T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKARSU KIYI SEDİMENTLERİNDE METAL KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ VE EKOLOJİK RİSK İNDEKSLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Elif CİHAN

DANIŞMAN
Doç. Dr. Naim SEZGİN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Haziran, 2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Elif CİHAN tarafından, **Doç. Dr. Naim SEZGİN** danışmanlığında hazırlanan " **AKARSU KIYI SEDİMENTLERİNDE METAL KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ VE EKOLOJİK RİSK İNDEKSLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ** " başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **09/06/2022** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Doç. Dr. Naim SEZGİN İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Dilek Eren AKYÜZ İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Hidrolik Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Esra Billur BALCIOĞLU İstanbul Üniversitesi Kimyasal Oşinografi Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Elif CİHAN
(İmza)

Annem, Babam, Kardeşlerim ve Nişanlıma ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

AKARSU KIYI SEDİMENTLERİNDE METAL KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ VE EKOLOJİK RİSK İNDEKSLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: 35568

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca yardımlarını esirgemeyen, benim için çok kıymetli olan hocam Doç. Dr. Naim SEZGİN'e sonsuz teşekkür ederim. Çalışmalarımın yürütülmesinde yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Namık AYSAL'a sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmamın laboratuvar kısmında analizlerin gerçekleştirilmesinde yardım eden değerli arkadaşlarım Fatma ŞİŞMAN, Fulya UZUN, Ersin KAYGISIZ, Taki SÖNMEZ'e sonsuz teşekkür ederim. Tez çalışmam boyunca her türlü yardımı esirgemeyen kuzenim Aleyna ÇEGEN ve çok değerli dostum Berfin TANIŞ'a sonsuz teşekkür ederim.

Tez yazma süresince yanımda olan ve göstermiş olduğu sabır ve saygısından dolayı, hayat arkadaşım olacak olan Hilmi Can ARAS'a, sonsuz teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan annem, babam ve kardeşlerime sonsuz teşekkür ederim.

Haziran 2022 Elif CİHAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BEYAN ..... **iii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
TABLO LİSTESİ ..... **x**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xii**
ABSTRACT ..... **xiv**
1. GİRİŞ **1**
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **3**
3. YÖNTEM **9**
3.1. ÇALIŞMA ALANI 9
3.2. ÖRNEKLEME NOKTALARI ve SEDİMENT NUMUNELERİNİN ALINMASI 10
3.3. SEDİMENT NUMUNELERİNİN SU MUHTEVASININ BELİRLENMESİ 13
3.4. SEDİMENT NUMUNELERİNİN ORGANİK MADDE İÇERİĞİ ve AKARSU pH DEĞERLERİ 14
3.5. SEDİMENT NUMUNELERİNİN METAL ANALİZLERİ 15
3.6. EKOLOJİK RİSK İNDEKSLERİNİN HESAPLANMASI 16
3.6.1. Jeo-akümülasyon İndeksi (Igeo) 17
3.6.2. Zenginleştirme Faktörü (Enrichment Factor (EF) 17
3.6.3. Kirlilik Faktörü (Contamination Factor (CF) ve Kirlilik Yük İndeksi (Pollution Load Index (PLI) 18
3.6.4. Potansiyel Ekolojik Risk İndeksi (Potantial Ecological Risk Index (PERI) 19
4. BULGULAR **21**
4.1. Sediment Numunelerinin Su Muhtevası ve Organik Madde İçeriği ile Akarsu pH Değerlerinin Belirlenmesi 21
4.2. Sediment Numunelerinin Metal Konsantrasyonlarının Belirlenmesi 23
4.3. Ekolojik Risk İndekslerinin Değerlendirilmesi 27
5. TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER **42**
6. KAYNAKLAR **45**

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 54
ÖZGEÇMİŞ 55

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: İnsan faaliyetlerinin (antropojenik) sedimentlerde olası etkileri [27]. 5
Şekil 2.2: Ağır metallerin sedimentlerde birikme süreci [43]. 6
Şekil 3.1: Çalışma alanı: Göksu – Çanakdere havzaları [69]. 9
Şekil 3.2: Çalışma alanı ve örnekleme noktalarının konumları 11
Şekil 3.3: Çalışmada kullanılan hassas terazi ve etüv. 14
Şekil 3.4: Çalışmadan Kullanılan Kül Fırını ve pH Metre. 15
Şekil 3.5: Öğütücü ve Öğütülmüş Numune. 16
Şekil 3.6: ICP-MS Cihazı 16
Şekil 4.1: Sediment numuneleri su muhtevası. 23
Şekil 4.2: Sediment numuneleri organik madde miktarı. 23
Şekil 4.3: Sediment numunelerinin metal konsantrasyonları 26
Şekil 4.4: Sediment numunelerinin EF grafikleri 29
Şekil 4.5: Sediment numunelerinin CF grafikleri 33
Şekil 4.6: Sediment numunelerinin PLI grafiği. 38
Şekil 4.7: Sediment numunelerinin PERI grafiği. 40

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: SKKY sınıflandırmalarına göre metal konsantrasyonları [67]. 8

Tablo 3.1: Göksu ve Çanakdere havzalarında arazi kullanım oranları ve akarsu uzunluğu [75]. 10

Tablo 3.2: Numune alma noktalarının koordinat ve akarsu bilgileri. 12

Tablo 3.3: Numune alma noktalarının genel arazi kullanım tipleri ve diğer faaliyet türleri. ... 13

Tablo 3.4: Igeo değerlerine göre sınıflandırma. 17

Tablo 3.5: EF değerine göre sınıflandırma. 18

Tablo 3.6: CF değerlerine göre sınıflandırma. 19

Tablo 3.7: E_r ve PERI değerlerine göre sınıflandırma. 20

Tablo 4.1: Numune noktaları akarsu pH değerleri, sediment su muhtevası ve organik madde içeriği. 22

Tablo 4.2: Sediment numunelerinin metal konsantrasyonları. 25

Tablo 4.3: Sediment numunelerinin EF değerleri. 28

Tablo 4.4: Sediment numunelerinin CF değerleri. 32

Tablo 4.5: Sediment numunelerinin Igeo değerleri. 36

Tablo 4.6: Sediment numunelerinin PLI değerleri. 37

Tablo 4.7: Sediment numunelerinin E_r değerleri. 39

Tablo 4.8: Sediment numunelerinin PERI değerleri. 40

Tablo 4.9: Sediment metal konsantrasyonlarının (mg/kg) literatürde bulunan çalışmalarla karşılaştırılması. 41

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
Cd	: Kadmiyum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Hg	: Civa
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
Sc	: Skandiyum
Zn	: Çinko

Kısaltmalar	Açıklama
CF	: Kirlilik faktörü
EF	: Zenginleştirme faktörü
CF	: Kirlilik faktörü
Igeo	: Jeo-akümülasyon indeksi
IUC	: İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa
RI	: Potansiyel ekolojik risk indeksi
PLI	: Kirlilik yük indeksi

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKARSU KIYI SEDİMENTLERİNDE METAL KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ VE EKOLOJİK RİSK İNDEKSLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Elif CİHAN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Danışman : Doç. Dr. Naim SEZGİN

Yeryüzünde bulunan doğal suların kalitesinin bozulmasında, dünya genelinde hızlı gelişen kentleşme, endüstrileşme ve yoğun tarımsal faaliyetler önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle, evsel ve endüstriyel atıksuların yeterince arıtılmadan alıcı su ortamlarına deşarj edilmesi su kirliliğini oluşturan önemli bir unsurdur. Su, insan ve diğer canlıların hayatları için en temel kaynaktır. Bu nedenle, bu kaynakta meydana gelecek her türlü olumsuzluklar tüm canlıları etkilemektedir. Sucul ortamlarda, çevre ve insan sağlığı açısından önemli riskler oluşturan kirliliklerden biri de metal kirliliğidir. Herhangi bir alıcı ortamdaki metal kirliliğinin belirlenmesi, o alıcı ortamdan kaynaklanacak olası risklere karşı korunma ve kaynağın sürdürülebilir kullanımı ile ilgili stratejiler geliştirilmesinde önemli bir basamak olacaktır. Sucul ortamlarda kirlilik belirleme çalışmalarından biri sedimentlerle yapılan çalışmalardır.

Bu çalışmada, Kocaeli ve İstanbul-Şile bölgelerinde bulunan Göksu ve Çanakdere akarsularının kıyı sedimentlerinde metal konsantrasyonlarının belirlenmesi ve ekolojik risk indekslerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, toplanan sediment numunelerinde kurşun (Pb), çinko (Zn), nikel (Ni), kadmiyum (Cd), krom (Cr), kobalt (Co) metal konsantrasyonları ve referans metal olarak skandiyum (Sc) metalinin konsantrasyonu belirlenmiştir. Ayrıca, metal konsantrasyonlarından zenginleştirme faktörü (EF), kontaminasyon faktörü (CF), jeoakümülasyon indeksi (Igeo), kirlilik yük indeksi (PLI) ve potansiyel ekolojik risk indeksi (PERI) gibi ekolojik risk indeksleri hesaplanmıştır. Seçilen iki

akarsu kıyısından 2021 ve 2022 yıllarında kuru ve yağışlı mevsimler için toplam 24 adet sediment numuneleri toplanarak çalışmalar yürütülmüştür. Analizi yapılan Pb, Zn, Ni, Cd, Cr ve Co metallerinin kuru mevsim ortalama değerleri sırasıyla, 23,14 mg/kg, 66,12 mg/kg, 24,98 mg/kg, 0,19 mg/kg, 58,77 mg/kg, 20,82 mg/kg ve 10,56 mg/kg olarak belirlenmiştir. Yağışlı mevsim ortalama metal konsantrasyonları ise Pb için 34,57 mg/kg, Zn için 73,35 mg/kg, Ni için 13,87 mg/kg, Cd için 0,24 mg/kg, Cr için 122,24 mg/kg, ve Co için 27,01 mg/kg olarak ölçülmüştür. Hesaplanan kirlilik faktörü ve ekolojik risk indekslerine göre sedimentlerde kuru mevsimde metal kirliliğinin minimal düzeyde olduğu ve yağışlı mevsimde ise yüzeysel akış nedeniyle kirlilik seviyesinin arttığı görülmüştür. Özellikle turizm, tarımsal faaliyetlerin ve besi çiftliklerinin fazla olduğu noktalarda potansiyel risk indeks değerleri daha yüksek olarak belirlenmiştir.

Haziran 2022 , 70 sayfa.

Anahtar kelimeler: Sediment, Metal kirliliği, Ekolojik risk indeksi, Zenginleştirme faktörü, Kirlilik faktörü

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

DETERMINATION OF METAL CONCENTRATIONS AND ECOLOGICAL RISK INDEXES ASSESSMENT IN THE RIVER COASTAL SEDIMENTS

Elif CİHAN

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Environmental Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Naim SEZGİN

Rapidly developing urbanization, industrialization and intensive agricultural activities play an important role in the deterioration of the quality of natural water sources on earth. In addition, the discharge of industrial and domestic wastewater into receiving water environments without being sufficiently treated is another important factor that causes water pollution. Water is the most basic resource for the lives of humans and other living things. For this reason, all kinds of negativities that may occur in this source affect all living things. Metal pollution is one of the pollutants that pose significant risks to the environment and human health in aquatic environments. Determining metal pollution in any receiving environment will be an important step in developing strategies for protection against possible risks arising from that receiving environment and for the sustainable use of the resource. One of the pollution determination studies in aquatic environments is the studies carried out in sediments.

In this study, it was aimed to determine metal concentrations in coastal sediments of Göksu and Çanakdere rivers in Kocaeli and Istanbul-Şile regions and to evaluate their ecological risk indexes. For this purpose, the concentrations of Lead (Pb), Zinc (Zn), Nickel (Ni), Cadmium (Cd), Chromium (Cr) and Cobalt (Co) metals in the collected sediment samples were determined. Analysis of Scandium (Sc) metal as reference metal was carried out in this study. In addition, ecological risk indexes such as enrichment factor (EF), contamination factor (CF), geoaccumulation index (Igeo), pollution load index (PLI) and potential ecological risk index

(PERI) were calculated from metal concentrations in sediments. A total of 24 sediment samples were collected from the two selected river coastal for the dry and wet seasons at 2021 and 2022, and studies were carried out. Dry season mean values for Pb, Zn, Ni, Cd, Cr and Co metals are 23.14 mg/kg, 66.12 mg/kg, 24.98 mg/kg, 0.19 mg/kg, 58.77 mg/kg, 20.82 mg/kg and 10.56 mg/kg, respectively. Wet season average metal concentrations are 34.57 mg/kg for Pb, 73.35 mg/kg for Zn, 13.87 mg/kg for Ni, 0.24 mg/kg for Cd, 122.24 mg/kg for Cr. , and was measured as 27.01 mg/kg for Co. According to the calculated pollution factor and ecological risk indexes, metal pollution in the sediments was minimal in the dry season and the pollution level increased in the wet season due to runoff. Potential risk index values were determined to be higher especially at points where tourism, agricultural activities and livestock farms are intensively in this study.

June 2022, 70 pages.

Keywords: Sediment, Metal pollution, Ecological risk index, Enrichment factor, Contamination factor

1. GİRİŞ

Son yıllarda etkilerini çok daha net olarak gözlemlediğimiz çevre kirliliğinin en önemli nedenleri sanayileşme ve buna bağlı olarak gelişen çarpık kentleşme ile birlikte bilinçsizce yapılan tarımsal faaliyetlerdir. Diğer taraftan, evsel ve endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atıksuların hiç arıtılmadan veya yeterince arıtılmadan akarsu, göl ve deniz gibi alıcı su ortamlarına deşarj edilmeleri de bu ortamların kirlenmesinde önemli bir faktör olmaktadır.

Toprak, su ve hava gibi alıcı ortamlar, çevre ve insan sağlığı açısından risk oluşturan kirleticiler için bir havza görevi görmektedirler. Bu alanlar aynı zamanda insanların sosyal, ekonomik ve ekolojik gelişiminde önemli bir rol oynarlar. Bu nedenle, alıcı ortamlarda oluşacak kirlilikler yalnızca günümüz insanlarını değil gelecek kuşakları da etkilemektedir.

Deniz ve göl gibi akarsularda, insan hayatının ve biyolojik çeşitliliğin devamında önemli rol oynayan sucul ortamlardandır. Akarsulardan aynı zamanda sulama, tarımsal faaliyetler, taşımacılık ve içme suyu temininde de faydalanılmaktadır. Ayrıca, akarsular, ekosistemin dengelenmesi açısından da önemli görevler üstlenmektedirler. Sedimentler, habitat ve ortam çeşitliliği ile diğer sucul ortamlarının olduğu gibi akarsu havzalarının da ayrılmaz ve dinamik bir parçasıdır. Dolayısıyla, sedimentlerde gerçekleştirilen çalışmalar, sucul ortamlarda uzun yıllarca meydana gelen değişiklikler ile sediment-su arasındaki etkileşimleri izlemek için iyi bir indikatördür. Ayrıca, sedimentler, sucul ortamlarda, insan faaliyetleri veya kayaçlardan kaynaklanan metaller gibi potansiyel toksik elementlerin çökelmesi veya bu elementlerin oluşan koşullara bağlı olarak yeniden su ortamına karışmasını sağlayan alanlardır. Çok çeşitli kaynaklardan akarsulara ulaşabilen metaller, bulunduğu ortamlarda biyolojik olarak bozunmadan kalarak birikim oluşturmakta ve besin zincirine dâhil olarak canlı ve insan sağlığı açısından tehlikeler oluşturabilmektedirler. Bu nedenle, özellikle sulama amaçlı kullanılan ve içme ve kullanmaya suyu olarak da değerlendirilme potansiyeli bulunan akarsuların, kıyı sedimentlerinde metal içeriklerinin belirlenmesi ve literatürde kabul görmüş ekolojik risk indeksleri ile kirlilik değerlendirilmelerinin yapılması, o su havzasının korunması ve sürdürebilir kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, İstanbul'un potansiyel içme suyu kaynaklarından olan ve Kocaeli ile İstanbul-Şile bölgesinde yer alan Göksu ve Çanakdere akarsularının kıyı sedimentlerinde

metal konsantrasyonlarının (Pb, Zn, Ni, Cd, Cr, Co ve Sc) belirlenmesi ve metal konsantrasyonlarına bağlı olarak hesaplanan ekolojik risk indekslerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, her iki akarsu kıyısından kuru ve yağışlı mevsimleri temsilen toplam 24 adet sediment numuneleri alınmıştır. Ayrıca, ekolojik risk indekslerinin hesaplanmasında kullanmak amacıyla bölge topraklarını temsil edici ve metal kirliliği bakımından daha temiz olduğu düşünülen bir noktadan referans toprak numuneleri (kuru ve yağışlı mevsimler için) alınarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca, bu çalışma kapsamında;

1. Akarsu kıyılarından alınan sediment numunelerinin metal konsantrasyonlarının menbadan-mansaba doğru değişimlerinin tespit edilmesi,
2. İki akarsu havzası arasında varsa arazi kullanım farklılarının tespit edilmesi ve bu farklılığın sedimentlerde oluşturduğu metal konsantrasyonlarının değişimlerinin incelenmesi,
3. Sedimentlerde zenginleştirme faktörü (Enrichment Factor (EF)), kontaminasyon faktörü (Contamination Factor (CF)), jeoakümülasyon indeksi (geoaccumulation index (Igeo)), kirlilik yük indeksi (Pollution Load Index (PLI)) ve potansiyel ekolojik risk indeksi (Potantialy Ecological Risk Index (PERI) gibi ekolojik risk indekslerinin belirlenmesi ve iki akarsu açısından karşılaştırılmaların yapılması hedeflenmiştir.

Tez kapsamında, numune alma noktalarında akarsuların iki kıyısından da sediment örneklerinin alınması planlanmıştı, ancak, kuru mevsimde numune alma noktalarının çoğunluğunda akarsuların su kapasitelerinin çok düşük olması ve akarsu yatağının çok dar olması nedeniyle her iki kıyıdan numune almanın anlamlı olmayacağına karar verilmiştir. Bu nedenle, çalışma tek taraflı ve akarsuların uygun olan kıyılarından sediment numuneleri alınarak gerçekleştirilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Son yıllarda artan çevre kirliliği; hızlı kentleşme ve endüstriyel gelişme nedeniyle büyük bir endişe kaynağı oluşturmaktadır. Ayrıca, arıtılmayan endüstriyel atıksuların akarsulara, göllere ve okyanuslara veya arazilere boşaltılmasıyla yeraltı ve yüzeysel su kaynakları kirlenmektedir [1-5]. Geçen yüzyıl boyunca küresel iklim değişikliğinin ve yoğun insan müdahalesinin birleşik etkileri altında, dünyadaki birçok akarsuda geri dönüşü olmayan morfolojik değişiklikler, sel felaketleri, su kalitesinin bozulması, habitat daralması ve biyolojik çeşitliliğin bozulması gibi bir istenmeyen olaylar gerçekleşmiştir [6]. Sucul ortamlardaki bulunan ağır metaller hem doğal (çoğunlukla kayaların erozyonu ve ayrışması) hem de insan faaliyetlerinden (endüstriyel drenajlar, madencilik, tarım, ulaşım, baraj inşaatı, atık su deşarjı ve yüzey akışları gibi) kaynaklanarak su kalitesinin bozulmasına katkı sağlamaktadırlar [7,8].

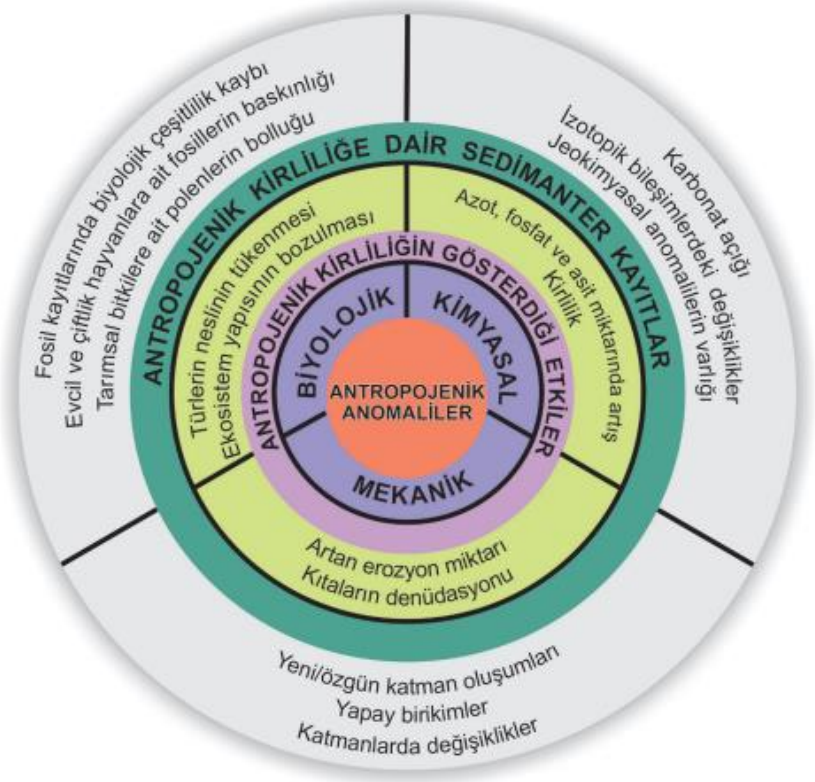
Su, enerji ve gıda yaşamın devamlılığı için üç temel gereksinimdir. Bu ihtiyaçların karşılanabilmesi için temiz ve sürdürülebilir su kaynaklarına ve verimli topraklara ihtiyaç duyulmaktadır. Su havzalarının kapsadığı arazilerin orman, tarım, şehirleşme veya endüstriyel kullanım durumlarının (tipleri) değişimi erozyon miktarında da değişime sebep olmakta [9] ve dolayısıyla su ve sediment kalitesini etkilemektedir. Temiz su kaynakları için bilinçsiz kullanım ve kirlenme en önemli tehditleri oluştururken, verimli topraklar için de en yaygın ve büyük tehdit erozyondur [10]. Özellikle erozyon tehdidi ülkemiz toprakları için oldukça büyüktür ve topraklarımızın % 60'ında, erozyon, tuzlanma ve organik madde eksikliği gibi nedenlerle, bozulma ve dahası çölleşme riski, kritik seviyeye ulaşmıştır [11]. Bu durum ülkemizin su ve gıda güvenliğini, ekonomisini ve geleceğini tehdit etmektedir.

Erozyon; çeşitli dış etkenler sebebiyle, özellikle zeminin üst tabakası olan toprakların aşınarak bir yerden başka bir yere taşınması ve birikmesidir. Ülkemizde, 1999-2005 yılları arasında askıda sediment ölçümlerinin alansal ağırlıklı ortalaması ile hesaplanan erozyon miktarı 155 ton/km^2-yıl'dır. Bu değer ülkemizdeki toprakların sürdürülebilir şekilde kullanılmadığını ve korunmadığını göstermektedir. Bunun başka bir kanıtı mevcut toprak kayıp hızının, toprak oluşum hızından 48 kat fazla olmasıdır. Aynı oranın dünya ortalaması 40 olduğu göz önüne alındığında, ülkemizdeki erozyon sorununun dünya ortalamasından daha büyük bir sorun olduğu açıkça anlaşılmaktadır [12]. Ayrıca, erozyon sadece toprak kaybına sebep olmaz, aynı zamanda baraj göletlerinin, göllerin ve akarsu kanallarının dolmasına da sebep olmaktadır. Erozyon, su kaynaklarımızın kalitesini düşürmekte, kullanılabilir su

miktarını azaltmakta, enerji sağlayan barajların ömrünü kısaltmakta ve gıda güvenliğini de tehdit etmektedir [13]. Bununla birlikte, iklim değişikliğinin yağış ve hava sıcaklığına etkisiyle, sediment taşınım miktarında da değişime sebep verebileceği [14] düşünülürse, sorun daha önemli ve büyük hale gelmektedir.

Su kaynaklı erozyon miktarını belirleyen önemli bir etken suyun geçtiği alanlardaki sediment tipleridir, bunlar aşınmaya ne kadar dirençli olup olmadı kadar, içerdiği maddeler de önem arz etmektedir. Yeryüzündeki sular, çok sayıda sucul canlılar için yaşam alanı sağlarlar. Bununla birlikte, sucul alanlar biyolojik çeşitliliğin korunmasına yardımcı olurlar. Akarsular, tarımsal sulama, hidroelektrik üretimi, yeraltı sularının beslenmesi, taşıma ve peyzaj amaçlı sulamanın başlıca kaynağıdır [15]. Akarsular, her yıl okyanuslara yaklaşık 37 000 km^3 su ve 13.5 x 10^9 ton sediment parçacıkları taşırlar [16,17]. Akarsular çok farklı atık malzemeleri taşımalarının yanında su kalitesini etkileyen birçok nütrient ve mineralleri taşımaktadırlar. Akarsu ekosistemlerinde önemli bir bileşen olan sedimentler, birçok kirleticiler ve özellikle ağır metallerin birikimi için hem bir tutulma alanı hem de kirletici kaynağı olarak işlev görürler [18-20]. Akarsulara bir şekilde karışan metallerin özellikle ağır metallerin % 99'undan fazlası sedimentlerde depolanabilirler [21]. Göl, baraj ve akarsular gibi sucul ortamlara ağır metaller, evsel, endüstriyel ve tarımsal kaynaklardan arıtılmamış veya yetersiz arıtılmış atıksularla taşınabilirler. Ağır metallerden kaynaklanan kirlilik dünya çapında özellikle gelişmekte olan ülkelerde akarsular için önemli bir kirlilik türüdür [18].

Sediment, su kütlesinin dibinde veya diğer çökelme bölgelerinde biriken gevşek kum, kil, silt ve diğer toprak parçacıklarıdır [22]. Sedimentler, sadece kirleticilerin taşıyıcısı olarak değil, aynı zamanda su sistemindeki potansiyel ikincil kirletici kaynakları olarak da işlev görmektedir [23,24]. Sediment tabakasının absorpsiyon kapasitesi sınırlı olduğu için suların ağır metal konsantrasyonu sürekli olarak yükselmektedir [25]. Sedimentlerdeki metal kirliliğinin belirlenmesi, kirlilik durumunun, kaynaklarının (litojenik veya antropojenik) ve yüksek metal konsantrasyonlarının olası ekolojik risklerinin değerlendirilmesi için önemlidir [26]. İnsan faaliyetleri nedeniyle sedimentlerde oluşabilecek etkiler Şekil 2.1'de verilmiştir.



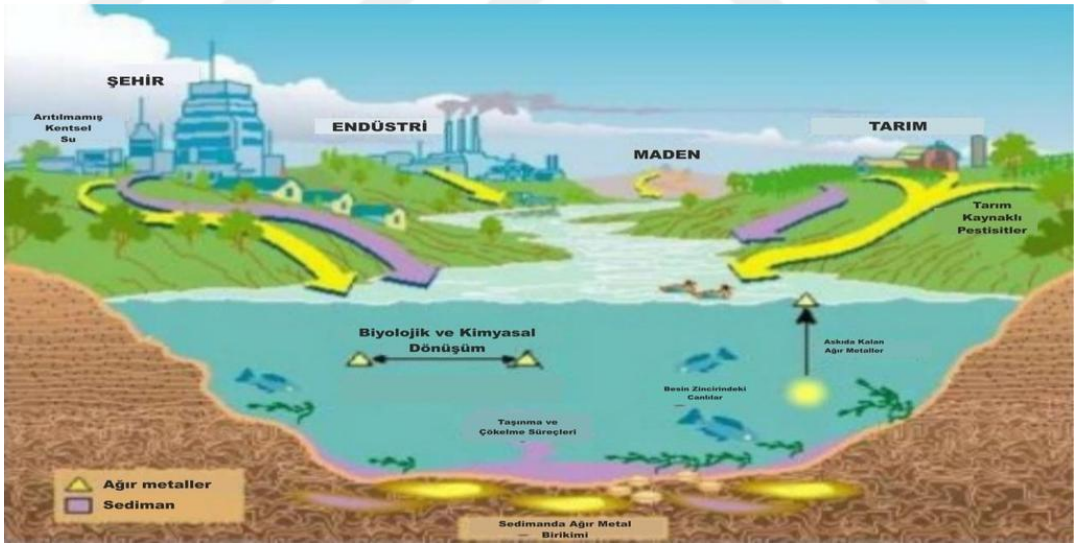
Şekil 2.1: İnsan faaliyetlerinin (antropojenik) sedimentlerde olası etkileri [27].

Metal kirliliği sucul ortamlarda, zehirliliği, bolluğu ve çevrede kalıcılığı ve ardından su habitatlarında birikmesi nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Metaller, su ve sediment matrisleri için ana inorganik kirleticiler olarak kabul edilirler [28]. Özellikle akarsu deşarjı ve okyanusa boşaltımdan etkilenen, akarsu ağzı ve kıyı ortamlarında, deniz suyu ve tatlı su arasındaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkileşimler, ağır metaller de dâhil olmak üzere yüzeyde asılı partiküllerin özellikleri üzerinde büyük etkilere sahiptir [29]. Sucul ortamlara giren kirleticilerden ağır metallere, toksisiteleri, her yerde bulunabilmeleri, bollukları, ayrışmaya karşı dirençleri ve biyobirikim kabiliyetleri gibi özelliklerinden dolayı özel bir önem verilmiştir [30]. Bu bileşikler doğal süreçlerde bozulmazlar ve bu nedenle sedimentlerde veya organizmaların vücutlarında birikir ve insanların ve diğer hayvanların, bitkilerin ve ekosistemlerin sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturabilirler [31].

Çevre kirliliğine sebep olan ağır metallerin birikmesiyle birlikte, değişen koşullarda topraktan/sedimentten tekrar salınabilecek olması, kıyıdaki sulak alanları yavaş yavaş potansiyel bir ağır metal kaynağı haline getirebilir [32,33]. Ağır metallerin birikmesi, deniz ortamlarındaki yüzey sedimentlerinde meydana gelmekte ve bunların suda yaşayan organizmalar üzerindeki yüksek toksisiteye sahip olması, büyümenin, ölümün ve tür

çeşitliliğinin azalmasına neden olarak ekosistemler ve insan sağlığı için potansiyel tehlikelere neden olmaktadır [34,35]. Ağır metal kirliliği, toksisitesi, kalıcılığı ve biyolojik olarak parçalanamayan doğası ve endüstriyel ve kentsel faaliyetler, tarımsal akış, trafik ve jeolojik ayrışma gibi ana kirlilik kaynakları nedeniyle büyük ilgi görmüştür [36]. Son zamanlarda, hızlı endüstriyel gelişme ve şehirlerin ve köylerin nüfusundaki artışlar, buna karşılık gelen tarım alanlarının gelişimi ve bunlarla ilişkili gübre ve böcek ilacı girdileri, tatlı su ekosistemlerinin ağır metaller içeren büyük miktarlarda atıksu ile kirlenmesine yol açmıştır [37]. Ayrıca, çevrede sürekli kirletici birikimi ile çevre kalitesi ciddi şekilde bozulmakta ve biyosferin yapısı olumsuz etkilenerek normal biyojeokimyasal döngüde değişikliklere neden olmaktadır [38,39].

Metaller genellikle doğal sularda eser miktarlarda bulunur, ancak arsenik, kurşun, kadmiyum, nikel, cıva, krom, kobalt, çinko, antimon ve selenyum gibi pek çoğu, küçük konsantrasyonlarda bile oldukça zehirlidir [40]. Çevredeki ağır metal kirliliği esas olarak antropojenik kaynaklardan kaynaklandığı için alıcı ortamlarda ağır metallerin tespit edilmesi insan faaliyetlerinin etkilerini izlemek için güçlü yöntem olarak kabul edilmiştir [41,42]. Ağır metallerin sedimentlerde birikme süreçlerine ait bir görsel Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2: Ağır metallerin sedimentlerde birikme süreci [43].

Metaller için toprak içindeki miktarları, iyileştirme uygulamalarının benimsenmesiyle kirlenmiş arazinin kalitesini ve işlevselliğini düzenlemek ve korumak için kullanılan genel kalite standartlarıdır [44]. Ağır metallerin kirliliği ve kontrolü, doğal ortamlarda toksisitesi, kalıcılığı ve biyolojik birikim kabiliyeti nedeniyle uzun yıllardır uluslararası çevre bilim camiasının önde gelen araştırma konusu olmuştur [45]. Su ortamındaki ağır metaller

tarafından kirlilik seviyeleri su, sedimentler ve deniz organizmaları analiz edilerek tahmin edilebilir [46]. Ekolojik risk değerlendirmesi, esas olarak tek bir risk kaynağına (örneğin ağır metal cıva) ve risk alıcısı olarak tek başına insanlara odaklanan toksikoloji risk değerlendirmesinden kaynaklanmaktadır [47]. İstatistiklere göre, su ortamlarındaki metal yükünün yaklaşık % 85'i sonunda yüzey çökeltilerinde birikmiştir [48,49]. Çevresel durumu değerlendirmek için uygun bir metodoloji seçmek karmaşıktır ve entegre bir strateji gerektirir [50]. Ekosistem hizmetlerini önemli ölçüde etkileyen antropojenik faaliyetler nedeniyle arazi kullanımı değişiklikleri daha sık ve yoğun hale gelecektir [51,52]. Sedimentlerdeki ağır metallerin incelenmesi, farklı çevresel koşullar altında üstteki suyun kirlilik derecesini tahmin etmede bir kılavuz görevi görebilir [53]. Sediment kalitesi, su kalitesinin önemli bir göstergesidir [54].

Son yıllarda, sedimentlerdeki ağır metal konsantrasyonlarının mevcut konsantrasyonları ile önceki dönemleri karşılaştırarak pratik olarak incelemek için jeo-akümülasyon indeksi (Igeo) gibi farklı sediment kalitesi göstergeleri geliştirilmiştir [55]. Bununla birlikte, sedimentlerdeki ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesinde zenginleştirme faktörü (EF), kirlilik faktörü (CF), kirlilik yük indeksi (PLI) ve potansiyel ekolojik risk indeksi (RI) gibi diğer çeşitli ekolojik değerlendirme yöntemleri de kullanılmaktadır [56]. Bu indeks ve faktörler (Igeo, CF ve PLI gibi) basit ve kolay bir değerlendirme yöntemi olmalarının yanında metal kirliliğinin kaynağını ve nicel büyüklüğünü belirlemek için kullanılabilecek farklı istatistiksel indeksler arasındadır [57-59].

Mirzaei vd., [60] (İran), Chaharmahal ve Bakhtiari topraklarında çalışırken sediment örneklerinde Cu, Zn, Pb, Cr ve Cd'nin ekolojik riskini değerlendirmiş ve düşük ekolojik riskin Cu, Zn, Pb ve Cr ile ilişkili olduğunu bulmuşlardır. Liu Q. vd., [61] tarafından yapılan araştırmaya göre Çin'in Dongying şehrinde yüzey sedimentlerinde yedi tane ağır metal çalışılmış, sedimentlerdeki metal kirliliği ile ilgili ekolojik risk düzeyi değerlendirilmiştir. Çalışılan bölgede ekolojik riske en büyük katkıyı Cd ve Hg yaptığı görülmüştür. Pehlivan [62] tarafından yapılan bir çalışmada Kocasu Deltası'nda ağır metal kirliliğinin boyutlarını görmek için numuneler toplanmış, ICP-MS yöntemiyle analizi gerçekleştirilerek ekolojik değerlendirme yapılmıştır. Hesaplanan ekolojik değerlendirmelerde ciddi bir kirlenmeye rastlanmamıştır. Li H. vd., [63] tarafından yapılan araştırmaya göre Bohai Denizi'nde metal kirliliğinin mevcut durumu ve ekolojik risk değerlendirilmiştir. Bohai Denizi'nde ekolojik riske en büyük katkıyı Cd ve Hg yaptığı görülmüştür. Algül [64] tarafından yapılan bir çalışmada Bafa Gölü'n de su ve sedimentten örnekler alınarak ağır metal kirliliği bakımından

değerlendirmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Bafa Gölü'nde ciddi bir kirlenme görülmüştür. Tunca [65] tarafından yapılan bir çalışmada, Beyşehir Gölü'n de su ve sedimentte metal konsantrasyonları incelenmiş ve ekolojik değerlendirmesi yapılmıştır. Beyşehir Gölü'nde yapılan bu çalışmada metal kirliliğine tespit edilmiştir. Sönmez vd., [66] tarafından yapılan bir çalışmada Karasu Irmağı'nda su numuneleri toplanmış ve ağır metal konsantrasyonları incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda bölgenin kirlilik unsurlarının bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Ülkemizde yüzeysel su kaynakları çeşitli parametrelere göre Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde (SKKY) sınıflandırılmışlardır. Bu sınıflandırmalarda metal konsantrasyonları yer almış ve sınır değerler Tablo 2.1'de verilmiştir.

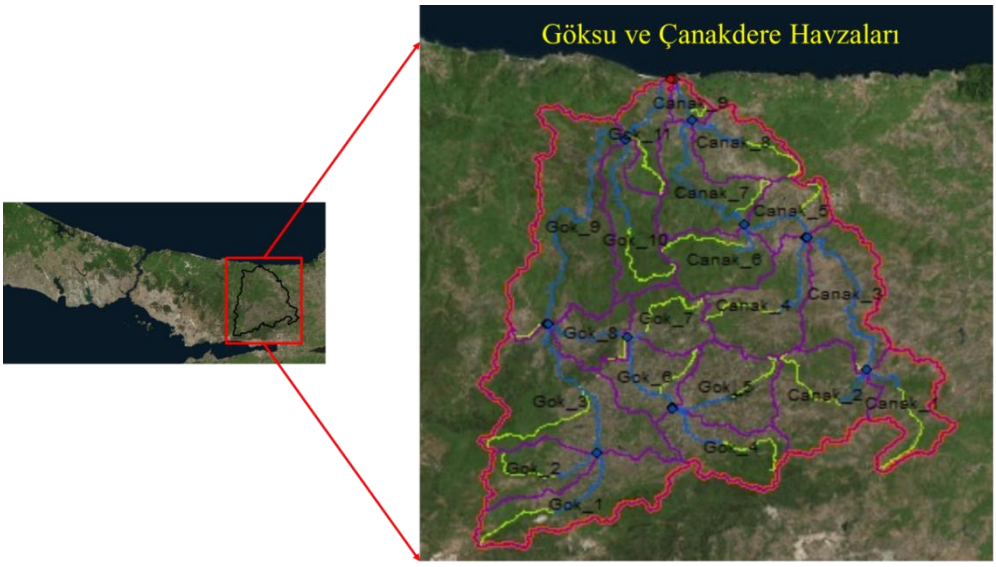
Tablo 2.1: SKKY sınıflandırmalarına göre metal konsantrasyonları [67].

Ağır Metaller	I. Sınıf (mg/L)	II. Sınıf (mg/L)	III. Sınıf (mg/L)	IV. Sınıf (mg/L)
Cu	20	50	200	>200
Pb	10	20	50	>50
Zn	200	500	2000	>2000
Ni	20	50	200	>200
Co	10	20	200	>200
Mn	100	500	3000	>3000
As	20	50	100	>100
Cd	3	5	10	>10
Cr	Ölçülmeyecek kadar az	20	50	>50
Hg	0.1	0.5	2	>2
Fe	300	1000	1500	>1500

3. YÖNTEM

3.1. ÇALIŞMA ALANI

Akarsu kıyı sedimentlerinde metal konsantrasyonlarının belirlenmesi ve ekolojik risk indekslerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada İstanbul-Şile ve Kocaeli sınırları içerisinde yer alan Göksu ve Çanakdere akarsuları seçilmiştir. Bu akarsular Kocaeli sınırları içerisinden başlayıp İstanbul-Şile de Karadeniz'e ulaşmaktadır. Ayrıca, bu akarsuların geçtiği alanlarda arazi kullanımı açısından da farklılıklar bulunmaktadır. 1987 ve 2007 yılları arasında arazi kullanım tipinde meydana gelen değişimlerde, İstanbul İl'inde Karadeniz'e kıyısı olan ilçelerden biri olan Şile, değişimin en fazla olduğu üç ilçeden biridir ve özellikle sahil bölgeleri yoğun bir yapılaşmaya (şehirleşmeye) sahiptir [68]. Çalışma alanı olarak seçilen Göksu ve Çanakdere akarsularının memba taraflarında hem tarımsal kullanım hem de orman alanları bulunmakta ve bu akarsular, bölgede tarımsal sulama da kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte, özellikle yaz aylarında Şile turizm açısından önemli bir yere sahiptir. Ayrıca bu akarsular İstanbul'un potansiyel içme suyu kaynakları konumundadır. Bu nedenlerden dolayı bu çalışmada Göksu ve Çanakdere akarsuları çalışma alanı olarak seçilmiş ve Kocaeli ili ve Şile arasında bulunan iki akarsu havzasının (Göksu ve Çanakdere) gösterimi Şekil 3.1'de verilmiştir. Çalışma alanı olarak seçilen iki havzanın, arazi kullanım oranları ise Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Çalışma alanı: Göksu – Çanakdere havzaları [69].

Seçilen alanda daha önce de yapılan çalışmalarda genellikle sahil-kıyı şeridi boyunca incelemeler gerçekleştirilmiştir. Ergin vd., [70] tarafından Şile ve Ağva sahillerinde toplam 104 adet yüzeysel sediment örneği toplanmış, sedimentolojik, mineralojik ve jeokimyasal analizler yapılmıştır. Seçilen alan akarsuların sadece denize ulaştığı alan olup ve çalışma alanının ortalama tane boyutunun kum olduğu ve 3 farklı bölge oluşturduğu tespit edilmiştir. Çalışmada alınan ince kesitlerde, manyetit, ilmenit, kromit, gibi ağır opak mineralleri %30-55 arasında ve piroksen, amfibol, epidot, granat, zirkon, rutil, sfen grubu gibi opak olmayan ağır minerallerin de varlığı görülmüştür. Göksu ve Çanakdere havzalarının denize boşaldığı yer olan Ağva'nın Karadeniz kıyısını kapsayan ve uydu yöntemi kullanılarak belirlenen kıyı kenar çizgilerindeki 1987-2001 arasındaki değişim sonucuna göre sahil alanının azaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç, iklim değişikliği sebebiyle kumsal erozyonunun meydana gelmesiyle kumsallarda %20'lik bir azalma beklentisi ile uyum içindedir [71,72]. Diğer taraftan başka bir çalışmada, Ağva'da dere ağzında kıyıya dik yapılan yaklaşık 125 m uzunluktaki dalgakıran nedeniyle kıyının dinamik yapısında meydana gelen değişimler, dalgakıranın (iki havzanın boşaldığı noktaların arası) iki tarafında kumun birikmesine sebep olmuştur. Bu kumul birikim sayesinde yaklaşık 61 m (1970'den 2015 yılına kadar) kara ilerlemesi oluşmuştur [73].

Göksu ve Çanakdere akarsuları aynı isimli iki havzanın bünyesinde bulundurmaktadırlar. Göksu akarsuyu kaynağını İzmit Körfezi'nin 4 km kuzeyinden ve Çanakdere akarsuyu da aynı şekilde kaynağını ilçe sınırları dışında İzmit'in 8 km kuzeyinden alarak Ağva'nın Karadeniz kıyısından denize boşalmaktadırlar. İki akarsu Ağva'nın kuzeyinde birleşerek bir kıyı ovası oluşturmaktadırlar [74].

Tablo 3.1: Göksu ve Çanakdere havzalarında arazi kullanım oranları ve akarsu uzunluğu [75].

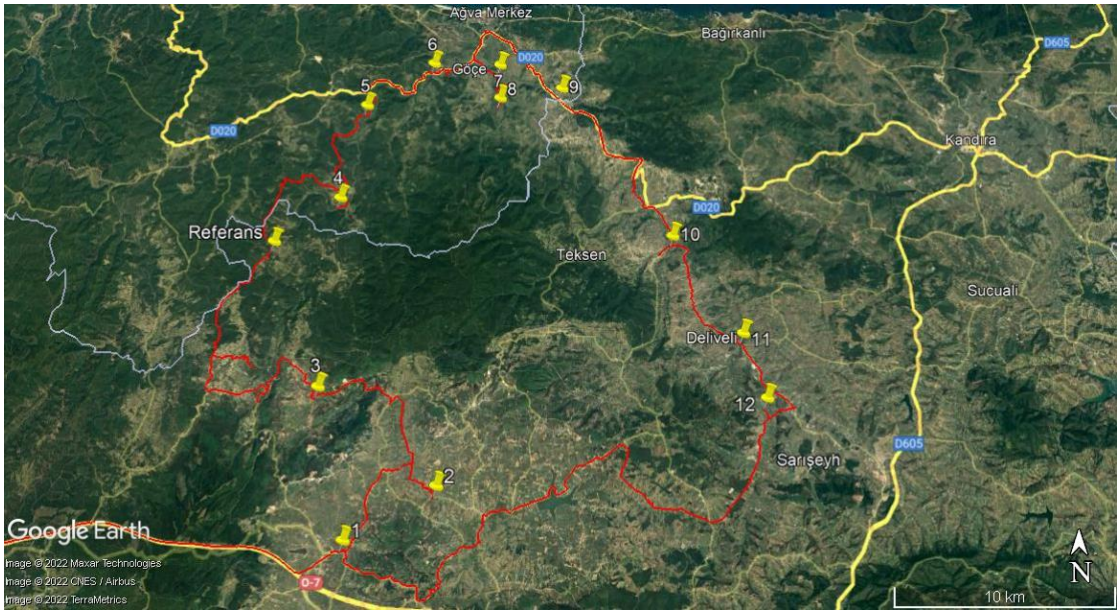
Havza	Yerleşim (%)	Tarım (%)	Orman (%)	Su (%)	Akarsu Uzunluğu (km)
Göksu	0,8	48,5	50,3	0,4	122
Çanakdere	0,5	65,3	34,0	0,2	87

3.2. ÖRNEKLEME NOKTALARI ve SEDİMENT NUMUNELERİNİN ALINMASI

Çalışma alanı olarak seçilen bu iki havzada yer alan akarsuların her birinde kuru ve yağışlı mevsimlerde numune almak için 6'şar adet numune alma noktası olmak üzere toplam 24 adet numune alınmıştır. Bu noktalar, akarsuları membadan-mansaba doğru temsil edecek şekilde seçilmiştir. Ayrıca, çalışmada referans numune olarak kullanılmak üzere hem kuru

mevsimde hem de yağışlı mevsimde çalışma alanında kirliliğin olmadığı düşünülen ormanlık alan toprağından birer adet toplam 2 adet toprak numunesi alınmıştır.

Göksu ve Çanakdere akarsularının sediment örnekleri, kuru mevsim (yaz) için Ağustos ayında ve yağışlı mevsim (kış) için Mart ayında alınmıştır. Metal izleme çalışmalarının yapıldığı örnekleme noktaları Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Çalışılan alanda örnekleme numaralarına göre temsil edilen akarsular ve koordinatlar Tablo 3.2'de verilmiştir. Çalışma alanında seçilen numune alma noktalarında bulunan genel arazi kullanım tipleri ve belirlenebilen diğer faaliyet türleri Tablo 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.2: Çalışma alanı ve örnekleme noktalarının konumları.

Tablo 3.2: Numune alma noktalarının koordinat ve akarsu bilgileri.

Numune Alma Noktaları	Akarsu Adı	Koordinatlar
1	Göksu	40°53'13.21"K 29°46'45.22"D
2	Göksu	40°54'31.99"K 29°49'43.84"D
3	Göksu	40°57'3.26"K 29°45'36.78"D
4	Göksu	41° 2'15.77"K 29°45'58.24"D
5	Göksu	41° 5'1.66"K 29°46'45.00"D
6	Göksu	41° 6'20.20"K 29°49'10.97"D
7	Çanakdere	41° 6'17.21"K 29°51'39.49"D
8	Çanakdere	41° 5'15.19"K 29°51'40.39"D
9	Çanakdere	41° 5'32.30"K 29°53'58.44"D
10	Çanakdere	41° 1'6.77"K 29°57'52.65"D
11	Çanakdere	40°58'25.07"K 30° 0'10.72"D
12	Çanakdere	40°56'42.22"K 30° 0'51.47"D
Referans Numune		41° 0'59.64"K 29°43'44.31"D

Çalışmada metal analizi yapılacak ve ekolojik risk indeksleri hesaplanacak Göksu ve Çanakdere akarsularının kıyı sediment numuneleri belirlenen noktalardan yüzeyden 5-20 cm derinden yaklaşık 1 kg kadar alınarak temiz polietilen kilitli poşetlere konulmuştur. Örnekleme noktalarıyla ilgili tüm detaylar numune poşetlerinin üzerine yazılmıştır. Tüm sediment numuneleri toplandıktan sonra zaman kaybetmeksizin İÜC Çevre Mühendisliği ve/veya İÜC Jeoloji Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan numune saklama dolaplarına (Buzdolaplarına) taşınarak uygun koşullarında analizi için bekletilmiş ve akabinde analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.3: Numune alma noktalarının genel arazi kullanım tipleri ve diğer faaliyet türleri.

Numune Alma Noktaları	Arazi Kullanımı	Yerleşim Yeri
1	Tarım Arazileri	Kocaeli/Sevindikli
2	Tarım Arazileri/Besi Çiftlikleri	Kocaeli/Çavuşlu
3	Tarım Arazileri	Kocaeli/Alihocalar
4	Tarım Arazileri/Orman Arazileri	İstanbul/Hacıllı
5	Orman Arazileri	İstanbul/Göksu
6	Orman Arazileri/Oteller/Piknik Alanları	İstanbul/İsaköy
7	Oteller/Binicilik Kulüpleri	İstanbul/Göçe
8	Orman Arazileri	İstanbul/Geredeli
9	Orman Arazileri/Salyangoz Çiftliği	İstanbul/Çelebi
10	Tarım Arazileri/Besi Çiftlikleri	Kocaeli/Akçaova
11	Tarım Arazileri	Kocaeli/Deliveli
12	Tarım Arazileri	Kocaeli/Veyisler

3.3. SEDİMENT NUMUNELERİNİN SU MUHTEVASININ BELİRLENMESİ

Su içeriği sedimantolojide önemli parametrelerden biridir. Çökel örneklerinin su içeriği ile çökellerin partikül büyüklüğü arasındaki ilişki, sediment yatağına partiküllerin taşınımı ve sedimantasyonunu açıklar. Su içeriği; zemin suyun kütlesinin katı kısmın kütlesine oranıdır ve yüzde (%) olarak ifade edilir [76]. Bu işlem için ısıya dayanıklı beherler ve 0,0001 mg hassasiyetli Gec Avery Va-304 hassas terazi kullanılmıştır. Her bir numune için önce beherlerin darası alınmış ve sonra numuneler konularak ağırlıkları not edilmiştir. Daha sonra numuneler 100 °C'deki Memmert marka etüvde 24 saat boyunca kurutulmuş ve kurutma işleminden sonra numuneler tekrar hassas terazi de tartılarak ölçümler kayıt altına alınmıştır. Su miktarları yaş ve kuru tartım arasındaki farka göre yüzde olarak hesaplanmıştır.

Sediment numunelerinin su muhtevasını belirlemek amacıyla kullanılan hassas terazi ve etüvün görselleri Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3: Çalışmada kullanılan hassas terazi ve etüv.

3.4. SEDİMENT NUMUNELERİNİN ORGANİK MADDE İÇERİĞİ ve AKARSU pH DEĞERLERİ

Sedimentteki ağır metallerin birikimini ve mevcudiyetini kontrol eden önemli parametrelerden biri de organik madde ve pH parametreleridir [77]. Sediment örneklerinde organik madde miktarı kuru yakma metodu ile yapılmıştır. Bu işlem için ısıya dayanıklı porselen krozeler hassas terazide boş ve numune konularak tartılmış ve ölçümler not edilmiştir. Daha sonra Carbolite marka kül fırınında 550 °C'de yakma işlemi uygulanmıştır. Yakma işleminden sonra numuneler tekrar hassas terazi de tartılmış ve ölçümler arasındaki farklara göre numunelerin organik madde miktarları, kuru ve yağışlı mevsimler için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çalışmada, sediment numunelerinin alındığı akarsuların pH değerleri numune alma esnasında portatif WTW marka pH metre ile ölçülmüştür. Kül fırını ve portatif pH metre cihazlarına ait görseller Şekil 3.4'de verilmiştir.





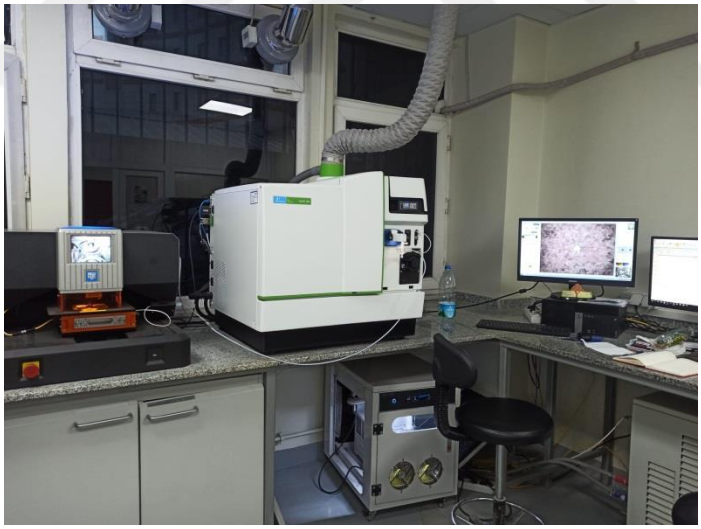
Şekil 3.4: Çalışmadan Kullanılan Kül Fırını ve pH Metre.

3.5. SEDİMENT NUMUNELERİNİN METAL ANALİZLERİ

Metal analizleri için toplanan sediment numuneleri İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Jeoloji Mühendisliği Bölümünde bulunan Jeokronoloji ve Jeokimya laboratuvarında analiz edilmiştir. Analiz aşamasından önce sediment numuneleri laboratuvar ortamında açılarak, Retsch marka öğütücüde öğütülmüş ve daha ince boyutlara getirilmesi sağlanmıştır. Öğütülmüş sediment numunelerin her birinden birer adet örnek alınarak kızdırma kayıpları için seramik krozelerde 1050 °C'de 2 saat kavrulmuştur. Kızdırma kaybı yapılan numuneler $LiBO_2$ ile karıştırılarak her bir numune için ayrı ayrı cam disk elde edilmiştir. Cam diskler HNO_3 ile tamamen çözülünceye kadar manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak LA-ICP-MS ile belirlenen elementlerin (Pb, Zn, Ni, Cd, Cr, Co ve Sc) analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan öğütücü ve öğütülmüş numuneye ait görseller Şekil 3.5'de ve metal analizinde kullanılan cihaza ait görsel ise Şekil 3.6'da verilmiştir. ICP-MS analizlerinde NIST612, BCR-2g ve AGV-2G sertifikalı referans materyalleri kalibrasyon standardı olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.5: Öğütücü ve Öğütülmüş Numune.



Şekil 3.6: ICP-MS Cihazı

3.6. EKOLOJİK RİSK İNDEKSLERİNİN HESAPLANMASI

Bu çalışma kapsamında Göksu ve Çanakdere akarsu kıyı sediment numunelerinde analizi yapılan Pb, Zn, Ni, Co, Cd, Cr elementleri için referans element olarak Sc kullanılarak ekolojik risk indeksleri hesaplanmıştır. Belirlenen ekolojik risk indeksleri numune alınan bölgelerde tespit edilen kirliliğin insan faaliyetleri sonucu olup olmadığını tespit etmek için

kullanılmaktadır. Bu kapsamında incelenmiş olan Göksu ve Çanakdere akarsularının kıyı sedimentlerinde belirlenen metallerin ekolojik risk açısından değerlendirmelerinin yapılması için zenginleştirme faktörü (EF), kontaminasyon faktörü (CF), jeoakümülasyon (Igeo) indeksi kirlilik yük indeksi (PLI) ve potansiyel ekolojik risk indeksi (PERI) değerleri hesaplanmıştır.

3.6.1. Jeo-akümülasyon İndeksi (Igeo)

Jeo-akümülasyon indeksi toprak ve sediment kirliliğinin doğal veya insan faaliyetleri sonucu oluşup-oluşmadığını karşılaştırmak için son yıllarda başarılı bir şekilde uygulanan indekslerden biridir. Muller tarafından tavsiye edilen Igeo, Eşitlik 3.1'e göre hesaplanmaktadır [78].

$$I_{geo} = log_2\left(\frac{C_n}{1.5B_n}\right) \tag{3.1}$$

Burada, Cn sediment numunelerinde ölçülen element konsantrasyonu ve Bn ise jeokimyasal olarak referans değeridir. Hesaplanan Igeo değerlerine göre kirlilik belirlemesi Tablo 3.4'te verilen ve Müller tarafından yapılan sınıflandırmaya göre yapılmaktadır.

Tablo 3.4: Igeo değerlerine göre sınıflandırma.

Igeo değeri	Sınıf	Kirlilik Durumu
Igeo ≤ 0	0	Kirlenmemiş
0 < Igeo ≤ 1	1	Kirlenmemiş İle Orta Derecede Kirlenmiş Arasında
1 < Igeo ≤ 2	2	Orta Derecede Kirlenmiş
2 < Igeo ≤ 3	3	Orta Derece Kirlenme İle Yoğun Kirlenmiş Arasında
3 < Igeo ≤ 4	4	Yoğun Kirlenmiş
4 < Igeo ≤ 5	5	Yoğun İle Çok Yoğun Kirlenmiş Arasında
5 ≤ Igeo	6	Çok Yoğun Kirlenmiş

3.6.2. Zenginleştirme Faktörü (Enrichment Factor (EF)

Toprak ve sediment numunelerinde metallerin potansiyel etkilerini ve muhtemel kaynaklarının doğal mı yoksa insansal faaliyetler sonucunda mı olduğunu tespit etmek için kullanılan parametrelerden birisi de zenginleştirme faktörüdür (EF) [78]. İncelenen bir örnekteki bir elementin EF değeri, ölçülen bu elementin referans bir elemente karşı standardizasyonuna dayanır. Referans elementler genellikle düşük oluşum değişkenliği ile karakterize edilirler. En çok kullanılan referans elementler Al, Fe, Ti, Sc, Si, Sr ve K

elementleridir [82]. Bu çalışmada, Sc referans element olarak kullanılmıştır. EF değerleri her bir metal için Eşitlik 3.2'de verilen yöntem kullanılarak hesaplanmıştır [79];

$$EF = \frac{\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)_{numune}}{\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)_{referans}} \quad (3.2)$$

Burada $(C_x/C_{ref})_{numune}$ sediment numunesindeki (C_x hesaplaması yapılacak element konsantrasyonunu, C_{ref} ise Sc elementinin konsantrasyonunu ifade eder) oranı ve $(C_x/C_{ref})_{referans}$ ise referans toprak numunesindeki (C_x hesaplaması yapılacak aynı element konsantrasyonunu, C_{ref} ise Sc elementinin konsantrasyonunu ifade eder) metal konsantrasyonları oranıdır.

Bu çalışma kapsamında incelenen her bir metal için hesaplanan EF değerleri Tablo 3.5'te verilmiş ve Sutherland tarafından yapılan sınıflandırmaya göre değerlendirilmiştir [80].

Tablo 3.5: EF değerine göre sınıflandırma.

EF Değeri	Zenginleşme Kategorisi
EF ≤ 2	Minimal Zenginleşme
2 < EF ≤ 5	Ortalama Zenginleşme
5 <EF ≤ 20	Önemli Zenginleşme
20 < EF ≤ 40	Çok Yüksek Zenginleşme
40 < EF	Ekstra Yüksek Zenginleşme

3.6.3. Kirlilik Faktörü (Contamination Factor (CF) ve Kirlilik Yük İndeksi (Pollution Load Index (PLI)

Sediment ve toprak numunelerinde kirlilik seviyelerini belirlemek için kullanılan metotlardan biri de kirlilik faktörüdür (CF). Hakanson [78] tarafından önerilen kirlilik faktörü numune metal konsantrasyonu ile referans toprak içerisindeki aynı metal konsantrasyonun oranından Eşitlik 3.3 de verildiği gibi hesaplanmaktadır [78].

$$CF = \frac{C_s}{C_r} \quad (3.3)$$

Burada C_s sediment numunesindeki metal konsantrasyonunu, C_r ise referans numunedeki metal konsantrasyonunu ifade eder. Elde edilen CF sonuçlarının değerlendirilmesi Tablo 3.6'da verilen sınıflandırmaya göre yapılmaktadır [78].

Tablo 3.6: CF değerlerine göre sınıflandırma.

CF Değeri	Sınıf	Kirlilik Durumu
CF < 1	1	Düşük
1 ≤ CF < 3	2	Orta
3 ≤ CF < 6	3	Önemli Derecede
6 ≤ CF	4	Çok Yüksek

Kirlilik yük indeksi (PLI) belirlenen numune alma noktasındaki toplam metal kirliliğinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması için basit bir metot sunar ve hesaplanan CF değerlerinden aşağıdaki gibi bulunur [78];

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 x CF_2 x \dots \dots \dots . CF_n} \quad (3.4)$$

Burada CF kirlilik faktörü n ise ölçülen metal sayısıdır. Genel olarak PLI değeri > 1 ise kirliliği, <1 ise kirlenme olmadığını ifade eder [78].

3.6.4. Potansiyel Ekolojik Risk İndeksi (Potantial Ecological Risk Index (PERI)

Toprak ve sediment örneklerinde bulunan ağır metallerin potansiyel ekolojik risk indeksini belirlemek için Hakanson [84] tarafından geliştirilen parametreler kullanılmaktadır. Buna göre belirli bir metalin ekolojik riski (E_r) hesaplanmakta ve sonunda tüm metallerin E_r değerleri toplanarak potansiyel ekolojik risk değeri bulunmaktadır. Bulunan sonuçlar Tablo 6'da verilen sınıflandırmaya göre kirlilik değerlendirilmesi yapılmaktadır. Tüm bu hesaplamalar Eşitlik 3.5 ve Eşitlik 3.6 'ya göre bulunmaktadır [81];

$$E_r = T_r \, x \, CF \quad (3.5)$$

$$PERI = \sum_{i=1}^{m} E_r \quad (3.6)$$

Burada CF kirlilik faktörü ve daha önce verilen eşitliğe göre hesaplanır. T_r ise Hakanson [84] tarafından "toxic-response factor" olarak tanımlanan Pb, Zn, Ni, Co, Cd ve Cr için sırasıyla 5, 1, 5, 5, 30 ve 2 olarak verilen katsayıları ifade eder. Elde edilen E_r sonuçlarının değerlendirilmesi Tablo 3.7'de verilen sınıflandırmaya göre yapılmaktadır [81].

Tablo 3.7: E_r ve PERI değerlerine göre sınıflandırma.

E_r veya PERI Değeri	Ekolojik Risk Kategorisi
$E_r < 40$	Düşük Potansiyelli Ekolojik Risk
$40 \leq E_r < 80$	Orta Potansiyelli Ekolojik Risk
$RI < 150$	Düşük Ekolojik Risk
$150 \leq RI < 300$	Orta Ekolojik Risk
$300 \leq RI < 600$	Önemli Ekolojik Risk
$600 < RI$	Çok Yüksek Ekolojik Risk

4. BULGULAR

Bu çalışmada, İstanbul-Şile ve Kocaeli bölgelerinde yer alan Göksu ve Çanakdere akarsularının kıyılarından kuru (yaz) ve yağışlı (kış) mevsim olmak üzere iki ayrı zamanda sediment numuneleri toplanmış ve toplanan örneklerin metal konsantrasyonları incelenmiştir. Sediment numunelerinin belirlenen metal konsantrasyonlarından ekolojik risk indeksleri hesaplanmıştır. Ayrıca, kuru ve yağışlı mevsimlerde toplanan sediment numunelerinin su muhtevası, organik madde içeriği ile akarsu su numunelerinin pH değerleri ölçülmüştür.

4.1. Sediment Numunelerinin Su Muhtevası ve Organik Madde İçeriği ile Akarsu pH Değerlerinin Belirlenmesi

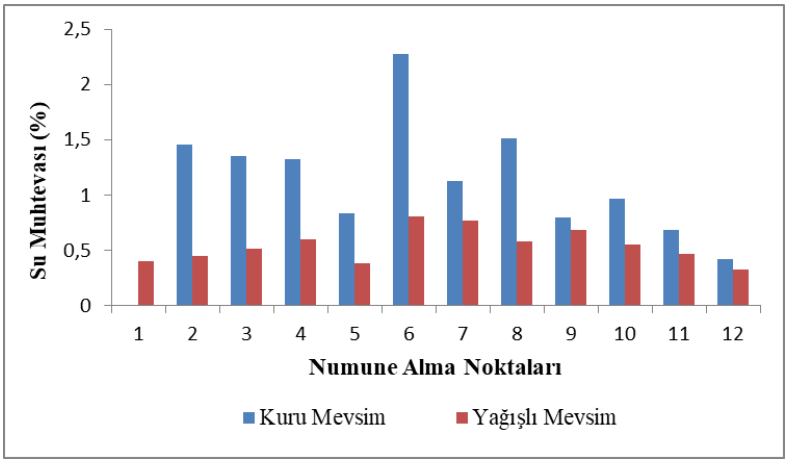
Bu çalışmada, toplanan sediment örneklerinin metal analizlerinin yanında sedimentlerin su muhtevası ve organik madde içerikleri de belirlenmiştir. Çalışmada, sedimentlerin yer aldığı sucul ortam koşullarının pH değerleri numune alma esnasında ölçülmüştür. Toplanan sediment örneklerinin su muhtevası analizleri ile organik madde içeriklerine ait analizler İUC Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği laboratuvarlarında yapılmış olup, elde edilen sonuçlar Tablo 4.1'de verilmiştir.

Kuru mevsime ait toplanan sediment örneklerinin su içeriklerinin % 0,01 ile % 2,28 arasında değiştiği (ortalama 1,066) ve yağışlı mevsime ait toplanan sediment örneklerinin su içeriklerinin ise % 0,33 ile % 0,81 arasında değişmekte olduğu (0,546) görülmüştür. Kuru mevsimde alınan sediment numunelerinin su muhtevalarının ortalama değerinin yağışlı mevsimde toplanan örneklerden daha fazla olması, kuru mevsimde alınan sediment numunelerinin daha fazla su tutan çamurlu bir yapıya sahip olması, buna karşılık yağışlı mevsimde yüzeysel akışların daha fazla olması sonucunda karasal alandan taşınan kumlu yapıların (su tutmayan) akarsu tabanında birikmesi nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

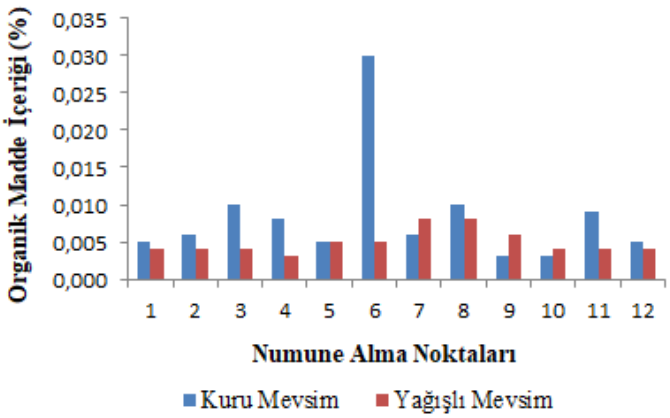
Tablo 4.1: Numune noktaları akarsu pH değerleri, sediment su muhtevası ve organik madde içeriği.

NUMUNE NUMARASI	pH		Su Muhtevası		Organik Madde İçeriği	
	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim
1- (Göksu)	7,6	8,1	0,01	0,40	0,005	0,004
2- (Göksu)	8,2	8,1	1,46	0,45	0,006	0,004
3- (Göksu)	8,4	8,2	1,35	0,52	0,010	0,004
4- (Göksu)	8,3	8,1	1,33	0,60	0,008	0,003
5- (Göksu)	8,0	8,2	0,84	0,38	0,005	0,005
6- (Göksu)	8,1	8,3	2,28	0,81	0,030	0,005
7- (Çanakdere)	7,8	8,0	1,13	0,77	0,006	0,008
8- (Çanakdere)	8,6	7,9	1,51	0,58	0,010	0,008
9- (Çanakdere)	8,0	8,4	0,8	0,69	0,003	0,006
10- (Çanakdere)	8,15	8,1	0,97	0,55	0,003	0,004
11- (Çanakdere)	8,18	8,1	0,69	0,47	0,009	0,004
12- (Çanakdere)	7,97	8,4	0,42	0,33	0,005	0,004
Min			0,010	0,330	0,003	0,003
Max			2,280	0,810	0,030	0,008
Ort			1,066	0,546	0,008	0,005
Stn. Sapma			0,587	0,153	0,007	0,002

Kuru mevsimde alınan numunelerin organik madde içerikleri incelendiğinde % 0,003 ile % 0,03 arasında değiştiği (ortalama 0,008) görülmüştür. Yağışlı mevsime ait toplanan örneklerin organik madde içeriklerinin ise % 0,003 ile % 0,008 arasında değiştiği (ortalama 0,005) belirlenmiştir. Kuru ve yağışlı mevsimde alınan sediment numunelerinin ortalama organik madde içeriklerinde fazla bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Kuru ve yağışlı mevsim numunelerinin su muhtevalarının grafiksel sunumu grafik Şekil 4.1'de ve organik madde içeriklerinin grafiksel sunumu ise Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1: Sediment numuneleri su muhtevası.



Şekil 4.2: Sediment numuneleri organik madde miktarı.

4.2. Sediment Numunelerinin Metal Konsantrasyonlarının Belirlenmesi

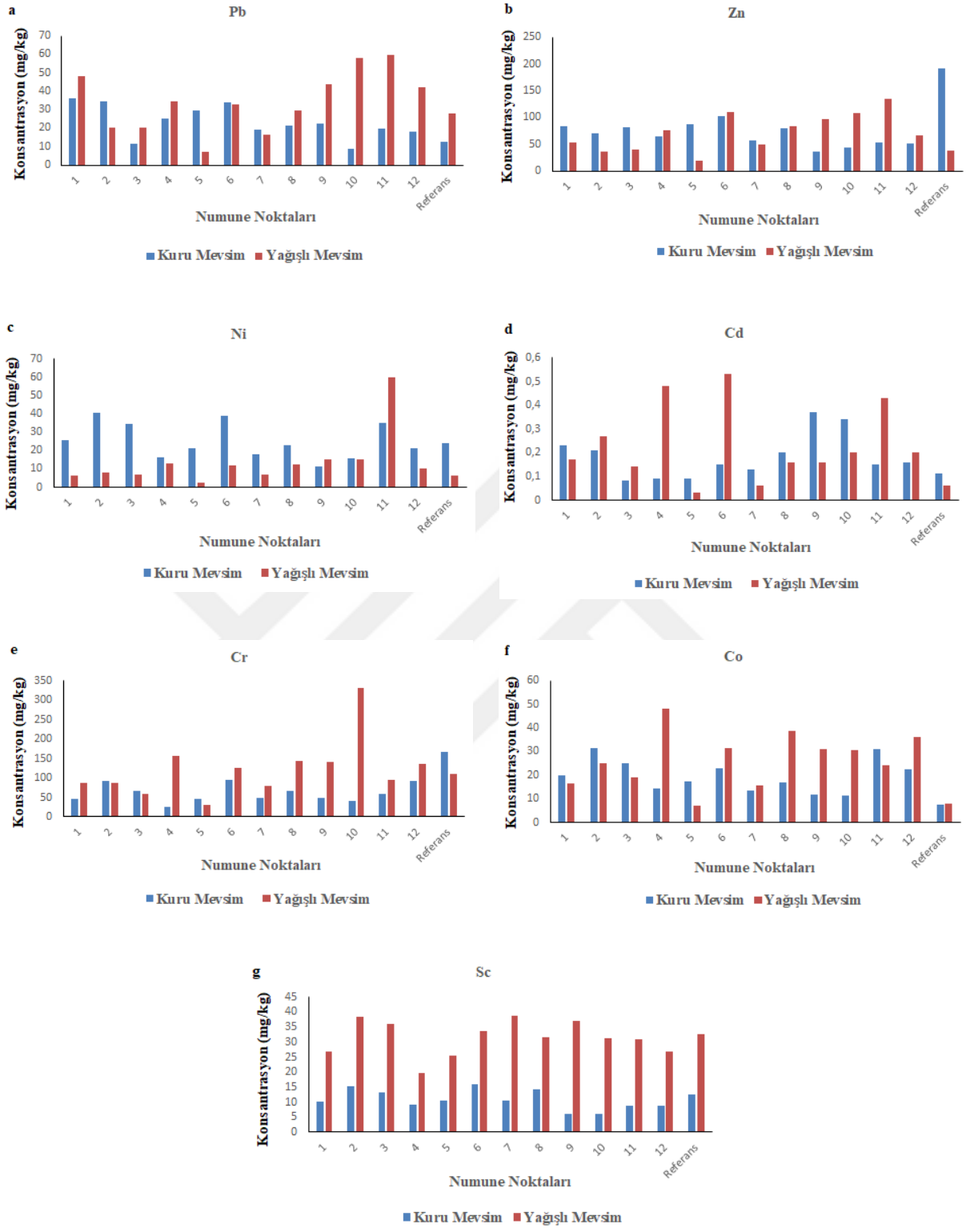
Bu çalışma kapsamında Göksu ve Çanakdere akarsularının kıyı sedimentlerinden alınan numunelerde Pb, Zn, Ni, Cd, Cr, Co ve Sc analizleri İUC Jeoloji Mühendisliği Jeokimya ve Jeokronoloji Laboratuvarı'nda bulunun ICP-MS cihazıyla gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.2' de grafikleri ise Şekil 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.2'de verilen değerler incelendiğinde metal konsantrasyonlarının Göksu akarsuyunda membaa tarafındaki noktalardan mansap tarafına doğru gidildikçe arttığı gözlemlenmiştir. Çanakdere akarsuyu kıyı sedimentlerinin metal konsantrasyonları değerlendirildiğinde membaa tarafında bulunan numune alma noktalarının özellikle besi çiftlikleri ile salyangoz çiftliğine yakın olanlarda daha yüksek değerler gözlemlenmiştir. Her

bir metal için ayrı ayrı çizilen konsantrasyon grafiklerinin verildiği Şekil 4.3'e göre Pb konsantrasyonlarının 1, 3, 4, 8, 9, 10, 11 ve 12. noktalarda ve Zn konsantrasyonlarının ise 4, 6, 8, 9, 10, 11, ve 12. numune alma noktalarında yağışlı mevsimde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ni konsantrasyonlarının 9 ve 11. numune alma noktası haricinde kuru mevsimde yağışlı mevsime göre daha fazla bulunmuştur. Cd konsatrasyonları incelendiğinde 2, 3, 4, 6, 11 ve 12. numune alma noktalarında yağışlı mevsimde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Özellikle yağışlı mevsimlerde 1, 4, 6, 8, 9, 10, 11 ve 12 numune alma noktalarında Cr'un yüksek olduğu 10. noktada ise en yüksek seviyeye ulaştığı görülmüştür. Co konsatrasyonları incelendiğinde 1, 2, 3 ve 5. noktalarda kuru mevsimde diğer noktalarda yağışlı mevsimde daha yüksek değerler aldığı gözlenmiştir. Referans element olarak kullanılan Sc konsantrasyonlarını incelediğimizde tüm noktalarda yağışlı mevsimde daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu çalışma kapsamında incelenen tüm metallerin konsantrasyonları genel olarak değerlendirildiğinde Ni hariç diğerlerinin beklendiği gibi yağışlı mevsimlerde yüzeysel akış ile karasal alandan akarsu içerisine doğru daha fazla kütlenin taşınması nedeniyle kuru mevsim değerlerinden daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu belirlenmiştir. Özellikle toprak kullanımı açısından ağırlıklı olarak tarımsal faaliyetlerin yapıldığı ve besi çiftliklerinin bulunduğu noktalarda belirlenen metal konsantrasyonlarının diğer numune alma noktalarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Özellikle, doğal süreçlerin (kayaçların yapısında bulunan ve yüzeysel akışlarla taşınanlar) dışında tarımsal faaliyetlerin yapıldığı noktalarda kullanılan tarımsal ilaç (Pb içeren pestisitler gibi) [82] ve gübreler (mikro ve makro besleyeci maddeler içeren- Co, Zn, Cdve Ni gibi) [83] Göksu ve Çanakdere akarsuları kıyı sedimentlerinde incelenen metallerin kaynaklarından biri olarak söylenebilir.

Tablo 4.2: Sediment numunelerinin metal konsantrasyonları.

Numune Numarası	Pb (mg/kg)		Zn (mg/kg)		Ni (mg/kg)		Cd (mg/kg)		Cr (mg/kg)		Co (mg/kg)		Sc (mg/kg)	
	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim
1- (Göksu)	36,36	48,25	83,49	53,47	25,69	6,12	0,23	0,17	45,25	87,06	20,06	16,56	10,03	26,70
2- (Göksu)	34,70	20,53	71,05	37,47	40,40	8,10	0,21	0,27	92,58	86,89	31,40	24,98	15,34	38,25
3- (Göksu)	11,72	20,39	82,43	41,06	34,18	6,85	0,08	0,14	64,77	59,26	24,92	19,29	13,27	36,15
4- (Göksu)	25,18	34,54	65,41	75,90	16,37	12,71	0,09	0,48	25,24	157,19	14,34	48,11	9,16	19,50
5- (Göksu)	29,54	7,44	87,56	20,04	21,15	2,58	0,09	0,03	45,09	28,72	17,28	7,08	10,48	25,32
6- (Göksu)	33,94	32,98	102,56	111,19	38,85	11,60	0,15	0,53	93,62	124,01	23,00	31,33	16,05	33,73
7- (Çanakdere)	19,48	16,39	57,44	49,53	18,07	6,70	0,13	0,06	48,02	79,68	13,77	15,53	10,48	38,59
8- (Çanakdere)	21,60	29,61	79,60	83,73	22,81	12,10	0,20	0,16	66,87	143,14	16,96	38,84	14,28	31,56
9- (Çanakdere)	22,67	44,01	37,16	97,80	11,09	14,98	0,37	0,16	48,93	141,31	11,95	31,29	5,98	36,96
10- (Çanakdere)	8,98	58,24	44,05	108,39	15,80	15,04	0,34	0,20	39,69	330,79	11,41	30,84	6,16	31,13
11- (Çanakdere)	20,10	60,02	54,62	134,83	34,99	59,77	0,15	0,43	58,56	93,57	31,12	24,22	8,82	30,81
12- (Çanakdere)	18,46	42,38	51,78	66,80	21,25	9,86	0,16	0,20	90,87	135,28	22,50	36,08	8,59	26,87
Min	8,98	7,44	37,16	20,04	11,09	2,58	0,08	0,03	25,24	28,72	11,41	7,08	5,98	19,5
Max	36,36	60,02	102,56	134,83	40,4	59,77	0,37	0,53	93,62	330,79	31,93	48,11	16,05	38,59
Ortalama	23,56	34,57	68,10	73,35	25,05	13,87	0,18	0,24	59,96	122,24	19,89	27,01	10,72	31,30
Standart Sapma	8,77	16,62	19,67	34,81	9,76	14,94	0,09	0,16	22,45	75,99	6,87	11,40	3,35	5,87
Referans	12,58	28,11	191,77	38,05	24,08	6,05	0,11	0,06	166,44	109,79	7,65	8,18	12,56	32,71



Şekil 4.3: Sediment numunelerinin metal konsantrasyonları (a.Pb, b.Zn, c.Ni, d.Cd, e.Cr, f.Co ve g.Sc).

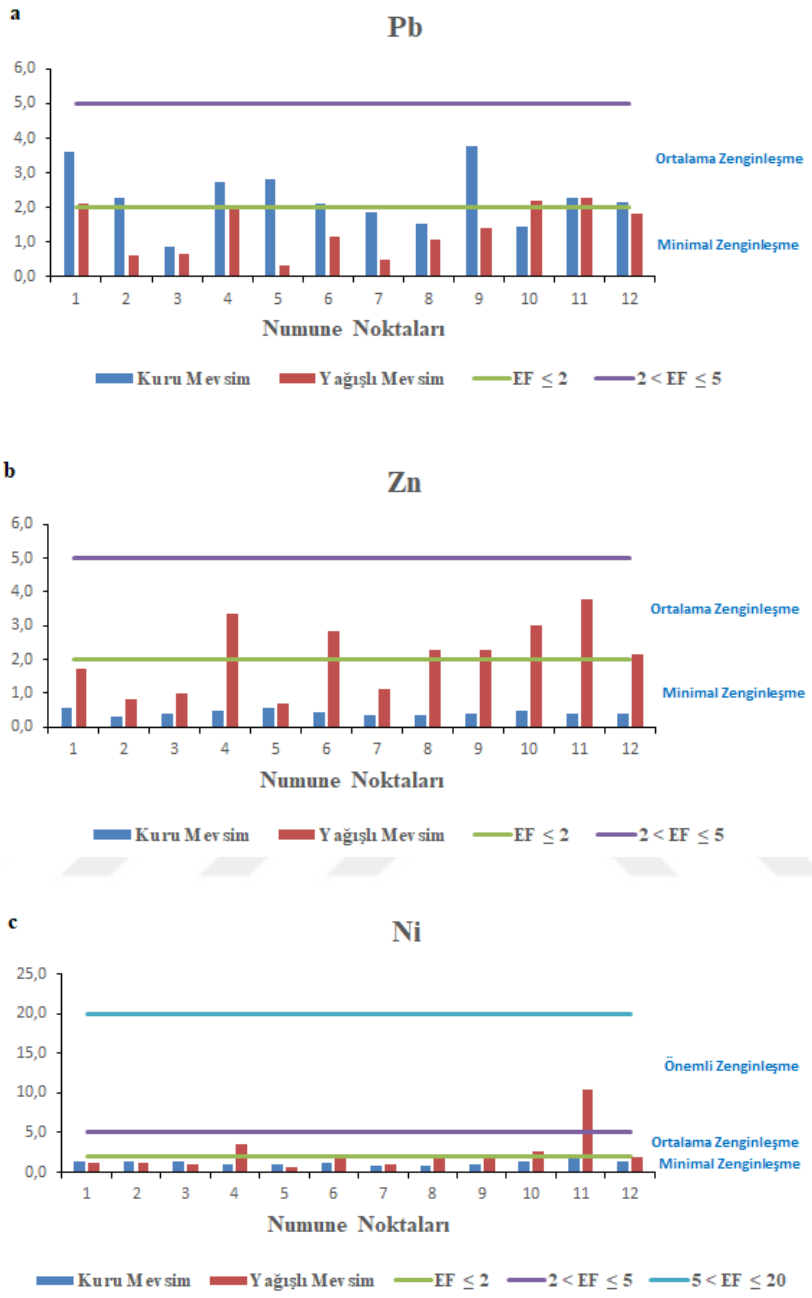
4.3. Ekolojik Risk İndekslerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında konsantrasyonları incelenen Pb, Zn, Ni, Cd, Cr, Co ve Sc metalleri için literatürde yer alan zenginleştirme faktörü (EF), kontaminasyon faktörü (CF), jeoakümülasyon (Igeo) indeksi kirlilik yük indeksi (PLI) ve potansiyel ekolojik risk indeksleri (PERI) hesaplanmıştır. Her bir ekolojik risk değerlendirme parametresinin sonuçları hem tablo hem de grafiksel sunum halinde verilmiştir.

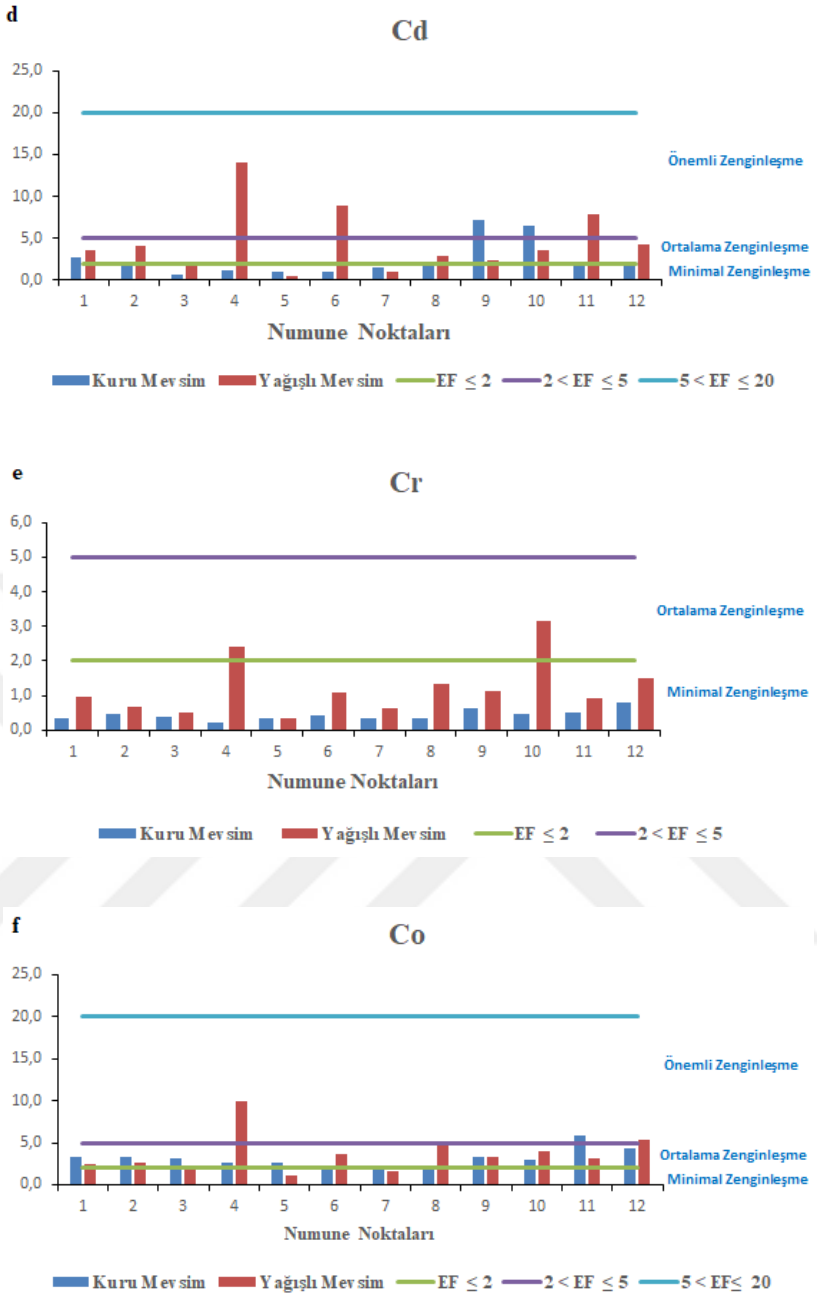
Göksu ve Çanakdere akarsu kıyı sedimentlerinden alınan numunelerin metal konsantrasyonlarına göre hesaplanan EF değerlerine ait sonuçlar Tablo 4.3'de grafikleri ise Şekil 4.4'de verilmiştir. EF değerleri incelendiğinde Pb değerlerinin 1 ve 11. numune alma noktalarında hem kuru hemde yağışlı mevsimde ortalama zenginleşme olduğu, 2, 4, 5, 6, 9 ve 12. noktalarda sadece kuru mevsimde, 10. noktada ise sadece yağışlı mevsimde ortalama zenginleşme olduğu belirlenmiştir. Zn için hesaplanan EF değerlerine göre kuru mevsimde tüm numune alma noktalarında minimal zenginleşme olduğu, yağışlı mevsimde ise 4, 6, 8, 9, 10, 11 ve 12. noktalarda ortalama zenginleşme seviyesinde değerler elde edildiği görülmüştür. EF değerlerinden Ni için olan incelendiğinde yağışlı mevsimde 11. noktada önemli seviyede zenginleşme olduğu dikkat çekmektedir. Diğer noktaların çoğunluğunda hem kuru mevsimde hem de yağışlı mevsimde minimal zenginleşme görülmektedir. Cd EF değerlerinin 4, 6 ve 11 numaraları noktalarda yağışlı mevsimde, 9 ve 10. noktalarda ise kuru mevsimde önemli derecede zenginleşme olduğu tespit edilmiştir. EF değerlerinin Cr için olanlarına göre sadece 4 ve 10. numune alma noktalarında yağışlı mevsimde ortalama zenginleşme diğer noktalarda ise minimal zenginleşme olduğu gözlemlenmektedir. Co için kuru mevsimde 4. numune alma noktasında EF değerinin ortalama zenginleşmede olduğu ancak yağışlı mevsimde önemli derece zenginleşme seviyesine çıktığı belirlenmiştir. Co açısından diğer noktalarda genel itibariyle hem kuru mevsimde hem de yağışlı mevsimde EF değerlerinin ortalama zenginleşme seviyesinde olduğu ortaya çıkmıştır. Tüm metallerin EF değerlendirildiğinde 4, 6, 10 ve 11. noktalarının çevresinde arazi (toprak) kullanımı açısından çoğunlukla tarımsal faaliyetlerin yapıldığı ve şehirleşme olmasından kaynaklı yüksek EF değerleri görüldüğü düşünülmektedir.

Tablo 4.3: Sediment numunelerinin EF değerleri.

EF	Pb		Zn		Ni		Cd		Cr		Co	
	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim
1- (Göksu)	3,62	2,10	0,55	3,59	1,34	1,24	2,64	0,49	0,34	0,97	3,28	2,48
2- (Göksu)	2,26	0,63	0,30	4,06	1,37	1,15	1,63	0,33	0,46	0,68	3,36	2,61
3- (Göksu)	0,88	0,66	0,41	2,23	1,34	1,03	0,71	0,57	0,37	0,49	3,08	2,14
4- (Göksu)	2,74	2,06	0,47	14,01	0,93	3,53	1,15	2,26	0,21	2,40	2,57	9,87
5- (Göksu)	2,81	0,34	0,55	0,55	1,05	0,55	1,00	0,25	0,33	0,34	2,71	1,12
6- (Göksu)	2,11	1,14	0,42	8,97	1,26	1,86	1,06	0,73	0,44	1,10	2,35	3,72
7- (Çanakdere)	1,86	0,49	0,36	0,93	0,90	0,94	1,50	0,35	0,35	0,62	2,16	1,61
8- (Çanakdere)	1,51	1,09	0,37	2,89	0,83	2,07	1,64	0,63	0,35	1,35	1,95	4,92
9- (Çanakdere)	3,78	1,39	0,41	2,43	0,97	2,19	7,22	0,57	0,62	1,14	3,28	3,39
10- (Çanakdere)	1,46	2,18	0,47	3,58	1,34	2,61	6,40	1,05	0,49	3,17	3,04	3,96
11- (Çanakdere)	2,28	2,27	0,41	7,87	2,07	10,49	1,93	1,08	0,50	0,91	5,79	3,15
12- (Çanakdere)	2,14	1,83	0,39	4,20	1,29	1,98	2,19	0,79	0,80	1,50	4,29	5,37
Min	0,88	0,34	0,3	0,55	0,83	0,55	0,71	0,25	0,21	0,34	1,95	1,12
Max	3,78	2,27	0,55	14,01	2,07	10,49	7,22	2,26	0,8	3,17	5,79	9,87
Ortalama	2,29	1,35	0,43	4,61	1,22	2,47	2,42	0,76	0,44	1,22	3,16	3,70
Standart Sapma	0,85	0,72	0,07	3,86	0,33	2,66	2,13	0,54	0,16	0,82	1,04	2,31



Şekil 4.4: Sediment numunelerinin EF grafikleri (a.Pb, b.Zn, c.Ni).

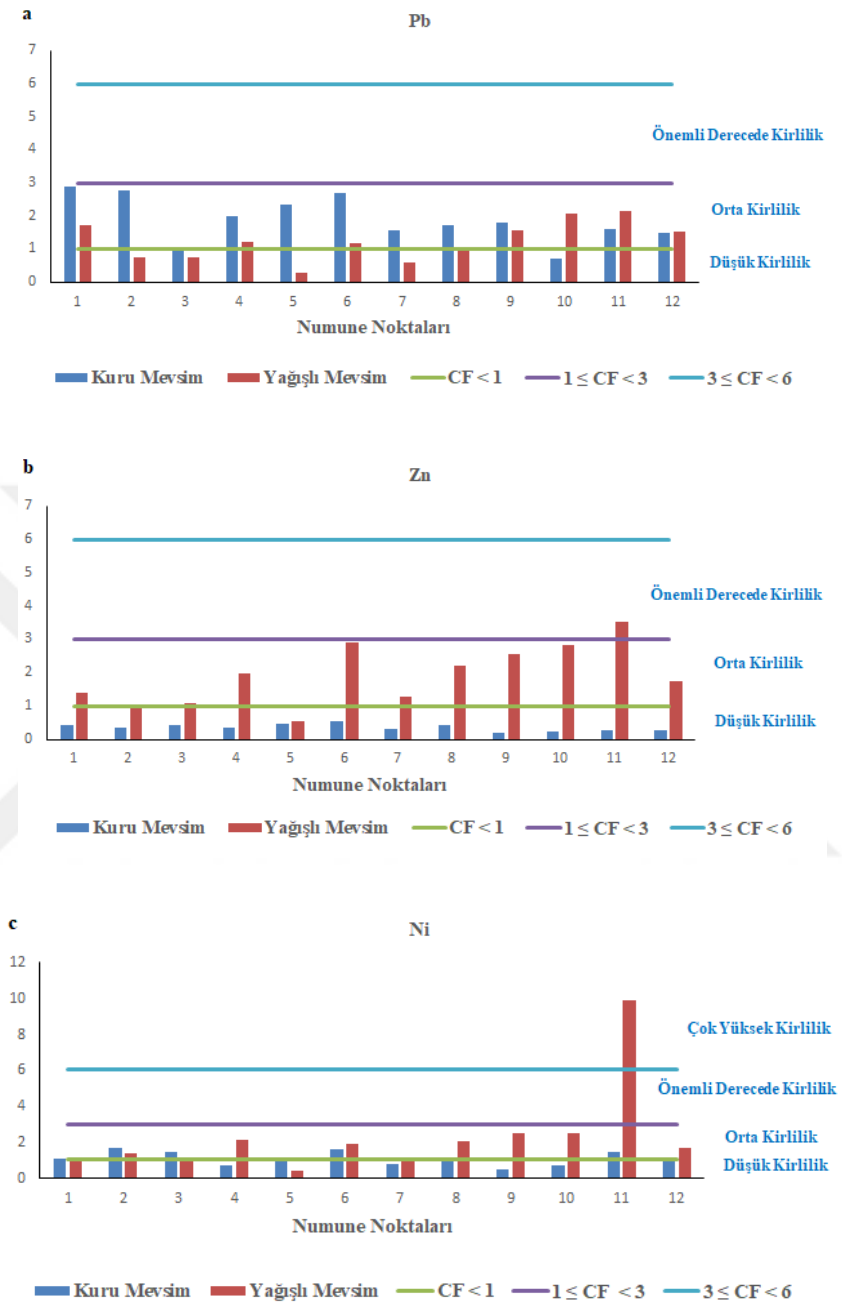


Şekil 4.4 (devam): Sediment numunelerinin EF grafikleri (d.Cd, e.Cr ve f.Co).

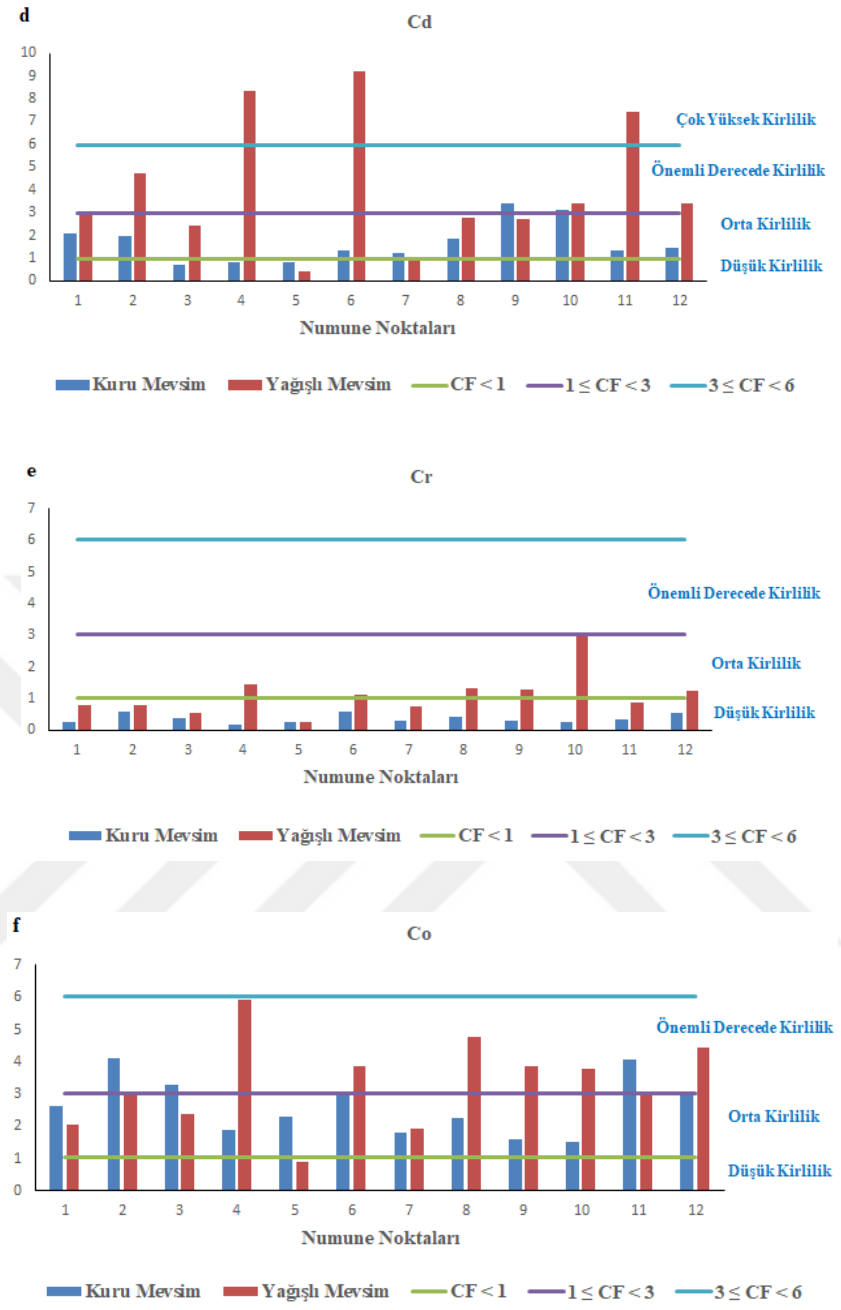
Akarsu kıyı sedimentlerinin metal konsantrasyonlarına bağlı olarak hesaplanan ekolojik risk değerlendirme parametrelerinden olan CF değerleri Göksu ve Çanakdere numune alma noktaları için Tablo 4.4' de, sonuçlardan oluşturulan grafikler ise Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir. Elde edilen CF sonuçlarından Pb için hiçbir noktada önemli derecede bir kirlenmeye rastlanmadığı, 1, 4, 6, 9, 11 ve 12. noktalarda hem kuru hem de yağışlı mevsimde orta derecede kirlenme olduğu belirlenmiştir. Zn için 11. numune alma noktasında kuru mevsimde düşük kirlilik görülürken yağışlı mevsimde önemli derecede kirlilik gözlenmiştir. Yine yağışlı mevsimde 1, 4, 6, 8, 9, 10 ve 11. noktalarda orta derece kirlilik tespit edilmiştir. Ni değerlerinden 11. noktada yağışlı mevsim değerinin çok yüksek kirlilik seviyesinde çıkması dikkat çekmektedir. Cd için CF değerleri incelendiğinde 4, 6 ve 11. numune alma noktalarında kuru mevsimde düşük ve orta kirlilik görülürken yağışlı mevsimde çok yüksek kirlilik gözlenmiştir. CF değerlerinden Cr için olanlarına göre yağışlı mevsimde 4, 8, 9, 10 ve 12. noktalarda orta seviyede kirliklik tespit edilmiştir. Co açısından hesaplana CF değerleri değerlendirildiğinde tüm numune alma noktalarında kuru ve yağışlı mevsim için orta ve önemli derece kirlilik seviyeleri belirlenmiştir. 4, 6, 8, 9, 10 ve 12. noktalarda Co kirlilik seviyesi yağışlı mevsimde önemli derece kirlilik seviyesinde bulunmuştur. Genel olarak CF değerlerinin orta ve önemli derece kirlilik seviyesinde çıkan noktaların çevresinde arazi (toprak) kullanımı açısından çoğunlukla tarımsal faaliyetlerin yapıldığı ve kısmen şehirleşmenin olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.4: Sediment numunelerinin CF değerleri.

CF	Pb		Zn		Ni		Cd		Cr		Co	
	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim
1- (Göksu)	2,89	1,72	0,44	1,41	1,07	1,01	2,11	2,93	0,27	0,79	2,62	2,03
2- (Göksu)	2,76	0,73	0,37	0,99	1,68	1,34	1,99	4,75	0,56	0,79	4,10	3,05
3- (Göksu)	0,93	0,73	0,43	1,08	1,42	1,13	0,75	2,47	0,39	0,54	3,26	2,36
4- (Göksu)	2,00	1,23	0,34	1,99	0,68	2,10	0,84	8,35	0,15	1,43	1,87	5,89
5- (Göksu)	2,35	0,27	0,46	0,53	0,88	0,43	0,84	0,43	0,27	0,27	2,26	0,87
6- (Göksu)	2,70	1,17	0,53	2,92	1,61	1,92	1,36	9,25	0,56	1,13	3,01	3,83
7- (Çanakdere)	1,55	0,58	0,30	1,30	0,75	1,11	1,25	1,10	0,29	0,73	1,80	1,90
8- (Çanakdere)	1,72	1,05	0,42	2,20	0,95	2,00	1,87	2,78	0,40	1,30	2,22	4,75
9- (Çanakdere)	1,80	1,57	0,19	2,57	0,46	2,48	3,44	2,74	0,29	1,29	1,56	3,83
10- (Çanakdere)	0,71	2,07	0,23	2,85	0,66	2,49	3,14	3,41	0,24	3,01	1,49	3,77
11- (Çanakdere)	1,60	2,14	0,29	3,54	1,45	9,88	1,35	7,42	0,35	0,85	4,07	2,96
12- (Çanakdere)	1,47	1,51	0,27	1,76	0,88	1,63	1,50	3,45	0,55	1,23	2,94	4,41
Min	0,71	0,27	0,19	0,53	0,46	0,43	0,75	0,43	0,15	0,27	1,49	0,87
Max	2,89	2,14	0,53	3,54	1,68	9,88	3,44	9,25	0,56	3,01	4,1	5,89
Ortalama	1,87	1,23	0,36	1,93	1,04	2,29	1,70	4,09	0,36	1,11	2,60	3,30
Standart Sapma	0,70	0,59	0,10	0,91	0,40	2,47	0,87	2,81	0,14	0,69	0,90	1,39



Şekil 4.5: Sediment numunelerinin CF grafikleri (a.Pb, b.Zn, c.Ni).



Şekil 4.5 (devam): Sediment numunelerinin CF grafikleri (d.Cd, e.Cr ve f.Co).

Çalışma kapsamında sediment numunelerinin metal konsantrasyonlarından hesaplanan jeo-akümülasyon indeks (Igeo) değerleri Tablo 4.5' de verilmiştir. Tablo 4.5 incelendiğinde 11. noktada Ni ve Cd için yağışlı mevsim ve 4. noktada sadece Cd için yağışlı mevsimde hesaplanan Igeo değerlerinin orta ile yoğun derece arasında bir kirlilik sınıflandırmasına uyan değerler bulunmuştur. Zn için yağışlı mevsimde 11. nokta, Cd için 9 ve 10. nokta kuru mevsim 10 ve 11. nokta yağışlı mevsim, Cr için 10. nokta yağışlı mevsim, Co için 2, 3 ve 11. noktalar kuru mevsim, 2, 4, 6, 8, 9, 10 ve 12. noktalar yağışlı mevsimde orta derece kirlenme gösteren numune alma noktaları olmuştur. Diğer noktalarda bulunan Igeo değerleri genellikle kirlenmemiş ve kirlenmiş ile orta derece arasında kirlilik gösteren sınıflandırma kategorisinde kaldığı belirlenmiştir.

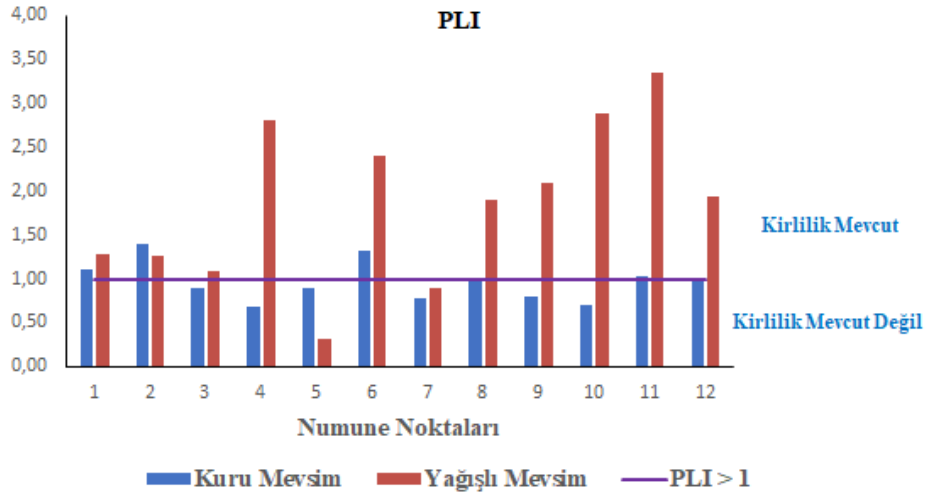
Tablo 4.5: Sediment numunelerinin Igeo değerleri.

Igeo	Pb		Zn		Ni		Cd		Cr		Co	
	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim
1- (Göksu)	0,95	0,19	-1,78	-0,09	-0,49	-0,57	0,49	0,97	-2,46	-0,92	0,81	0,43
2- (Göksu)	0,88	-1,04	-2,01	-0,61	0,16	-0,163	0,40	1,66	-1,43	-0,92	1,45	1,03
3- (Göksu)	-0,69	-1,05	-1,8	-0,47	-0,08	-0,41	-1,01	0,72	-1,95	-1,47	1,12	0,65
4- (Göksu)	0,42	-0,29	-2,14	0,41	-1,14	0,49	-0,84	2,48	-3,31	-0,07	0,32	1,97
5- (Göksu)	0,65	-2,50	-1,72	-1,51	-0,77	-1,82	-0,84	-1,82	-2,47	-2,52	0,59	-0,79
6- (Göksu)	0,85	-0,36	-1,49	0,96	0,11	0,36	-0,15	2,62	-1,42	-0,41	1,00	1,35
7- (Çanakdere)	0,05	-1,36	-2,32	-0,20	-1,00	-0,44	-0,26	-0,45	-2,38	-1,05	0,26	0,34
8- (Çanakdere)	0,20	-0,51	-1,86	0,55	-0,66	0,42	0,32	0,89	-1,90	-0,20	0,56	1,66
9- (Çanakdere)	0,27	0,06	-2,95	0,78	-1,70	0,73	1,20	0,87	-2,35	-0,22	0,058	1,35
10- (Çanakdere)	-1,07	0,47	-2,71	0,93	-1,19	0,73	1,07	1,18	-2,65	1,01	-0,01	1,33
11- (Çanakdere)	0,09	0,51	-2,40	1,24	-0,05	2,72	-0,15	2,32	-2,09	-0,82	1,44	0,98
12- (Çanakdere)	-0,03	0,01	-2,47	0,23	-0,77	0,12	-0,004	1,20	-1,46	-0,28	0,97	1,56
Min	-1,07	-2,5	-2,95	-1,51	-1,7	-1,82	-1,01	-1,82	-3,31	-2,52	-0,01	-0,79
Max	0,95	0,51	-1,49	1,24	0,16	2,72	1,2	2,62	-1,42	1,01	1,45	1,97
Ortalama	0,21	-0,49	-2,14	0,19	-0,63	0,18	0,02	1,05	-2,16	-0,66	0,71	0,99
Standart Sapma	0,62	0,87	0,44	0,80	0,58	1,07	0,72	1,25	0,57	0,86	0,50	0,75

Göksu ve Çanakdere akarsularının kıyılarından alınan sediment numunelerinin hesaplanan Kirlilik Yük İndeks (PLI) değerleri Tablo 4.6' da ve bu değerlerin grafik olarak gösterimi Şekil 4.6'da verilmiştir. Tablo 4.6 ve Şekil 4.6 incelendiğinde PLI değerlerinin 1, 2, 6, 8 ve 11. noktalarda hem kuru hem de yağışlı mevsimde, 3, 4, 9, 10 ve 12. noktalarda ise sadece yağışlı mevsimde 1'den büyük olduğu dolayısıyla bu noktalarda incelenen metaller açısından kirliliğin mevcut olduğu belirlenmiş ve dolayısıyla bu noktalarda ekolojik açıdan bir risk bulunduğu ifade edilebilir. Diğer noktalardan 5 ve 7 de hem kuru hemde yağışlı mevsimde hesaplanan PLI değeri 1'in altında bulunarak bu noktalarda kirliliğin mevcut olmadığı değerlendirilmiştir. Dolayısıyla bu iki noktada PLI değerlerine göre ekolojik açıdan bir risk bulunmadığı söylenebilmektedir. Şekil 4.6'a göre numune alınan noktalar genel olarak değerlendirildiğinde yağışlı mevsimde PLI değerlerinin kuru mevsime göre daha yüksek elde edildiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.6: Sediment numunelerinin PLI değerleri.

NUMUNE NOKTALARI	**PLI**	
	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim
1- (Göksu)	1,12	1,29
2- (Göksu)	1,41	1,27
3- (Göksu)	0,90	1,10
4- (Göksu)	0,69	2,81
5- (Göksu)	0,89	0,32
6- (Göksu)	1,32	2,41
7- (Çanakdere)	0,78	0,90
8- (Çanakdere)	1,02	1,91
9- (Çanakdere)	0,80	2,10
10- (Çanakdere)	0,70	2,88
11- (Çanakdere)	1,04	3,36
12- (Çanakdere)	0,97	1,94



Şekil 4.6: Sediment numunelerinin PLI grafiği.

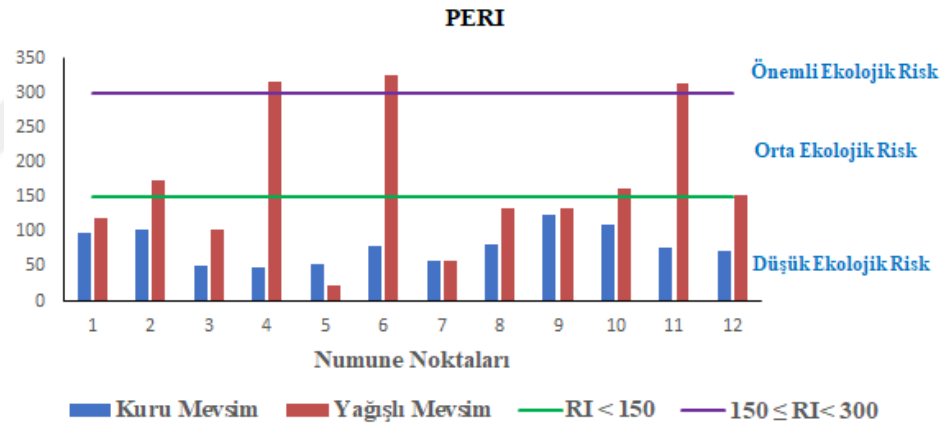
Çalışma kapsamında incelenen herbir metal için Hakanson [78] tarafından geliştirilen Er (Ekolojik risk) ve herbir noktada Er değerleri hesaplanan tüm metallerin oluşturduğu PERI (Potansiyel Ekolojik Risk İndeksi) değerleri belirlenmiştir. Sediment numunelerinin hesaplanan Er ve PERI değerleri Tablo 4.7 ve 4.8'de ve PERI değerlerine ait grafiksel gösterim ise Şekil 4.7'de verilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen PERI değerleri incelendiğinde 4, 6 ve 11. numune alma noktalarında yağışlı mevsimde önemli ekolojik risk değerlerine, 2 ve 12. numune alma noktalarında ise orta ekolojik risk değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. PERI değerlerine göre ifade edilen noktaların dışında kalan diğer noktalarda ise düşük seviyede ekolojik risk değerleri elde edilmiştir.

Tablo 4.7: Sediment numunelerinin E_r değerleri.

E_r	Pb		Zn		Ni		Cd		Cr		Co	
	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim
1- (Göksu)	14,45	8,58	0,44	1,41	5,33	5,06	63,31	87,93	0,54	1,59	13,11	10,13
2- (Göksu)	13,79	3,65	0,37	0,99	8,39	6,70	59,54	142,6	1,11	1,58	20,52	15,27
3- (Göksu)	4,66	3,63	0,43	1,08	7,10	5,66	22,38	73,96	0,78	1,08	16,29	11,80
4- (Göksu)	10,00	6,14	0,34	1,99	3,40	10,51	25,12	250,5	0,30	2,86	9,37	29,41
5- (Göksu)	11,74	1,32	0,46	0,53	4,39	2,13	25,11	12,76	0,54	0,52	11,29	4,33
6- (Göksu)	13,49	5,87	0,53	2,92	8,07	9,59	40,66	277,5	1,13	2,26	15,03	19,16
7- (Çanakdere)	7,74	2,91	0,30	1,30	3,75	5,54	37,47	32,88	0,58	1,45	8,99	9,49
8- (Çanakdere)	8,59	5,27	0,42	2,20	4,74	10,00	55,99	83,53	0,80	2,61	11,08	23,75
9- (Çanakdere)	9,01	7,83	0,19	2,57	2,30	12,39	103,15	82,31	0,59	2,57	7,81	19,13
10- (Çanakdere)	3,57	10,36	0,23	2,85	3,28	12,43	94,21	102,3	0,48	6,03	7,45	18,85
11- (Çanakdere)	7,99	10,68	0,28	3,54	7,27	49,42	40,56	222,5	0,70	1,70	20,33	14,81
12- (Çanakdere)	7,33	7,54	0,27	1,76	4,41	8,15	44,89	103,5	1,09	2,46	14,70	22,07
Min	3,57	1,32	0,19	0,53	2,3	2,13	22,38	12,76	0,3	0,52	7,45	4,33
Max	14,45	10,68	0,53	3,54	8,39	49,42	103,15	277,5	1,13	6,03	20,52	29,41
Ortalama	9,36	6,15	0,36	1,93	5,20	11,47	51,03	122,69	0,72	2,23	13,00	16,52
Standart Sapma	3,49	2,96	0,10	0,91	2,03	12,36	25,99	84,39	0,27	1,39	4,49	6,97

Tablo 4.8: Sediment numunelerinin PERI değerleri.

NUMUNE NOKTALARI	PERI	
	Kuru Mevsim	Yağışlı Mevsim
1- (Göksu)	97,18	118,67
2- (Göksu)	103,72	174,57
3- (Göksu)	51,62	103,54
4- (Göksu)	48,54	314,90
5- (Göksu)	53,53	23,55
6- (Göksu)	78,90	324,81
7- (Çanakdere)	58,84	57,67
8- (Çanakdere)	81,62	133,38
9- (Çanakdere)	123,05	133,22
10- (Çanakdere)	109,22	162,76
11- (Çanakdere)	77,14	312,84
12- (Çanakdere)	72,70	151,93



Şekil 4.7: Sediment numunelerinin PERI grafiği.

Göksu ve Çanakdere akarsularının kıyı sedimentlerinde metal konsantrasyonlarının belirlenmesi ve ekolojik risk indekslerinin değerlendirilmesinin amaçlandığı bu çalışma kapsamında literatürde yer alan ve ülkemizde yapılan bazı çalışmalarla da elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma da yıllık verilerin kullanılabilmesi için kuru ve yağışlı mevsimde elde edilen metal konsantrasyonlarının ortalaması Göksu ve Çanakdere akarsuları için ayrı ayrı alınmıştır. Giresun [84] ve Marmara Bölgesinde [44] yapılan sediment analizleri ve bu çalışmanın ortalama değerleri Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9: Sediment metal konsantrasyonlarının (mg/kg) literatürde bulunan çalışmalarla karşılaştırılması.

Metaller	Göksu akarsuyu ortalama konsantrasyonları (Bu çalışma)	Çanakdere akarsuyu ortalama konsantrasyonları (Bu çalışma)	Giresun Pazarsuyu Deresi ortalama konsantrasyonları	Marmara Bölgesi Kocasu Deltası ortalama konsantrasyonları
Pb	27,96	30,16	19,69	32,80
Zn	69,30	72,14	32,74	99,19
Ni	18,72	20,21	-	112,04
Cd	0,20	0,21	0,16	0,08
Cr	75,81	106,39	10,64	126,61
Co	23,20	23,71	5,73	-

Göksu ve Çanakdere akarsuları kıyı sedimentlerinin metal konsantrasyonlarının literatürde yer alan çalışmalarla karşılaştırıldırıldığı Tablo 4.9'u incelediğimizde bu çalışma kapsamında incelenen akarsu sedimentlerinin ortalama metal konsantrasyonları Çanakdere akarsuyu sedimentlerinde daha yüksek olarak bulunmuştur. Ayrıca, her iki akarsu sedimentlerinde bulunan Cd konsantrasyonunun yaklaşık olarak eşit olduğu ve bu değerin Giresun ve Marmara Bölgesi çalışmalarına göre yüksek olduğu gözlenmiştir. Diğer incelenen metal konsantrasyonları Marmara Bölgesi Kocasu deltası değerlerinden küçük Giresun Pazarsuyu deresi sediment konsantrasyonlarından ise büyük bulunmuştur.

5. TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

Akarsu kıyı sedimentlerinde metal konsantrasyonlarının belirlenmesi ve ekolojik risk indekslerinin değerlendirilmesinin amaçlandığı bu çalışmada Kocaeli ve İstanbul-Şile bölgelerinde bulunan Göksu ve Çanakdere akarsularının sedimentleri incelenmiştir. Bu akarsular, bölgede bulunan tarımsal faaliyetlerde suluma amaçlı kullanılmasının yanında İstanbul'a içme suyu temin edilmesi için düşünülen potansiyel su kaynaklarındandır. Akarsuların altışar noktasından kuru ve yağışlı mevsimlerde alınan sediment numunelerinde (referans toprak numuneleri ile birlikte 26 numune) su muhtevası, organik madde içeriği ve Pb, Zn, Ni, Cd, Cr ve Co metallerinin analizleri (ICP-MS) İÜC Çevre Mühendisliği ve Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan cihazlarla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında analiz edilen metal konsantrasyonlarından, zenginleştirme faktörü (Enrichment Factor (EF)), kontaminasyon faktörü (Contamination Factor (CF)), jeoakümülasyon indeksi (Geoaccumulation Index (Igeo)), kirlilik yük indeksi (Pollution Load Index (PLI)) ve potansiyel ekolojik risk indeksi (Potantialy Ecological Risk Index (PERI)) gibi ekolojik risk indeksleri hesaplanmış ve sonuçlar bu indekslerin kirlilik sınıflamalarına göre değerlendirilmiştir. Ayrıca, çalışma kapsamında sediment numuneleri alınan akarsuların pH değerleri numune alma esnasında portatif pH metre kullanılarak ölçülmüştür.

Çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda sedimentlerin su muhtevalarının kuru mevsimde ortalama % 1,066 yağışlı mevsimde ise ortalama % 0,546 olduğu belirlenmiştir. Numunelerin organik madde içerikleri kuru ve yağışlı mevsimde ortalama olarak sırasıyla % 0,008 ve % 0,005 olarak ölçülmüştür. Göksu ve Çanakdere akarsularının pH değerleri ise ortalama olarak kuru mevsimde 8,13 yağışlı mevsimde 8,18 gibi birbirine yakın ve genel itibariyle nötral pH değerlerinde kaldıkları tespit edilmiştir.

Göksu ve Çanakdere akarsularının kıyı sedimentlerinde incelenen metaller olan Pb, Zn, Ni, Cd, Cr ve Co konsantrasyonlarının kuru mevsim ortalama değerleri sırasıyla, 23,56 mg/kg, 68,10 mg/kg, 25,05 mg/kg, 0,18 mg/kg, 59,96 mg/kg ve 19,89 mg/kg olarak belirlenmiştir. Yağışlı mevsim ortalama metal konsantrasyonları ise Pb için 34,57 mg/kg, Zn için 73,35 mg/kg, Ni için 13,87 mg/kg, Cd için 0,24 mg/kg, Cr için 122,24 mg/kg ve Co için 27,01 mg/kg olarak ölçülmüştür. Referans metal olarak analizi yapılan Sc konsantrasyonları kuru ve yağışlı mevsim için sırasıyla 10,72 ve 31,30 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Metal konsantrasyonları genel olarak incelendiğinde Ni hariç diğer tüm metallerin konsantrasyonlarının yağışlı mevsimde kuru mevsime göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Yağışlı mevsimde oluşan yüzeysel akışlarla akarsulara çözünmüş ve katı madde taşınmasının sedimentlerde metal konsantrasyonlarının artmasında etkili olduğu söylenebilir. Yağışlı mevsimde özellikle tarımsal alanlar ve besi çiftliklerinin olduğu noktalarda yüksek konsantrasyonlar dikkat çekmektedir. Bu durumun kaynağı olarak tarımsal faaliyetlerde kullanılan ilaç ve gübreler olduğu söylenebilir. Ayrıca, incelenen metallerin yüksek konsantrasyonlarının olduğu noktalar genel olarak kuru mevsimde turistik tesislerin daha fazla olduğu Karadeniz tarafındaki bölgelerde rastlanmıştır. Bu durum yaz aylarında gerçekleşen insan ve araç vb. hareketliliğinin etkisiyle oluşan kirliliğin taşınarak akarsu sedimentlerine yansıdığının bir göstergesi olarak düşünülebilir. Son olarak numune alım noktalarını menbadan-mansaba doğru incelediğimizde beklendiği gibi mansap kısımlarında ölçülen konsantrasyon değerleri menba tarafına göre biraz daha yüksek tespit edilmiştir (tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bölgeler hariç).

Akarsu kıyı sedimentlerinde metal konsantrasyonlarına bağlı olarak ekolojik risk indekslerinin incelendiği bu çalışmada, zenginleşme faktörü (EF) değerlerinin ortalama sonuçlarına göre incelenen metal kirliliklerinin minimal ve ortalama zenginleşme seviyelerinde kaldığı görülmüştür. Bununla birlikte özellikle yağışlı mevsimde Cd, EF değerlerinin 4, 6 ve 11. numune alma noktasında, Ni, EF değerlerinin 11. numune alma noktasında ve Co, EF değerlerininde 4. numune alma noktasında önemli zenginleşme seviyelerine kadar ulaştıkları tespit edilmiştir.

Çalışmada elde edilen kirlilik faktörü (CF) değerleri incelendiğinde Pb için altı numune alma noktasında (1, 4, 6, 9, 11 ve 12) orta derece kirlenme olduğu, Ni ve Zn için 11. numune alma noktasında yağışlı mevsimde çok yüksek kirlilik görüldüğü, Cd için 4, 6 ve 11. noktalarda yağışlı mevsimde çok yüksek kirlilik tespit edildiği, Cr için genelde yağışlı mevsimde orta derecede kirlilik gözlendiği ve Co için ise hem kuru hem de yağışlı mevsim için genel olarak orta ve önemli derece kirlilik oluştuğu görülmüştür.

Jeo-akümülasyon indeks (Igeo) sonuçlarının ortalama değerlerine göre tüm numune noktalarının kirlenmemiş ile kirlenmemiş-orta seviyede kirlenmiş alan sınıflanılarına girdiği belirlenmiştir. Kirlilik yük indeksi (PLI) sonuçlarına göre yağışlı mevsimde oluşan akışların etkisiyle sediment numunelerinin 5. ve 7. numune alma noktaları haricinde kirlenmiş sınıfına girdiği tespit edilmiştir. Potansiyel ekolojik risk indeksi (PERI) sonuçları incelendiğinde ise yağışlı mevsimde akarsu kıyı sedimentlerinin incelenen metaller açısından 4, 6 ve 11. numune alma noktalarında önemli ekolojik riske sahip olduğu anlaşılmıştır. Tüm bu ekolojik faktörler ve risk indeksleri göz önüne alındığında kuru mevsimde kirliğin genel olarak düşük düzeyde

olduğu, yağışlı mevsimde ise orta seviyelere ve bazı durumlarda önemli kirlilik seviyelerine çıktığı gözlenmiştir. Kirlilik gözlenen bölgelerde arazi kullanımı açısından şehirleşmenin etkisi (özellikle yaz mevsiminde) yanında tarımsal amaçlı faaliyetlerinde ve besi çiftliği gibi hayvan yetiştiriciliğinin etkisinin olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla, bu tip faaliyetlerin olduğu noktalarda hem izinsiz deşarjların olabileceği hem de yağış vb. etkenlerle karasal alanda oluşan sularının yüzeysel akışla incelenen akarsulara kirletici taşıması nedeniyle sedimentlerde incelenen metaller açısından kirliği arttırdığı söylenebilir..

Göksu ve Çanakdere akarsuları İstanbul'un potansiyel içme suyu kaynakları konumunda olduğundan bu çalışmada elde edilen sonuçlar büyük önem arz etmektedir. Ayrıca bu tez sonuçları, bölgede DSİ tarafından kurulması planlanan baraj için de ön çalışma niteliğinde olmuştur. Elde edilen sonuçlara dayanarak bilinçsiz tarımsal ilaç kullanımının engellenmesi ve bu konuda yerel halka bilgilendirici eğitimlerin verilmesi ve besi çiftliklerinin atıklarının arıtılması veya uygun bertarafının yapılmasının sağlanması sürdürülebilir su kaynaklarının yönetimini açısından önemlidir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre incelenen akarsuların sediment numunelerinin yanında su numunelerinin de metal konsantrasyonları ve diğer su kalite parametrelerinin belirlenmesi planlanabilir. Ayrıca, bölgede tarımsal faaliyetlerin fazla olması nedeniyle tarımsal kaynaklı kirleticilerin hem sedimentlerde hem de su numunelerinde incelenmesinin ilerleyen zamanlarda yapılması düşünülebilir.

6. KAYNAKLAR

[1]. Heidari, A., Kumar, V., Keshavarzi, A., 2019, Appraisal of Metallic Pollution and Ecological Risks in Agricultural Soils of Alborz Province, Iran, Employing Contamination Indices And Multivariate Statistical Analyses, *International Journal of Environmental Health Research*, 0960-3123.

[2]. Islam, Md. S., Ahmed, Md. K., Raknuzzaman, M., Habibullah-Al-Mamun, Md., Islam, M. K., 2015, Heavy Metal Pollution İn Surface Water and Sediment: A Preliminary Assessment of an Urban River İn a Developing Country, Bangladesh, *Ecological Indicators*, 48; 282-291.

[3]. Youssef, D.H., El-Said, G.F., 2010, A Comparative Study Between The Levels of Some Heavy Metalsin The Sediments of Two Egyptian Contaminated Environments, *Chemistry and Ecology*, 26: 183-195.

[4]. Chen, Z., Saito, Y., Kanai, Y., Wei, T., Li, L., Yao, H., Wang, Z., 2004, Low Concentration of Heavy Metals in The Yangtze Estuarine Sediments, China: A Diluting Setting, *Estuarine Coastal Shelf Sci*, 60: 91-100.

[5]. Loska, K., Wiechula, D., 2003, Application of Principal Component Analysis for The Estimation of Source of Heavy Metal Contamination in Surface Sediments From The Rybnik Reservoir, *Chemosphere*, 51: 723-733.

[6]. Anthony, E. J., Brunier, G., Besset, M., Coichot, M., Dussouillez, P., Nguyen, V. L. 2015, Linking Rapid Erosion of The Mekong River Delta To Human Activities, *Scientific Reports*, 5, 14745.

[7]. Çevik, F., Göksu, M. Z. L., Derici, O. B., Fındık, Ö., 2009, An Assessment of Metal Pollution In Surface Sediments of Seyhan Dam By Using Enrichment Factor, Geoaccumulation Index and Statistical Analyses, *Environ. Monit. Assess*, 152, 309.

[8]. Hernández-Crespo, C., Martín, M., 2015, Determination of Background Levels and Pollution Assessment For Seven Metals (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn) in Sediments of A Mediterranean Coastal Lagoon, *Catena*, 133, 206–214.

[9]. Özşahin, E., 2016, Ergene Havzasında (Trakya) Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü Değişikliklerinin Erozyon Üzerine Etkileri, *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31, 117–126.

[10]. Hatfield, J. L., Sauer, T. J., & Cruse, R. M., 2017, Chapter One Soil: The Forgotten Piece of the Water, Food, Energy Nexus. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronom,y* (Vol. 143, pp. 1–46). Academic Press.

[11]. Uzuner, Ç., ve Dengiz, O., 2020, Desertification Risk Assessment in Turkey Based On Environmentally Sensitive Areas. *Ecological Indicators*, 114, 106295.

[12]. Erpul, G., Saygin, S.D., 2012, Ülkemizde Toprak Erozyonu Sorunu Üzerine : Ne Yapmalı?, *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 1, 26–32.

[13]. Pimentel, D., Burgess, M., 2013, Soil Erosion Threatens Food Production, *Agriculture 3*, 443–463.

[14]. Berberoglu, S., Cilek, A., Kirkby, M., Irvine, B., Donmez, C., 2020, Spatial and Temporal Evaluation of Soil Erosion in Turkey Under Climate Change Scenarios Using The Pan-European Soil Erosion Risk Assessment (PESERA) Model, *Environ Monit Assess*, 192, 491.

[15]. Singh, H., Pandey, R., Singh, S.K., Shukla, D.N., 2017, Assessment of Heavy Metal Contamination in The Sediment of The River Ghaghara, A Major Tributary of The River Ganga in Northern India, Appl. *Water Sci.*, 7, 4133–4149.

[16]. Meybeck, M., 1976, Total Annual Dissolved Transport By World Major Rivers, *Hydrol Sci Bull.*, 30, 265–289.

[17]. Milliman, J.D., Meade, R.H., 1983, Worldwide Delivery Of River Sediments To The Ocean, *J Geol.*, 91,1–21.

[18]. Huang, Z., Liu, C., Zhao, X., Dong, J., Zheng, B., 2020, Risk Assessment of Heavy Metals in The Surface Sediment at The Drinking Water Source of The Xiangjiang River in South China, *Environ Sci Eur.*, 32:23, 1-9.

[19]. Huang, Z., Zhao, W., Xu, T., Zheng, B., Yin, D., 2019, Occurrence and Distribution of Antibiotic Resistance Genes in The Water And Sediments of Qingcaosha Reservoir, Shanghai, China, *Environ Sci Eur*, 31,1–9.

[20]. Pejman, A., Bidhendi, G.N., Ardestani, M., Saeedi, M., Baghvand, A., 2015, A New İndex For Assessing Heavy Metals Contamination in Sediments: A Case Study, *Ecol Ind*, 58, 365–373.

[21]. Salomons, W., Stigliani, W.M., 1995, Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments: Risk Assessment of Delayed and Non-Linear Responses. Springer, New York, 331–343.

[22]. Akpan, I. O., Thompson, E. A., 2013, Assessment of Heavy Metal Contamination of Sediments Along The Cross River Channel in Cross River State, Nigeria, *Depertment of Physic University of Calabar.*

[23]. Thornton, J.A, McComb, A.J, Ryding, S.O, 1975, The Role of Sediments, in: A.J. Mccomb (Ed.), Eutrophic Shallow Estuaries And Lagoons, CRC Press, *Boca Raton*, 205–223.

[24]. Calmano, W., Ahlf, W., Forstner, U., 1990, Exchange of Heavy Metals Between Sediment Components and Water, in: J.A.C. Broekaert, S¸. Guc¸Er, F. Adams (Eds.), Metal Speciation In The Environment, NATO ASI Series, Vol. G 23, *Springer-Verlag*, 03–522.

[25]. Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2008, Metallerin Çevresel Etkileri-I. *İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Ders Notları.*

[26]. Kontas, A., Uluturhan, E., Alyuruk, H., Darilmaz, E., Bilgin, M., Altay, O., 2020, Metal Contamination in Surficial Sediments of Edremit Bay (Aegean Sea): Spatial Distribution, Source Identification and Ecological Risk Assessment, *Regional Studies In Marine Science*, 40, 101487.

[27]. Alak, A., Sümer, Ö., 2017, Marmara ve Karadeniz Kıyılarındaki Güncel Sedimanlar İçinde Antroposen'in Varlığına Ait Yeni Bulgular, *Araştırma Makalesi,* Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü.

[28]. Tan, İ., Aslan, E., 2019, Metal Pollution Status and Ecological Risk Assessment in Marine Sediments of The Inner Izmit Bay, *Regional Studies İn Marine Science*, 33,100850.

[29]. Zhai, B., Zhang, X., Wang, L., Zhang, Z., Zou, L., Sun, Z., Jiang, Y., 2021, Concentration Distribution and Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments in The Zhoushan Islands Coastal Sea, East China Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 164, 112096.

[30]. Alahabadi, A., Malvandi, H., 2018, Contamination and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals and Metalloids in Surface Sediments of The Tajan River, Iran, *Marine Pollution Bulletin*, 133, 741-749.

[31]. Li, N., Tian, Y., Zhang, J., Zuo, W., Zhan, W., Zhang, J., 2016, Heavy Metal Contamination Status and Source Apportionment in Sediments of Songhua River Harbin Region, *Northeast China*.

[32]. Li, G. G., Hu, B. Q., Bi, J. Q., Leng, Q. N., Xiao, C. Q., Yang, Z. C., 2013, Heavy Metals Distribution and Contamination In Surface Sediments of The Coastal Shandong Peninsula (Yellow Sea), *Marine Pollution Bulletin*, 76, 420–426.

[33]. Xie, Z.L., Zhao, G.S., Sun, Z.G., Liu, J.Y., 2014, Comparison of Arsenic and Heavy Metals Contamination Between Existing Wetlands and Wetlands Created By River Diversion in The Yellow River Estuary, China, *Environ. Earth. Sci,.* 72, 1667–1681.

[34]. Bryan, G.W., Langston, W.J., 1992, Bioavailability, Accumulation and Effects of Heavy Metals in Sediments With Special Reference to United Kingdom Estuaries: A Review, *Environ. Pollut.* 76 (2), 89–131.

[35]. Zhang, M., He, P., Qiao, G., Huang, J., Yuan, X., Li, Q., 2019, Heavy Metal Contamination Assessment of Surface Sediments of The Subei Shoal, China: Spatial Distribution, Source Apportionment and Ecological Risk, *Chemosphere*, 223, 211-222.

[36]. Li, H., Wang, Q., Shao, M., Wang, J., Wang, C., Sun, Y., Qian, X., Wu, H., Yang, M., Li, F., 2016, Fractionation of Airborne Particulate-Bound Elements in Haze-Fog Episode and Associated Health Risks in A Megacity of Southeast China, *Environ. Pollut*, 208, 655e662.

[37]. Khosravi, M., Bahramifar, N., Ghasempour, M., 2011, Survey of Heavy Metals (Cd, Pb, Hg, Zn And Cu) Contamination in Sediment of Three Sites Anzali Wetland Iran, *J. Health Environ*, 4, 223–231.

[38]. Alizadeh, M. J., Nodoushan, E. J., Kalarestaghi, N., Chau, K.W., 2017, Toward Multi-Dayahead Forecasting of Suspended Sediment Concentration Using Ensemble Models, *Environ. Sci. Pollut. Res,* 24, 28017–28025.

[39]. Lohani, M.B., Singh, A., Rupainwar, D.C., Dhar, D.N., 2008, Seasonal Variations of Heavy Metal Contamination in River Gomti of Lukhnow City Region, *Environ. Monit. Assess.*, 147, 253–263.

[40]. Apata, O., Oguntimehin II., 2020, Heavy Metals in Rivers and Sediments from Two Southwestern States of Nigeria, *Science Forecast,* 3(2), 1039.

[41]. Guo, G. H., Wu, F. C., Xie, F. Z., Zhang, R. Q., 2012, Spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Urban Soils From Southwest China, *J. Environ. Sci.,* 24 (3), 410–418.

[42]. Yu, H., Ni, S. J., He, Z. W., Zhang, C. J., Nan, X., Kong, B., Weng, Z. Y., 2014, Analysis of The Spatial Relationship Between Heavy Metals in Soil and Human Activities Based on Landscape Geochemical Interpretation, *J. Geochem. Explor.*, 146, 136–148.

[43]. Pehlivan, H., 2017, Marmara Denizi Güneyi (Kocasu Deltası) Sedimentlerinde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi,* Hacettepe Üniversitesi, 23.

[44]. Carlon, C., 2007, Derivation Methods of Soil Screening Values in Europe, A Review and Evaluation of National Procedures Towards Harmonization, European Commission, *Joint Research Centre,* Ispra, 306.

[45]. Cai, L. M., Wang, Q. S., Wen, H. H., Luo, J., Wang, S., 2019, Heavy Metals in Agricultural Soils From A Typical Township in Guangdong Province, China: Occurrences and Spatial Distribution, *Ecotox. Environ. Saf.*, 168, 184e191.

[46]. Bazzi, A.O., 2014, Heavy Metals in Seawater, Sediments and Marine Organisms in The Gulf of Chabahar, Oman Sea, *Journal Of Oceanography Marine Science*, 5 (3): 20-29.

[47]. Xu, X., Xu, L., Yan, L., Ma, L., Lu, Y., 2015, Integrated Regional Ecological Risk Assessment of Multi-Ecosystems Under Multi-Disasters: A Case Study of China, *Environ Earth Science,* 74:747-758.

[48]. Amin, B., Ismail, A., Arshad, A., Yap, C. K., Kamarudin, M. S., 2009, Anthropogenic Impacts on Heavy Metal Concentrations in The Coastal Sediments of Dumai, Indonesai, *Environ. Monit. Assess.*, 148, 291–305.

[49]. Zheng, N.A., Wang, Q., Liang, Z., Zheng, D., 2008, Characterization Of Heavy Metal Concentrations in The Sediments Of Three Freshwater Rivers in Huludao City, *Northeast China. Environ. Pollut.*, 154, 135–142

[50]. Rees, H. L., Hyland, J. L., Hyland, K., Mercer, C. S. L., Roff, J. C., Ware, S., 2008, Environmental Indicators: Utility in Meeting Regulatory Needs, An Overview, *ICES Journal Of Marine Science Advanced Access Publication*.

[51]. Huang, A., Xu, Y., Sun, P., Zhou, G., Liu, C., Lu, L., Xiang, Y., Wang, H., 2019, Land Use/ Land Cover Changes and Its Impact On Ecosystem Services in Ecologically Fragile Zone: A Case Study of Zhangjiakou City, Hebei Province, *China*, *Ecol. Indic*,. 104, 604–614.

[52]. Talukdar, S., Singha, P., Shahfahad, Mahato, S., Praveen, B., Rahman, A., 2020, Dynamics of Ecosystem Services (Ess) in Response To Land Use Land Cover (LU/LC) Changes İn The Lower Gangetic Plain Of India, *Ecol. Indic.*, 112, 106121.

[53]. Duncan, E. A., Vries, N., Nyarko, K. B., 2018, Assessment of Heavy Metal Pollution in The Sediments of The River Pra and Its Tributaries, *Water Air Soil Pollution*, 229:272.

[54]. Zahra, A., Hashmi, M.Z., Malik, R.N. & Ahmed, Z. 2014, Enrichment and Geoaccumulation of Heavy Metals and Risk Assessment of Sediments of The Kurang Nallah-Feeding Tributary of The Rawal Lake Reservoir, Pakistan. *Science of The Total Environment*, 470–471, 925–933.

[55]. Guan, J., Wang, J., Pan, H., Yang, C., Qu, J., Lu, N., Yuan, X., 2018, Heavy Metals In Yinma River Sediment In A Major Phaeozems Zone, Northeast China: Distribution, Chemical Fraction, Contamination Assessment and Source Apportionment, *Scientific Reports*, 8:12231.

[56]. Lermi, A., Sunkari, E. D., 2020, Geochemistry, Risk Assessment, and Pb Isotopic Evidence For Sources of Heavy Metals in Stream Sediments Around The Ulukışla Basin, Niğde, Southern Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 10.3906/2001-9.

[57]. Arienzo, M., Ferrara L., Toscanesi, M., Giarra, A., Donadio, C., Trifuoggi, M., 2020, Sediment Contamination By Heavy Metals And Ecological Risk Assessment: The Case Of Gulf Of Pozzuoli, Naples, Italy, *Marine Pollution Bulletin*, 155 (2020),111149.

[58]. Andem, Bassey, A., Okorafor, Ama, K., Esien, E., Ugwumba, Alex, A., 2015, Evaluation And Characterization Of Trace Metals Contamination In The Surface Sediment Using Pollution Load Index (PLI) And Geo-Accumulation Index (Igeo) Of Ona River, Western Nigeria, *Ineternatiional Journal of Scientific & Technology Research*, Volume 4, ISSN 2277-8616.

[59]. Suriadikusumah, A., Mulyani, O., Sudirja, R., Sofyan E. T., 2020, Analysis of The Water Quality at Cipeusing River, Indonesia Using The Pollution Index Method, *Science Direct*, 00710, 6.

[60]. Ghanavati, N., Nazarpour, A., De Vivo, B., 2019, Ecological and Human Health Risk Assessment of Toxic Metals in Street Dusts and Surface Soils in Ahvaz, Iran, *Environmental Geochemistry and Health*, 41, 2, 875–891.

[61]. Liu, Q., Wang, F., Meng, F., Jiang, L., Li, G., Zhou, R., 2017, Assessment of Metal Contamination İn Estuarine Surface Sediments From Dongying City, China: Use of A Modified Ecological Risk Index, *Marine Pollution Bulletin*, 126 (2018), 293-303.

[62]. Pehlivan, H., 2017, Marmara Denizi Güneyi (Kocasu Deltası) Sedimentlerinde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi,* Hacettepe Üniversitesi.

[63]. Li, H., Gao, X., Gu, Y., Wang, R., Xie, P., Liang, M., Ming, H., Su, J., 2018, Comprehensive Large-Scale Investigation and Assessment of Trace Metal in The Coastal Sediments of Bohai Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 129 (2018), 126-134.

[64]. Algül, F., Beyhan, M., 2018, Bafa Gölü Sediment ve Su Kalitesinin Ağır Metaller Bakımından Değerlendirilmesi, *Bilge International Journal Of Science and Technology Research*, 2651-401X.

[65]. Tunca, E. Ü., 2016, Beyşehir Gölü'nde Su ve Sedimentte Ağır Metal Birikimi ve Sedimentte Antropojenik Kontaminasyon Değerlendirmesi, *Ordu Üniversitesi Bil. Tek. Derg.,* Cilt:6, Sayı:2, 205-219.

[66]. Sönmez, A. Y., Hisar, O., Yanık, T., 2012, Karasu Irmağında Ağır Metal Kirliliğinin Tespiti ve Su Kalitesine Göre Sınıflandırılması, *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.,* 43 (1): 69-77.

[67]. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2004, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.

[68]. Kurt, S., 2013, Land Use Changes in Istanbul's Black Sea Coastal Regions Between 1987 And 2007, *J. Geogr. Sci.*, 23, 271–279.

[69]. Nasirzadehdizaji, R., Akyüz, D. E., 2022, Application of Swat Hydrological Model to Assess The Impacts of Land Use Change on Sediment Loads, International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences, 108-120.

[70]. Ergin, M., Aşık, S., Yarış, A., Gül, M., Tozan, F., İldiz, B., Kahraman, O., ve Gökbulut, Ö. 2011, Bilimsel Araştirma Projeleri- Öğrenci Odakli Araştirma Projesi Kesin Raporu, "Şile Sahil Kumlarında Titanyum Araştırılması" Proje Numarası: 10Ö4343002. *Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri*.

[71]. Saroglu, E., Yasa, F., Akcay, O., Abali, H., Musaoglu, N., 2004, CoastalaAnd Erosion Risk Analysis Using Remote Sensing and GIS: A Case Study in Sile and Agva Towns, Remote Sensing in Transition, Millpress, 349352.

[72]. Velegrakis, A.F., Lehmann, A., Monioudi, I., Herold, C., Allenbach, K., Bono, A.D., 2009. Beach Erosion Prediction for the Black Sea Coast, Due to Sea Level Rise 16.

[73]. Uzun S.M. ve AKYÜZ, Ö. 2019.İstanbul'un Anadolu yakasında kıyı dolgu alanları ve kullanımı, 1. İstanbul Uluslararası Coğrafya Konfresi Bildiri Kitabı DOI: 10.26650/PB/PS12.2019.002.093.

[74]. Sekmen, T., 2019, Anadolu Feneri-Ağva Arası Kıyı Bölgesinin Jeomorfolojisi, Değişimi ve Gelişimi, *Yüksek Lisans Tezi,* İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı.

[75]. Nasirzadehdizaji, R., Akyüz, D. E., 2022, Predicting The Potential Impact of Forest Fires on Runoff and Sediment Loads Using a Distributed Hydrological Modeling Approach, *Ecological Modelling*, 468.

[76]. Pehlivan, H., 2017, Marmara Denizi Güneyi (Kocasu Deltası) Sedimentlerinde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi,* Hacettepe Üniversitesi, 43.

[77]. Hakanson, L., 1980, Ecological Risk Index For Aquatic Pollution Control, A Sedimentological Approach, Water Research, 14, 975–1001.

[78]. Sezgin, N. , Nemlioğlu, S. , Balkaya N. 2019, Ecological Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Urban Soils: A Case Study, Recycling and Reuse Approaches for Better Sustainability, Nilgün Balkaya, Sinan Güneysu, Editör, *Springer International Publishing*, Cham, Switzerland, ss.215-230.

[79]. Duodu, G.O., Goonetilleke, A., Ayoko, G.A. 2016, Comparison of Pollution Indices For The Assessment of Heavy Metal In Brisbane River Sediment, *Environmental Pollution*, 219, 1077-1091.

[80]. Sutherland, R., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii, Environmental Geology, 39(6), 611-627.

[81]. Keshavarzi, B., Tazarvi., A., Rajabzadeh, M., Najmeddin, A., 2015, Chemical Speciation, Human Health Risk Assessment and Pollution Level of Selected Heavy Metals in Urban Street Dust Of Shiraz, Iran, *Atmospheric Environment*, 119, 1-10.

[82]. Kara, E. E., Kara, E., 2018, Toprakta Ağır Metal Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri ve Çözüm Önerileri, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 11 (1); 56-62.

[83]. Brohi, A. R., Aydeniz, A., Karaman, M. R., 1995, Toprak Verimliliği, *G.O.P. Üniversitesi Ziraat Fakültesi Kitaplar Serisi*, 5.

[84]. Ustaoğlu, F., 2017, Pazarsuyu Deresi (Bulancak-Giresun) Su ve Sediment Kalitesinin Belirlenmesi, *Doktora Tezi.*

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI