



Kıyı ekosistemlerinde ekolojik riskin zamansal değişiminin izlenmesi: Edremit Lagünü (Balıkesir) örneği

Monitoring the temporal change of ecological risk in coastal ecosystems: The case of Edremit Lagoon, (Balıkesir, Türkiye)

Dilek Aykır^{a*}  Şakir Fural^b  Serkan Kükrer^c  Yunus Emre Mutlu^d 

^a Ardahan Üniversitesi, İnsani Bilimler ve Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ardahan, Türkiye.

^b Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen - Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Kırşehir, Türkiye.

^c Katip Çelebi Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye.

^d Sakarya Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Sakarya, Türkiye.

ORCID: D.A. 0000-0002-2748-4055; Ş.F. 0000-0002-1603-2424; S.K. 0000-0001-6924-3199; Y.E.M. 0000-0003-0421-4535

BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 29.10.2022

Kabul/Accepted: 07.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Kıyı ekosistemi

Ekolojik risk

Toksik risk

Potansiyel toksik element kirliliği

Keywords:

Coastal ecosystem

Ecological risk

Toxic risk

Potentially toxic element pollution

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(D. Aykır)

dilekaykır@ardahan.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1196255



Atıf/Citation:

Aykır, D., Fural, Ş., Kükrer, S., & Mutlu, Y.E. (2022). Kıyı ekosistemlerinde ekolojik riskin zamansal değişiminin izlenmesi: Edremit Lagünü (Balıkesir) örneği. *Türk Coğrafya Dergisi*, (81), 103-114. <https://doi.org/10.17211/tcd.1196255>

ÖZ / ABSTRACT

Kıyı oku gibi bir kum bariyeri ile denizden ayrılmış sığ su kütlesi olan lagünler, son derece zengin ve hassas ekosistemlerdir. Ancak, son yıllarda yapılan bilimsel araştırmalar lagün ekosistemlerinin antropojenik etkiler nedeniyle ekolojik risk sorunları yaşadığını göstermektedir. Bu çalışmanın amacı; Edremit ilçesi (Balıkesir, Türkiye) sınırlarında yer alan Edremit Lagünü'nde potansiyel toksik element (PTE) kaynaklı ekolojik risk seviyesinin zamansal değişimini analiz etmektir. Çalışma kapsamında; lagünden 1 adet 28 cm uzunluğunda karot alınmıştır. Sediment örnekleri kullanılarak klorofil bozunma ürünleri, toplam organik karbon ve PTE konsantrasyonları analiz edilmiştir. Zenginleşme faktörü ve jeoakümülyasyon indeksi ile PTE'lerin doğal-antropojenik kaynakları tespit edilmiştir. Modifiye ekolojik risk indeksi ve modifiye potansiyel ekolojik risk indeksiyle ekolojik risk seviyesi belirlenmiştir. Toksik risk seviyesi toksik risk indeksi ile analiz edilmiştir. PTE'lerin muhtemel kaynakları çok değişkenli istatistiksel analizlerle belirlenmiş, Arc – Map 10.5 yazılımıyla haritalama işlemleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen bulgulara göre; Mo ve Mn dışında hiçbir PTE zenginleşmemiştir. Cd hariç hiçbir PTE ekolojik risk yaratmamaktadır. Lagünde düşük seviyede ekolojik ve toksik risk bulunmaktadır. Hg, As ve Mn gelecekte ekolojik ve toksik riski arttırabilecek PTE'ler olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle; Hg, As, Mn'nin lagün ekosistemine deşarjının sınırlandırılması için gerekli önlemlerin alınması önerilmektedir.

Lagoons, which a shallow body of water separated from the sea by a sand barrier, such as a coastal arrow, are extremely rich and sensitive ecosystems. However, recent scientific studies show that lagoon ecosystems undergo ecological risk problems due to anthropogenic effects. This study aimed to analyze the temporal variation of the ecological risk level caused by potentially toxic elements (PTEs) in Edremit Lagoon located in the borders of Edremit district (Balıkesir, Türkiye). A 28-cm core was taken from the lagoon. Chlorophyll degradation products, total organic carbon and PTE concentrations were analyzed using sediment samples. The natural-anthropogenic sources of PTEs were determined by the enrichment factor and the geoaccumulation index. The ecological risk level was determined with the modified ecological risk index and the modified potential ecological risk index. Toxic risk level was analyzed by toxic risk index. PTE's possible sources were determined by multivariate statistical analysis and mapping was done with Arc – Map 10.5 software. According to the findings, no PTE was enriched except for Mo and Mn. No PTE was found to pose an ecological risk except for Cd. A low level of ecological and toxic risk existed in the lagoon. Hg, As and Mn have been identified as the PTEs that may increase ecological and toxic risk in the future. Therefore, it is recommended to take necessary measures to limit the discharge of Hg, As, Mn into the lagoon ecosystem.

Extended Abstract

Introduction

Wetlands are called the “cradle of life” due to their relationships with concepts such as biodiversity, groundwater recharge, oxygen production, carbon cycle and natural environment – human relations, etc. (Li vd., 2020). Lagoons, which a shallow body of water separated from the sea by a sand barrier, such as a coastal arrow, are extremely rich and sensitive ecosystems ecologically. However, recent scientific studies indicate that lagoon ecosystems are undergoing ecological risk problems due to anthropogenic effects. Potentially toxic elements (PTE) originating from sources such as domestic and industrial wastes, fertilizers used in agriculture, solid fuel use, transportation lines, etc. are stored in the sediment in lagoon ecosystems and create ecological risks. For this reason, ecological risk monitoring studies should be carried out at certain intervals in wetlands, especially in lagoons. This study aimed to analyze the temporal variation of the ecological risk level caused by PTEs in the Edremit Lagoon located in the Edremit district (Balıkesir, Türkiye), which is rapidly urbanizing in recent years and is estimated to have increased domestic and industrial waste load.

Data and Method

Water, sediment, fauna and flora species are used as indicators in ecological risk studies. Sediment samples were used in the study because sediments can keep historical records of PTE concentration and ecological risk in a sound manner. A 28 cm long core was taken from Edremit Lagoon in the framework of the study by using Kajak sediment core sampler. The core was divided into 2 cm slices and transported to the laboratory at +4 °C storage conditions. Chlorophyll Degradation Products (CDP) analysis was carried out using the acetone extraction method to evaluate the plant production processes. Total Organic Carbon (TOC) analysis was performed with the Walkley Black Titration method to determine the organic carbon level in the sediment. PTE concentrations were determined at the Bareu Veritas Laboratory in Canada using ICP – MS. Enrichment Factor (EF) and Geo-Accumulation Index (I_{geo}) were calculated to detect PTE deposits of anthropogenic origin. The Toxic Risk Index (TRI) was used to analyze the toxic risk level. Ecological Risk Index (mER) was used to determine the individual ecological risk level of PTEs in the lagoon, and the Potential Ecological Risk Index (mPER) was used to determine the total ecological risk. Principal Component Analysis (PCA) was performed with Statgraphics 19 software for source identification of PTEs. PCA findings were compared with land use maps and the data were validated by field studies and transferred to the study. The maps were prepared with Arc – Map 10.5 software and graphics and tables were prepared with Microsoft Office Excel software.

Results and Discussion

The average concentration (ppm) of PTEs were found to be as follows; Fe (28200) > Al (18300) > Mn (1633) > Ti (600) > Zn (112.15) > V (58.47) > Ni (52.67) > Cr (52.45) > Cu (41.93) > Pb (30.30) > Co (14.41) > As (12.01) > Mo (4.26) > Cd (0.39) > Tl (0.25) > Hg (0.080). TOC concentration varied between 1.79% and 7.00%, and CDP concentration varied between 41.67 µg/

gr and 501.36 µg/gr. The concentration of Mn, As and Hg from bottom to top tended to increase, while other PTE concentrations tended to decrease. TOC and CDP concentrations decreased on the core surface. The following data were obtained based on the mean Enrichment Factor (EF) values: Mo (3.18) > Pb (1.39) > Cd (1.30) > Tl (1.26) > Al (1.24) > Cu (1.23) > Ni (1.16) > Zn (1.12) > Mn (1.09) > As (1.01) = V (1.01) > Ti (0.94) > Cr (0.93) > Co (0.85) > Hg (0.25). According to the EF findings, no PTE was enriched in the lagoon except Mo and Mn. Geoaccumulation Index (I_{geo}) data was found to be compatible with EF data. Mo enrichment increased to a significant level in the past, then decreased to a moderate level. No Mo enrichment was detected in the surface slice of the core. The probable anthropogenic source of Mo was found to be related to the molybdenum mine operating in the region, which was recently closed. Mn, As and Al enrichment on the core surface tended to increase, while the enrichment of other PTEs tended to decrease. Ecological risk levels of PTEs based on the mean Modified Ecological Risk Index (mER) data were as follows: Cd (39.06) > As (10.07) > Hg (9.93) > Pb (6.94) > Cu (6.17) > Ni (5.80) > Co (40.27) > Cr (1.85) > Zn (1.12) > Mn (1.09). No PTE was detected to pose an ecological risk based on the mean values. However, Cd posed a moderate ecological risk up to the bottom and middle parts of the core. The probable source of Cd was identified to be related to urbanization and agricultural activities that have become common in the areas very close to the lagoon. The ecological risk level of Mn, As and Hg on the core surface tended to increase. Potential Ecological Risk (mPER) values ranged from 68,93 to 98,88 and created no ecological risk hazard in the lagoon. The toxic risk level ranged from 7,13 to 9,19, creating a low level of toxic risk in the lagoon. mPER and TRI values were found to decrease compared to before. According to the background values obtained from the core sediments within the scope of this study, there is no potential ecological or toxicological risk in Edremit Lagoon. The ecological risk level of Hg, As and Mn tends to increase in recent years. If the discharge of As and Hg, which are highly toxic elements, continues into the lagoon ecosystem, the potential ecological risk and toxic risk level will inevitably increase in the coming years. In order to keep the potential ecological risk and toxic risk level in the lagoon under control, careful monitoring is required for Cd, which created a moderate ecological risk in the past, and Hg, As and Mn concentrations, whose ecological risk level is on the rise today. Anthropogenic activities that carry the risk of increasing Cd, Hg, As and Mn concentrations should be monitored and, if necessary, limited. Otherwise, it will be inevitable to experience ecological and toxic risk problems in Edremit Lagoon in future years.

1. Giriş

Sulak alanlar; biyolojik çeşitlilik, yeraltı sularının beslenmesi, oksijen üretimi, karbon döngüsü, doğal ortam – insan ilişkileri vb. pek çok açıdan “yaşam beşiği” olarak tanımlanır (Li vd., 2020). Kıyı oku gibi bir kum bariyeri ile denizden ayrılmış sığ su kütlesi olan lagünler, son derece zengin ve hassas sulak alanlardır (Obi vd., 2016). Lagünler dünyadaki kıyı şeritlerinin sadece %13’ünü oluşturmalarına rağmen kıyı ekosisteminde çok sayıda flora ve fauna türünün yaşama ve üreme alanıdır (Yucel-Gier vd., 2018; Botello vd., 2018). Son yıllarda yapılan bilimsel araştırmalar lagün ekosistemlerinin antropojenik etkiler nedeniyle ekolojik risk sorunları yaşadığını göstermekte-

dir (Accornero vd., 2008; Zonta vd., 2019; Kükrer vd., 2020). Eysel ve endüstriyel atıklar, tarımda kullanılan gübreleler, katı yakıt kullanımı, ulaşım hatları vb. faktörlerden kaynaklanan potansiyel toksik elementler (PTE) lagün ekosistemlerinde depolanarak ekolojik riske neden olmaktadır (Uluturhan vd., 2011). Doğal yaşamın bir parçası olan ve ekosistemde belirli limitlerde yer alan elementler canlı metabolizmasının önemli bir unsurudur. Ancak, antropojenik etkilere maruz kalan elementler zenginleşerek toksik etki yaratmaktadır. Ekosistem ve insan sağlığına zarar verme riski olan elementler, potansiyel toksik element (PTE) olarak tanımlanmaktadır (Wei & Cen, 2020; Ustaoglu vd., 2022; Ali vd., 2020).

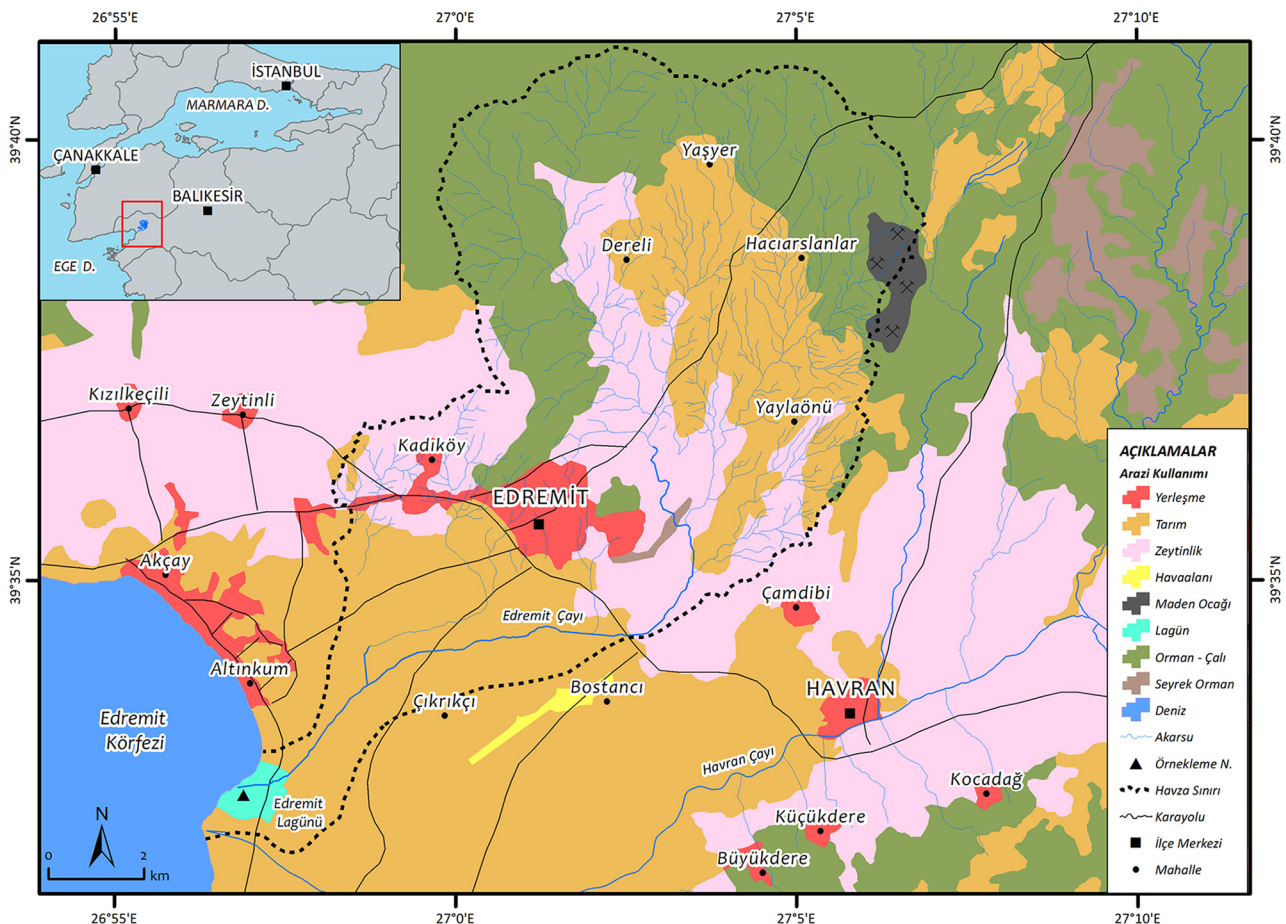
PTE'ler sadece lagünler için değil, barajlar ve göletler (Mutlu & Kurnaz 2018; Varol, 2020; Fural vd. 2022), göller (Kaya vd., 2017; Kükrer vd., 2019), akarsular (Ustaoğlu & İslam 2020) koy ve körfezler (Bat vd., 2017; Özkan vd., 2022) açısından önemli bir ekolojik risk faktörüdür. Lagün ve diğer sulak alanlarda ortaya çıkan PTE kontaminasyonu flora ve fauna bünyesine geçerek besin zinciri yoluyla insanları tehdit etmektedir (Lorenzana vd., 2008; Nargis vd., 2019; Magni vd., 2021). Bu nedenle, lagünler başta olmak üzere sulak alanlarda belirli aralıklarda ekolojik risk izleme çalışmaları yapılması gerekmektedir (Zonta vd., 2019).

Bu çalışmada; son yıllarda hızla kentleşen Edremit (Balıkesir) sınırlarında yer alan Edremit Lagünü sedimentlerinde PTE kaynaklı ekolojik risk seviyesinin zamansal değişimi analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında; laboratuvar analizleri ve analitik metotlara dayalı ekolojik risk indeksleri kullanılarak risk sevi-

yesi nicel değerler ile belirlenmiştir. Zenginleşme faktörü (EF) ve Jeoakümülyasyon indeksi (I_{geo}) ile PTE'lerin doğal ve antropojenik kaynakları ayırt edilmiştir (Sutherland, 2000; Brady vd., 2015; Müller 1969). Ekolojik risk seviyesini analiz etmek için modifiye ekolojik risk indeksi (mER) ve modifiye potansiyel ekolojik risk indeksi (mPER) kullanılmıştır (Hakanson 1980; Brady vd., 2015). Toksik risk seviyesinin belirlenmesi için toksik risk indeksinden (TRI) yararlanılmıştır (Zhang, vd., 2016).

1.1. Edremit Lagünü'nün Konumu ve Genel Coğrafi Özellikleri

Edremit Lagünü; Balıkesir'in Edremit ilçesi sınırları içerisinde, Edremit Çayı'nın Ege Denizi'ne sularını ulaştırdığı alanda bulunmaktadır (Şekil 1). Lagün farklı fauna ve flora türlerine yaşam alanı oluşturmakta ve yaklaşık 1,5 km² alan kaplamaktadır. Edremit Yöresi'nin Kazdağları ekosistemine dahil olması bölgenin turizm açısından değer kazanmasını sağlamıştır (Efe vd., 2012; Cürebal vd., 2014). Son yıllarda ekoturizm ve kıyı turizmi eğilimlerinin hızla artması bölge nüfusunun artış eğilimine girmesine neden olmuştur. Bu durum, lagün çevresindeki yazlık konut sayısının hızla artması ve yerleşim yerlerinin kontrolsüz genişlemesi gibi olumsuzlukları ortaya çıkarmıştır. Yazlık yerleşim yerleri son derece verimli tarım alanları ve zeytinliklere doğru hızlı bir yayılış eğilimine girmiştir (Alevkayalı & Tağıl, 2020). Tarım alanlarını işgal eden yazlık yerleşim birimleri Edremit Lagünü yakınlarına kadar ilerlemiştir (Şekil 1). Tarım yöredeki diğer önemli antropojenik faaliyetlerdir. Edremit Yöresi'nin en karakteristik tarım ürünü zeytindir (Efe vd., 2012). Edremit Çayı havzası ve lagün çevresinin önemli bir bölümü zeytinliklerden oluşmaktadır. Lagün çevresindeki tarım



Şekil 1. Edremit Lagünü'nün lokasyonu ve lagün çevresinin arazi kullanım haritası.

Figure 1. Location of Edremit Lagoon and land use map of the lagoon surroundings.

alanlarında ise narenciye, mısır ve domates üretimi yapılmaktadır. Edremit sanayiden çok turizm ve tarım faaliyetlerinin ön plana çıktığı bir ilçedir. İlçede uzun yıllardır faaliyet gösteren zeytinyağı ve sabun fabrikaları bulunmaktadır (Efe vd., 2013). Edremit Çayı ve Havran Çayı havza sınırında faaliyetine 2019 yılında son verilen bir Mo ve Cu maden ocağı yer almaktadır.

Edremit Lagünü, Edremit Çayı havzası ve kıyı bölgesindeki antropojenik faaliyetlerden etkilenebilecek bir konumdur. 298 km uzunluğunda akarsu ağından oluşan Edremit Çayı ve kolları 115 km²'lik havza alanını 2,58 km/km² drenaj yoğunluğu ile drene etmektedir. Drenaj yoğunluğu verileri havzanın her 1 km²'sinde 2,58 km uzunluğunda akarsu ağı yer aldığını ve havzanın yüksek seviyede drenaj yoğunluğuyla drene edildiğini göstermektedir (Yılmaz, 2018). Yüksek seviyede drenaj yoğunluğuyla drene edilen havzalarda ortaya çıkan antropojenik kaynaklı PTE'ler akarsular tarafından sulak alanlara ulaştırılır (Fural, 2020). Lagün çevresindeki yazlık yerleşim alanlarının evsel atık sularının dalga ve akıntılar ile lagüne deşarj olma riski vardır. Bu nedenle, Edremit Çayı havzası ve kıyı bölgesinde sürdürülen antropojenik faaliyetlerin lagün üzerindeki ekolojik etkilerinin bilimsel çalışmalarla izlenmesi gerekmektedir.

1.2. Materyal ve Metot

Ekolojik risk araştırmalarında su, sediment, fauna ve flora türleri indikatör olarak kullanılmaktadır. Sedimentler, PTE konsantrasyonu ve ekolojik risk seviyesinin tarihsel kayıtlarını sağlıklı şekilde tutabilmektedir. Bu nedenle, araştırmada sediment örnekleri kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında; Edremit Lagünü'nde suyun durgun olduğu noktadan Kajak marka sediment örnekleyici ile bir adet 28 cm uzunluğunda karot alınmıştır (Şekil 1). Lagünün yüzölçümü, derinliği, suların durgunluğu, Edremit Çayı'nın taşkın frekansının düşük olması ve alınan karotun tane boyu özelliklerinin analize uygun olması gibi özellikler değerlendirilerek bir adet karot alınması yeterli görülmüştür.

Sediment örnekleme çalışması kapsamında alınan karot 2 cm'lik dilimlere ayrılarak +4 °C'lik saklama koşullarında laboratuvara ulaştırılmıştır. Kurutulmamış sediment örneklerine aseton ekstraksiyonu yapılmış ve spektrofotometrik yöntemle klorofil bozunma ürünleri (CDP) analizi gerçekleştirilmiştir (Lorenzen, 1971). Ardından, sediment örnekleri petri kaplarına alınarak etüvde 70 °C'de 12 saat kurutulmuştur. Kuru sediment örnekleri Mortarda dövülerek toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen örnekler 11 meshlik elekten geçirilmiştir. Kuru sediment örnekleri kullanılarak Walkley Black Titrasyon yöntemiyle toplam organik karbon (TOC) analizi yapılmıştır (Walkley ve Black 1934; Gaudetta vd., 1974). PTE konsantrasyonları Bureau Veritas laboratuvarında (Kanada) İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ile gerçekleştirilmiştir. ICP – MS ölçümlerinin geçerliliğini test etmek için dublike ve kör örnek analizleri yapılmıştır. Referans analizler ICP – MS ölçüm sonuçlarının geçerli ve güvenilir olduğunu göstermiştir (Tablo 1).

Tablo 1. ICP-MS ölçümlerinin kalite kontrol sonuçları.

Table 1. Quality control results of ICP-MS measurements.

Element	Gözlenen Değer	Beklenen Değer	Ölçüm Limitleri
Mo (ppm)	15,35	13,9	0,01
V (ppm)	49	50	1
Ti (%)	0,093	0,097	0,001
Tl (ppm)	4,74	4,90	0,02
Co (ppm)	14,1	14,2	0,1
As (ppm)	43,9	42,8	0,1
Al (%)	1,11	1,12	0,01
Cd (ppm)	2,37	2,37	0,01
Cr (ppm)	59,4	61,5	0,5
Cu (ppm)	140,73	149	0,01
Fe (%)	3,07	3,01	0,01
Hg (ppb)	240	260	5
Mn (ppm)	1024	1055	1
Ni (ppm)	81,3	77,7	0,1
Pb (ppm)	136,61	138	0,01
Zn (ppm)	342,4	345	0,1

PTE'lerin doğal ve antropojenik kaynaklarının tespit edilmesi amacıyla 1. formüle göre hesaplanan zenginleşme faktörü (EF) ve ikinci formüle göre hesaplanan jeoakümülasasyon indeksi (I_{geo}) kullanılmıştır. Elementlerin ardaalan değerlerinin belirlenmesi için; ardaalan değeri belirlenecek olan element konsantrasyonu referans element konsantrasyonuna bölünerek tane boyundan kaynaklanan hatalar minimize edildi. Ardından, elementlerin minimum konsantrasyon seviyeleri ardaalan değeri olarak belirlendi. Bu çalışmada referans element olarak Al kullanıldı.

$$EF = \frac{(C_i / C_{ref}) \text{ PTE konsantrasyonu}}{(B_i / B_{ref}) \text{ ardaalan PTE konsantrasyonu}} \quad (2)$$

Formülde; C_i PTE konsantrasyonu, C_{ref} normalizasyon için kullanılan referans PTE'nin konsantrasyonu, B_i PTE'nin bölgesel ardaalan konsantrasyonu, B_{ref} ise normalizasyon için kullanılan elementin (Al) ardaalan konsantrasyonunu temsil etmektedir. EF sonuçları şu şekilde değerlendirilmiştir; EF < 2 zenginleşme yok, düşük zenginleşme EF = 2 – 5 orta derecede zenginleşme, EF = 5 – 20 önemli derecede zenginleşme, EF = 20 – 40 çok yüksek derecede zenginleşme ve EF > 40 olağanüstü fazla zenginleşme (Sutherland, 2000).

Jeokümülasasyon indeksi (I_{geo}) hesaplaması 2. formüle göre gerçekleştirilmiştir (Müller, 1969).

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_m}{(B_m * 1.5)} \quad (2)$$

Formülde; C_m I_{geo} değeri hesaplanan PTE konsantrasyonunu, B_m ise PTE'nin kıtasal kabuk değerini temsil etmektedir. I_{geo} 'dan elde edilen veriler; I_{geo} 0 < kirlenmemiş, I_{geo} 1 < az kirlenmiş, I_{geo} 3 < orta derecede kirlenmiş, I_{geo} 4 < kuvvetli derecede kirlenmiş, I_{geo} 5 < ve 5 > çok kuvvetli derecede kirlenmiş olarak yorumlanmıştır (Müller, 1969).

Lagün sedimentlerindeki PTE'lerin bireysel toksik risk seviyesini analiz etmek amacıyla toksik risk indeksi (TRI_i) kullanılmıştır (Zhang vd., 2016). TRI_i 3. formüle göre hesaplanmıştır.

$$TRI_i = \sqrt{\frac{(C_i/TEL)^2 + (C_i/PEL)^2}{2}} \quad (3)$$

Formülde; C_i PTE konsantrasyonunu, TEL "eşik etki seviyesi", PEL "muhtemel etki seviyesi" değerlerini temsil etmektedir (MacDonald vd., 2000). TRI_i indeksinin değerlendirme ölçeği bulunmamaktadır. Bu nedenle, toksik risk seviyesi PTE'lerin yarattığı toplam riski gösteren ve 4. formüle göre hesaplanan entegre edilmiş TRI verilerine göre değerlendirilmiştir.

$$TRI = \sum_{i=1}^n TRI_i \quad (4)$$

Formülde; TRI_i sadece bir PTE'nin toksik risk katsayısını, _i PTE konsantrasyonunu, n analizde kullanılan PTE sayısını, TRI ise toplam toksik risk seviyesini temsil etmektedir. TRI verileri; TRI ≤ 5 toksik risk yok, 5 < TRI ≤ 10 düşük toksik risk, 10 < TRI ≤ 15 orta seviyede risk, 15 < TRI ≤ 20 önemli seviyede toksik risk, TRI > 20 çok önemli seviyede toksik risk şeklinde yorumlanmıştır (Zhang vd., 2016).

PTE'lerin bireysel ekolojik risk seviyelerinin tespit edilmesi için 5. formüle göre hesaplanan modifiye ekolojik risk indeksi (mER) kullanılmıştır (Brady vd., 2015).

$$mER = EF \times Tr^i \quad (5)$$

Formülde; EF, PTE'lerin zenginleşme miktarını, Trⁱ ise PTE'lerin toksik risk katsayısını temsil etmektedir (Hakanson 1980; Brady vd., 2015). mER verileri; mER < 40 düşük potansiyel ekolojik risk, 40 ≤ mER < 80 orta düzeyli potansiyel ekolojik risk, 80 ≤ mER < 160 önemli potansiyel ekolojik risk, 160 ≤ mER < 320 yüksek potansiyel ekolojik risk, mER ≥ 320 çok yüksek potansiyel ekolojik risk, şeklinde yorumlanmıştır (Hakanson 1980).

PTE'lerin yarattığı toplam ekolojik risk seviyesini analiz etmek amacıyla 6. formüle göre hesaplanan modifiye potansiyel ekolojik risk analizi (mPER) kullanılmıştır.

$$mPER = \sum mER \quad (6)$$

Formülde; mPER modifiye ekolojik risk indeksini, mER, modifiye ekolojik risk indeksini, $\sum$ ise toplamı temsil etmektedir. mPER verileri; mPER < 150 düşük ekolojik risk, 150 ≤ mPER < 300 orta düzeyli ekolojik risk, 300 ≤ mPER < 600 önemli derecede ekolojik risk, mPER ≥ 600 çok yüksek ekolojik risk şeklinde yorumlanmıştır (Hakanson, 1980).

Çalışmada kullanılan lokasyon ve arazi kullanım haritası Arc – Map 10.5 yazılımı ile hazırlanmıştır. Arazi kullanım türü verileri için Çevresel Bilginin Koordinasyonu (CORINE) envanterinden yararlanılmıştır (CORINE, 2018). Box Whisker diyagramı Grapher 13, Temel Bileşen Analizi ise Statgraphics Centurion 18 yazılımı ile yapılmıştır. Karot grafikleri Microsoft Office Excel yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır.

2. Bulgular ve Tartışma

2.1. Potansiyel Toksik Element (PTE) Konsantrasyonunun Zamansal Değişimi

Araştırma bulgularının yorumlanması için 28 cm uzunluğundaki karot üç farklı bölüme ayrılarak incelenmiştir. Bu kapsamda; karotun 0 – 4 cm'lik kısmı yüzey, 4 – 20 cm'lik kısmı orta, 20 – 28 cm'lik kısmı ise taban bölümü olarak isimlendirilmiştir. PTE'lerin ortalama konsantrasyonu (ppm) şu şekilde sıralanmaktadır; Fe (28200) > Al (18300) > Mn (1633) > Ti (600) > Zn (112,15) > V (58,47) > Ni (52,67) > Cr (52,45) > Cu (41,93) > Pb (30,30) > Co (14,41) > As (12,01) > Mo (4,26) > Cd (0,39) > Tl (0,25) > Hg (0,080). Karot yüzeyinde Mn, As ve Hg konsantrasyonu artış, diğer PTE konsantrasyonları azalma eğilimindedir. Karotun orta bölümünde bütün PTE konsantrasyonlarında bir artış eğilimi gözlenmiş, sonrasında azalma eğilimleri olmuştur. Bu durum, lagüne belirli bir dönem PTE deşarjının arttığı şeklinde yorumlanabilir. Karot tabanında As ve Ti hariç bütün PTE konsantrasyonları artış eğilimindedir. Genel bir değerlendirme yapıldığında; karot tabanı ve orta bölümünde genel bir artış eğilimi gösteren PTE konsantrasyonları karot yüzeyinde azalma eğilimine (Mn, As ve Hg hariç) geçmiştir. Bu durum, son yıllarda lagüne Mn, As ve Hg hariç diğer bütün PTE deşarjlarının azaldığını göstermektedir (Şekil 2).

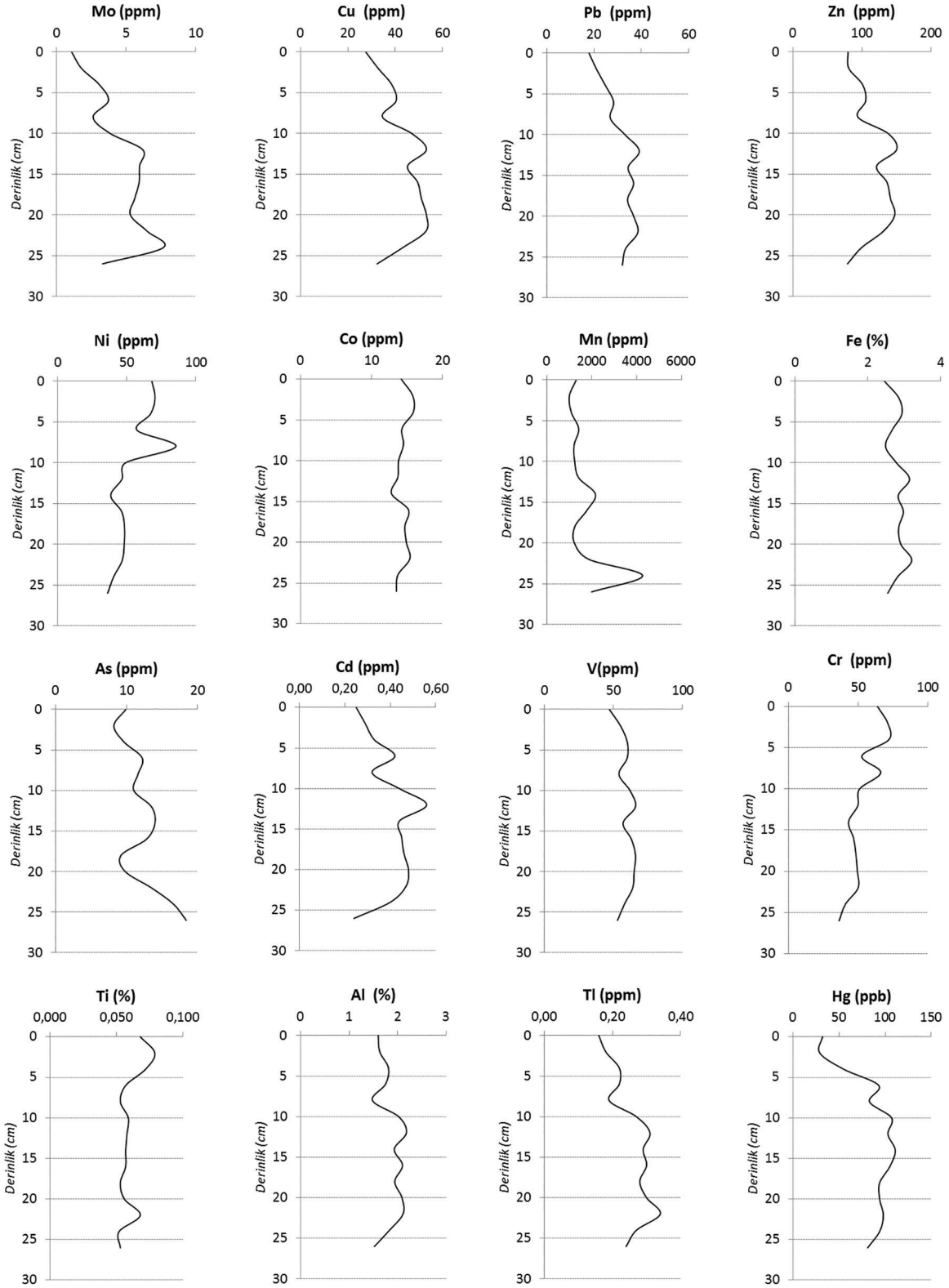
2.2. Toplam Organik Karbon (TOC) ve Klorofil Bozunma Ürünleri (CDP) Konsantrasyonunun Zamansal Değişimi

Tatlı su ve deniz ekosistemleri dünyadaki en önemli organik karbon depolarıdır (Siegenthaler ve Sarmiento, 1993). Organik karbon sulak alanlar ve canlı yaşamı açısından oldukça önemlidir. Ancak, organik karbonun antropojenik deşarjlar nedeniyle doğal konsantrasyon seviyesini geçmesi sulak alanda çözünmüş oksijenin azalması gibi ekolojik sorunlara neden olur (Folger, 1974). Organik maddeler PTE'lerin taşınım ve sedimentte çökme süreçlerinde önemli rol üstlenir (Khaledian vd., 2016). Organik kökenli maddelere bağlanan PTE'ler akarsular, dalga ve akıntılar tarafından sulak alanlara ulaşır. Edremit Lagünü'nde TOC konsantrasyonu % 1,79 - % 7,00 arasında değişmektedir. Karot tabanından, karotun orta bölümüne doğru sert bir artış eğilimine giren TOC konsantrasyonu, karot yüzeyine doğru artış – azalış eğilimleri çizerek karot yüzeyinde kararlı şekilde azalmaya başlamıştır (Şekil 3).

CDP bitkisel üretim süreçlerinin önemli bir göstergesidir. PTE'lerin taşınım ve çökme süreçlerinde önemli rol oynayan CDP bazı PTE'lerin konsantrasyon seviyesi değişimlerinde etkili olmaktadır (Yılmaz, 2015). Edremit Lagünü'nde CDP konsantrasyonu 41,67 µg/gr - 501,36 µg/gr arasında değişmektedir. TOC ve CDP'nin artış – azalış trendleri oldukça benzerdir. CDP konsantrasyonu karot tabanından orta bölüme doğru artmaktadır. Karotun orta bölümünde bir süre azalma eğiliminde olan CDP, yüzeye yakın dilimde artış eğilimine girmiştir. CDP ve TOC karot yüzeyinde azalma eğilimindedir (Şekil 3).

2.3. Antropojenik Etki Değerlendirmesi

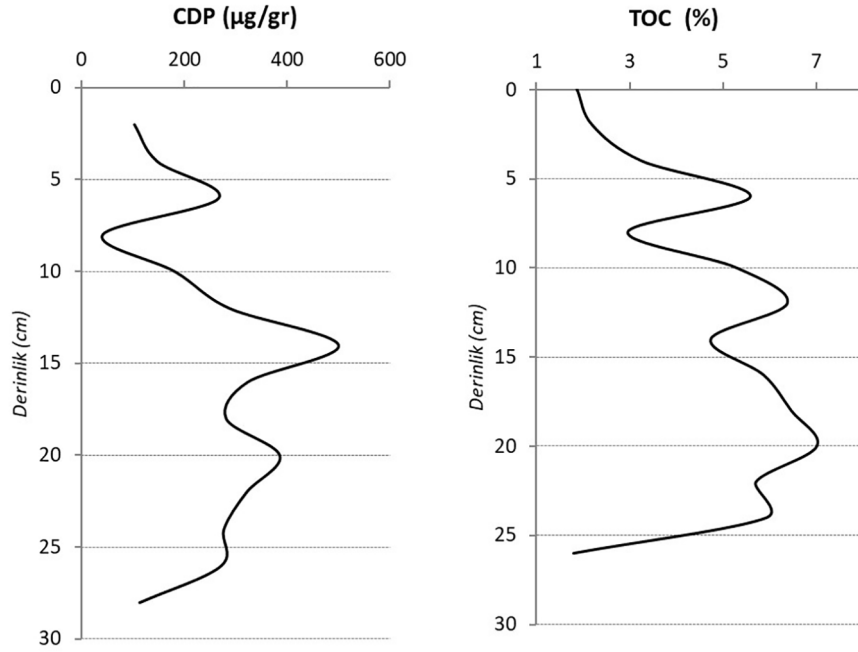
Çalışmanın bu bölümünde zenginleşme faktörü ve jeoakümülatasyon indeksi kullanılarak PTE'lerin doğal ve antropojenik kaynakları tespit edilmiştir. Zenginleşme faktörü (EF) verileri ortalama değerlere göre; Mo (3,18) > Pb (1,39) > Cd (1,30) > Tl (1,26) > Al (1,24) > Cu (1,23) > Ni (1,16) > Zn (1,12) > Mn



Şekil 2. PTE konsantrasyonlarının zamansal değişimi.
Figure 2. Temporal variation of PTE concentrations.

(1,09) > As (1,01) = V (1,01) > Ti (0,94) > Cr (0,93) > Co (0,85) > Hg (0,25) şeklinde sıralanmaktadır. Ortalama EF verilerine göre lagünde Mo dışında hiçbir PTE zenginleşmemiştir. Maksimum verilere göre yapılan değerlendirmede; karot tabanında Mo'nun önemli derecede, Mn'nin ise orta derecede zenginleştiği tespit edilmiştir. Bu durum, lagün ekosistemine geçmiş yıllarda antropojenik kaynaklı Mo ve Mn deşarjlarının gerçekleştiğini göstermektedir. Mo'nun muhtemel kaynağı Edremit Çayı havzasında yer alan Mo maden ocağıdır. Zenginleşme

faktörü verileri maden ocağından Edremit Çayı'nın yan kollarına karışan Mo'nun lagüne deşarj olduğunu ve deşarjın geçmişten günümüze azaldığını göstermektedir. Karot tabanında Mo ile benzer bir zenginleşme eğilimi gösteren Mn'nin kaynağının da maden ocağındaki üretim faaliyetleri olduğu tahmin edilmektedir. Karot örneklerinde Mo ve Mn dışındaki PTE'lerin zenginleşmediği tespit edilmiştir. Ancak; Zn, Mn, As, Al ve Hg'nin EF seviyesi karot yüzeyinde artış eğilimindedir (Şekil 4). Bu durum, özellikle yüksek toksik etkisiyle ön plana çıkan As



Şekil 3. TOC ve CDP konsantrasyonunun zamansal değişimi.
Figure 3. Time variation of TOC and CDP concentration.

ve Hg'nin son yıllarda antropojenik kaynaklardan etkilendiğini göstermektedir.

I_{geo} ortalama verilere göre; Mo (1,27) > Hg (0,85) > Pb (0,19) > Tl (0,05) > Cu (0,03) > Cd (0,10) > Zn (-0,12) > Ni (-0,23) > Mn (-0,26) = V (-0,26) > Al (-0,27) > As (-0,31) > Ti (-0,39) > Cr (-0,43) > Co (-0,51) > Fe (-0,57) şeklinde sıralanmaktadır. Ortalama verilere göre; Zn, Ni, Mn, V, Al, As, Ti, Cr, Co ve Fe antropojenik kaynaklardan etkilenmemiştir. Cd, Cu, Tl, Pb ve Hg lagünde düşük seviyede kirlilik yaratmıştır. Ancak Mo, orta seviyede kirliliğe neden olmuştur. Maksimum değerlere göre; Mo, Mn ve Hg lagün ekosistemine orta derecede kirliliğe neden olmuştur. I_{geo} verileri EF verileriyle tutarlı sonuçlar vermiş ancak orta seviyeye ulaşan Hg kirliliğine dikkat çekmiştir (Şekil 5).

2.4. Toksik Risk Değerlendirmesi

Edremit Lagünü'nün toksik risk seviyesi Toksik Risk İndeksi (TRI) ile analiz edilmiştir. TRI bulgularına göre lagündeki toksik risk seviyesi 7,13 – 9,19 arasında değişmektedir. TRI verilerine göre lagünde düşük seviyede toksik risk bulunmaktadır. Karot tabanından yüzeye kadar oldukça küçük eğilimlerle artıp azalan toksik risk seviyesi karot yüzeyinde azalma eğilimindedir (Şekil 6). PTE'lerin bireysel toksik risk seviyesini gösteren TRI_i değerleri; ortalama verilere göre Ni (2,35) > As (1,54) > Cr (1,08) > Cu (0,86) > Zn (0,71) > Pb (0,67) > Cd (0,47) > Hg (0,36) şeklinde sıralanmaktadır. TRI_i verilerinde göre; Ni, As ve Cr lagündeki toksik risk seviyesinden yüksek oranda sorumludur.

2.5. Ekolojik Risk Değerlendirmesi

Çalışmanın bu bölümünde modifiye ekolojik risk indeksi (mER) ve modifiye potansiyel ekolojik risk indeksi (mPER) kullanılarak lagündeki ekolojik risk seviyesi analiz edilmiştir. mER ortalama verilere göre; Cd (39,6) > As (10,07) > Hg (9,93) > Pb (6,94) > Cu (6,17) > Ni (5,80) > Co (4,27) > Cr (1,85) > Zn (1,12) > Mn (1,09) şeklinde sıralanmaktadır. Ortalama verilere göre hiçbir

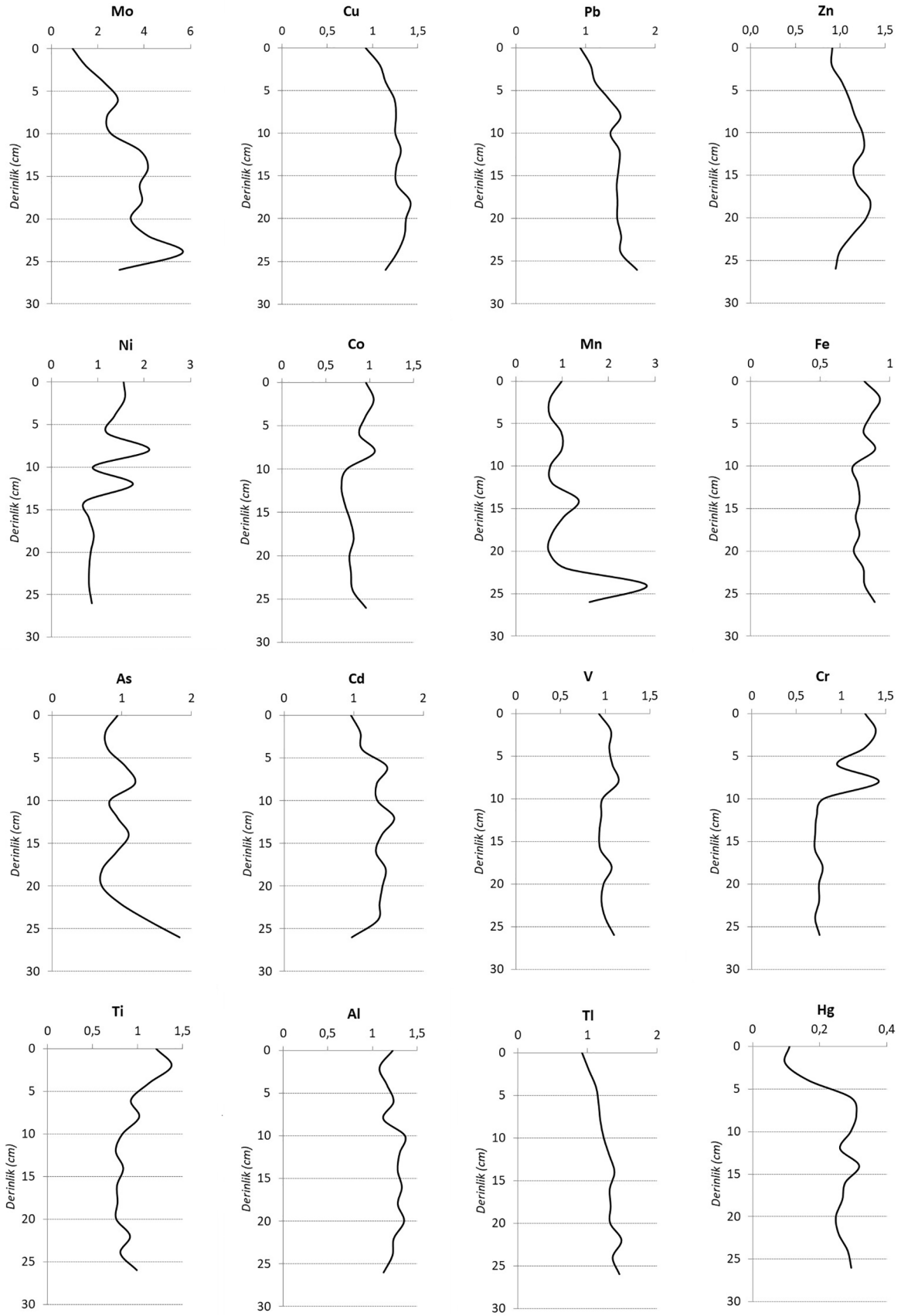
PTE ekolojik risk yaratmamaktadır. Ancak PTE'lerin mER seviyesinin zamansal değişimi incelendiğinde Cd'nin karot tabanında orta seviyede ekolojik risk yarattığı tespit edilmiştir. Karotun orta bölümünde azalmaya başlayan Cd'nin ekolojik risk seviyesi karot yüzeyinde azalmaya devam etmektedir. Cd'nin muhtemel kaynağı geçmiş yıllarda evsel atık suları ve tarımsal gübre atıklarının lagün ekosistemine deşarj olmasıdır. Çünkü, Cd'nin başlıca antropojenik kaynağı evsel atıklar ve fosfat içeren tarımsal gübrelerdir (Wang vd., 2018). Mn, As, Hg'nin mER seviyesi karot yüzeyinde artış eğilimindedir. As ve Hg yüksek toksik etkiye sahip elementlerdir. Lagün ekosistemine As ve Hg deşarjının devam etmesi gelecek yıllarda ekolojik risk seviyesinin artmasını tetikleyebilir.

Potansiyel Ekolojik Risk değerleri (mPER) 68,93 ile 98,87 aralığında değişmektedir (Tablo 2). Bu verilere göre lagünde ekolojik risk tehlikesi bulunmamaktadır. Karot tabanından yüzeye doğru küçük salınımlarla artıp azalan potansiyel ekolojik risk, günümüzde azalma eğilimindedir (Şekil 6).

2.6. Çok Değişkenli İstatistiksel Analizlerle Kaynak Tanımlama

PTE'lerin muhtemel kaynaklarının belirlenmesi için Temel Bileşen Analizi (PCA) gerçekleştirildi. Analiz kapsamında öz değeri >1 olan 3 adet bileşen belirlendi (Tablo 3). 1. bileşen toplam değişimin 65,8'ini açıklarken pozitif yüklü Mo, Cu, Pb, Zn, Cd, V, Al, Tl, Hg ile negatif yüklü Ni ve Cr'den oluşmaktadır.

Toplam değişimin %18,1'ini açıklayan 2. bileşen pozitif yüklü Mn ve As ile negatif yüklü Co, V ve Cr'den oluşmaktadır. 3. bileşen toplam değişimin %8,1'ini temsil etmekte ve Mo, Mn, Fe, Ti ile bunlarla ters yönlü Hg ve Zn'den oluşmaktadır. Mo, Zn, Mn, Fe, V, Cr ve Hg'nin iki bileşende de yaklaşık ağırlıklarda bulunması bu elementlerin karışık kaynaklara/taşınım süreçlerine sahip olduğunu göstermektedir. Edremit Lagünü, karasal ve denizel taşınımın etkisi altında olduğu için, bahsi geçen PTE'lerin çoklu kaynağının Edremit Çayı ve Ege Denizi'nin suları olduğu tahmin edilmektedir.

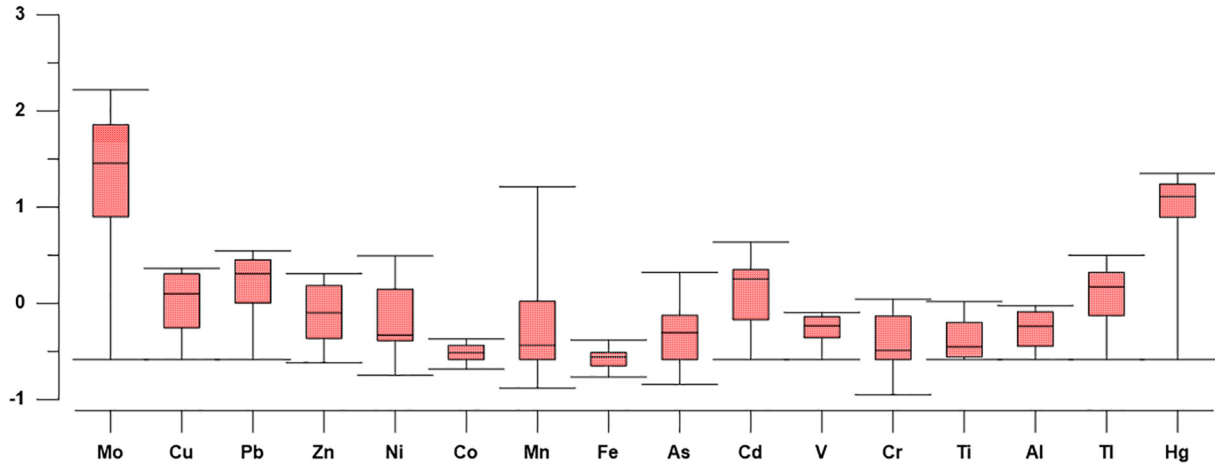
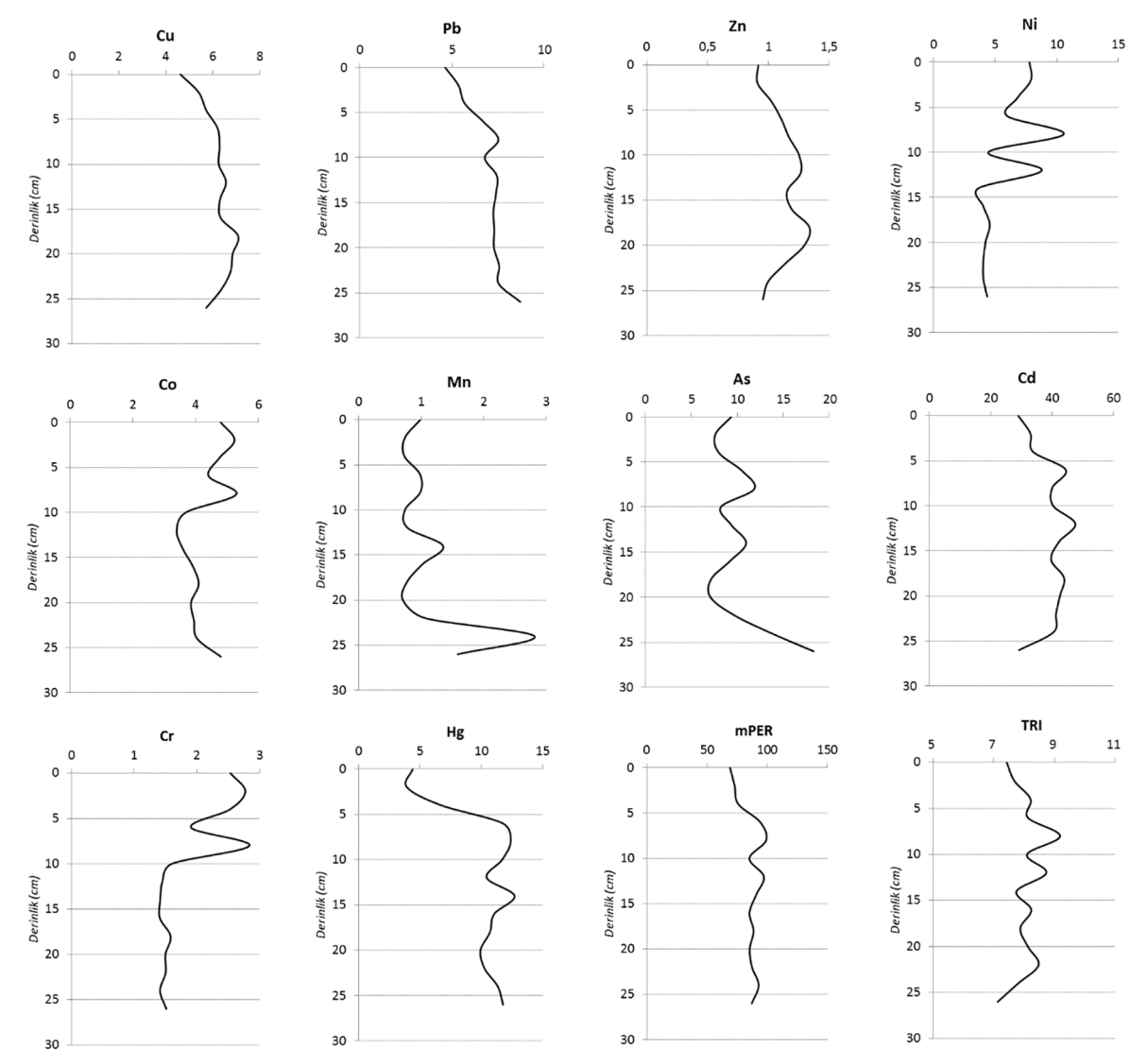


Şekil 4. EF'nin zamansal değişimi.

Figure 4. Temporal variation of EF.

Zenginleşme faktörü Mo ve Mn hariç hiçbir PTE için antropojenik etkiye işaret etmemektedir. İgeo orta derecede Hg kirliliğine dikkat çekmektedir. Ekolojik risk indeksleri Cd dışında hiçbir PTE'nin ekolojik risk yaratmadığını göstermektedir. Mo,

Mn, Cd ve Hg dışındaki PTE'lerin doğal kaynaklara sahip olduğu ancak taşınım mekanizmalarının farklı olduğu düşünülmektedir. Buna göre, Cu, Pb, Al, Tl, V, Cr ortak bir taşınım mekanizmasına sahip iken, Ni bunlara ters yönlü hareket etmektedir.

Şekil 5. I_{geo} 'nin Box Whisker diyagramı.Figure 5. Box whisker diagram of I_{geo} .

Şekil 6. mER, mPER ve TRI'nin zamansal değişimi.

Figure 6. Temporal variation of mER, mPER, and TRI.

As, Mn ortak kaynağa ve taşınım mekanizmasına sahiptir. Co, V ve Cr da birbirleriyle ortak hareket etmektedir. Mo, Mn, Fe, Ti ortak kaynaklara sahiptir. Mo ve Mn'nin kaynağı olarak Edremit Çayı havzasındaki Mo maden ocağı tanımlanmaktadır. Mo, Mn, Fe, Ti ile ters yönlü hareket eden Hg ve Zn ortak ta-

şınma süreçlerine sahip görünmektedir. Antropojenik kaynaklı olduğu belirlenen Mo'nun 1. ve 3. bileşende yer alıyor olması kaynaklardan birisinin antropojenik, diğerinin ise litolojik olabileceğini düşündürmektedir.

Tablo 2. PTE, TOC, CDP Konsantrasyonu ve Ekolojik Risk İndekslerinin Değer Aralıkları.
Table 2. Value Ranges of PTE, TOC, CDP Concentration and Ecological Risk Indices

	Mo (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Ni (pp)	Co (ppm)	Mn (ppm)	Fe (%)	As (ppm)	Cd (ppm)	V (ppm)	Cr (ppm)	Ti (%)	Al (%)	TI (ppm)	Hg (ppb)	TOC (%)	CDP (µg/gr)	TRI	mPER	
Element K.	Min.	1,10	27,52	17,85	78,80	36,20	12,8	1000	2,46	8,20	0,24	47	36	0,05	1,48	0,16	29	4,64	41,67	7,13	68,93
	Mak.	7,69	53,2	39,10	149,90	85,60	15,9	4270	3,21	18,40	0,56	66	72	0,08	2,18	0,34	111	7,00	501,36	9,19	98,87
	Ort.	4,26	41,93	30,3	112,15	52,67	14,41	1633	2,82	12,01	0,39	58	52	0,06	1,83	0,25	80	1,79	251,07	8,07	86,30
Element K.	Min.	0,93	0,93	0,93	0,91	0,73	0,68	0,71	0,73	0,71	0,96	0,93	0,70	0,76	1,08	0,93	0,10				
	Mak.	5,65	1,42	1,74	1,33	2,11	1,06	2,81	0,93	1,83	1,58	1,15	1,42	1,38	1,36	1,49	0,32				
	Ort.	3,18	1,23	1,39	1,12	1,16	0,85	1,09	0,81	1,01	1,30	1,01	0,93	0,94	1,24	1,26	0,25				
Element K.	Min.	-0,58	-0,58	-0,58	-0,62	-0,75	-0,68	-0,88	-0,77	-0,84	-0,58	-0,58	-0,95	-0,58	-0,58	-0,58	-0,58				
	Mak.	2,22	0,37	0,55	0,31	0,49	-0,37	1,21	-0,38	0,32	0,64	-0,1	0,04	0,02	-0,03	0,50	1,35				
	Ort.	1,27	0,03	0,19	-0,12	-0,23	-0,51	-0,26	-0,57	-0,31	0,10	-0,26	-0,43	-0,39	-0,27	0,05	0,85				
Element K.	Min.	-	4,63	4,62	0,91	3,64	3,39	0,71	-	7,08	28,91	-	1,41	-	-	-	3,93				
	Mak.	-	7,08	8,71	1,33	10,57	5,29	2,81	-	18,28	47,52	-	2,84	-	-	-	12,69				
	Ort.	-	6,17	6,94	1,12	5,80	4,27	1,09	-	10,07	39,06	-	1,85	-	-	-	9,93				

Tablo 3. PCA analizi sonuçları
Table 3. PCA analysis results

Element	Bileşen 1	Bileşen 2	Bileşen 3
Mo	0,286	0,112	0,217
Cu	0,293	-0,167	-0,059
Pb	0,302	-0,048	-0,036
Zn	0,270	-0,201	-0,269
Ni	-0,269	-0,084	-0,173
Co	-0,106	-0,432	0,285
Mn	0,118	0,425	0,455
Fe	0,214	-0,305	0,402
As	0,179	0,385	0,287
Cd	0,293	-0,098	-0,136
V	0,252	-0,282	-0,082
Cr	-0,270	-0,232	0,025
Ti	-0,176	-0,307	0,462
Al	0,275	-0,203	0,066
Tl	0,297	-0,096	0,101
Hg	0,275	0,115	-0,246

3. Sonuç ve Öneriler

Çalışma kapsamında elde edilen bulgulara göre lagün ekosistemini tehdit eden baskın antropojenik faaliyetler olarak madencilik, kentleşme (yazlık konutlar) ve tarım tanımlanmıştır. Edremit Çayı Havzası'nda bulunan Mo ve Cu maden ocağı, evsel atıklar ve tarımsal gübrelerden kaynaklanan antropojenik etkiler karot tabanında görülmektedir. Ancak, son yıllarda maden ocağının faaliyetlerine son verilmesi, lagün çevresindeki en büyük yerleşim merkezi olan Edremit ilçesinin evsel atıklarının arıtılması lagündeki ekolojik risk seviyesinin azalmasını sağlamıştır. Edremit Lagünü'nde günümüz şartlarında potansiyel ekolojik risk ve toksik risk tehlikesi bulunmamaktadır. Potansiyel ekolojik risk, toksik risk ve PTE'lerin çoğunun ekolojik risk seviyesi karot yüzeyinde azalma eğilimindedir. Ancak; Hg, As ve Mn'nin ekolojik risk seviyesi günümüzde artış eğilimindedir. Oldukça toksik elementler olan As ve Hg'nin lagün ekosistemine deşarjının sınırlandırılmaması halinde gelecek yıllarda potansiyel ekolojik risk ile toksik risk seviyesinin artması kaçınılmaz olacaktır. Lagündeki potansiyel ekolojik risk ve toksik risk seviyesinin kontrol altında tutulması için; geçmiş yıllarda orta derecede ekolojik risk yaratan Cd ile, ekolojik risk seviyesi günümüzde artış eğiliminde olan Hg, As ve Mn konsantrasyonları dikkatle izlenmelidir. Cd, Hg, As ve Mn konsantrasyonlarını arttırma riski olan antropojenik faaliyetler denetlenmeli ve gerekirse sınırlandırılmalıdır.

Teşekkür ve Katkı Belirtme: Bu çalışma, Ardahan Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2020-006 nolu "Edremit ve Havran Lagünü Sedimentlerinde Metal Kaynaklı Ekolojik Risk Analizi" konulu proje kapsamında desteklenmiştir. Destekleri için Ardahan Üniversitesi BAP birimine teşekkürlerimizi sunarız. Edremit Lagünü'ne arazi çalışması düzenlenmesindeki önemli destekleri için Prof. Dr. Abdullah SOYKAN ve Uzman Furkan İNAN'a teşekkür ederiz.

Çıkar çatışması/Conflict of interest : Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder. *The authors declare that there is no conflict of interest.*

Veri erişilebilirliği/Data availability : Arazi kullanım türü verileri için Çevresel Bilginin Koordinasyonu (CORINE) envanterin-

den diğer tüm veriler makalede paylaşılmıştır. *The Coordination of Environmental Information (CORINE) inventory was used for land use type data.*

Yazar katkısı/Author contribution : Çalışma konsepti ve tasarımı D.A., Ş.F. ve S.K. tarafından yapılmıştır. D.A., Ş.F., S.K. ve Y.E.M. tarafından veriler toplanmış ve yorumlaması yapılmıştır. İlk yazım kısmı D.A. tarafından yapıp daha sonradan S.K. ve Ş.F. tarafından da okunmuş en son gerekli düzeltmeler D.A., Ş.F. ve S.K. tarafından yapılmıştır. *Study concept and design by D.A., Ş.F. and S.K. D.A., Ş.F., S.K. and Y.E.M. collected and interpreted the data. The first writing part was done by D.A. and then read by S.K. and Ş.F. and the last necessary corrections were made by D.A., Ş.F. and S.K.*

Kaynakça

- Accornero, A., Gnerre, R., & Manfra, L. (2008). Sediment concentrations of trace metals in the Berre Lagoon (France): An assessment of contamination. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 54, 372-385. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00244-007-9049-6>
- Alevkayalı Ç., & Tağıl Ş. (2020). Edremit Körfezi'nde tarımsal arazi kullanımı uygunluk düzeylerinin değerlendirilmesi, *Coğrafya Dergisi*, 40, 135 – 147. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2019-0028>
- Ali, M.M., Ali, L.M., Proshad, R., Islam, S., Rahman, Z., Tusher, T.R., & Kormoker, T. (2020). Heavy metal concentrations in commercially valuable fishes with health hazard inference from Karnaphuli River, Bangladesh, *Human and ecological risk assessment*, 26, 2646–2662. <https://doi.org/10.1080/10807039.2019.1676635>
- Bat, L., Özkan, E. Y., Büyüksık, H. B., & Öztekin, H. C. (2017). Assessment of metal pollution in sediments along Sinop peninsula of the Black Sea. *International Journal of Marine Science*, 7, (22), 205 - 213. <https://doi.org/10.5376/ijms.2017.07.0022>
- Botello, A.V., Villanueva, F.S., & Rivera, R.F. (2018). Analysis and tendencies of metals and POPs in a sediment core from the Alvarado Lagoon system (ALS), Veracruz, Mexico, *Archives Environmental Contamination Toxicology*, 75, 157–173. <https://doi.org/10.1007/s00244-018-0516-z>
- Brady, J.P., Ayoko, G.A., Martens, W.N., & Goonetilleke, A. (2015). Development of a hybrid pollution index for heavy metals in marine and estuarine sediments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4563-x>
- Coordination of Information on the Environment (2018). <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
- Cürebil, İ., Efe, R., Soykan, A., & Sönmez, S. (2014) Ecogeography of Kaz Mountain ecosystem, *Elsevier Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 120, 167 – 175.
- Efe, R., Soykan, A., Cürebil, İ., Atasoy, E., & Sönmez, S. (2012). Ecological conditions and distribution of vegetation on southern slopes of Kaz Mountain. *Journal of Balkan Ecology*, 15, (4), 373–382.
- Efe, R., Soykan, A., Cürebil, İ., & Sönmez, S. (2013). *Edremit Yöresi yağhaneleri geçmişten günümüze zeytin zeytinyağı ve sabun sanayii*. Komili - Ana Gıda Yayınları, Matış Matbaacılık.
- Folger, D. (1974). Texture and organic carbon content of bottom sediments in some Estuaries of the United States. *Environmental Framework of Estuaries*, *Geol. Soc. America*, 1, 391 - 408.
- Fural, Ş. (2020). *İkizcetepeler baraj gölü çökellerinin (Balıkesir) ekolojik risk analizi*. (Tez yayın numarası. 641963) [Doktora tezi, Balıkesir Üniversitesi], YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Fural, Ş., Kükrer, S., Aykır, D., & Cürebil, İ. (2022). Ecological degradation and non-carcinogenic health risks of potential toxic elements: a GIS-based spatial analysis for Dogancı Dam (Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09870-4>

- Gaudette, H. E., Flight, W. R., Toner, L., & Folger, W. (1974). An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44, 249-253.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach. *Water Research*, 14, 975-1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)
- Kaya, H., Erginal, G., Çakır, Ç., Gazioglu, C., & Erginal, A. (2017). Ecological risk evaluation of sediment core samples, Lake Tortum (Erzurum, NE Turkey) using environmental indices. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 4, 227-239. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.348826>
- Kükrer, S., Çakır, Ç., Kaya, H., & Erginal, E. A. (2019). Historical record of metals in Lake Küçükçekmece and Lake Terkos (Istanbul, Turkey) based on anthropogenic impacts and ecological risk assessment. *Environmental Forensics*, 4, 385-401. <https://doi.org/10.1080/15275922.2019.1657985>
- Kükrer, S., Erginal, A. E., Kılıç, Ş., Bay, Ö., Akarsu, T., & Öztura, E. (2020). Ecological risk assesment of surface sediments of Çardak Lagoon along a human disturbance gradient. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08336-9>
- Khaledian, Y., Pereira, P., Brevik, E.C., Pundyte, N., & Paliulis, D. (2016). The influence of organic carbon and pH on heavy metals, potassium, and magnesium levels in Lithuanian Podzols. *Land Degradation & Development*, 28, 345-354. <https://doi.org/10.1002/ldr.2638>
- Li, W., Dou, Z., Cui, L., Zhao, X., Zhang, M., Zhang, Y., Gao, C., Yang, Z., Lei Y., & Pan X. (2020). Soil fauna diversity at different stages of reed restoration in a lakeshore wetland at Lake Taihu, China. *Ecosystem Health and Sustainability*, 6, <https://doi.org/10.1080/20964129.2020.1722034>
- Lorenzen, C. (1971). Chlorophyll-degradation products in sediments of Black Sea. *Woods Hole Oceanographic Institution Contribution*, 28, 426-428.
- Lorenzana, M.R., Yeow, Y.A., Colman, J.T., Chappell, L.L., & Choudhury, H. (2008). Arsenic in seafood: Speciation issues for human health risk assessment, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 15, 185-200.
- MacDonald, D., Ingersoll, C., & Berger, T. (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archive Environmental Contamination Toxicology*, 39, 20-31. <https://doi.org/10.1007/s002440010075>
- Magni, L. F., Castro, N. L., & Rendina, A. E. (2021). Evaluation of heavy metal contamination levels in river sediments and their risk to human health in urban areas: A case study in the Matanza-Riachuelo Basin, Argentina. *Environmental Research*, 197. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110979>
- Mutlu, E., & Kurnaz, A. (2018). Assessment of physicochemical parameters and heavy metal pollution in Çeltek Pond water, *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 47, (6), 1185 – 1192.
- Müller, G. (1969). Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine river. *Geochemistry, Journal*, 2, 108 -118.
- Nargis, A., Rashid, H. O., Jhumur, A. K., Haque, M. E., Islam, M. N., & Habib, A. (2019). Human health risk assessment of toxic elements in fish species collected from the river Buriganga, Bangladesh. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 26, (1), 120-146.
- Obi, C.C., Adebuseye, S.A., Ugoji, E.O., Ilori, M.O., Amund, O.O., & Hickey, W.J. (2016). Microbial communities in sediments of Lagos Lagoon, Nigeria: Elucidation of community structure and potential impacts of contamination by municipal and industrial wastes. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1213, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01213>
- Özkan, E. Y., Fural, Ş., Kükrer, S., & Büyükişik, H. B. (2022). Seasonal and spatial variations of ecological risk from potential toxic elements in the southern littoral zone of İzmir Inner Gulf, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 62669–62689. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19987-1>
- Siegenthaler, U., & Sarmiento, J. (1993). Atmospheric carbon dioxide and ocean. *Nature Science*, 365, 119 - 125.
- Sutherland, R. A. (2000). Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39, 611-627. <https://doi.org/10.1007/s002540050473>
- Uluturhan, E., Konaş, A., & Can, E. (2011). Sediment concentrations of heavy metals in the Homa Lagoon (Eastern Aegean Sea): Assessment of contamination and ecological risks. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1989-1997. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.019>
- Ustaoglu, F., & Islam, M. S. (2020). Potential toxic elements in sediment of some rivers at Giresun, Northeast Turkey: A preliminary assessment for ecotoxicological status and health risk. *Ecological Indicators*, 113, 106237. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106237>
- Ustaoglu, F., Islam, S., & Tokatli, C. (2022). Ecological and probabilistic human health hazard assessment of heavy metals in Sera Lake Nature Park sediments (Trabzon, Turkey), *Arabian Journal of Geosciences*, 15, (597) , <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09838-1>
- Varol, M. (2020). Environmental, ecological and health risks of trace metals in sediments of a large reservoir on the Euphrates River (Turkey), *Environmental Research*, 187, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109664>
- Wang, L., Dai, L., Li, L., & Liang, T. (2018). Multivariable cokriging prediction and source analysis of potentially toxic elements (Cr, Cu, Cd, Pb, and Zn) in surface sediments from Dongting Lake, China. *Ecological Indicators*, 94, 312-319.
- Walkley, A., & Black, I. (1934). An examination of the Degthareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 27, 29-38. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
- Wei, J., & Cen K. (2020). Assessment of human health risk based on characteristics of potential toxic elements (PTEs) contents in foods sold in Beijing, China, *Science of The Total Environment*, 703, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134747>
- Yılmaz, T. (2015). Ağır metallerin (Pb, Zn, Cu, Cd) bazı karayosunu türlerinin klorofil içeriği üzerine etkisi. (Tez yayın numarası. 411620) [Yüksek lisans tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi], YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Yılmaz, E. (2018). Edremit Çayı Havzası'nın (Balıkesir) uygulamalı jeomorfolojisi. (Tez yayın numarası. 512870) [Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi], YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Yucel-Gier, G., Kacar, A., Gönül, L.T., Pazi, L., Küçüksezgin, F., Erarslanoglu, N., & Tokar, S.K. (2018). Evaluation of the relationship of picoplankton and viruses to environmental variables in a lagoon system (Çakalburnu Lagoon, Turkey), *Chemistry and Ecology*, 34 (3), 211–228. <https://doi.org/10.1080/02757540.2018.1427230>
- Zhang, G., Bai, J., & Zhao, Q. (2016). Heavy metals in wetland soils along a wetland-forming chronosequence in the Yellow River Delta of China: Levels, sources and toxic risks. *Ecological Indicators*, 69, 331–339. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.042>
- Zonta R., Cassin D., Pini R., & Dominik J. (2019) Assessment of heavy metal and as contamination in the surface sediments of Po delta lagoons (Italy), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 225. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.05.017>