cr(limit altı)>Pb 3. istasyon; Al(90065±32 µg/g)>Fe(58425±270 µg/g)>Mn(1242±178 µg/g)>Cr(283±215 µg/g)>Zn(88±65 µg/g)>Ni(60±86 µg/g)>Cu(limit altı)>As(limit altı)>Pb(limit altı)
Kalyoncu vd, 2016, [32]	Isparta Deresi	36 numune	1.istasyon; Fe(778.86±438.03 ppb)>Mn(92.59±19.06 ppb)>Se(60.64±23.93 ppb)>Ni(27.21±19.14 ppb)>Cu(23.03±11.59 ppb)>Zn(21.63±15.16 ppb)>Pb(20.90±5.21 ppb)>Mo(11.53±2.18 ppb)>Cr(4.50±4.04 ppb)>Cd(0.89±0.21 ppb) 2.istasyon; Fe(728.43±413.83 ppb)>Se(64.87±10.23 ppb)>Mn(33.18±36.34 ppb)>Pb(16.06±4.98 ppb)>Ni(13.10±3.14 ppb)>Mo(7.75±5.77 ppb)>Cd(1.01±0.24 ppb)>Cr(0.10±0.05 ppb)>Cu(limit altında)>Zn(limit altında) 3.istasyon; Fe(550.61±190.18 ppb)>Mn(77.24±26.82 ppb)>Se(50.95±15.81 ppb)>Zn(25.49±22.98 ppb)>Ni(19.22±9.99 ppb)>Pb(17.99±2.06 ppb)>Cu(13.15±1.19 ppb)>Mo(9.42±1.90 ppb)>Cr(3.20±3.56 ppb)>Cd(0.73±0.54 ppb)
Yang vd., 2020, [72]	Kore	14 noktada	Pb(44.92±44.48 mg/kg)>Cr(35.70±26.36 mg/kg)>Cu(21.37±24.64 mg/kg)> Ni(14.48±11.33 mg/kg)>As(7.64±7.90 mg/kg)>Cd(0.23±0.27 mg/kg)>Hg(0.09±0.08 mg/kg)
Zhuang vd., 2018, [73]	Güney Çin	54 numune	V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Cd, Sn, Sb, Tl, Pb ve Mn: 11.837-35.373, 4.322–18.122, 0.493–6.020, 1.169–4.610, 1.792–14.593, 17.182–111.131, 1.224–12.804, 16.535–112.825, 0.028–0.123, 7.652–39.994, 0.173–0.339, 0.122–0.343, 8.719–74.180 ve 93.301–832.840 mg/kg,
Bu çalışma	Meriç-Ergene Havzası	82 numune	Endüstriyel alan için: Mg(6511±1205mg/kg)>Fe(20993±4431,4mg/kg)>Mn(443,5±102,5mg/kg)>Cr(369,7±225,7mg/kg)>Zn(221,6±87,6mg/kg)>Cu(133,8±65,6mg/kg)>Ni(88,8±23,6 mg/kg)>B(28,5±11,2mg/kg)>Pb(28,7±8,0mg/kg)>Co(15,2±3,4mg/kg)>Cd(9,1±2,3mg/kg), Tarım alanı için: Fe(13452,9±6155,6mg/kg)>Mg(4513,9±2305,6mg/kg)>Mn(483,4±244,0mg/kg)>Cr(52,8±49,3mg/kg)>Ni(45,0±45,8mg/kg)>Zn(36,0±15,6mg/kg)>Cu(15,2±11,4mg/kg)>Pb(12,3 ±3,5mg/kg)>Co(10,6±5,7mg/kg)>B(7,2±4,4mg/kg)>Cd(6,0±3,7mg/kg) Referans alan için: Fe(10030,8±5870,3mg/kg)>Mg(2885,6±1734,1mg/kg)>Mn(280,1±218,3mg/kg)>Cr(33,1±27,7mg/kg)>Zn(25,9±13,8mg/kg)>Pb(19,2±15,5mg/kg)>N(19,0±12,8mg/kg)i>Cu(12,1 ±7,7mg/kg)>Co(7,9±5,6mg/kg)>Cd(4,9±3,1mg/kg)>B(4,1±1,6mg/kg)

3.5. Ağır Metal ve TOK Sonuçlarının Korelasyonu

Çizelge 3.7’de ağır metal ve TOK sonuçlarının korelasyonu verilmiştir. Korelasyon analizi SPSS Statistic 26 programında yapılmıştır. Korelasyon analizinde “Bivariate-Pearson’s korelasyon” kullanılmıştır.

Çizelge 3.7 Ağır metal ve TOK sonuçlarının korelasyon değerleri

	TOK	B	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Zn
TOK	1	0,450**	0,508**	0,389*	0,540**	0,386*	0,464**	0,452**	0,031	0,478**	0,372*	0,441**
B		1	0,383*	0,465**	0,565**	0,788**	0,490**	0,519**	0,129	0,555**	0,606**	0,862**
Cd			1	0,920**	0,551**	0,275	0,928**	0,849**	0,564**	0,888**	0,458**	0,368*
Co				1	0,547**	0,316*	0,893**	0,853**	0,546**	0,931**	0,469**	0,431**
Cr					1	0,716**	0,601**	0,494**	0,099	0,636**	0,654**	0,663**
Cu						1	0,414**	0,328*	0,026	0,447**	0,761**	0,929**
Fe							1	0,861**	0,627**	0,856**	0,521**	0,506**
Mg								1	0,506**	0,868**	0,371*	0,448**
Mn									1	0,453**	0,142	0,062
Ni										1	0,465**	0,529**
Pb											1	0,802**
Zn												1

** : 0,01 güven seviyesinde korelasyon önemlidir.

* : 0,05 güven seviyesinde korelasyon önemlidir.

Çizelgeden görüldüğü üzere ağır metallerin birbiri ile korelasyonu oldukça yüksek seviyedir. Mangane dışında neredeyse tüm elementler birbiriyle yüksek pozitif korelasyon verdiği görülmektedir. Cd için sayılan metallerle korelasyonu 0,92-0,34 aralığında olup en yüksek korelasyon Co ve Ni ile olmuştur. Co için korelasyon aralığı 0,43-0,93 olup kobalt nikel ile 0,9’un üzerinde korelasyona sahiptir. Cr’un tüm metallerle korelasyon değer aralığı 0,6 civarındadır ve birbirine yakın değerlerdedir. Ni için korelasyonlar 0,93-0,47 arasındadır ve Cd ve Co ile yüksek korelasyon değerleri vardır. Pb’un, Zn hariç tüm metallerle korelasyonu 0,46 civarındadır ancak Zn ile 0,8 seviyesinde yüksek korelasyon değerine sahiptir. Genel olarak en yüksek korelasyon değerleri Cd-Co; Ni-Cd; Ni-Co ve Pb-Zn arasındadır.

TOK sonuçlarının ağır metal türleri ile korelasyon aralığı Mn hariç 0,38-0,54 aralığındadır. TOK-Mn korelasyonu düşüktür. TOK değerlerinin en yüksek korelasyon verdiği ağır metal türü 0,54 ile Cr ve 0,51 ile Cd olmuştur. Antropojenik kirlenmenin önemli bir

göstergesi olan TOK değerlerinin özellikle endüstriyel kaynaklı kirleticiler olduğu bilinen Cd ve Cr ile yüksek korelasyonu önemlidir.

3.6. Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA)

Şekil 3.17’de metal türlerine tüm örnekleme noktaları için uygulanan HCA analizi sonuçları verilmiştir. Uygulamada metal değer aralıklarını birbirine benzer hale getirmek için z-score standardizasyonu kullanılmıştır. HCA analizi sonuçlarına göre belirgin olarak 2 farklı grup ortaya çıkmıştır (Cluster 1 ve 2). Cluster 1; Co, Ni, Cd, Fe, Mg ve Mn olmak üzere 6 tür ağır metali ve Cluster 2 ise; Cu, Zn, B, Pb ve Cr olmak üzere diğer 5 tür ağır metali kapsamaktadır.

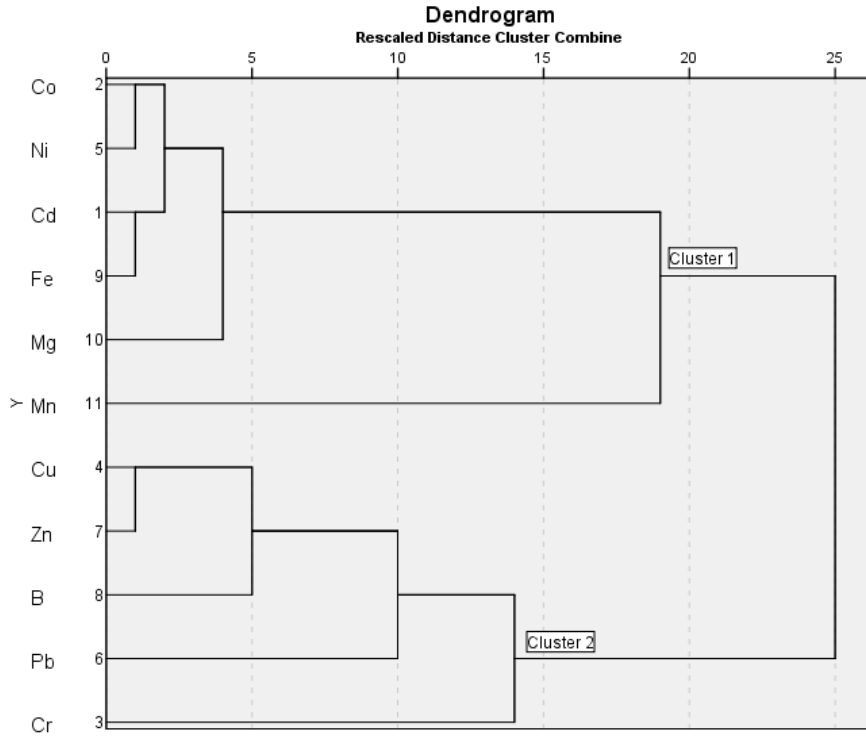
Çizelge 3.8’de ağır metallerin kaynaklarını gösteren tablo verilmiştir. Görüldüğü üzere metal kaynakları birbirine benzer olup özellikle Cd, Co, Zn, Pb, Cr ve Ni elementlerinin ortak kaynakları tarımsal yanında tekstil, kimyasal, kâğıt endüstrisi başta olmak üzere ilaç, boya, yapıştırıcı, kaplama endüstrisi vb. olmak üzere önemli kaynaklardır. Deri, tekstil, otomotiv yan ve metal kaplama, akü üretimi gibi çok sayıda endüstride özellikle Cr, Cu, Ni, Zn, ve Pb elementleri yüksek seviyelerde bulunmuştur [75, 76, 77, 78].

Çizelge 3.8 Ağır Metal Kaynakları

Metal Adı	Muhtemel kaynağı	Referans
Çinko (Zn)	Genel yapıştırıcılar ve bağlayıcı maddeler, Tarımsal, Giyim, mücevher, Çizim malzemeleri, Otomotiv Bakımı, Pil üretimi, İnşaatı, Laboratuvarında kullanılan kimyasal maddeler, İlaçlar, Seramikler, Kauçuk sanayi, Kozmetik ürünler ve üretimi, Gıda ambalajları, İpek ipliği, fiber üretimi, çelik sanayi ve katot artımı uygulayan soğutma sistemleri, Karbon kağıtları, boya maddeleri, silgi üretimi	[59, 60, 61, 62, 63, 64]
Kurşun (Pb)	Genel yapıştırıcılar, Tarımsal, Piller, Gıda üretimi (restoranlar, catering vb), Oyuncaklar, Çözücüler, Seramik üretimi, Kozmetik ürünler, Petrokimya, Pestisit, koruyucular, Alkil kurşun sentezi fabrikaları, Pirinç imalathaneleri	[59, 65, 66, 60, 64]
Bakır (Cu)	Yapıştırıcılar, Tarımsal, Giyim, mücevher, Piller, İnşa malzemesi, Seramik üretimi, Renklendiriciler, Oyuncaklar, Bakır sanayi ve madenleri, Kimyasal endüstrileri atık suları, Bünyesinde bakır bulunduran böcek ilaçları, Kağıt, metal endüstrisi, Rafineriler, Otomotiv, basınçlı sistemler, borular, vanalar, elektrik santralleri ve elektrik, elektronik vb	[64, 65, 70, 63, 66, 67]
Demir (Fe)	Tarımsal, Giyim, mücevher, Piller, Bina inşaatı, tekneler, Renklendiriciler, İlaçlar, Araçlar, Spor malzemeleri	[59, 62, 68, 60, 64]
Mangan (Mn)	Tarımsal, Giyim, mücevher, Piller, Temizleme ürünleri, Gıda katkı maddeleri, Avcılık, Mineraller, Spor malzemeleri, Oyuncaklar	[59, 62, 61, 60, 64]
Kadmiyum (Cd)	Tarımsal, Otomotiv sektörü, Bina inşaatı, Sigara, Elektronik piller, Renklendiriciler, Mobilya imalatı, Tekstil sektörü, Fotoğrafçılık, Araçlar, Su boruları, kahve, çay, kömür yakılması, kabuklu, deniz ürünleri, tohum aşamasında kullanılan gübreler ve endüstriyel üretim aşamalarında oluşan baca gazları	[59, 69, 70, 62, 63, 64]
Krom (Cr)	Tarımsal, Bina inşaatı, Yapı malzemeleri, İlaç sanayisi, Gıda katkı maddeleri, Deri işleme sanayisi, Oyuncaklar, Tekstil sektörü, Plastikler, Kağıt endüstrisi, kimya sanayi, gübreler, metal işleri ve dökümhaneler, deri tabaklama, enerji santralleri	[59, 62, 66, 71, 63, 64]
Nikel (Ni)	Tarımsal, Giyim, mücevher, Piller, Seramik sektörü, Dolgu maddeleri, Gıda katkı maddeleri, Tekstil sektörü, Saf nikel kimyasal katalizör olarak elektrolitik kaplamada ve alkali pillerde, pigmentler, madeni para, kaynak ürünleri, mıknatıslar, elektrotlarda, elektrik fişlerinde, makine parçaları ve tıbbi protezler, Kağıt endüstrisi	[59, 61, 63, 64]

Ağır metallerin yüzey sularındaki en önemli kaynağı evsel ve endüstriyel deşarjlardır. Nehirlerde ağır metal varlığı yetersiz artırılmış evsel ve endüstriyel atık sular ve madencilik faaliyetleriyle ilişkilendirilir [48, 49, 50]. Ağır metallerin diğer önemli kaynağı ise tarım ve hayvancılık faaliyetleridir. Toprak bünyesinde bulunan bu tür ağır metallerin yağışla ve sulamadan dönen sular ile taşındığı bilinmektedir. Özellikle toprak bünyesinde yüksek miktarlarda bulunan demir ve manganın bu şekilde su kütlelerine taşınarak birikimi söz konusudur [51]. Ağır metaller ayrıca trafik aktivitesi ve fosil yakıt yakılması ile oluşan kirliliğin atmosferik birikim ile su kütlelerine taşınmasından da kaynaklanabilir [52].

Değerlendirmeler yapıldığında HCA analizinin ağır metal türleri için verdiği grupların endüstriyel-tarımsal-evsel aktiviteler olarak gruplandırmak sadece HCA analizi sonuçları kullanılarak zor olmakla birlikte, Fe, Mn ve Mg kaynakları özellikle tarımsal faaliyetler+evsel deşarjlar ile ilişkilendirilebilir. Bu durumda Cluster 1 çin gruplanan metaller evsel deşarj ve tarımsal ağırlıklı kirlenmeyi yansıtırken, Cluster 2 olarak gruplandırılan ve Cr, Pb ve Zn gibi deri ve tekstil sektörü için önemli kirleticiler barındıran Cluster 2 endüstriyel faaliyetlerle ilişkilendirilebilir.



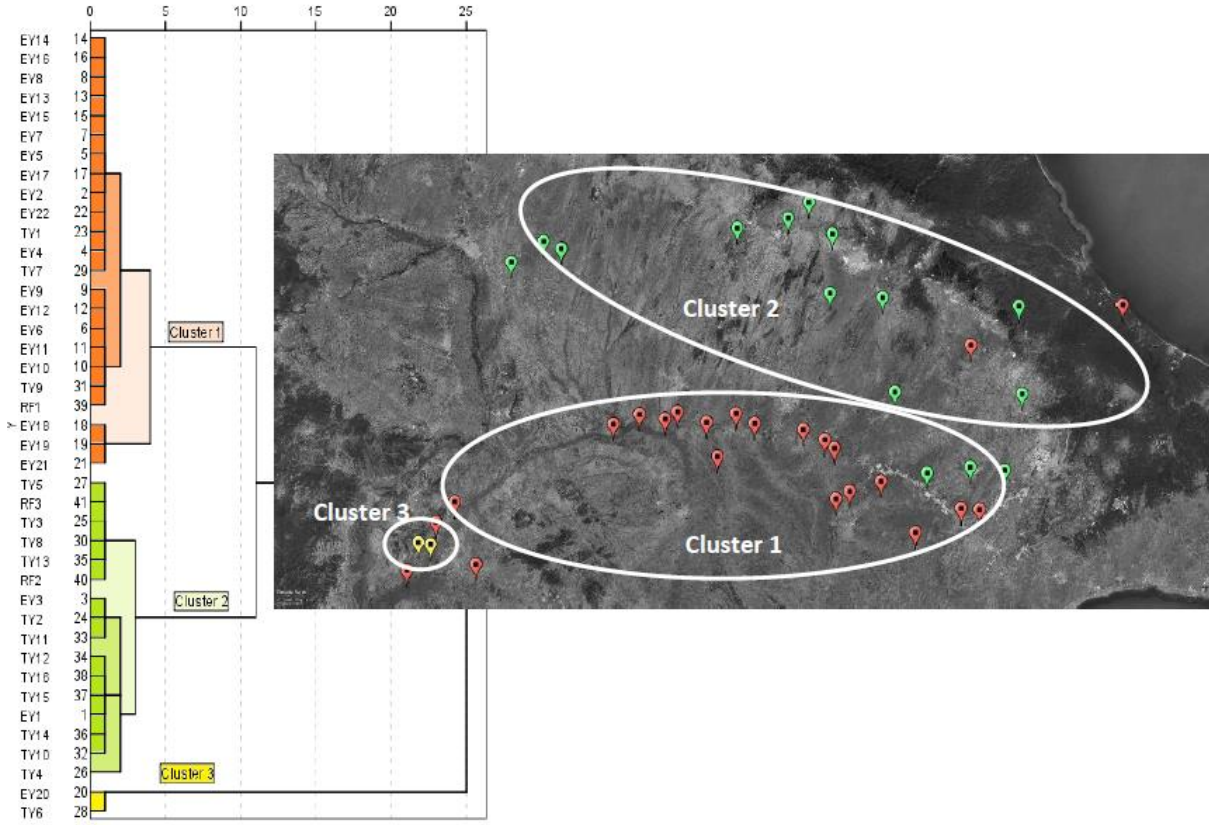
Şekil 3.17 Metal türleri- HCA analizi

HCA analizinin ikinci aşamasında örnekleme noktalarının benzerliğini sınamıştır. Şekil 3.18’de HCA analizi gruplandırma sonuçları ve grupların haritadaki yerleri verilmiştir. Buna göre örnekleme noktaları belirgin üç grup altında toplanmış (Cluster 1, 2 ve 3) ve sadece 2 örnekleme noktasından oluşan (EY20 ve TY6) da 3. Cluster olarak belirlenmiştir. Cluster 3’ü oluşturan EY20 ve TY6’nın Edirne’nin Uzunköprü mevki civarında birbirine yakın noktalar olduğu görülmektedir.

Genel olarak tarımsal aktivitelerin yoğunluğuna göre seçilen numune alma noktalarının Cluster 2 altında toplandığı gözlenmektedir. Bu noktalar genellikle havzanın kuzeyinde Kırklareli civarındaki lokasyonlardır ve bu noktalarda nispeten ağır metal türleri için düşük konsantrasyon değerleri belirlenmiştir.

Cluster 1 ise genel olarak endüstri yoğun bölge olarak seçilen Ergene Nehri boyunca bir hat üzerinden alınan ardışık örneklerin gruplandığı küme olmuştur. Bu noktalar neredeyse tüm metal türleri için yüksek konsantrasyonların gözlemediği noktalardır. Bu grupta referans alandan RF1 dahil olduğu gözlenmiştir. Şekil 3.18’e bakıldığında RF1 istasyonunun çalışmada referans alan olarak seçilmiş olmasına rağmen pek çok ağır metal türü için yüksek konsantrasyonların gözlemediği bir lokasyon olduğu ve özellikle endüstriyel deşarja maruz kaldığı belirlenmiştir.

HCA sonuçlarının örnekleme noktalarının kirletici kaynak grup dağılımlarını ve özellikle tarımsal ve endüstri yoğun bölgelerin ağır metal konsantrasyon dağılımlarındaki ayrımı net bir şekilde ifade ettiği söylenebilir.



Şekil 3.18 Örnekleme noktaları HCA analizi ve haritadaki yerleri

3.7. Kirlilik İndeksleri

Sedimentler, çok sayıda kirletici için bir havuz görevi görmekte ve kirleticilerin sucul sistemlerde bir fazdan diğer faza geçişinde en önemli rotalardan birini oluşturmaktadırlar. Sedimentlerde ağır metal kirliliğinin boyutunun değerlendirilmesi için literatürde çeşitli indeksler geliştirilmiştir. Literatürde sedimentlerdeki ağır metal kirliliğinin seviyesi ve kaynakları; zenginleşme faktörü (EF), kirlenme faktörü (CF), kirlilik yükü indeksi (PLI), jeoakümülyasyon faktörü (I_{geo}) ve potansiyel ekolojik risk indeksi (PERI) gibi çeşitli indekslerle belirlenebilmektedir [28, 29, 56, 57]. Bu indeksler kullanılarak endüstri yoğun, tarım yoğun ve referans bölge olarak seçilen bölgeler için yapılan değerlendirme sonuçları aşağıda ayrıntılı şekilde verilmiştir.

Bu değerlendirmeleri yaparken arka plan konsantrasyonları literatürdeki çalışmalardan elde edilmiştir. Buna göre Cr için 90 mg/kg, Mn için 850 mg/kg, Fe için 47200 mg/kg, Co için 19 mg/kg, Ni için 68 mg/kg ve Zn için 95 mg/kg olarak seçilmiştir [57, 102, 103, 104, 105]. Cd'nin arka plan konsantrasyonu ise Rzetela'nın (2016) yaptığı çalışma dikkate alınarak 2.5 mg/kg olarak alınmıştır [106]. Tüm indekslerin hesaplamalarında bu arka plan konsantrasyonları kullanılmıştır. Çalışmada, iki dönem (Temmuz ve Aralık) örnekleme yapılmasına rağmen mevsimsel kuraklıktan dolayı, yağışlı ve kurak mevsim örneklemelelerinin ortalama değerleri alınarak kirlilik indekslerinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

3.7.1. Zenginleştirme Faktörü

Zenginleştirme faktörü (EF), antropojenik ağır metal kirliliğinin derecesini yansıtan önemli bir göstergedir. EF ağır metal kirliliğinin antropojenik veya doğal olup olmadığı ile ilgili bilgi verir [57]. Bu çalışmada EF'nin hesaplanmasında jeokimyasal normalizasyon için Fe metali referans olarak seçilmiştir. EF'nin değerlendirilmesi için Sakan ve diğ.'nin (2009) çalışmasındaki sınıflar kullanılmıştır [55]. Bu değerler Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 EF'nin değerlendirilme kriterleri

EF < 1 Zenginleşme yok
EF < 3 is Düşük zenginleşme
EF 3–5 is Orta boyutta zenginleşme
EF 5–10 Orta derecede şiddetli zenginleşme
EF 10–25 şiddetli zenginleşme
EF 25–50 Çok şiddetli zenginleşme
EF > 50 Aşırı derecede zenginleşme

Çizelge 3.10'da referans noktaları için EF değerlendirmesi yapılmış ve her ağır metal için ortalama EF değerleri hesaplanmıştır. Referans noktalar bilindiği üzere havzadaki nispeten daha temiz noktaları temsil etmektedir. Çizelge 3.10 incelendiğinde Cd, Cu ve Pb açasından EF'nin orta boyutta ve orta boyutta şiddetli zenginleşme ile karşı karşıya olduğu görülmüştür. Diğer ağır metaller açasından zenginleşmenin düşük boyutta olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.10 Referans bölgeler için EF değerlendirmesi

Referans Noktaları	Zenginleşme Faktörleri								
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
RF1	9.46	2.10	1.98	5.14	1.00	1.76	1.38	9.17	1.24
RF2	10.03	2.19	2.22	5.11	1.00	1.33	1.59	7.54	1.35
RF3	7.65	1.34	0.68	4.37	1.00	1.25	0.91	5.42	1.35
Ortalama	9.05	1.88	1.62	4.87	1.00	1.45	1.29	7.38	1.31

Tarım yoğun bölgeler için zenginleşme faktörleri değerlendirmesi Çizelge 3.11’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde özellikle Cd açısından 16 noktadan 13’ünün “orta derecede şiddetli zenginleşme” ile karşı karşıya geldiği görülmektedir. Bunun dışında Cu, Ni ve Pb açısından bazı noktaların orta boyutta ve/veya orta boyutta şiddetli zenginleşmeden etkilendiği görülmektedir. Ortalama değerle dikkate alındığından Co, Cr, Fe, Mn, Ni ve Zn açısından düşük zenginleşme olduğu görülmektedir. Tarım yoğun bölgelerde bazı ağır metallerin sedimentlerde zenginleşmesinin nedenlerinin uygulanan gübre ve pestisitlerdeki ağır metallerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çizelge 3.12’de endüstri yoğun bölgeler için zenginleşme faktörleri değerlendirmesi verilmiştir.

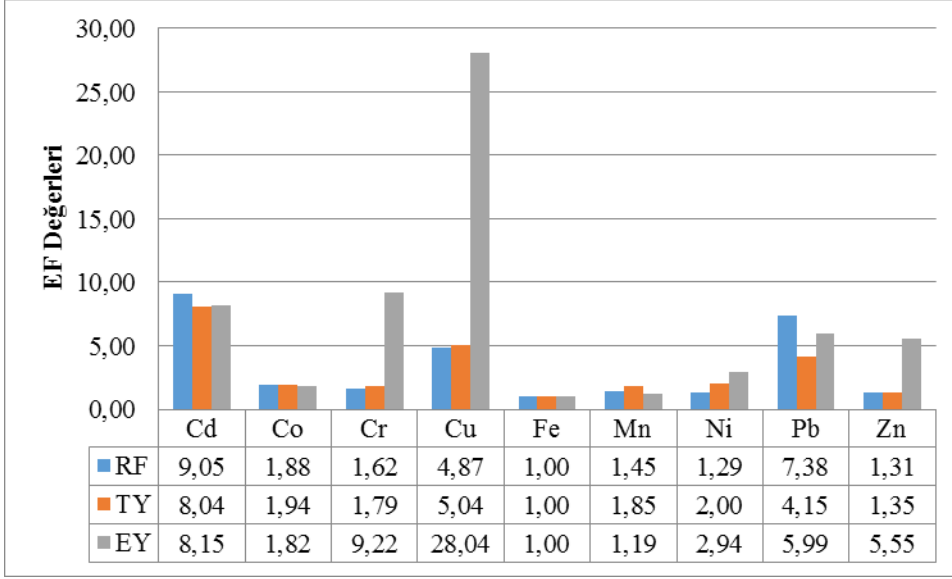
Çizelge 3.11 Tarım yoğun bölgeler için EF değerlendirmesi

Tarım Yoğun Noktalar	Zenginleşme Faktörleri								
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
TY1	9.86	2.18	3.02	4.33	1.00	1.24	3.82	3.33	1.61
TY2	8.84	1.77	1.38	6.25	1.00	1.24	1.28	2.88	1.51
TY3	7.67	2.39	1.41	4.92	1.00	0.98	1.61	4.56	1.07
TY4	8.43	2.19	1.57	2.83	1.00	1.43	1.81	4.86	1.94
TY5	8.75	1.85	1.42	6.97	1.00	2.47	1.46	4.17	1.34
TY6	9.85	1.89	2.96	0.99	1.00	1.73	3.11	2.17	1.17
TY7	10.78	2.84	4.13	4.77	1.00	1.54	5.66	3.30	0.98
TY8	9.75	2.35	1.59	5.34	1.00	2.17	1.48	5.78	1.23
TY9	7.44	1.78	1.97	1.68	1.00	2.59	2.13	3.06	1.21
TY10	6.60	1.66	1.95	5.67	1.00	1.14	1.89	3.20	1.20
TY11	7.39	1.53	1.20	15.47	1.00	1.83	1.40	3.49	1.35
TY12	6.61	1.51	1.25	4.94	1.00	1.02	1.48	4.51	1.40
TY13	5.73	1.42	1.02	6.24	1.00	2.02	1.16	3.38	1.46
TY14	5.84	1.88	1.21	2.55	1.00	2.24	1.27	4.49	1.46
TY15	4.75	0.99	0.68	2.80	1.00	4.07	0.58	6.11	1.50
TY16	10.38	2.74	1.98	4.91	1.00	1.95	1.83	7.15	1.20
Ortalama	8.04	1.94	1.79	5.04	1.00	1.85	2.00	4.15	1.35

Çizelge 3.12 Endüstri yoğun bölgeler için EF değerlendirmesi

Endüstri Yoğun Noktalar	Zenginleşme Faktörleri								
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
EY1	7.14	2.17	6.01	67.03	1.00	1.99	2.55	12.65	10.56
EY2	7.24	1.71	2.63	38.53	1.00	1.25	2.49	8.35	8.24
EY3	6.19	1.59	2.02	17.15	1.00	1.34	2.02	6.14	3.92
EY4	7.27	2.31	2.74	24.37	1.00	1.40	3.34	4.99	8.34
EY5	6.63	1.75	1.77	12.59	1.00	1.32	2.25	3.74	4.84
EY6	7.65	1.85	9.85	44.05	1.00	1.11	3.34	7.42	8.15
EY7	8.03	1.86	17.78	22.90	1.00	0.98	2.50	9.06	4.59
EY8	7.38	1.71	9.48	32.77	1.00	1.01	2.80	5.92	7.06
EY9	7.60	1.79	18.91	45.77	1.00	1.11	2.96	6.03	6.79
EY10	8.08	1.58	9.12	26.48	1.00	1.00	3.13	6.20	6.13
EY11	7.58	1.68	10.09	53.99	1.00	0.96	3.54	6.52	7.68
EY12	9.65	1.99	16.91	43.99	1.00	0.94	3.35	7.42	7.56
EY13	9.10	1.77	15.22	33.90	1.00	1.01	2.83	6.52	6.08
EY14	9.03	1.80	7.94	16.19	1.00	1.39	3.02	3.67	2.96
EY15	8.44	1.64	15.41	35.70	1.00	0.93	3.04	7.62	7.94
EY16	9.00	1.61	2.44	8.45	1.00	1.17	2.58	3.92	1.34
EY17	8.64	1.66	7.06	19.36	1.00	1.20	2.55	4.95	3.28
EY18	9.26	1.44	7.94	17.81	1.00	1.32	2.61	4.54	4.00
EY19	7.26	2.07	17.12	34.41	1.00	1.31	3.90	4.34	5.42
EY20	7.56	1.50	6.14	9.93	1.00	1.15	2.21	2.49	1.59
EY21	8.83	2.12	9.02	4.81	1.00	0.98	3.32	3.77	2.13
EY22	11.69	2.33	7.32	6.67	1.00	1.31	4.40	5.59	3.53
Ortalama	8.15	1.82	9.22	28.04	1.00	1.19	2.94	5.99	5.55

RF, TY ve EY bölgelerindeki ağır metallerin EF'lerinin ortalama değerleri Şekil 3.19'da karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi endüstriyel bölgelerde özellikle Cr, Cu ve Zn açısından zenginleşmenin diğer bölgelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bazı ağır metallerin referans bölgelerde yüksek olması toprak ve kayaç yapısıyla ilgili olduğunu akla getirmektedir ve daha fazla ölçüm yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 3.19 RF, TY ve EY bölgelerindeki ağır metallerin EF'lerinin ortalama değerlerinin karşılaştırılması

3.7.2. Kirlenme Faktörü (CF) ve Kirlilik Yükü İndeksi (PLI)

Kirlenme faktörü sedimentte ölçülen metal konsantrasyonu ile aynı metalin doğal jeokimyasal durumdaki konsantrasyonu arasındaki orandır ve değeri dört sınıf ile yorumlanır. Bu sınıflar, Çizelge 3.13 ile verilmiştir [56]. Kirlenme faktörleri kullanılarak her nokta için kirlilik yükü indeksleri yani PLI değerleri hesaplanabilmektedir. PLI metallerin CF değerlerinin çarpımının n'inci kökü alınarak hesaplanmaktadır. PLI değerlerinin sınıflandırma kriterleri de Çizelge 3.13 ile verilmektedir. PLI'da kirlenmemiş bölge ve kirlenmiş bölge olmak üzere iki sınıf mevcuttur.

Çizelge 3.13 CF ve PLI'nın değerlendirilme kriterleri

Kirlenme Faktörleri (CF)
Düşük Kirlenme; $CF < 1$;
Orta Derecede Kirlenme; $1 < CF < 3$
Önemli Boyutta Kirlenme; $3 < CF < 6$
Yüksek Derecede Kirlenme; $CF > 6$
Kirlilik Yükü İndeksi (PLI)
$PLI < 1$ Kirlenmemiş bölge
$PLI > 1$ Kirlenmiş bölge

Çizelge 3.14'de referans bölgelerdeki CF değerleri verilmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi ortalama değerler dikkate alındığında referans olarak seçilen noktaların Cd, Cu

ve Pb açısından orta derecede kirlenmiş oldukları görülmektedir. Diğer ağır metaller açısından düşük kirlenme olduğu görülmektedir. PLI değerleri incelendiğinde ise tüm referans noktalarının kirlenmemiş oldukları görülmektedir.

Çizelge 3.14 Referans olarak seçilen bölgelerin CF ve PLI değerleri

Referans Noktaları	Kirlenme Faktörleri (CF)									PLI
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	
RF1	3.37	0.75	0.70	1.83	0.36	0.63	0.49	3.22	0.44	0.93
RF2	1.35	0.30	0.30	0.69	0.14	0.18	0.22	1.00	0.18	0.35
RF3	1.12	0.20	0.10	0.64	0.15	0.18	0.13	0.78	0.20	0.27
Ortalama	1.95	0.41	0.37	1.06	0.21	0.33	0.28	1.67	0.27	0.52

Tarım yoğun bölgelerdeki noktaların CF ve PLI değerleri Çizelge 3.15’de verilmektedir. Çizelge 3.15 incelendiğinde Cd, Cu ve Pb açısından birçok noktanın orta derecede kirlenmiş olduğu görülmektedir. Cd açısından 16 noktanın 2’sinin önemli boyutta, 1 noktanın ise yüksek derecede kirlenmiş olduğu görülmektedir. PLI değerleri incelendiğinde ise 16 noktadan 3’ünün kirlenmiş olduğu görülmektedir. Ortalama değerler incelendiğinde ise Cd, Cu ve Pb açısından CF değerlerinin orta derecede kirlenmeyi gösterdiği görülmektedir. PLI değerlerinin ortalaması ise tarım yoğun bölgelerinin sedimentlerinin kirlenmemiş olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.15 Tarım yoğun bölgelerdeki CF ve PLI değerleri

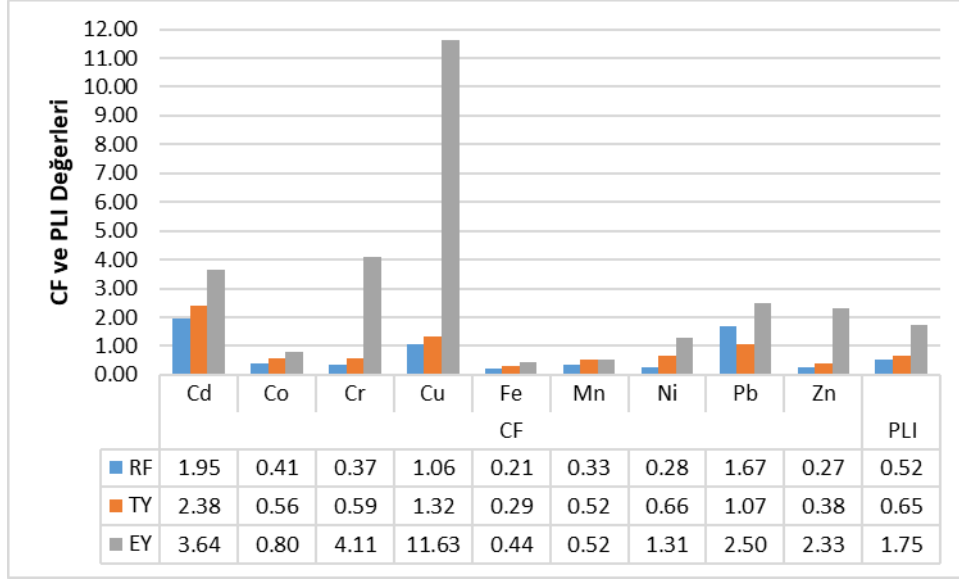
Tarım Yoğun Noktalar	Kirlenme Faktörleri (CF)									PLI
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	
TY1	4.28	0.95	1.31	1.88	0.43	0.54	1.66	1.42	0.70	1.16
TY2	2.67	0.54	0.42	1.89	0.30	0.37	0.39	0.86	0.46	0.64
TY3	1.44	0.45	0.26	0.93	0.19	0.18	0.30	0.84	0.20	0.40
TY4	1.93	0.50	0.36	0.65	0.23	0.33	0.41	1.10	0.44	0.53
TY5	1.14	0.24	0.18	0.91	0.13	0.32	0.19	0.54	0.17	0.32
TY6	6.49	1.24	1.95	0.65	0.66	1.14	2.05	1.40	0.77	1.37
TY7	4.18	1.10	1.60	1.85	0.39	0.60	2.19	1.26	0.38	1.14
TY8	1.93	0.46	0.31	1.06	0.20	0.43	0.29	1.13	0.24	0.50
TY9	2.88	0.69	0.77	0.65	0.39	1.00	0.83	1.17	0.47	0.82
TY10	1.74	0.44	0.51	1.50	0.26	0.30	0.50	0.83	0.32	0.57
TY11	2.20	0.46	0.36	4.62	0.30	0.55	0.42	1.02	0.40	0.71
TY12	1.50	0.34	0.28	1.12	0.23	0.23	0.33	1.01	0.32	0.46
TY13	0.94	0.23	0.17	1.03	0.16	0.33	0.19	0.55	0.24	0.34
TY14	1.32	0.43	0.27	0.58	0.23	0.51	0.29	1.00	0.33	0.46
TY15	1.15	0.24	0.17	0.68	0.24	0.99	0.14	1.46	0.36	0.44
TY16	2.30	0.61	0.44	1.09	0.22	0.43	0.41	1.56	0.27	0.61
Ortalama	2.38	0.56	0.59	1.32	0.29	0.52	0.66	1.07	0.38	0.65

Endüstri yoğun bölgelerdeki örnekleme noktalarının CF ve PLI değerleri ve değerlendirilmesi Çizelge 3.16’da verilmektedir. Çizelge incelendiğinde özellikle Cu açısından CF değerlerinin oldukça yüksek olduğu ve yüksek derecede kirlenmeyi işaret ettiği görülmektedir. Çizelge 3.16 incelendiğinde Co, Fe ve Mn dışındaki tüm ağır metaller açısından orta derece kirlenme ile yüksek derece kirlenme arasında değerlendirilebileceği görülmektedir. Bu sonuçlara paralel olarak PLI değerlerinin de tek bir nokta hariç 21 endüstriyel noktanın kirlenmiş bölge olarak değerlendirilebileceği görülmektedir.

Çizelge 3.16 Endüstri yoğun bölgelerdeki CF ve PLI değerleri

Endüstri Yoğun Noktalar	Kirlenme Faktörleri (CF)									PLI
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	
EY1	1.69	0.51	1.43	15.90	0.24	0.47	0.60	2.95	2.50	1.29
EY2	3.57	0.84	1.30	19.03	0.49	0.61	1.23	4.06	4.06	1.97
EY3	1.95	0.50	0.64	5.41	0.31	0.42	0.64	1.90	1.23	0.96
EY4	2.98	0.95	1.13	10.02	0.41	0.57	1.37	2.02	3.42	1.60
EY5	3.13	0.83	0.84	5.97	0.47	0.62	1.06	1.74	2.28	1.36
EY6	2.99	0.72	3.86	17.24	0.39	0.43	1.31	2.86	3.18	1.87
EY7	3.73	0.86	8.27	10.65	0.46	0.45	1.16	4.15	2.13	2.04
EY8	3.17	0.74	4.08	14.11	0.43	0.44	1.20	2.50	3.03	1.83
EY9	2.69	0.64	6.72	16.25	0.35	0.39	1.05	2.11	2.40	1.73
EY10	3.31	0.65	3.74	10.86	0.41	0.41	1.28	2.50	2.51	1.70
EY11	3.00	0.67	3.99	21.37	0.40	0.38	1.40	2.54	3.03	1.86
EY12	3.60	0.74	6.32	16.45	0.37	0.35	1.25	2.73	2.82	1.92
EY13	4.22	0.82	7.07	15.75	0.46	0.47	1.31	2.98	2.82	2.13
EY14	4.02	0.80	3.54	7.22	0.45	0.62	1.34	1.61	1.32	1.59
EY15	3.85	0.75	7.05	16.33	0.46	0.42	1.39	3.43	3.62	2.18
EY16	4.00	0.72	1.09	3.76	0.44	0.52	1.15	1.72	0.59	1.14
EY17	4.00	0.77	3.28	8.98	0.46	0.56	1.18	2.26	1.52	1.66
EY18	4.87	0.76	4.18	9.38	0.53	0.70	1.37	2.35	2.10	1.92
EY19	3.93	1.12	9.27	18.62	0.54	0.71	2.11	2.31	2.92	2.52
EY20	5.36	1.06	4.36	7.05	0.71	0.81	1.57	1.74	1.12	1.89
EY21	4.96	1.19	5.07	2.71	0.56	0.55	1.86	2.08	1.20	1.70
EY22	5.01	1.00	3.14	2.86	0.43	0.56	1.89	2.36	1.51	1.61
Ortalama	3.64	0.80	4.11	11.63	0.44	0.52	1.31	2.50	2.33	1.75

RF, TY ve EY bölgelerindeki ağır metallerin CF ve PLI'larının ortalama değerleri Şekil 3.20'de karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi tüm ağır metaller açısından kirlenmenin endüstriyel bölgelerde daha yüksektir. Özellikle CF'in Cu açısından endüstriyel bölgede 11.63 ortalama ile oldukça yüksek olduğu kirlenmenin ciddi boyutta olduğu görülmektedir. PLI değerleri de yine endüstriyel bölgelerde 1'den büyük olup endüstriyel bölgelerden alınan sedimentlerin oldukça kirlenmiş olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.20 RF, TY ve EY bölgelerindeki ağır metallerin CF ve PLI'larının ortalama değerlerinin karşılaştırılması

3.7.3. Jeoakümülayon İndeksi (I_{geo})

Geoakümülayon indeksi (I_{geo}), jeokimyasal arka plan konsantrasyonları ile karşılaştırılan çevresel kirlilik durumunu değerlendirmek için kullanılan bir indekstir. I_{geo} kullanılarak değerlendirme kriterleri Çizelge 3.17'de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi Sınıf 0 ile Sınıf 6 arasında 7 farklı sınıf tanımlanmıştır. I_{geo} kullanılarak yapılan değerlendirme Çizelge 3.18 ile 3.20 arasında verilmiştir.

Çizelge 3.17 I_{geo} değerlendirilme kriterleri

Sınıf 0 (Kirlenmemiş bölge): $I_{geo} \leq 0$
Sınıf 1 (kirlenmemiş ile orta derecede kirli bölge): $0 < I_{geo} < 1$
Sınıf 2 (Orta derecede kirli): $1 < I_{geo} < 2$
Sınıf 3(orta ile çok kirli arası bölge): $2 < I_{geo} < 3$
Sınıf 4 (Çok kirli bölge): $3 < I_{geo} < 4$
Sınıf 5 (Aşırı derecede kirli bölge): $4 < I_{geo} < 5$
Sınıf 6 (Çok aşırı kirli bölge): $5 > I_{geo}$

Referans olarak seçilen noktaların I_{geo} değerleri Çizelge 3.18 ile verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi referans noktaları birçok ağır metal açısından büyük oranda Sınıf 0 yani kirlenmemiş olarak sınıflandırılabilir. RF1 noktasının Cd, Pb ve Co açısından kirlenmemiş ile orta derece kirlenmiş bölge olarak sınıflandırılabilir görülmektedir.

Ortalamalar değerlendirildiğinde Cd ve Co açısından Sınıf 1'e girdiği diğer tüm ağır metaller açısından kirlenmemiş olarak sınıflandırılabilirdiği görülmüştür.

Çizelge 3.18 Referans olarak seçilen bölgelerin Igeo değerleri

Referans Noktaları	I _{geo} Değerleri								
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
RF1	1.17	1.92	-1.09	0.29	-2.08	-1.26	-1.61	1.10	-1.77
RF2	-0.15	0.59	-2.32	-1.12	-3.47	-3.06	-2.80	-0.58	-3.05
RF3	-0.42	-0.01	-3.91	-1.23	-3.36	-3.04	-3.50	-0.94	-2.93
Ortalama	0.20	0.83	-2.44	-0.68	-2.97	-2.45	-2.64	-0.14	-2.58

Tarım yoğun bölgelerin örnekleme noktalarının Igeo değerleri Çizelge 3.19'da verilmiştir. Çizelge incelendiğinde tarım yoğun bölgelerin birçok noktasının Cd ve Co açısından Sınıf 2'ye girdiği TY1 noktasının Co açısından Sınıf 3'e girdiği görülmektedir. Ortalamalar dikkate alındığında tarım yoğun bölgelerde sadece Co açısından orta derecede kirlilik olduğu, Cd açısından kirlenmemiş ile orta derecede kirlenmiş sınıfta olduğu diğer ağır metaller açısından kirlenme olmadığı görülmektedir.

Çizelge 3.19 Tarım yoğun bölgelerin Igeo değerleri

Tarım Yoğun Bölgeler	I _{geo} Değerleri								
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
TY1	1.51	2.27	-0.19	0.33	-1.79	-1.48	0.14	-0.08	-1.10
TY2	0.83	1.44	-1.85	0.33	-2.31	-2.01	-1.96	-0.81	-1.72
TY3	-0.06	1.19	-2.50	-0.70	-3.00	-3.03	-2.31	-0.83	-2.90
TY4	0.36	1.35	-2.06	-1.21	-2.71	-2.19	-1.86	-0.45	-1.76
TY5	-0.40	0.28	-3.02	-0.72	-3.53	-2.23	-2.98	-1.49	-3.10
TY6	2.11	2.65	0.38	-1.20	-1.19	-0.40	0.45	-0.09	-0.97
TY7	1.48	2.48	0.10	0.30	-1.95	-1.33	0.55	-0.25	-1.98
TY8	0.36	1.23	-2.25	-0.51	-2.92	-1.81	-2.36	-0.41	-2.62
TY9	0.94	1.81	-0.97	-1.20	-1.95	-0.58	-0.86	-0.36	-1.68
TY10	0.22	1.15	-1.54	0.01	-2.51	-2.31	-1.59	-0.85	-2.25
TY11	0.55	1.21	-2.07	1.62	-2.33	-1.46	-1.85	-0.55	-1.89
TY12	0.00	0.80	-2.40	-0.42	-2.72	-2.69	-2.16	-0.57	-2.24
TY13	-0.67	0.24	-3.15	-0.54	-3.19	-2.17	-2.98	-1.45	-2.64
TY14	-0.18	1.11	-2.45	-1.38	-2.73	-1.57	-2.38	-0.58	-2.19
TY15	-0.38	0.28	-3.18	-1.14	-2.63	-0.60	-3.41	-0.04	-2.04
TY16	0.62	1.62	-1.77	-0.46	-2.76	-1.80	-1.89	0.06	-2.49
Ortalama	0.46	1.32	-1.81	-0.43	-2.51	-1.73	-1.71	-0.55	-2.10

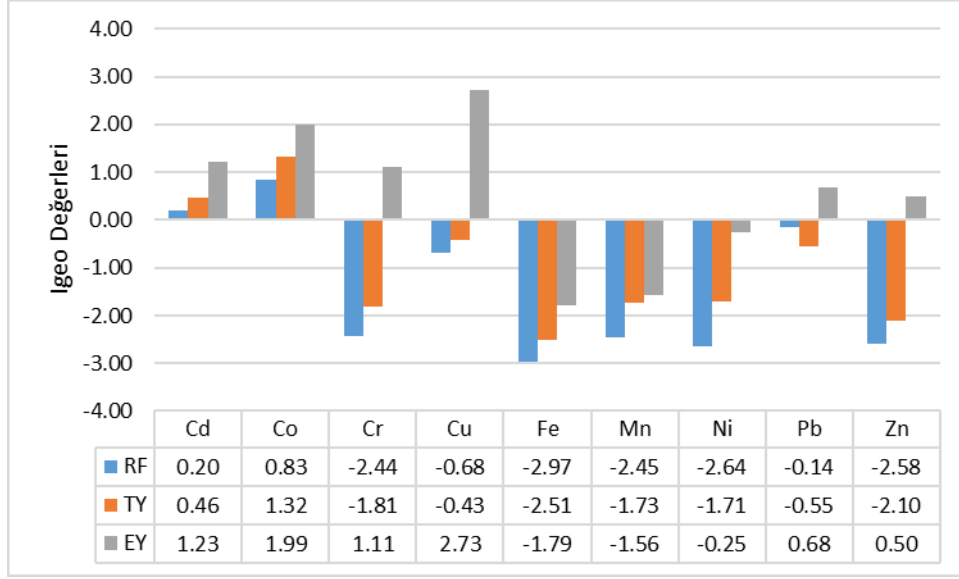
Endüstri yoğun bölgelerin Igeo değerleri Çizelge 3.20'de verilmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi referans bölgeler ve tarım yoğun bölgelerdeki sedimentler ile karşılaştırıldığında

endüstri yoğun bölgelerdeki sedimentlerin beklendiği gibi birçok ağır metal açısından kirlenmiş olduğu görülmektedir. Özellikle Cd, Co, Cr, Cu ve Zn açısından yoğun kirlenme olduğu Çizelge 3.20’den görülmektedir. Bu ağır metallerin endüstride boya, pigment, kaplama, cam sanayi gibi çeşitli işlemlerde kullanıldığı bilinmektedir.

Çizelge 3.20 Endüstri yoğun bölgelerin I_{geo} değerleri

Endüstri Yoğun Bölgeler	I _{geo} Değerleri								
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
EY1	0.17	1.38	-0.07	3.41	-2.66	-1.67	-1.31	0.98	0.74
EY2	1.25	2.10	-0.21	3.67	-1.60	-1.29	-0.29	1.43	1.44
EY3	0.38	1.34	-1.23	1.85	-2.25	-1.82	-1.24	0.34	-0.28
EY4	0.99	2.26	-0.41	2.74	-1.87	-1.39	-0.13	0.43	1.19
EY5	1.06	2.07	-0.83	1.99	-1.66	-1.27	-0.50	0.22	0.61
EY6	0.99	1.87	1.36	3.52	-1.94	-1.80	-0.20	0.93	1.08
EY7	1.31	2.13	2.46	2.83	-1.69	-1.73	-0.37	1.47	0.50
EY8	1.08	1.90	1.44	3.23	-1.80	-1.78	-0.32	0.74	1.01
EY9	0.84	1.69	2.16	3.44	-2.08	-1.93	-0.52	0.49	0.68
EY10	1.14	1.71	1.32	2.86	-1.87	-1.87	-0.23	0.74	0.74
EY11	1.00	1.75	1.41	3.83	-1.92	-1.98	-0.10	0.76	1.01
EY12	1.26	1.91	2.08	3.45	-2.01	-2.09	-0.26	0.86	0.91
EY13	1.49	2.05	2.24	3.39	-1.69	-1.68	-0.19	0.99	0.91
EY14	1.42	2.02	1.24	2.27	-1.75	-1.28	-0.16	0.10	-0.19
EY15	1.36	1.93	2.23	3.44	-1.72	-1.83	-0.11	1.19	1.27
EY16	1.42	1.86	-0.46	1.33	-1.75	-1.53	-0.39	0.20	-1.34
EY17	1.42	1.97	1.13	2.58	-1.70	-1.43	-0.35	0.59	0.02
EY18	1.70	1.94	1.48	2.64	-1.51	-1.11	-0.13	0.65	0.48
EY19	1.39	2.50	2.63	3.63	-1.47	-1.09	0.49	0.62	0.96
EY20	1.84	2.43	1.54	2.23	-1.08	-0.89	0.06	0.21	-0.42
EY21	1.72	2.59	1.76	0.85	-1.42	-1.44	0.31	0.47	-0.33
EY22	1.74	2.34	1.07	0.93	-1.81	-1.41	0.33	0.65	0.01
Ortalama	1.23	1.99	1.11	2.73	-1.79	-1.56	-0.25	0.68	0.50

Şekil 3.21’de RF, TY ve EY bölgelerindeki ağır metallerin I_{geo} ortalama değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Özellikle endüstri yoğun bölgelerdeki ortalama değerlerin diğer bölgelere göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle endüstri yoğun bölgelerde Cu açısından kirlenmenin RF ve TY bölgelerine göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun en önemli nedeninin bölgedeki tekstil, deri, kimya gibi sektörlerde kullanılan boyalarda bulunan ağır metaller olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.21 RF, TY ve EY bölgelerindeki ağır metallerin I_{geo} ortalama değerlerinin karşılaştırılması

3.7.4. Potansiyel Ekolojik Risk İndeksi (E_r^i ve RI)

Bu indeksler tortudaki ağır metallerin kapsamlı potansiyel ekolojik riskini değerlendirmek için ilk olarak Hakanson (1980) tarafından kullanılmıştır [56]. Potansiyel Risk Faktörünü (E_r^i) hesaplayabilmek için her bir elementin toksik tepki faktörü (T_r^i) metallerin biyolojik toksisite faktörleridir ve literatürde $Cu=Pb=Ni=5$, $Zn=1$, $Cr=Co=2$ ve $Cd=30$ olarak belirlenmiştir [57]. Çizelge 3.21’de E_r^i ve RI’nın değerlendirilme kriterleri verilmiştir.

Çizelge 3.21 E_r^i ve RI’nın değerlendirilme kriterleri

Potansiyel Risk Faktörü (E_r^i)
$E_r^i < 40$, düşük ekolojik risk
$40 < E_r^i \leq 80$, orta ekolojik risk
$80 < E_r^i \leq 160$, önemli ekolojik risk
$160 < E_r^i \leq 320$, yüksek ekolojik risk
$E_r^i > 320$, ciddi ekolojik risk
Risk indeksi (RI)
$RI < 150$ düşük ekolojik risk
$150 \leq RI < 300$, orta ekolojik risk
$300 \leq RI < 600$, önemli ekolojik risk
$RI > 600$, çok yüksek ekolojik risk

Referans olarak seçilen bölgelerin E_r^i ve RI değerleri Çizelge 3.22’de verilmiştir. Ekolojik riskler incelendiğinde RI değerleri açısından tüm referans noktalarının düşük riskli olarak sınıflandırılabilirdiği görülmektedir. E_r^i değerleri açısından ise özellikle RF’in Cd

açısından önemli ekolojik risk altında olduğu görülmektedir. Ortalamalar açısından yine Cd açısından referans noktaların orta ekolojik risk altında olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.22 Referans olarak seçilen bölgelerin E_r^i ve RI değerleri

Referans Noktaları	E_r^i Değerleri							RI
	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
RF1	101.1	1.50	1.41	9.16	2.46	16.08	0.44	132.11
RF2	40.6	0.59	0.60	3.46	1.08	5.01	0.18	51.55
RF3	33.6	0.39	0.20	3.21	0.66	3.91	0.20	42.18
Ortalama	58.4	0.8	0.7	5.3	1.4	8.3	0.3	75.3

Tarım yoğun bölgelerin E_r^i ve RI değerleri Çizelge 3.23 ile verilmektedir. Çizelge incelendiğinde Cd açısından 16 noktanın 1 tanesinin yüksek ekolojik risk altında olduğu, 4 noktanın önemli ekolojik risk altında olduğu 7 noktanın orta ekolojik risk altında olduğu görülmektedir. RI değerleri incelendiğinde 16 noktadan 3'ünün önemli ekolojik risk altında olduğu görülmektedir. Ortalama değerlere göre ise sadece Cd açısından E_r^i değerlerine göre orta ekolojik risk altında olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.23 Tarım yoğun bölgelerin E_r^i ve RI değerleri

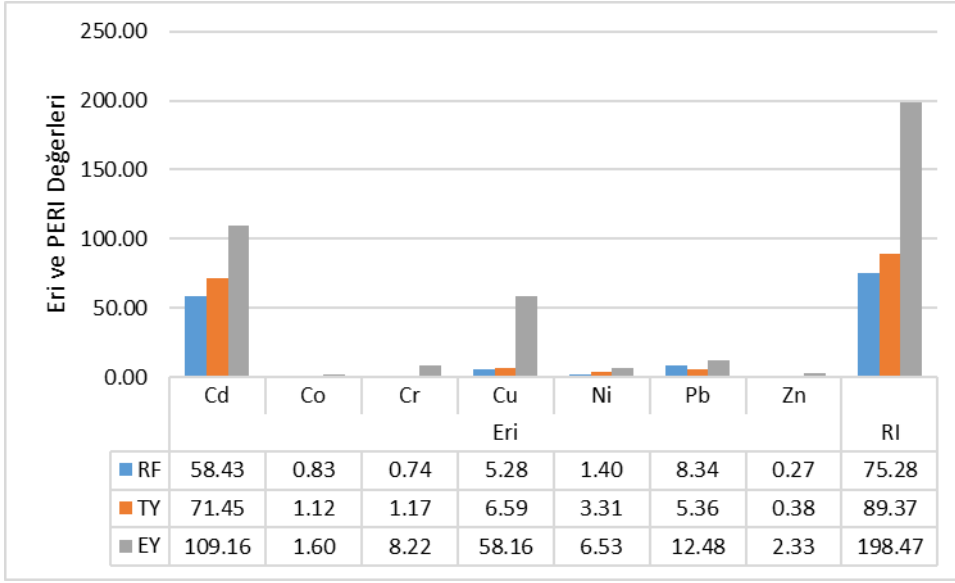
Tarım Yoğun Bölgeler	E_r^i Değerleri							RI
	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
TY1	128.5	1.90	2.63	9.41	8.29	7.12	0.70	158.55
TY2	80.1	1.07	0.83	9.46	1.93	4.29	0.46	98.14
TY3	43.2	0.90	0.53	4.63	1.51	4.22	0.20	55.20
TY4	57.9	1.00	0.72	3.25	2.07	5.48	0.44	70.85
TY5	34.2	0.48	0.37	4.54	0.95	2.68	0.17	43.37
TY6	194.6	2.49	3.90	3.26	10.24	7.02	0.77	222.26
TY7	125.4	2.21	3.20	9.25	10.97	6.30	0.38	157.73
TY8	57.8	0.93	0.63	5.28	1.46	5.63	0.24	71.97
TY9	86.5	1.38	1.53	3.26	4.13	5.83	0.47	103.08
TY10	52.3	0.88	1.03	7.49	2.49	4.15	0.32	68.62
TY11	66.1	0.92	0.72	23.10	2.09	5.12	0.40	98.42
TY12	45.0	0.69	0.57	5.61	1.67	5.04	0.32	58.89
TY13	28.3	0.47	0.34	5.15	0.95	2.74	0.24	38.22
TY14	39.6	0.85	0.55	2.89	1.44	5.01	0.33	50.71
TY15	34.6	0.48	0.33	3.40	0.71	7.32	0.36	47.21
TY16	69.1	1.22	0.88	5.46	2.03	7.81	0.27	86.77
Ortalama	71.4	1.1	1.2	6.6	3.3	5.4	0.4	89.4

Endüstri yoğun bölgelerin E_r^i ve RI değerleri Çizelge 3.24’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde E_r^i değerlendirmesine göre Cd ve Cu açısından ekolojik risklerin önemli ve orta ekolojik risklerin görüldüğü noktalar dikkati çekmektedir. Ayrıca Cd açısından 22 noktadan, mansaba doğru olan 1 noktanın yüksek ekolojik risk altında olduğu görülmektedir. Bu değerlere bağlı olarak hesaplanan RI değerlerinin 2 nokta dışında orta ekolojik risk altında olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.24 Endüstri yoğun bölgelerin E_r^i ve RI değerleri

Endüstri Yoğun Bölgeler	E_r^i Değerleri							RI
	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
EY1	50.7	1.03	2.85	79.48	3.02	14.76	2.50	154.31
EY2	107.2	1.69	2.60	95.17	6.14	20.28	4.06	237.10
EY3	58.5	1.00	1.28	27.04	3.18	9.52	1.23	101.71
EY4	89.4	1.90	2.25	50.08	6.85	10.08	3.42	164.01
EY5	94.0	1.65	1.68	29.83	5.32	8.71	2.28	143.52
EY6	89.6	1.44	7.71	86.20	6.53	14.28	3.18	208.99
EY7	111.9	1.72	16.54	53.26	5.79	20.73	2.13	212.08
EY8	95.2	1.47	8.16	70.54	6.02	12.52	3.03	196.94
EY9	80.8	1.27	13.43	81.24	5.24	10.53	2.40	194.90
EY10	99.3	1.29	7.48	54.32	6.41	12.52	2.51	183.85
EY11	89.9	1.33	7.98	106.84	6.98	12.69	3.03	228.71
EY12	108.1	1.49	12.65	82.24	6.25	13.65	2.82	227.19
EY13	126.6	1.64	14.15	78.75	6.56	14.91	2.82	245.47
EY14	120.6	1.61	7.08	36.09	6.71	8.05	1.32	181.41
EY15	115.6	1.50	14.10	81.65	6.95	17.14	3.62	240.60
EY16	120.1	1.43	2.17	18.80	5.73	8.59	0.59	157.42
EY17	120.1	1.54	6.55	44.90	5.90	11.30	1.52	191.80
EY18	146.1	1.52	8.36	46.89	6.87	11.76	2.10	223.59
EY19	117.8	2.24	18.53	93.11	10.53	11.55	2.92	256.64
EY20	160.8	2.13	8.73	35.26	7.83	8.68	1.12	224.57
EY21	148.7	2.38	10.15	13.53	9.31	10.42	1.20	195.72
EY22	150.4	2.00	6.28	14.32	9.43	11.81	1.51	195.78
Ortalama	109.2	1.6	8.2	58.2	6.5	12.5	2.3	198.5

Şekil 3.22’de RF, TY ve EY bölgelerindeki ağır metallerin E_r^i ve RI ortalama değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi endüstri yoğun örnekleme noktalarından alınan sedimentlerin ekolojik risklerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle boya, pigment, kimya, kaplama yapılan endüstrilerde kullanılan Cd ve Cu açısından risklerin yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca risk indeksi incelendiğinde de endüstri yoğun noktaların RI değerinin 198.47 ile referans noktaları ve tarım yoğun bölgelerdeki noktalardan çok daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.22 RF, TY ve EY bölgelerindeki ağır metallerin Eri ve RI ortalama değerlerinin karşılaştırılması

4. SONUÇLAR

Uzun yıllardır yoğun kirlenme ile karşı karşıya kalmış ve sınır aşan su durumunda olan Meriç-Ergene Nehir Havzası'nda son yıllarda çok sayıda öncelikli maddenin yüzeysel suda analizleri yapılmış ve özellikle nehir havza yönetimi ve altlıkları ile ilgili çalışmalarda öncelikli ve belirli kirleticilerin konsantrasyonları tespit edilmiştir. Bu çalışmalar neticesinde ortaya çıkan en önemli husus, yüzeysel sulara yapılan noktasal ve/veya yayılı deşarjların içerdiği belirli ve öncelikli maddelerin konsantrasyonlarının yüzeysel sulara oluşturduğu kirlilik olmuştur. Kirleticilerin su ortamında nasıl davrandığı, sedimentte ne oranda biriktiği, biriken bu kirlilik miktarının seviyesi ve su kütlesinde biyolojik yaşamı etkileyecek seviyeye ulaşip ulaşmadığı gibi sorulara yanıt verilebilmesi için su kütlesi yanında sedimentte de ölçümlerin yapılması gereklidir. Bu amaçla çalışma kapsamında Meriç-Ergene Nehir Havzası gibi çeşitli lokasyonlarda, çeşitli sektörlerin yoğun olarak bulunduğu, ancak bunun yanında tarımsal açıdan da önemli baskı altında bulunan nehir havzasında, çeşitli noktalardan alınan sediment numunelerinde izleme çalışması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada yoğun sanayileşme ve tarımsal üretimin bir arada bulunduğu Meriç-Ergene Havzası'nda, havzanın bütününe kapsayacak şekilde seçilen endüstriyel, tarımsal ağırlıklı ve referans alan olarak belirlenmiş 3 bölgede, memba-mansap ilişkisi dikkate alınarak belirlenen 41 örnekleme noktasında, 1 yıl içinde, Temmuz 2020 ve Aralık 2020 olmak üzere 2 kez, 82 sediment numunesi toplanmış ve toplanan numunelerde 3 tür yarı metal, 11 tür metal ve TOK analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar genel olarak aşağıdaki şekilde değerlendirilmiştir:

Genel olarak neredeyse tüm ölçüm noktalarında ve tüm parametreler için 2. dönem örnekleme sonuçları daha yüksek olarak elde edilmiştir. Çalışmanın planlama aşamasında kurak (Haziran-Temmuz ayları) ve yağışlı (Ekim-Aralık ayları) olmak üzere iki dönem belirlenmiş ve kurak sezonda akımın azlığından dolayı daha yüksek kirletici seviyeleri ile karşılaşılması beklenmiştir. Ancak 2020 yılı tamamı az yağışlı geçmiş ve akım seviyelerinde iki dönem arası belirgin bir fark gerçekleşmemiştir. Diğer taraftan aralık ayında yapılan ölçümlerin, temmuz ayında yapılan ölçümlere göre daha yüksek seviyelerde tespit edilmesinin nedeni olarak ise hem yaz ayları hem de Covid-19 pandemisi dolayısıyla üretimin temmuz ayında azalması olarak düşünülmüştür.

TOK ölçümleri için özellikle endüstri yoğun bölgeler için dönemler arası farkın yüksek olduğu ve genellikle 2. dönem örnekleme sonuçlarının daha yüksek olarak belirlendiği görülmektedir. Her bir örnekleme noktası için TOK ölçümleri ortalamaları tüm istasyonlar için %0,7-8,6 arasında değişmiştir. Referans alan ve tarım yoğun alanda ölçülen konsantrasyon değerleri birbirine oldukça yakındır. Ancak endüstri yoğun olarak belirlenen bölgelerde ölçülen TOK değerleri oldukça yüksektir ve kimi örneklerde %15'in üzerinde TOK değerlerine rastlanmıştır. Endüstri yoğun bölge olarak seçilen Ergene Nehri boyunca bir hat üzerinden alınan örneklerin ardışık konumları sayesinde bu noktalarda ölçülen TOK değerlerinin hem nehir boyunca mevcut endüstriyel tesislerin deşarjları hem de küçük derelerin katılımı ile kimi noktalarda çok yüksek TOK sonuçlarına neden olduğu görülebilmektedir. TOK ölçüm değerleri literatür verileri ile karşılaştırıldığında tarımsal alan ve referans olarak belirlenen, kirlenmenin az olduğu bölgeden alınan ölçümlerin literatürdeki değerler seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Endüstri yoğun bölgedeki sediment değerleri ise 0,3-15,6 aralığında değişmekte olup genel olarak literatür değerlerinden daha yüksektir. Literatürde endüstriyel üretimin yüksek olduğu ABD, Çin ve Hindistan'daki belirli bölgelerdeki değerlerle uyumlu olduğu ve çalışmalarda tespit edilen TOK konsantrasyonlarının mikro kirleticiler, plastik, ilaç ve kişisel bakım ürünleri deşarjının yoğun olarak bulunduğu evsel atıksu akımları ve endüstriyel atıksu akımları ile ilişkilendirilmiştir.

Çalışma kapsamında toplanan sediment numunelerinde ağır metallerin yanında potasyum, fosfor, kükürt gibi bazı yarı metal ve eser element analizleri de gerçekleştirilmiştir. Bu elementler için de 2. dönem ve endüstriyel alanda ölçülen değerler daha yüksek bulunmuştur. Literatür sonuçları ile endüstriyel alan ölçümleri hariç uyumlu sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir.

Ağır metal değerleri ölçüm sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde neredeyse tüm ağır metal türleri için tüm noktalarda 2. dönem sonuçları daha yüksek seviyelerde elde edilmiş ve endüstriyel bölgeler için ölçülen sonuçlar diğer noktalara göre daha yüksek seviyelerde tespit edilmiştir. Ağır metal sonuçları literatür değerleri ile karşılaştırılmış ve tarım ve referans alan değerlerinin literatür değerleri seviyesinde iken endüstriyel alan için ölçülen değerlerin daha yüksek seviyede olduğu değerlendirilmiştir.

Ağır metallerin birbiri ile korelasyonu oldukça yüksektir. Mangan dışında neredeyse tüm elementler birbiriyle yüksek pozitif korelasyon vermiştir. Genel olarak en yüksek korelasyon değerleri Cd-Co; Ni-Cd; Ni-Co ve Pb-Zn arasındadır. Bu kirleticiler için

belirlenen metal kaynakları birbirine benzer olup özellikle Cd, Co, Zn, Pb, Cr ve Ni elementlerinin ortak kaynakları tarımsal kaynakların yanında ilaç, boya, yapıştırıcı imalatı ve tekstil ve kaplama endüstrisidir. Sayılan endüstriyel kaynaklar çalışma alanında özellikle endüstriyel alanlarda yoğun olarak mevcuttur.

TOK sonuçlarının ağır metal türleri ile korelasyonu Mn hariç 0,38-0,54 aralığındadır. TOK değerlerinin en yüksek korelasyon verdiği ağır metaller 0,54 ile Cr ve 0,51 ile Cd olmuştur. Antropojenik kirlenmenin önemli bir göstergesi olan TOK değerlerinin özellikle endüstriyel kaynaklı kirlenmeler olduğu bilinen Cd ve Cr ile yüksek korelasyonu önemli bir bulgu olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmada, benzer kirlilik kaynaklarına sahip örnekleme sahalarını (mekansal değişkenlik) ve benzer kirlilik kaynaklarına sahip ağır metalleri gruplandırmak için sediment analiz parametreleri veri setine hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) uygulanmıştır. Ağır metal türleri için uygulanan HCA sonuçlarına göre 2 farklı cluster belirlenmiştir. Cluster 1 Co, Ni, Cd ve Mn ve Cluster 2 Cu, Zn, Pb ve Cr ağır metallerinden oluşmuştur. Değerlendirmeye göre HCA analizinin ağır metal türleri için verdiği bilgilerle kaynaklarına göre gruplandırmak zor olmakla birlikte, Fe, Mn ve Mg kaynakları özellikle tarımsal faaliyetler+evsel deşarjlar ile ilişkilendirilmiş ve Cluster 1 için gruplanan metallerin evsel deşarj ve tarımsal ağırlıklı kirlenmeyi yansıtırken, Cluster 2 olarak gruplandırılan ve Cr, Pb ve Zn gibi deri ve tekstil sektörü için önemli kirlenmeler barındıran Cluster 2 endüstriyel faaliyetlerle ilişkilendirilmiştir.

HCA analizi sonuçlarına göre örnekleme noktaları belirgin üç grup altında toplanmıştır. Genel olarak tarımsal aktivitelerin yoğunluğuna göre seçilen numune alma noktalarının Cluster 2 altında toplandığı gözlenmektedir. Bu noktalar genellikle havzanın kuzeyinde Kırklareli civarındaki lokasyonlardır ve bu noktalarda nispeten ağır metal türleri için düşük konsantrasyon değerleri belirlenmiştir. Cluster 1 ise genel olarak endüstri yoğun bölge olarak seçilen Ergene Nehri boyunca bir hat üzerinden alınan ardışık örneklerin gruplandığı küme olmuştur. Bu noktalar neredeyse tüm metal türleri için yüksek konsantrasyonların gözlediği noktalardır. HCA analizi sonuçlarının örnekleme noktalarının kirlenme kaynak grup dağılımlarını ve özellikle tarımsal ve endüstri yoğun bölgelerin ağır metal konsantrasyon dağılımlarındaki ayrımı net bir şekilde ifade ettiği belirlenmiştir.

Çalışmada referans olarak seçilen bölge, tarım yoğun bölge ve endüstri yoğun bölgelerdeki sedimentlerde kirliliğinin seviyesi ve kaynakları; EF, CF, PLI, Igeo ve PERI (E_r^i ve RI) gibi çeşitli indekslerle belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonuçlarında özellikle endüstri

yoğun bölgelerdeki noktalarda Cd, Co, Cu, Pb, Zn gibi ağır metallere zenginleşme ve kirlenme olduğu tespit edilmiştir.

Zenginleşmenin belirlenmesi için kullanılan EF açısından değerlendirme yapıldığında referans bölgelerde dahi özellikle Cd, Cu ve Pb açısından orta şiddette zenginleşmeye rastlanmıştır. Tarım yoğun bölgelerdeki noktalar EF açısından incelendiğinde yine Cd, Cu ve Pb açısından orta derecede şiddetli zenginleşme olduğu görülmüştür. Endüstri yoğun bölgelerde ise beklendiği gibi Cu (28.04 şiddetli zenginleşme) başta olmak üzere Cd, Cr, Pb ve Zn açısından orta şiddetli ve şiddetli zenginleşme olduğu görülmüştür. Bu durumun en önemli sebebi havzadaki yoğun endüstriyel faaliyetlerde kullanılan boyalar, pigmentler, çeşitli yardımcı maddeler, kaplayıcılar vb.'dir. Referans bölgelerle karşılaştırma yapıldığında Cd, Cu ve Pb açısından ortak zenginleşme bölgenin toprak ve kayaç yapısının incelenmesi gerekliliğini de ortaya koymaktadır.

Kirlenmenin belirlenmesi için kullanılan diğer indeksler CF ve PLI'dır. CF dikkate alındığında referans bölge ve tarım yoğun bölgelerdeki örnekleme noktalarında Cd, Cu ve Pb açısından orta derecede kirlenme tespit edilmiştir. PLI açısından ortalama değerler dikkate alındığında ise bu bölgeler kirlenmemiş sınıfına girmişlerdir. Endüstri yoğun bölgelerde ise noktaların büyük bir kısmında Cd, Cr, Cu, Pb, Ni ve Zn açısından önemli boyutta kirlenme ve yüksek derecede kirlenmeye maruz kaldıkları görülmüştür. PLI'ya göre değerlendirme yapıldığında ise EY3 noktası hariç diğer tüm noktaların kirlenmiş olarak sınıflandırıldığı görülmektedir. EY3'ün bu kirlenmemiş olarak sınıflandırılmasının nedeni bu noktanın diğer endüstri yoğun noktalara göre daha temiz olmasından dolayıdır. Çünkü EY3 Ergene Deresi'nin henüz Çorlu Deresi ile birleşmeden önceki nispeten daha temiz noktalarından biridir.

Jeokimyasal arka plan konsantrasyonları ile karşılaştırılan çevresel kirlilik durumunu değerlendirmek için kullanılan bir indeks olan Igeo'ya göre yapılan değerlendirmeye göre referans olarak seçilen RF1'in Cd ve Co açısından orta derecede kirli olduğu belirlenmiştir. Üç referans noktasının ortalamasına göre ise Cd ve Co açısından ise bu iki nokta kirlenmemiş ile orta kirlenmiş bölge arasında sınıflandırılmıştır. Tarım yoğun bölgedeki örnekleme noktaları değerlendirildiğinde Cd açısından kirlenmemiş ile orta kirlenmiş bölge arasında, Co açısından ise orta derecede kirlenmiş bölge olarak sınıflandırıldığı, diğer ağır metaller açısından ise kirlenmemiş sınıfına girdiği görülmüştür. Endüstri yoğun bölgelerdeki noktalar değerlendirildiğinde Cd, Co, Cr, Cu, Pb ve Zn açısından kirlenmemiş ile orta derecede kirlenmiş ve orta ile çok kirlenmiş noktalara rastlanmıştır.

Sedimentlerde ağır metal kirliliğinin ekolojik risklerinin kapsamlı bir şekilde yapılmasını sağlamak ve herhangi bir metalin potansiyel risk faktörünü belirlemek için E_r^i ve RI indeksleri kullanılır. Bu indeksler kullanılarak yapılan sonuçlara göre referans noktalarda özellikle RF1 noktasının E_r^i değerine göre Cd açısından önemli ekolojik risk altında olduğu görülmüştür. RI değerlerinde ise tüm referans noktaları düşük ekolojik risk altında bulunmuştur. Tarım yoğun noktalarda E_r^i değerine göre yine Cd açısından bazı noktalarda orta, bazı noktalarda önemli ekolojik risk altında noktalara rastlanmıştır. RI değerine göre değerlendirme yapıldığında ise 16 tarım yoğun bölgeden 3'ünün orta ekolojik risk altında olduğu görülmüştür. Endüstri yoğun bölgelerdeki örnekleme noktalarında da E_r^i açısından Cd'un önemli ekolojik risk oluşturduğu diğer ağır metallerin düşük ekolojik risk oluşturduğu görülmüştür. RI değerlerine göre ise 22 noktadan sadece 2 noktanın düşük ekolojik risk oluşturduğu diğer tüm noktaların orta ekolojik risk oluşturduğu söylenebilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Tchounwou, P. B. , Yedjou, C. G. , Patlolla, A. K. ve Sutton, D. J. , Heavy Metals Toxicity and the Environment, *PMC*, 101: 133–164, **2014**.
2. Özbolat, G. ve Tuli, A. , Ağır Metal Toksisitesinin İnsan Sağlığına Etkileri, *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 25(4):502-521, **2016**.
3. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/figure/Heavy-metal-position-in-Periodic-Table_fig1_221929618
4. T.C. Resmi Gazete, 21 Şubat 2015, sayı: 29274, Başbakanlık Basımevi, Ankara
5. Balık, İ. ve Tunca, E. , Sedimentteki Metal Kirliliğini Değerlendiren Yöntemler Üzerine Bir Derleme, *Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi*, Cilt: 1 Sayı: 1 (2015) 37-47, **2015**.
6. Harikumar, P.S. , Prajitha, K. ve Silpa S. , Assessment of Heavy Metal Contamination in the Sediments of a River Draining into a Ramsar Site in the Indian Subcontinent, *Journal of Advanced Laboratory Research in Biology*, Volume 1, Issue 2, October, **2010**.
7. Güldiren, O. ve Özcan, Tekin, S. , Seyhan Baraj Gölü (Adana)'nın Suyunda ve Sedimentindeki Bazı Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Yalvaç Akademi Dergisi*, 2 (1) : 99-111, **2017**.
8. Ustaoglu, F. ve Tepe, Y. , Pazarsuyu Deresi (Giresun, Türkiye) Sediment Kalitesinin Çok Değişkenli İstatistik Yöntemlerle Belirlenmesi, *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(3): 304-312, **2018**.
9. Sökmen, T. Ö. , Güneş, M. ve Kırıcı, M. , Karasu Nehri'nden (Erzincan) Alınan Su, Sediment ve Capota umbra Dokularındaki Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(4): 578–588, **2018**.
10. İşeri, İ. ve Arıman, S. , Sedimandaki Ağır Metal Konsantrasyonunun Çoklu Değişken Regresyon Modelleri ve Çok Katmanlı Algılayıcı Ağ Modeli ile Tahmini, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı*, S. 389-397, Ekim, **2019**.
11. Akçay, H. , Oğuz, A. ve Karapire, C. , Study Of Heavy Metal Pollution And Speciation İn Buyak Menderes And Gediz River Sediments, *Water Research*, 37 (**2003**) 813–822.

12. Sekabira, K. , Origa, Oryem, H. , Basamba, T. A. , Mutumba, G. ve Kakudidi, E. , Assessment Of Heavy Metal Pollution İn The Urban Stream Sediments And İts Tributaries, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7 (3), 435-446, Summer, **2010**.
13. Ruilian, Y. , Xing, Y. , Yuanhui, Z. , Gongren, H. ve Xianglin, T. , Heavy Metal Pollution İn İntertidal Sediments From Quanzhou Bay, China, *Journal of Environmental Sciences – Elsevier*, 20(**2008**) 664–669.
14. Gao, X. ve Chen, C.T. , Heavy Metal Pollution Status İn Surface Sediments Of The Coastal Bohai Bay, *Water Research*, 46 (**2012**) 1901-1911.
15. Türkmen, A. ve Aras, S. , İskenderun Körfezi’nde Deniz Suyu ve Sedimentte Oluşan Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, İlkbahar, Yıl: 2 Cilt: 1 Sayı: 3 Sayfa 1-23, **2011**.
16. Yılğör S. (**2012**) Bafa Gölü Sedimanlarındaki Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, (Danışman: Prof. Dr. Erdeniz ÖZEL).
17. Tokatlı, C. , Çiçek, A. ve Köse, E. , Biyo – Ekolojik Risk İndeksleri Kullanılarak Seydisuyu Havzası Sediment Kalitesini Değerlendirilmesi, *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.*, 7(2): 115-123, **2017**.
18. Özkan, E.Y. ve Büyükişik, B. , Geochemical and Statistical Approach for Assessing Heavy Metal Accumulation in the Southern Black Sea Sediments, *Ekoloji* 21, 83, 11-24 (**2012**).
19. Şener, Ş. ve Şener, E. , Kovada Gölü (Isparta) Dip Sedimanlarında Ağır Metal Dağılımı ve Kirliliğinin Değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 86-96, **2015**.
20. Uluturhan, Suzer, E. , Kontaş, A. ve Can, Yılmaz, E. , Gediz Deltası Dalyan Alanlarının (İzmir Körfezi) Yüzey Sedimentlerinde Ağır Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi, *Su Ürünleri Dergisi*, 32(2): 79-87 (**2015**).
21. Wang, A. , Bong, C.W. , Xu, Y. , Hassan, M.H.A , Ye, X. , Bakar, A.F.A, Li, Y. , Lai, Z. , Xu, J. ve Loh, K.H. , Assessment Of Heavy Metal Pollution İn Surficial Sediments From A

Tropical River-Estuary-Shelf System: A Case Study Of Kelantan River, Malaysia, *Marine Pollution Bulletin – Elsevier*, 125 (2017) 492–500.

22. Kadhum, S.A. , Ishak, M.Y. , Zulkifli, S.z. , Hashim, R. , Evaluation Of The Status And Distributions Of Heavy Metal Pollution In Surface Sediments Of The Langat River Basin In Selangor Malaysia, *Marine Pollution Bulletin – Elsevier*, 101 (2015) 391–396.

23. Liao, J. , Chen, J. , Ru, X. , Chen, J. , Wu, H. ve Wei, C. , Heavy Metals In River Surface Sediments Affected With Multiple Pollution Sources, South China: Distribution, Enrichment And Source Apportionment, *Journal of Geochemical Exploration – Elsevier*, 176 (2017) 9–19.

24. Zhao, D. , Wan, S. , Yu, Z. ve Huang, J. , Distribution, Enrichment And Sources Of Heavy Metals In Surface Sediments Of Hainan Island Rivers, China, *Environ Earth Sci*, 10.1007/s12665-015-4522-4, 2015.

25. Bhuyan, Md. S. , Bakar, M.A. , Akhtar, A. , Hossain, M.B. , Ali, M.M. ve Islam, Md. S. , Heavy Metal Contamination In Surface Water And Sediment Of The Meghna River, Bangladesh, *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management – Elsevier*, 8 (2017) 273–279.

26. Duodu, G. O. , Goonetilleke, A. ve Ayoko, G.A. , Comparison Of Pollution Indices For The Assessment Of Heavy Metal In Brisbane River Sediment, *Environmental Pollution – Elsevier*, 219 (2016) 1077-1091.

27. Nguyen, T.T.H. , Zhang, W. , Li, Z. , Li, J. , Ge, C. , Liu, J. , Bai, X. , Feng, H. ve Yu, L. , Assessment Of Heavy Metal Pollution In Red River Surface Sediments, Vietnam, *Marine Pollution Bulletin – Elsevier*, 113 (2016) 513–519.

28. Ali, M.M. , Ali, M.L. , Islam, Md.S.ve Rahman, Md.Z. , Preliminary Assessment Of Heavy Metals In Water And Sediment Of Karnaphuli River, Bangladesh, *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management – Elsevier*, 5 (2016) 27–35.

29. Islam, Md. S. , Hossain, M.B. , Matin, A. , Sarker, Md. S.I. , Assessment Of Heavy Metal Pollution, Distribution And Source Apportionment In The Sediment From Feni River Estuary, Bangladesh, *Chemosphere – Elsevier*, 202 (2018) 25-32.

30. Üçüncü, Tunca, E. , Beyşehir Gölü'nde Su ve Sedimentte Ağır Metal Birikimi ve Sedimentte Antropojenik Kontaminasyon Değerlendirmesi, *Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg., Cilt:6, Sayı:2, 2016,205-219/Ordu Univ, 2016.*
31. Alkarkhi, A.F.M., Ismail, N. , Ahmed, A. ve Ease, A., Analysis Of Heavy Metal Concentrations İn Sediments Of Selected Estuaries Of Malaysia—A Statistical Assessment, *Environ Monit Assess, (2009) 153:179–185.*
32. Kalyoncu, H. , Özan, C. Ve Tekin, Özan, S., Isparta Deresi'nin Su ve Sedimentlerindeki Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(Ek Sayı 1): 268-280 (2016).*
33. Karthikeyan, P. , Vennila, G. , Nanthakumar, G. ve Aswini, M. , Dataset For Spatial Distribution And Pollution Indices Of Heavy Metals İn The Surface Sediments Of Emerald Lake, Tamil Nadu, India, *Data in brief– Elsevier, 28 (2020) 104877.*
34. Hedayatzadeh, F. ve Hassanzadeh, N. , Evaluation of Heavy Metal Contamination and Ecological Risk Assessment in Sediments of Karun using Aquatic Pollution Indices, *Journal Homepage, 2020;9(1):10-26.*
35. Kiracı A. (2014) Azap Gölü'nün Sedimentlerindeki Ve Sularındaki Ağır Metal Miktarlarının Belirlenmesi. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aydın, (Danışman: Prof. Dr. Mustafa DEMİR).
36. Ozbay, O. , Goksu, M.Z.L., Alp, M.T. ve Sungur, M.A., Berdan Çayı (Tarsus - Mersin) Sedimentinde Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması, *Ekoloji, 22, 86, 68-74 (2013).*
37. Kumar, S. , Heavy Metal Pollution İn Gomti River Sediments Around Lucknow, Uttar Pradesh, *Current Science, May 20, 1989, Vol. 58, No. 10 (May 20, 1989), pp. 557-559, 1989.*
38. Meriç-Ergene Havzası Endüstriyel Atıksu Yönetimi Ana Plan Çalışması Final Raporu Kasım 2010, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve İO Çevre Çözümleri, 2010.
39. ERGENE HAVZASI Koruma Eylem Planı Durum Değerlendirme Raporu II ARALIK 2018, Marmara Belediyeler Birliği, İstanbul, 2018.
40. EHAÇYP, Ergene Havzası Arıtma Çamuru Yönetim Planının Hazırlanması Projesi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Namık Kemal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 2016.

41. Erişim Adresi: <https://bepa.enerji.gov.tr>.
42. *Ergene Havzası Koruma Eylem Planı*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Mayıs, **2011**.
43. Trakya Bölgesinde İklim Değişikliğinin Etkileri ve Uyum Stratejileri, Namık Kemal Üniversitesi, Editör: Fatih Konukçu, Selçuk Albut, Bahadır Altürk, Basım sayısı: 1, Sayfa Sayısı 194, ISBN: 978-605-4265-57-2, Türkçe (Bilimsel Kitap) **2019**.
44. Kahkönen, M. , Pantsar, M. and Manninen, P. , Analysing Heavy Metal Concentrations In The Different Parts Of Elodea Canadensis And Surface Sediment With Pca In Two Boreal Lakes In Southern Finland, *Chemosphere*, Vo 35, No. 1 I, pp. 2645-2656, **1997**.
45. Bantan, R. , Al-Dubai, T. and Al-Zubieri, A. , Geo-Environmental Assessment Of Heavy Metals İn The Bottom Sediments Of The Southern Corniche Of Jeddah, Saudi Arabia, *Marine Pollution Bulletin* 161 (2020) 111721, **2020**.
46. Shibini Mol, P.A. and Sujatha, C.H., Distribution And Geochemical Speciation Of Sediment Bound Heavy Metals İn The Specific Zones Of Central Kerala, India, Environmental Nanotechnology, *Monitoring & Management* 14 (2020) 100358, **2020**.
47. Mehr M. R. , Keshavarzi B. , Moore F. , Fooladivanda S. , Sorooshian A. And Biester H. , Spatial Distribution, Environmental Risk And Sources Of Heavy Metals And Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Pahs) İn Surface Sediments-Northwest Of Persian Gulf, *Continental Shelf Research* 193 (2020) 104036, **2020**.
48. Lukashev, DV, Accumulation Of Heavy Metals By Anodonta Anatina (L.) İn The Place Of Household Sewerage Release İn The River Ecosystem, *Hydrobiol J* 46(4):67-77, **2010**.
49. Vystavna Y, Huneau F, Schafer J, Motelica-Heino M, Blanc G, Larrose A, Vergeles Y, Diadin D, Le Coustumer P, Distribution Of Trace Elements İn Waters And Sediments Of The Seversky Donets Transboundary Watershed (Kharkiv Region, Eastern Ukraine), *Appl Geochem* 27(10):2077-2087, **2012**.
50. Drozdova J, Raclavska H, Raclavsky K, Skrobankova H., Heavy Metals İn Domestic Wastewater With Respect To Urban Population İn Ostrava, Czech Republic, *Water Environ J* 33(1):77-85, **2018**.

51. El-Hassanin AS, Samaka MR, Abdel-Rahman GN, Abu-Sree YH, Saleh EM., Risk Assessment Of Human Exposure To Lead And Cadmium İn Maize Grains Cultivated İn Soils Irrigated Either With Low-Quality Water Or Freshwater, *Toxicol Reports* 7:10–15, **2020**.
52. Tian HZ, Lu L, Cheng K, Hao JM, Zhao D, Wang Y, Jia WX, Qiu PP, Anthropogenic Atmospheric Nickel Emissions And İts Distribution Characteristics İn China, *Sci Total Environ* 417-418:148-157, **2012**.
53. Caeiro, S., Costa, M.H., Ramos, T.B., Fernandes, F., Silveira, N., Coimbra, A., Medeiros, G. & Painho, M. , Assessing Heavy Metal Contamination İn Sado Estuary Sediment: An İndex Analysis Approach, *Ecological Indicators* 5 (2005) 151–169, **2005**.
54. M. Barbieri, The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (I_{geo}) to Evaluate the Soil Contamination, *J Geolog and Geophysics*, vol. 5, no.1 , pp.1-4, **2016**.
55. S.M. Sakan, D.S. Dordevic, D.D. Manojlovic and P.S. Predrag, Assessment Of Heavy Metal Pollutants Accumulation İn The Tisza River Sediments, *Journal of Environmental Management* 90 (2009) 3382–3390, **2009**.
56. L. Hakanson, An Ecological Risk İndex for Aquatic Pollution Control a Sedimentological Approach, *Water Research*, vol. 14, no. 8, 975, **1980**.
57. H. Malvandi, Preliminary Evaluation Of Heavy Metal Contamination İn The Zarrin-Gol River Sediments, Iran, *Marine Pollution Bulletin* 117 (2017) 547–553, **2017**.
58. Müller, G., Index Of Geoaccumulation İn Sediments Of The Rhine River. *Geo. J.* 2, 108–118, **1969**.
59. Erişim adresi: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>.
60. B. Ercişli, Kars Çayı'nın Suyunda, Sedimentinde Ve Bazı Sucul Organizmalarda İz Elementlerin Derişim Düzeylerinin Araştırılması, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kars, **2016**.
61. Topbaş, M. , Brohi A., Karaman, M., Çevre Kirliliğine Sebep Olan Faktörler, Çevre Bakanlığı Yayınları, pp.12-61, Ankara, **1998**.

62. Tumantozlu, H. , Karacaören II Baraj Gölün'deki Su, Sediment Ve Sazan (Cyprinus carpio L., 1758) Örneklerinde Bazı Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, **2010**.
63. Seven, T. , Can, B. , Darende, B. N. ve Ocak, S., Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Sayı 1(2): 91-103, **2018**.
64. Kahvecioğlu, Ö. , Kartal, G. , Güven A. ve Timur S. , Metallerin Çevresel Etkileri –I, İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
65. Baykurt, F. , Baykurt, S. , Aydın, A., Su kirleticileri ve özellikleri, Çevre Sorunları ve Korunma, *İstanbul Üniversitesi Yayınları*, pp.131-134, İstanbul, **1987**.
66. Tuncay, Y. , Kovada Gölün'de Yaşayan İstakozlarda (Astacus leptodactylus Eschscholtz, 1823) Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisan Tezi, Isparta, **2007**.
67. Canbrolle, J. , Garcia, J., Figueroa, M., Cantos, M., Evaluating Wild Grapevine Tolerance To Copper Toxicity, *Chemosphere*, 120: 171-178, **2015**.
68. Tanyolaç, J. , Suyun kimyasal özellikleri, Limnoloji, Hatiboğlu Yayınları, pp.63-73, Ankara, **2004**.
69. Keskin, F. , Köyceğiz Gölü Sedimentinde Ağır Metal Fraksiyonlarının İncelenmesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisan Tezi, Muğla, **2012**.
70. Kayhan, F. , Su Ürünlerinde Kadmiyum Biyobirikimi Ve Toksikitesi, Ege Üni. *Su Ürünleri Der*, 23: 215-220, **2006**.
71. Kanagaraj, J., Babu, N., Mandal, A., Recovery And Reuse Of Chromium From Chrome Tanning Waste Water Aiming Towards Zero Discharge Of Pollution, *Journal of Cleaner Production*, 16: 1807-1813, **2008**.
72. Yang, H., Wang, F., Yu, J., Huang, K., Zhang, H. ve Fy, Z., An İmproved Weighted İndex For The Assessment Of Heavy Metal Pollution İn Soils İn Zhejiang, China, *Environmental Research* Volume 192, January 2021, 110246, **2021**.

73. Zhuang, Q., Li, G. ve Liu, Z., Distribution, Source And Pollution Level Of Heavy Metals İn River Sedimentsfrom South China, *CATENA* Volume 170, November 2018, Pages 386-396, **2018**.
74. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (Resmî Gazete Tarihi: 30.11.2012 Resmî Gazete Sayısı: 28483).
75. Dündar, M. Ş. , Altundağ, H. , Kaygaldurak, S. , Şar, V. ve Acar, A. , Çeşitli Endüstriyel Atık Sularda Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi, *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, 16. Cilt, 1. Sayı, s. 6-12, **2012**.
76. Dinç, H. ve Yılmaz, O. , Gaziantep Sanayi Atık Sularında Arıtma Öncesi ve Sonrası Ağır Metal Düzeyleri, *YYÜ Veteriner Fakültesi Dergisi*, 2013, 24 (1), 19 - 24 ISSN: 1017-8422; e-ISSN: 1308-3651, **2013**.
77. Murathan, S. A. ve Yıldırım, M. E. , Ağır Metal İçeren Endüstriyel Atık Suların Eysel Atık Sularla Birlikte Aktif Çamur Yöntemiyle Arıtılması, *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, C. IX, S. 3, **1996**.
78. Oktor, K. , İzmit Körfezine (Kocaeli, Türkiye) Dökülen Derelerde Cr (V₁) Tayini, *Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Müh. Böl.*, Kocaeli, **2018**.
79. Moore, T.R, Dynamics Of Dissolved Organic Carbon İn Forested And Disturbed Catchments, Wetland, New Zealand. 1. Maimai. *Water Resour. Res.* 25:1321–1330, **1989**.
80. Y. Ouyang. Nkedi-Kizza.T. Wu. Shinde.H. Huang, Assessment Of Seasonal Variations İn Surface Water Quality, *Water Research* 40 (2006) 3800– 3810, **2006**.
81. Trefry, J.H., R.P. Trocine, S. Metz, T.A. Neilson, and N. Hawley, Suspended Particulate Matter On The Louisiana Shelf: Concentrations, Composition And Transport Pathways. p. 126–130. In Nutrient enhanced coastal ocean productivity. Publ. TAMU-SG-92-109. *Sea Grant Program, Texas A&M Univ., Galveston*, **1992**.
82. Brady, N.C., The Nature And Properties Of Soils, *Macmillan Publ., New York*, **1984**.
83. Eker, Ç. ve Özkan, Ö., Ankara Çayı Dere Yatağı Sedimanlarının Zararlı Element İçeriği, *Güfbed/Gustij* (2017) 7 (2): 208-220, **2017**.

84. Lin, J.G., Chen, S.Y., The Relationship Between Adsorption Of Heavy Metal And Organic Matter In River Sediments, *Environment International*, 24, 345-352, **1997**.
85. Folger DW, Texture And Organic Carbon Content Of Bottom Sediments In Some Estuaries Of The United States. In: Nelson BW (Eds.) *Environmental Framework of Coastal Plain Estuaries, Memoirs of the Geological Society of America*, 133: 391-408, **1972**.
86. Yang, H.J., Jeong, H.J., Bong, K.M., Jin, D.R., Kang, T.-W., Ryu, H.-S., Han, J.H., Yang, W.J., Jung, H., Hwang, S.H. and Na, E.H., Organic Matter And Heavy Metal In River Sediments Of Southwestern Coastal Korea: Spatial Distributions, Pollution, And Ecological Risk Assessment, *Marine Pollution Bulletin* Volume 159, October 2020, 111466, **2020**.
87. Liu, Y., Zhang, J., Tang, Y., He, Y., Li, Y., You, J., Breider, F., Tao, S. ve Liu, W., Effects Of Anthropogenic Discharge And Hydraulic Deposition On The Distribution And Accumulation Of Microplastics In Surface Sediments Of A Typical Seagoing River: The Haihe River, *Journal of Hazardous Materials* Volume 404, Part B, 15 February 2021, 124180, **2021**.
88. Feng, H., K. Cochran, H.L. Bruce, J. Brownawell, and D.J. Hirschberg, Distribution Of Heavy Metal And PCB Contaminants In The Sediments Of An Urban Estuary: The Hudson River, *Water Sci. Technol.* 45: 69–88, **1998**.
89. Silliman, J.E., and C.L. Schelske, Saturated Hydrocarbons In The Sediments Of Lake Apopka, Florida. *Org. Geochem.* 34:253–260, **2003**.
90. Chakraborty, P., Mukhopadhyay, M., Sampath, S., Ramaswamy, B., Katsoyiannis, A., Cincinelli, A. ve Snow, D., Organic Micropollutants In The Surface Riverine Sediment Along The Lower Stretch Of The Transboundary River Ganga: Occurrences, Sources And Ecological Risk Assessment, *Environmental Pollution* Volume 249, June 2019, Pages 1071-1080, **2019**.
91. Mueller, J.A., T.A. Gerrish, and M.C. Casey, Contaminant Inputs To The Hudson-Raritan Estuary. NOAA Tech. Memo. OMPA-12, *Office of Marine Pollution Assessment*, NOAA, Boulder, CO, **1982**.
92. Jia, G.D., and P.A. Peng., Temporal And Spatial Variations In Signatures Of Sedimented Organic Matter In Lingding Bay (Pearl Estuary), southern China. *Mar. Chem.* 82:47–54, **2003**.

93. Tokatlı, C., Köse, E., Uysal, K., Çiçek, A. ve Arslan, N., Porsuk Baraj Gölü Epipelik Diyatome Frustullerinde Makro ve Mikro Element Konsantrasyonlarının Belirlenmesi, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 4 (2): 1-6, **2011**.
94. Köse, E., Tokatlı C. ve Çiçek, A., Antropojenik Baskıdan Uzak Gürleyik Çayı Kaynağında (Eskişehir) Bazı Makro ve Mikro Element Konsantrasyonları, *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi* 6 (1): 40-43, **2013**.
95. Lee, I., Yang, J., Common Clustering Algorithms. In S. D. Brown, R. Tauler, & B. Walczak (Eds.), *Oxford, England: Elsevier, Comprehensive chemometrics* (pp. 577–618), **2009**.
96. Granatoa, D., Santosa, J., Escher, G., Ferreira, B. ve Maggio, R., Use Of Principal Component Analysis (PCA) And Hierarchical Cluster Analysis(HCA) For Multivariate Association Between Bioactive Compounds Andfunctional Properties İn Foods: A Critical Perspective, *Trends in Food Science & Technology* Volume 72, February 2018, Pages 83-90, **2018**.
97. Ranjbar, J., Bakhtiyari, A., Shadmehri Toosi, A., Jadot, C., Spatial Distribution, Ecological And Health Risk Assessment Of Heavy Metals İn Marine Surface Sediments And Coastal Seawaters Of Fringing Coral Reefs Of The Persian Gulf, Iran, *Chemosphere* 185, 1090e1111, **2017**.
98. Fang, X., Peng, B., Wang, X., Song, Z., Zhou, D., Wang, Q., Qin, Z., Tan, C., Distribution, Contamination And Source İdentification Of Heavy Metals İn Bed Sediments From The Lower Reaches Of The Xiangjiang River İn Hunan Province, *China. Sci. Total Environ.* 689, 557e570, **2019**.
99. Wang, X., Fu, R., Li, H., Zhangd, Y., Lu, M., Xiaoa, K., Zhang, X., Zheng, C., Xiong, Y., Heavy Metal Contamination İn Surface Sediments: A Comprehensive, Large-Scale Evaluation For The Bohai Sea, China, *Environmental Pollution* Volume 260, May 2020, 113986, **2020**.
100. Hanedar, A., Assessment Of Airborne Heavy Metal Pollution İn Soil And Lichen İn The Meric-Ergene Basin, Turkey, *Environmental Technology*, 2015 Vol. 36, No. 20, 2588–2602, **2015**.

101. Dash, S., Borah, S. ve Kalamdhad, A., Heavy Metal Pollution And Potential Ecological Risk Assessment For Surficial Sediments Of Deepor Beel, India, *Ecological Indicators* Volume 122, March 2021, 107265, **2021**.
102. Buccolieri, A., Buccolieri, G., Cardellicchio, N., Dell'Atti, A., Di Leo, A., Maci, A., Heavy Metals In Marine Sediments Of Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy), *Mar. Chem.* 99:227–235, **2006**.
103. Chabukdhara, M., Nema, A.K., Assessment Of Heavy Metal Contamination In Hindon River Sediments: A Chemometric And Geochemical Approach, *Chemosphere* 87: 945–953, **2012**.
104. Díaz-de Alba, M., Galindo-Riaño, M.D., Casanueva-Marengo, M.J., García-Vargas, M., Kosore, C.M., Assessment Of The Metal Pollution, Potential Toxicity And Speciation Of Sediment From Algeciras Bay (South Of Spain) Using Chemometric Tools. *J. Hazard, Mater.* 190:177–187, **2011**.
105. Harikumar, P.S., Jisha, T.S., Distribution Pattern Of Trace Metal Pollutants In The Sediments Of An Urban Wetland In The Southwest Coast Of India, *Int. J. Eng. Sci. Technol*, 2, 840–850, **2010**.
106. Rzetala, M.A., Cadmium Contamination Of Sediments In The Water Reservoirs In Silesian Upland (Southern Poland), *J Soils Sediments* (2016) 16:2458–2470, **2016**.