



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Moralli Deresi Sisteminin Akarsu-Göl Çökellerindeki Ağır Metallerin Ekolojik ve Çevresel Risk Değerlendirmesi, Tuşba, Van, Türkiye

Gül ŞEN*¹, Türker YAKUPOĞLU²

^{1,2} Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye
Gül ŞEN, ORCID No: 0000-0002-9729-242X, Türker YAKUPOĞLU, ORCID No: 0000-0001-8811-9660

*Sorumlu yazar e-posta: gul.sen@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 17.01.2022
Kabul: 18.02.2022
Online Nisan 2022
DOI:10.53433/yyufbed.1058884

Anahtar Kelimeler

Moralli deresi sistemi,
Akarsu-göl tortulları,
Ağır metal kirliliği

Öz: Bu çalışmada, Van Gölü doğusunda yer alan Moralli Deresi sistemi akarsu-göl tortullarındaki ağır metallerin alansal değişkenliği, kirlilik düzeyi ve kirlilik kaynaklarının kapsamlı bir değerlendirmesi ile ağır metal konsantrasyonu-tortul tane boyu arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi için ICP-OES (iCAP6300 Duo Thermo) cihazıyla jeokimyasal analiz yapılmıştır. Elde edilen jeokimyasal veriler kullanılarak hesaplanan kirlilik indisleri Se ve Zn ağır metalleri için “çok yüksek düzeyde kirlenme”, Ni ağır metali için “orta-şiddetli düzeyde kirlenme” ve diğer ağır metaller için “düşük düzeyde kirlenme” olduğunu göstermiştir. Yapılan jeokimyasal ve sedimanter analizler, tortul tane boyu ve ağır metal konsantrasyonu arasında ters orantılı ve doğrusal olmayan bir ilişkinin varlığını ve bu sonucun antropojenik etkilerden kaynaklandığını göstermektedir.

Ecological and Environmental Risk Assessment of Heavy Metals in Fluvio-Lacustrine Sediments of the Moralli Stream System, Tuşba, Van, Turkey

Article Info

Received: 17.01.2022
Accepted: 18.02.2022
Online April 2022
DOI:10.53433/yyufbed.1058884

Keywords

Moralli stream system,
Fluvio-lacustrine sediments,
Heavy metal contamination

This study aimed to determine the relationship between heavy metal concentration and sediment particle size, with a comprehensive evaluation of the spatial variability, contamination level, and source of heavy metal contamination in the fluvio-lacustrine sediments of the Moralli Stream system, which is located in the east of Van Lake. In order to determine the heavy metal concentrations, geochemical analysis was performed with the ICP-OES (iCAP6300 Duo Thermo) device. The contamination indices, which were calculated by using the obtained geochemical data, showed “very high contamination” for Se and Zn heavy metals, “moderate-severe contamination” for Ni heavy metals and “low contamination” for other heavy metals. Geochemical and sedimentary analyses show an inversely proportional and non-linear relationship between sediment grain size and heavy metal concentration, which is due to anthropogenic effects.

*Bu makale birinci yazarın yüksek lisans tezinden (Şen, 2015) yararlanılarak yazılmıştır.

1. Giriş

Ağır metaller, akarsu yatağındaki temel kayaçların kimyasal olarak bozunmasıyla, akarsu yatağına drenaj alanından eklenen akışlarla ve kentsel ve endüstriyel atık suların akarsulara boşaltılmasıyla akarsulara karışmaktadır. Akarsulara boşaltılan ağır metaller de dahil olmak üzere çeşitli kirlilik kaynaklarının depolandığı akarsu tortuları, su kirliliği için önemli bir çevresel gösterge olarak kabul edilmektedir (Kördel ve ark., 1997; Tam & Wong, 2000; Casas ve ark., 2003; Singh ve ark., 2005; Chabukdhara & Nema, 2012). Bu sebeple akarsu tortuları, kirlilik kaynağını tespit etmek ve kirleticileri takip etmek için kullanılmaktadır (Soares ve ark., 1999). Ekosistemde artarak devam eden ağır metal kirliliği gerek insan sağlığına gerekse de doğaya zarar verecek ölçüde zehirli etkiye sahip olduğundan akarsu tortullarındaki ağır metal kirliliğinin tespiti ve takibi için birçok bilimsel çalışma yürütülmüştür. Örneğin, Amazon Nehri (Bouchez ve ark., 2011), Ankara Çayı (Özkan, 2016), Ave Nehri (Soares ve ark., 1999), Brisbane Nehri (Duodu ve ark., 2016), Dicle Nehri (Varol, 2011), Fırat Nehri (Salah ve ark., 2012), Gomti Nehri (Singh ve ark., 2005), Hindon Nehri (Chabukdhara & Nema, 2012), Lambro Nehri (Bettinetti ve ark., 2003), Mississippi Nehri (White & Tittebaum, 1985), Nil Nehri ve Nil Deltası (El-Bouraie ve ark., 2010; Goher ve ark., 2021), Yamura Nehri (Kaushik ve ark., 2009), Yangtze Nehri (Zhang ve ark., 2009) ve Zarrin-Gol Nehri (Malvandi, 2017) sistemlerindeki tortullarda ağır metal kirliliği üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bununla birlikte insan ve çevre için endişe uyandırıcı ölçüde yükselen ağır metal salınımını kısıtlamak, kontrol altına almak ve takip etmek amacıyla çeşitli programlar ve yasal düzenlemeler uygulamaya konulmuştur (Laidlaw & Taylor, 2011)

Literatürdeki çalışmalar, doğal ve antropojenik süreçlerin heterojenliğine bağlı olarak, toprak kirliliğine sebep olan ağır metal (loid) elementlerin oldukça çeşitli olduğunu doğrulamaktadır (Sodango ve ark., 2021). Topraktaki ağır metal kirliliğine ve çeşitliliğine sebep olan doğal faktörler arasında volkanik patlamalar, minerallerin alterasyonu, pedojenik süreçler, iklimsel değişiklikler, bitki örtüsü ve toprak ana materyalleri yer almaktadır (Yu ve ark., 2014). Örneğin, Li ve ark. (2013) çalışmasında, Cr ve Mn konsantrasyonlarının pedojenik süreçlerle ilişkili olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, madencilik, gübreleme, zirai kimyasal uygulama, kanalizasyon sulama, çamur uygulaması, fosil yakıtların yanması, trafik ve endüstriyel emisyonlar, evsel emisyonlar gibi antropojenik faaliyetler toprağa ağır metallerin (metalooidlerin) salınımını arttırmakta önemli rol oynamaktadır (Vinha ve ark., 2018; Cabral Pinto ve ark., 2019).

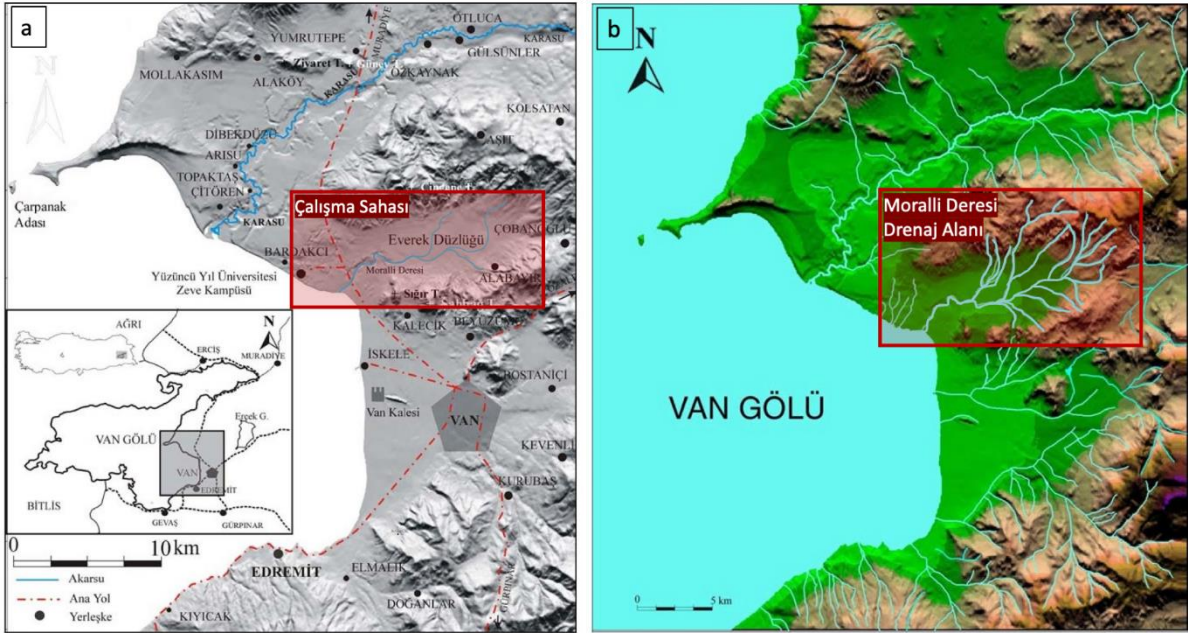
Toprak kirliliğine sebep olan ağır metaller, su, hava, besin, iklim, insan sağlığı ve tüm ekosistemi etkileyen en büyük çevresel tehditlerden biridir (Ferreira ve ark., 2018). Antropojenik faaliyetler sonucu yoğun kentleşme ve sanayileşmenin görüldüğü büyük şehirlerde yeni yaşam alanları yaratmak için artan arazi kullanımına bağlı olarak toprak kirliliğinin arttığı belirlenmiştir (Zhao ve ark., 2014). Hızlı şehirleşme ve sanayileşme sonucu artan antropojenik faaliyetlerin, ağır metal elementlerin toprak ve su sistemine geçişini tetiklediği düşünülmektedir. Günümüzde nüfusun büyük bir bölümünün şehirlerde yaşaması nedeniyle, özellikle yerleşim merkezi alanında bulunan akarsuların su ve tortullarındaki ağır metal(loid) elementlerinin kaynaklarının belirlenmesi ve alansal dağılımının değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Kentsel yerleşim alanı içinde bulunan Moralli Deresi sistemine ait akarsu-göl tortullarındaki ağır metallerin (metalooidlerin) alansal dağılımının ve kaynağının belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen veriler ile gerek kentsel arazi kullanımı ve buna bağlı antropojenik süreçlerin, gerekse litolojiye bağlı doğal süreçlerin kapsamlı bir değerlendirmesi yapılarak, çalışma alanında toprak izleme ve uygun yönetim stratejileri önermek için yeni bilgilerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Moralli Deresi'nin Van Gölü ile birleştiği konum göz önüne alındığında, bu çalışmanın sonuçlarının akarsu-göl ekosisteminin izlenmesi için de bilgi sağlayacağı düşünülmüştür.

Bu çalışmada, seçilen ağır metallerin alansal değişkenliği, kirlilik düzeyi ve kirlilik kaynaklarının kapsamlı bir değerlendirmesi ile ağır metal-tortul tane boyu arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışma sonuçlarının, özellikle çalışma alanında ve genel olarak benzer akarsu-göl depolanma ortamlarında gelecekteki ağır metal konsantrasyonlarının akarsu-göl tortullarında izleme ve toprağın sürdürülebilir yönetimi için kullanılabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamındaki Moralli Deresi sistemi, Van Gölü doğusunda, Van ili K50-c4 paftası içerisinde, yaklaşık 30 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Van il merkezinin kuzeybatısında bulunan çalışma alanı, il merkezine yaklaşık 8 km uzaklıktadır. Doğuda Çobanoğlu Köyü, batıda Van Gölü, kuzeyde Bardakçı Köyü ve güneyde Kalecik Köyü çalışma alanının sınırlarını teşkil etmektedir (Şekil 1.a). Çalışma kapsamındaki Moralli Deresi yaklaşık olarak 10.5 km uzunluğunda olup, drenaj alanında

bulunan Beyaztaş, Tekmal, Osmangöl ve Katar dereleriyle Everek düzlüğünün orta kesimlerinde birleşmektedir. Akış aşağı batı yönünde ilerleyen Moralli Deresi, Kurudere ile Sığır Tepenin kuzeyinden doğan kaynaklarla birleşerek Van Gölü'ne dökülmektedir (Şen, 2015). Çalışma alanı ve yakın çevresinde bulunan akarsuların drenaj ağı haritası (Şekil 1b)'de gösterilmektedir.

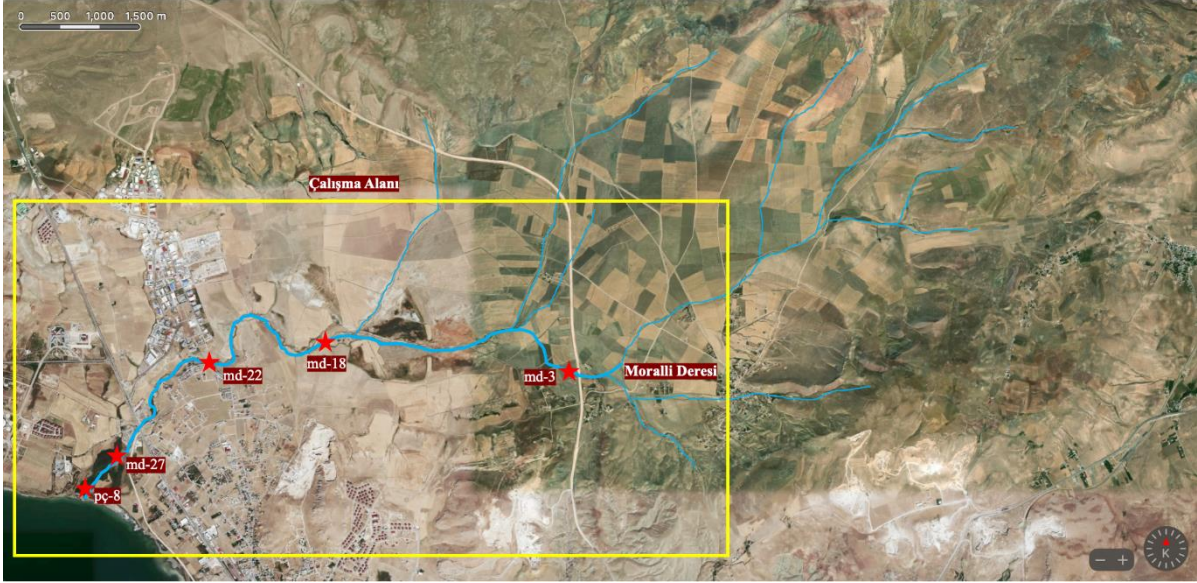
Çalışma alanındaki kayaçların jeokimyasal içerikleri akarsu-göl ortamında çökelmiş tortullardaki ağır metal konsantrasyonlarının değerlendirilmesinde önem taşımaktadır. Bu nedenle çalışma alanında bulunan jeolojik birimler araştırılmış, tortullardaki ağır metal konsantrasyonunu zenginleştirebilecek potansiyeldeki kayaçlar belirlenmiştir. Çalışma alanının yakın çevresinde ofiyolitik, metamorfik, volkanik ve sedimanter kayaçlar yüzeylenmektedir. Geç Paleozoyik-Eosen yaşlı kayaç birimleri genellikle tektonik dilimlerde mostra vermekte ve bölgede karmaşık bir yapı oluşturmaktadır. Bölgedeki en yaşlı birim Şenel ve ark. (1984) tarafından tanımlanan Bakışık karmaşığı olarak adlandırılmış olan ofiyolitik melanj ve olistostromdur. Üst Kretase yaşlı Bakışık karmaşığı metamorfik kayaçlardan serpantin, harzburjit, mermer, volkanik kayaçlardan dunit, gabro, sedimanter kayaçlardan ise radyolarit, çört, şeyl, kireçtaşı, dolomit, kumtaşı, kiltası gibi kayaç türlerini kapsamaktadır (Sümengen, 2008). Ayrıca bölgede Paleojen, Neojen ve Kuvaterner yaşlı formasyonlar bulunmakta ve bu formasyonlar denizel ve karasal ortamları yansıtan karbonatlı ve kırıntılı sedimanter kayaçlardan oluşmaktadır.



Şekil 1. a) Çalışma alanına ait yer bulduru haritası, b) Moralli Deresi drenaj alanı.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma materyali, Moralli Deresi'nin kaynak noktasından başlanarak sistematik şekilde derenin pekişmemiş yüzey tortullarından ve Moralli Deresi'nin Van Gölü'ne döküldüğü kıyı alanındaki pekişmemiş kıyı tortullarından alınan toplam 5 adet 2 kg ağırlığındaki numunedir. Örneklemenin yapıldığı noktalar Google Map' ten alınan uydu görüntüsü üzerine işlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Moralli Deresi' ne ait akarsu-göl tortul numunelerinin alındığı noktaları gösteren Google Map haritası.

Tortul numuneleri öncelikle oda sıcaklığında kurutulmuştur ve elek analizine tabi tutularak tortulların tane boyu dağılımları belirlenmiştir. Bu işlemden sonra numuneler homojen şekilde karıştırılmıştır. Her biri homojen olarak karıştırılmış numunelerden 1 gram alınarak ağır metal analizine hazırlanmak üzere balon tüplere konulmuştur. Daha sonra hidroflorik, nitrik, sülfürik ve perklorik asitlerin karışımından elde edilen çözeltiden 5 ml alınarak içinde örnek bulunan balon tüplere ilave edilmiştir. Örnekler yaş yakma yöntemine uygun olarak 120 °C sıcaklıkta ocak üzerinde bir gün süre ile bekletilmiştir. Daha sonra numuneler 42 numaralı filtre kağıtlarından süzülerek çözeltiden ayrılmış ve elde edilen çözelti 100 ml'ye tamamlanmıştır. Çözelti halindeki örnekler ICP-OES cihazı kullanılarak jeokimyasal analiz yapılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Merkez Laboratuvarında bulunan ICP-OES (iCAP6300 Duo Thermo) cihazıyla multi-element ICP QC standart solüsyonu kullanılarak sedimanlardaki ağır metal içerikleri ve miktarları tayin edilmiştir.

Akarsu ve göl tortullarındaki ağır metallerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amacıyla analiz sonucu elde edilen jeokimyasal veriler kullanılarak beş adet kirlilik indisi hesaplanmıştır. Bunlar, kirlilik faktörü (CF), kirlilik yükü indisi (PLI), jeo-birikim indisi (Igeo), zenginleştirme faktörü (EF) ve potansiyel ekolojik risk indisi (PERI)'dir.

2.1. Kirlilik faktörü (CF)

Tortuldaki her bir metal değerinin, başlangıç konsantrasyonuna veya arka plan değerlerine bölünmesiyle kirlilik faktörü elde edilmektedir (Eşitlik 1) (Hakanson, 1980). Kullanılan arka plan değerleri sırasıyla Co için 68.0, Cr için 90.0, Cu için 50, Fe için 47.200.0, Mn için 850.0, Pb için 70, Se için 0.6, Zn için 13.0 ve Ni için 95.0 ppm' dir (Hakanson, 1980; Malvandi, 2017). CF değerleri Hakanson (1980) 'e göre $CF < 1$ ise düşük kirlenme; $1 < CF < 3$ ise orta düzeyde kirlenme; $3 < CF < 6$ ise önemli düzeyde kirlenme ve $CF > 6$ ise çok yüksek kirlenme düzeyi olarak yorumlanmıştır.

$$CF = \frac{C_{\text{ağır metal}}}{C_{\text{arka plan değeri}}} \quad (1)$$

2.2. Kirlilik yük indisi (PLI)

Ağır metal kirliliği seviyelerini değerlendirmek amacıyla kullanılan kirlilik yük indisi (PLI), ağır metal ortalamalarının karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Tüm örnekleme sahası için kirlilik yük indisi (PLI), n adet metal için hesaplanmış kirlilik faktörlerinin (CF) çarpımının, n kökü alınarak elde edilmektedir (Eşitlik 2) (Tomlinson ve ark., 1980; Bentum ve ark., 2011; Rabee ve ark., 2011). Bu

bağlamda PLI için oluşturulan standart değerler $1 < PLI$ iken kirlilik olduğunu, $PLI < 1$ iken kirlilik olmadığını ifade etmektedir (Tomlinson ve ark., 1980; Maanan ve ark., 2015).

$$PLI = \sqrt[n]{(CF1 * CF2 * CF3 * \dots * CFn)} \quad (2)$$

2.3. Jeo-birikim indisi (Igeo)

İlk olarak Muller (1969) tarafından tanımlanan jeo-birikim indisi, çevresel kirlilik durumunun, metallerin arka plan değerleri (kirlenmemiş referans metal değeri) ile karşılaştırılmasına dayanarak belirlenmesidir. Jeo-birikim indisi (Igeo) aşağıdaki eşitlik (3) kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$Igeo = \frac{\log_2(Cn)}{1.5 (Bn)} \quad (3)$$

Jeo-birikim indisi formülündeki Cn, tortul numunelerindeki elementlerin içeriğini, Bn ise aynı elementler için jeokimyasal arka plan değerlerini temsil etmektedir. Bu indisin hesaplanmasında kullanılan arka plan değerleri, kirlilik faktörü (CF) indisinin hesaplanmasında kullanılan arka plan değerleriyle aynıdır. Formülde 1.5 olarak verilen katsayı, litolojik değişiklikler nedeniyle arka plan matrisinin düzeltme faktörüdür. Jeo-birikim indisi yedi sınıfa ayrılmıştır (Boszke ve ark., 2004; Varol, 2011) ve bu sınıflar; Sınıf 0 (pratik olarak kirlenmemiş): $Igeo \leq 0$; Sınıf 1 (kirlenmemiş ile orta derecede kirlilik): $0 < Igeo < 1$; Sınıf 2 (orta derecede kirlilik): $1 < Igeo < 2$; Sınıf 3 (orta ile yoğun kirlilik): $2 < Igeo < 3$; Sınıf 4 (ağır kirlilik): $3 < Igeo < 4$; Sınıf 5 (ağır ile aşırı kirlilik): $4 < Igeo < 5$; Sınıf 6 (aşırı kirlilik): $5 < Igeo$ şeklinde sıralanmaktadır.

2.4. Zenginleştirme faktörü (EF)

Antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan ağır metal kirliliğinin derecesini yansıtan yararlı bir gösterge olan zenginleşme faktörü (EF), aşağıdaki eşitlik (4) kullanılarak hesaplanır (Brady, 1984; Gonzalez ve ark., 2000):

$$EF = \frac{\left(\frac{Metal}{Fe}\right)_{Numune}}{\left(\frac{Metal}{Fe}\right)_{Arka Plan Değeri}} \quad (4)$$

Bu çalışmada, jeokimyasal normalizasyon için referans element olarak demir (Fe) kullanılmıştır. EF değerlerinin yorumlanma kriterleri aşağıdaki gibidir:

$EF < 1$ kirlilik olmadığını; $1 < EF < 3$ az kirlilik; $3 < EF < 5$ orta düzeyde kirlilik; $5 < EF < 10$ orta şiddetli kirlilik; $10 < EF < 25$ şiddetli kirlilik; $25 < EF < 50$ çok şiddetli kirlilik ve $EF > 50$ son derece şiddetli kirlilik olduğunu göstermektedir (Çevik ve ark., 2009; Sakan ve ark., 2009; Ghrefat ve ark., 2011).

2.5. Potansiyel ekolojik risk indisi

Akarsu-göl tortullarındaki elementlerin olası kirlenme riskini değerlendirmek için Potansiyel Ekolojik Risk İndeksi Yöntemi (PERI) kullanılmıştır (Han ve ark., 2017; Vu ve ark., 2017). Hakanson (1980) tarafından önerilen indis eşitlik (5) ve eşitlik (6) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i \quad (5)$$

$$E_r^i = T_r^i \times CF \quad (6)$$

Belirli bir kirlenici (i) için potansiyel ekolojik risk faktörü E_r^i olduğunda, T_r^i , her bir elementin toksik tepki faktörü olmaktadır. Toksik tepki faktörü Co için 2, Cr için 2, Mn için 1, Zn için 1, Ni için 5'tir ve CF ise önceki paragrafta açıklanan kirlilik faktörüdür (Zhang & Gao, 2015; Vu ve ark., 2017).

E_r^i değerlerinin değerlendirilmesinde kullanılan sınıflama şu şekildedir:

$E_r^i < 40$, düşük ekolojik risk; $40 < E_r^i \leq 80$, orta düzeyde ekolojik risk; $80 < E_r^i \leq 160$, kayda değer ekolojik risk; $160 < E_r^i \leq 320$, yüksek ekolojik risk ve $E_r^i > 320$, ciddi ekolojik risk;

RI değerlerinin değerlendirilmesinde kullanılan sınıflama şu şekildedir:

RI < 150, düşük ekolojik risk; $150 \leq RI < 300$, orta düzeyde ekolojik risk; $300 \leq RI < 600$, önemli ekolojik risk; RI > 600 çok yüksek ekolojik risk (Yuan ve ark., 2014; Soliman ve ark., 2015; Krishna & Mohan, 2016).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Moralli deresi akarsu-göl tortullarındaki ağır metaller

Akarsu, göl ve deniz tortullarındaki ağır metal konsantrasyonları, tortul tanelerinin ve ağır metallerin çökme hızına, tane boyuna ve çökeltilerdeki organik madde muhteviyatına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Saloman ve ark., 1987). Bu çalışma kapsamında incelenen akarsu-göl tortullarındaki ağır metal miktarını ve olası ağır metal kirliliği saptamak için yapılan jeokimyasal analizler ile elde edilen veriler kullanılmak suretiyle hesaplanan kirlilik faktörü, kirlilik yük indisi, jeobirikim indisi, zenginleşme faktörü ve potansiyel ekolojik risk indisi sonuçları ile Moralli Deresi sisteminin yüzey tortullarındaki ağır metal kirliliği düzeyi değerlendirilmiştir.

Moralli Deresi sistemi boyunca beş farklı lokasyondan alınan akarsu-göl tortullarındaki metal konsantrasyonları Çizelge 1'de verilmiştir. Ağır metallerin en düşük ve en yüksek konsantrasyonları Co elementi için 4.61–18.09, Cr için 13.40–81.26, Cu için 11.87–34.80, Fe için 20.530,00–6.306,00, Mn için 142.00–432.00, Pb için 4.93–7.46, Se için 3.85–9.07, Zn için 21.86–82.20 ve Ni için 27.95–226.20 ppm'dir.

Çizelge 1. Tortul örneklerine ait ppm düzeyindeki ağır metal konsantrasyonları (Şen, 2015)

Numune No	Metal Konsantrasyonları (ppm)								
	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Se	Zn	Ni
md-3	13.42	53.04	17.76	12 480.00	281.60	7.46	7.78	53.23	143.00
md-18	12.78	79.29	21.69	14 290.00	313.60	4.93	6.15	45.27	143.00
md-22	16.37	81.26	17.46	13 070.00	326.00	6.20	9.07	82.20	224.10
md-27	18.09	13.40	34.80	20 530.00	432.00	7.15	9.07	61.93	226.20
pç-8	4.61	32.28	11.87	6 306.00	142.00	5.76	3.85	21.86	27.95
ortalama	13.05	51.85	20.72	13 335.20	299.04	6.30	7.18	52.90	152.85

Bu çalışma, Moralli Deresi sisteminin akarsu-göl tortullarındaki ağır metallerin ve metaloidlerin konsantrasyonunu inceleyen ilk çalışma olması sebebiyle, bu akarsudaki metal konsantrasyonları için karşılaştırılabilir bir veri bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmadan elde edilen veriler gerek Türkiye'deki gerekse de Dünya'daki diğer nehirlerden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır.

Çalışma alanından alınan örneklerdeki ağır metal miktarlarının, daha önce Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde yapılmış ağır metal analiz çalışmalarından elde edilen ağır metal miktarlarının karşılaştırılması, çalışma alanındaki kirlenmenin göreceli olarak değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle ağır metal analiz sonuçları için birçok kaynak taranmış ve referans değerler elde edilmiştir (1. Bouchez ve ark., 2011; 2. Özkan, 2016; 3. Woitke ve ark., 2003; 4. Varol, 2011; 5. Salah ve ark., 2012; 6. Akbulut, 2013; 7. Singh ve ark., 2005; 8. White & Tittebaum, 1985; 9. Goher ve ark., 2021; 10. Yıldız & Yener, 2010; 11. Zhang ve ark., 2009; 12. Turekian & Wedepohl, 1961). Elde edilen veriler, çalışma alanımızdaki veriler ile bütünlük sağlayacak şekilde bir araya getirilerek bir çizelge halinde aşağıda sunulmuştur (Çizelge 2).

Çizelge 2. Moralli Deresi ile diğer alanların ağır metal miktarlarının karşılaştırılması

Ağır Metaller (ppm) Lokasyon	Mn	Co	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb
Amazon Nehri (1)	-	5.1-18.1	32-114	9.6-46.1	3.8-98.9	33-219	-
Ankara Çayı (2)	-	16.1	-	65.7	32	111	17.6
Tuna Nehri (3)	442-1 379	-	35-139	24-142	31-662	83-622	14-107
Dicle Nehri (4)	282-1 657	5-389	28-163	74-288	11-5 075	60-2 396	62-566
Fırat Nehri (5)	136-313	21-39	36-121	39-104	10-31	14-131	8-33
Giresun Çayları Ort. (6)	443.84	137.33	170.41	100.99	148.96	497.14	63.89
Gomti Nehri (7)	260.4	-	20.89	23.46	43.48	63.65	32.88
Mississippi Nehri (8)	-	-	15-78	7-48	-	16-387	25-318
Nile Nehri (9)	106-548	-	8.5	5-40	18-53	14-143	13-79
Van Gölü Tortulları (10)	-	-	7-42	-	7-51	-	62-5
Yangtze Nehri (11)	620	-	85	32	32	78	23
Ref. Ort. Şeyl (12)	850	19	90	68	45	95	20
Ref. Ort. Kumtaşı (12)	50	<1	35	2	5	16	7
Ref. Ort. Kireçtaşı (12)	1 100	<1	11	20	4	20	9
Van, Moralli Deresi	282-432	13-18	53-131	143-226	17-35	45-82	5-7

Çizelge 2' de görüldüğü üzere Moralli Deresi tortullarındaki ağır metal konsantrasyonları, Türkiye'de Fırat nehrinin ağır metal konsantrasyonlarıyla, Dünya'da Amazon ve Gomti nehirlerindeki ağır metal konsantrasyonlarıyla denklik göstermektedir.

3.2. Kirlilik faktörü

Tortul numuneleri üzerinde yapılan kimyasal analiz sonucu elde edilen ağır metal konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan kirlilik faktörü (CF) değerleri ile kirlilik faktörlerine ait değerler kullanılarak hesaplanan kirlilik yükü indislerine (PLI) ait değerler Çizelge 3' te sunulmuştur. Belirlenen kirlilik faktör değerleri en yüksekte en düşüğe doğru sırasıyla Se>Zn>Ni>Cr>Cu>Mn>Fe>Co>Pb şeklindedir.

Kirlilik faktörü ve kirlilik yük indisi, akarsu tortullarında birikerek insan sağlığını ve çevreyi olumsuz yönde etkileyebilecek ağır metallerin kirletici düzeylerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Varol (2011)'e ait Dicle nehri tortullarının kirlilik faktörü verileri ile Moralli deresine ait kirlilik faktörü verileri karşılaştırılarak, kaynak alanı Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesinde yer alan bu akarsuların tortullarında ağır metal kirliliğine sebep olan kaynağın benzerliği tespit edilmiştir.

Varol (2011)'de Dicle nehrinin tortullarındaki Co, Cu ve Zn elementleri için hesaplanan CF değerlerinin altıdan büyük olduğu ve bunun "çok yüksek kirlilik" gösterdiği, As ve Pb elementleri için CF değerlerinin "önemli düzeyde kirlilik" gösterdiği, Cd, Cr, Fe, Mn ve Ni için CF değerlerinin "orta düzeyde kirlilik" gösterdiği vurgulanmıştır. Ancak Pb elementinin, 1 sahası hariç tüm sahalarda çalışılan on metal arasında en yüksek CF değerlerine sahip olduğu ve bunun sebebinin endüstriyel atık su deşarjı olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada ise kirlilik faktörü (CF) değerleri Se, Zn ağır metalleri için çok yüksek düzeyde kirlenme, Ni ağır metali için orta düzeyde kirlenme ve diğer ağır metaller için düşük düzeyde kirlenme olduğunu işaret etmektedir. Genel olarak akarsu kaynak alanından organize sanayi bölgesi alanına gidildikçe tortulların ağır metal miktarlarında ve kirlilik faktörlerinde artış başka bir deyişle pozitif yönde bir eğilim gözlenmiştir. Çalışma kapsamında örnekleme yapılan tüm alanlarda Se elementinin, çalışılan dokuz element arasında en yüksek CF değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Dicle nehri kirlilik faktörü verileri ile Moralli deresi kirlilik faktörü verileri arasında yapılan kıyaslama sonucunda Ni ve Zn ağır metallerinin, her iki akarsu tortullarında çok yüksek kirlilik oluşturduğu ve bunun benzer antropojenik faaliyetlerden kaynaklandığı ortaya çıkarılmıştır.

3.3. Kirlilik yük indisi (PLI)

Nehir tortullarının ağır metaller tarafından kirlendiğini açıkça gösteren kirlilik faktörü ve kirlilik yük indisi, tortulun kalitesi ve çalışma alanının kirlilik derecesi hakkında bilgi sağlamaktadır (Ali ve ark., 2016). Varol (2011)'de Dicle Nehri tortullarına ait PLI değerlerinin As, Co, Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb ve Zn elementleri için 1.02 ile 4.19 arasında değiştiği tespit edilmiş ve kirlilik yükü indisi bakımından akarsu tortullarında kirlilik olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada ise tortulların hesaplanan kirlilik yükü indisi 0.31 ile 0.82 değerleri arasında değişmektedir (Çizelge 3). Ortalama PLI değeri 0.68 olarak hesaplanmıştır. Ortalama değer $PLI < 1$ olduğundan, Moralli Deresi sisteminden alınan tortul numunelerinde kirlilik yükü indisi bakımından kirlilik olmadığı kabul edilmiştir.

Çizelge 3. Moralli Deresi sistemi tortullarındaki kirlilik faktörü ve kirlilik yük indisi değerleri

Numune No	Kirlilik Faktörü (CFs)									PLI
	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Se	Zn	Ni	
md-3	0.20	0.59	0.36	0.26	0.33	0.11	12.97	4.09	1.51	0.68
md-18	0.19	0.88	0.43	0.30	0.37	0.07	10.25	3.48	1.51	0.68
md-22	0.24	0.90	0.35	0.28	0.38	0.09	15.12	6.32	2.36	0.82
md-27	0.27	0.15	0.70	0.43	0.51	0.10	15.12	4.76	2.38	0.78
pç-8	0.07	0.36	0.24	0.13	0.17	0.08	6.42	1.68	0.29	0.32
ortalama	0.19	0.58	0.41	0.28	0.35	0.09	11.97	4.07	1.61	0.68
min	0.07	0.15	0.24	0.13	0.17	0.07	6.42	1.68	0.29	0.31
max	0.27	0.90	0.70	0.43	0.51	0.11	15.12	6.32	2.38	0.82

3.4. Jeo-birikim indisi

Tortul numunelerine ait jeo-birikim değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Co, Cr, Mn, Fe, Cu, Ni, Zn ve Pb'nin tüm tortul örneklerindeki Igeo değerleri sıfırdan küçüktür ve sıfır sınıfını göstermektedir. Rabee ve ark. (2011)'de Dicle nehrinin tortulları üzerinde yapılan araştırmada jeo-birikim değerleri, analizi yapılan Mn, Cu ve Ni ağır metaller için sıfır ve bir sınıfını göstermektedir. Bu sonuçlar tortul örneklerinin jeo-birikim indisi bakımından pratik olarak kirlenmemiş olduğunu işaret etmektedir. Ancak, Se elementinin jeo-birikim değerleri, diğer elementlerin değerlerinden oldukça yüksek olmakla birlikte jeo-birikim değerleri dördüncü sınıfta bulunmaktadır. Se elementinin Igeo değerlerinin en yüksek olduğu numuneler organize sanayi bölgesinden alınan tortul numuneleridir. Elde edilen sonuçlar akarsu tortullarında Se elementindeki jeo-birikim değerinin ciddi boyutta olduğunu ve ekolojik bir risk değerlendirmesi gerektiğini göstermiştir.

Çizelge 4. Moralli Deresi sistemi tortullarının jeo-birikim indisi değerleri

Numune No	Jeobirikim İndisi (Igeo)								
	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Se	Zn	Ni
md-3	0.0367	0.0424	0.0553	0.0002	0.0064	0.0276	3.2886	0.2941	0.0502
md-18	0.0360	0.0467	0.0592	0.0002	0.0065	0.0219	2.9118	0.2821	0.0502
md-22	0.0395	0.0470	0.0550	0.0002	0.0065	0.0251	3.5346	0.3262	0.0548
md-27	0.0410	0.0277	0.0683	0.0002	0.0069	0.0270	3.5346	0.3053	0.0549
pç-8	0.0216	0.0371	0.0476	0.0002	0.0056	0.0241	2.1610	0.2282	0.0337
ortalama	0.0350	0.0402	0.0571	0.0002	0.0064	0.0251	3.0861	0.2872	0.0488
min	0.0216	0.0277	0.0476	0.0002	0.0056	0.0219	2.1610	0.2282	0.0337
max	0.0410	0.0470	0.0683	0.0002	0.0069	0.0276	3.5346	0.3262	0.0549

3.5. Zenginleştirme faktörü

Moralli Deresi sistemi tortullarının zenginleştirme faktörü değerleri Çizelge 5’te sunulmuştur. Zenginleştirme faktörü verileri, kirlenici kaynağının belirlenmesi için kirlilik göstermeyen nehir verileriyle karşılaştırılmıştır. Woitke ve ark. (2003)’te Tuna Nehri drenaj alanından alınan tortul örneklerinde Ni, Se ve Zn elementleri için hesaplanan zenginleştirme faktörü sonuçları nehirde bu elementlerce “kirlilik olmadığı” kriterini göstermektedir. Bu çalışmada ise tortullardaki Ni, Se ve Zn elementlerinin EF değerleri sırasıyla “az kirlilik”, “orta ve orta-şiddetli kirlilik” ve “orta şiddetli ve şiddetli kirlilik” kriterlerini göstermektedir. Ayrıca, Co, Cr, Mn, Fe, Cu, ve Pb elementlerinin EF değerlerinin birden küçük olduğu tespit edilmiş olup, buna bağlı olarak tortullarda “kirlilik olmadığı” sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada, özellikle Moralli Deresi’nin organize sanayi bölgesinden geçtiği alanlardan (Şekil 3 ve Şekil 4) alınan tortul numunelerindeki Ni, Se ve Zn elementlerine ait EF değerlerinin, diğer alanlardaki değerlere kıyasla çok yüksek olması Moralli Deresi tortulları üzerinde antropojenik bir etki olduğunu düşündürmüştür.



Şekil 3. Organize sanayi bölgesi alanından geçen Moralli Deresi kanalı.



Şekil 4. Organize sanayi bölgesi civarında bulunan Moralli Deresi kanalı ve taşkın ovası düzlüğü.

Çizelge 5. Moralli Deresi sistemi tortullarının zenginleştirme faktörü değerleri

Numune No	Zenginleşme Faktörü (EF)								
	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Se	Zn	Ni
md-3	0.20	0.59	0.36	0.26	0.33	0.11	12.97	4.09	1.51
md-18	0.19	0.88	0.43	0.30	0.37	0.07	10.25	3.48	1.51
md-22	0.24	0.90	0.35	0.28	0.38	0.09	15.12	6.32	2.36
md-27	0.27	0.15	0.70	0.43	0.51	0.10	15.12	4.76	2.38
pç-8	0.07	0.36	0.24	0.13	0.17	0.08	6.42	1.68	0.29
ortalama	0.19	0.58	0.41	0.28	0.35	0.09	11.97	4.07	1.61
min	0.07	0.15	0.24	0.13	0.17	0.07	6.42	1.68	0.29
max	0.27	0.90	0.70	0.43	0.51	0.11	15.12	6.32	2.38

3.6. Potansiyel ekolojik risk faktörü

Jeokimyasal analizler sonucu elde edilen eser element miktarlarının, ekolojik risk bakımından değerlendirilmesi amaçlanarak potansiyel ekolojik risk indisleri (E_r^i ve RI) hesaplanmıştır ve Çizelge 6'da özetlenmiştir. Potansiyel ekolojik risk faktörü formüllerini kullanarak Nil nehri tortullarında ekolojik risk düzeyleri ile bu kirliliğe sebep olan etkenin ortaya çıkarıldığı çalışmanın verileriyle (Goher ve ark., 2021) Moralli deresine ait veriler, potansiyel ekolojik risk faktörü değerlerinin kirlenici kaynağı, yoğunluğu ve akarsu boyutuyla ilişkisinin anlaşılması için karşılaştırılmıştır.

Goher ve ark. (2021)'de Nil nehri tortullarının hesaplanan potansiyel ekolojik risk indislerinden E_r^i Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr ve Co elementleri için düşük risk gösterirken, Cd elementi için düşük-yüksek risk göstermektedir. Cd elementindeki konsantrasyon yüksekliğinin nedeninin ise antropolojik kaynaklı olduğu belirtilmektedir. RI indisi değerleri ise Nil nehrinin güneyinden alınan tortullarda düşük derecede ekolojik risk, orta ve kuzeyinden alınan tortullarda ise orta derecede ekolojik risk olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmada ise Co, Cr, Mn, Zn ve Ni elementlerinde $E_r^i < 40$ olduğundan potansiyel ekolojik risk değerinin düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, tüm bölgelerde $RI < 150$ olduğundan, ekolojik risk derecesinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Özetle, tüm sahalardaki yüzey tortullarında incelenen elementler için E_r^i ve RI indisleri, Moralli Deresi'nin herhangi bir potansiyel ekolojik risk oluşturmadığını göstermiştir. Her iki çalışma sonuçları kıyaslandığında, büyük akarsular sınıfında bulunan Nil nehrinin büyük bir alanda kirlenici özellikteki endüstriyel su deşarjına yoğun olarak maruz kaldığı, küçük akarsu sınıfında bulunan Moralli deresinin ise kısıtlı bir alanda daha az kirlenici faaliyetlere maruz kaldığı tespit edilmiş olup ve antropojenik faaliyetlerin değişik alanlarda çeşitli yoğunluklarda etkin olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 6. Moralli Deresi sistemi tortullarının potansiyel ekolojik risk indisi değerleri

Numune No	Potansiyel Ekolojik Risk İndisi (E_r^i)					RI	Risk Derecesi
	Co	Cr	Mn	Zn	Ni		
md-3	0.39	1.18	0.33	4.09	7.53	13.53	Düşük
md-18	0.38	1.76	0.37	3.48	7.53	13.52	Düşük
md-22	0.48	1.81	0.38	6.32	11.79	20.79	Düşük
md-27	0.53	0.30	0.51	4.76	11.91	18.01	Düşük
pç-8	0.14	0.72	0.17	1.68	1.47	4.17	Düşük
ortalama	0.38	1.15	0.35	4.07	8.04	14.00	Düşük
E_r^i derecesi	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	

3.7. Ağır metal konsantrasyonu ve tortul tane boyu ilişkisi

Akarsu, göl ve deniz tabanında depolanmış tortullar, kimyasal ve jeolojik koşullara bağlı olarak çeşitli organik ve inorganik fazlarla etkileşimde bulunan metal iyonlarının oluşturduğu kimyasal formları içermektedir (Chao, 1984). Bu çalışma kapsamında tane boyu ve ağır metal içeriği arasındaki ilişkinin anlaşılması için gerek her bir tortul numunesindeki tane boyu dağılımını gerekse de ağır metal konsantrasyonlarını gösteren grafikler ve tane boyu analiz sonuçlarını gösteren bir çizelge hazırlanmıştır (Şekil 5) (Çizelge 7). Moralli Deresi'nin kaynak alanına yakın bölgesinden alınan md-3 nolu tortul numunesinin yaklaşık olarak %60'ı kum boyu malzemeden oluşmaktadır. Akış aşağıya doğru gidildikçe drenaj alanında doğan ve Moralli Deresi'ne katılan kaynak sularının getirdiği tortullar sebebiyle md-18 nolu tortul numunesinin tane boyu dağılımının yaklaşık %50 oranında kaba-orta kum ve %20 oranında silt-kil boyu malzemeden oluştuğu tespit edilmiştir. Moralli Deresi kanalının yerleşim alanı içinden geçtiği alandan alınan md-22 nolu tortul örneğindeki tane boyu dağılımı incelendiğinde ise md-18 nolu tortul numunesine oranla tane boyu dağılımında daha çok çeşitlilik (ince çakıldan kil boyu malzemeye kadar) olduğu belirlenmiştir ve tane boyu dağılım yüzdelere bakıldığında kaba kum boyu malzemede oransal olarak hafif bir fazlalık gözlenirse de tane boyu dağılım yüzdeleri aşağı yukarı birbirine denktir. Van Gölü'ne yakın ve derenin Organize Sanayi Bölgesi'nden geçtiği alandan alınan md-27 nolu tortul numunesinde ise tane boyu dağılımının silt-kil boyunda pik yaptığı ve numunenin yaklaşık %80 civarında silt-kil boyu malzemeden oluştuğu belirlenmiştir. Son olarak, Moralli Deresi'nin Van Gölü ile birleştiği kıyı alanından alınan pç-8 kodlu tortul numunesinin tane boyu dağılımının yaklaşık %80'i kum boyu malzemeden oluştuğu görülmektedir.

Tortullar, sudaki çözünürlükleri düşük ve ince tortul tanelerine bağlanma eğilimi yüksek olan ağır metaller ve eser elementler de dahil olmak üzere birçok kirletici için adsorbsiyon işlevi görmektedir (Jain ve ark., 2008; Goher ve ark., 2019). Su ortamına giren ağır metaller, kısmen ince taneli tortullar ile birleşmektedir ve çökmenin bir sonucu olarak dip çökellerinde birikmektedir (Salomons & Stigliani, 1995). İnce taneli tortulların adsorpsiyon/desorpsiyon potansiyellerinin yüksek olması, ağır metal konsantrasyonundaki değişikliklerin izlenebilirliği açısından önem arz etmektedir (Morris ve ark., 1982). Bu bağlamda, tane boyu ve ağır metal konsantrasyonu grafikleri karşılaştırıldığında, Cr ağır metali haricindeki diğer ağır metal konsantrasyonlarının, tane boyu ile ters orantılı bir ilişkide bulunduğu gözlenmiştir. Bir başka ifade ile tane boyu küçüldükçe, ağır metal konsantrasyonunda artış gözlenmiştir. Suya dayanıklı ince parçacıklar (organik veya inorganik) tarafından kaplanarak stabilize olan tortulların <63 mikron veya <125 mikron fraksiyonları, eser element ile tortul kimyası arasındaki ilişkinin anlaşılmasına yardımcı olan en önemli tane boyu aralıklarıdır (Horowitz & Elrick, 1987).

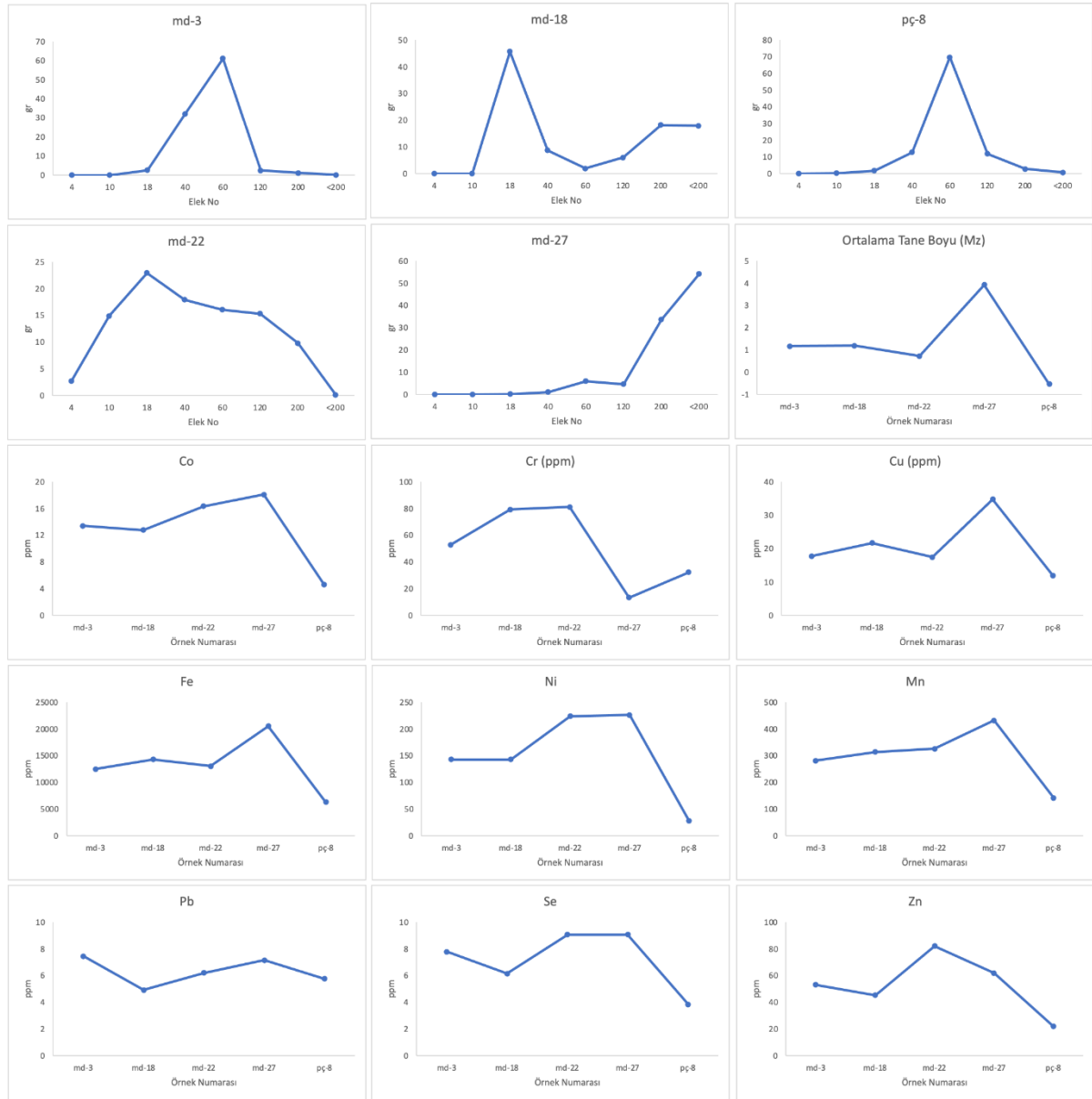
Tortullardaki ağır metal konsantrasyonunun, çözünmüş haldeki ağır metal konsantrasyonuna bölünmesi suretiyle elde edilen bölünme katsayısının (Kd) (Li ve ark., 1984), tortulda ve çözünmüş halde suda bulunan ağır metaller ile bunların depolanma alanındaki dağılımı üzerinde yapılan çalışmalarda oldukça fayda sağladığına dair literatürde birçok çalışma (Morris ve ark., 1982; Li ve ark., 1984; Dassenakis ve ark., 1997) bulunmaktadır. Takip edilebilir izlerin bölünme katsayısı (Kd), kirletici metallerin potansiyel zehir etkisi ve hareketliliği için kritik öneme sahip olup, tehlike değerlendirme çalışmaları için tortul ortamdaki metal türleşmesi hakkındaki bilgi, toplam eser element konsantrasyonlarından daha fazla dikkate alınmaktadır (Barona ve ark., 1999, Filgueiras ve ark., 2004; Pejman ve ark., 2017; Okoro ve ark., 2017; Miranda ve ark., 2021). Bu bağlamda yapılan çalışmalardan Dassenakis ve ark. (1997) 'de akarsulardaki 0.45-8.00 mikron çapındaki tortul tanelerindeki ağır metal konsantrasyonuna ait bölünme katsayılarının (Kd), akarsu kaynağından denize ulaşılan bölgeye doğru azalan bir trend verdiğini ispatlamıştır.

Bu çalışma kapsamında organize sanayi bölgesi haricinde, tortul tanelerindeki ağır metal konsantrasyonunda kaynak alanından Van Gölü'ne ulaşılan bölgeye doğru azalan bir trend gözlenmiştir. Ancak, özellikle md-27 kodlu numunedeki ağır metal konsantrasyonunda sıradışı bir artışın olması, hem ince taneli tortulların (75 mikron ve altındaki boylarda) adsorbsiyon potansiyellerinin fazla oluşuyla hem de organize sanayi bölgesinden dereye boşaltılan atıklardan kaynaklanan antropojenik kirlenmeyle ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, ince taneli tortulların depolanma ortamlarındaki dağılımı ile alüminyum ve demir konsantrasyonlarındaki değişiklikler arasında pozitif yönde doğrusal bir ilişki olduğu ve antropojenik kaynaklardan etkilenme söz konusu olduğunda ise ince taneli tortulların lokasyona bağlı dağılımı ile ağır metallerin yüksek konsantrasyonları arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı ortaya çıkarılmıştır (Huang & Lin, 2003). Tortul numunelerinden md-27 nolu örneğin ağır metal konsantrasyon

grafğinde Fe elementinin konsantrasyonunda ani bir pik olduğu gözlenmiştir. Bu ise tane boyu ve ağır metal konsantrasyonu arasında doğrusal bir ilişki sunmamakla beraber antropojenik bir kirlenmeyi işaret etmektedir.

Çizelge 7. Moralli Deresi sistemi tortullarının tane boyu analiz sonuçları

Örnek No/Elek No (U.S. Std.)	4	10	18	40	60	120	200	<200	Toplam	Mz
md-3	0	0	2.57	32.15	61.14	2.48	1.13	0.09	99.56	1.17
md-18	0	0	45.7	8.76	1.96	6.06	18.21	17.96	98.65	1.2
md-22	2.75	14.91	22.93	17.93	16.06	15.32	9.8	0.12	99.82	0.73
md-27	0	0	0.23	1.14	6.01	4.72	33.72	54.15	99.97	3.93
pç-8	0	0.31	1.71	12.82	69.65	11.93	2.78	0.8	100	-0.53



Şekil 5. Tortul numunelerine ait tane boyu dağılımı grafikleri ve ağır metal konsantrasyonu grafikleri.

4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında analizi yapılan akarsu-göl tortullarındaki ağır metal konsantrasyonları çoktan aza doğru sırasıyla Fe>Mn>Ni>Zn>Cr>Cu>Co>Se>Pb şeklindedir. Numunelerden md-27' de Co, Cu, Fe, Mn, Se ve Ni elementleri en yüksek konsantrasyonlarda bulunmakta iken, md-22 nolu numunede Cr ve Zn elementleri maksimum seviyede ve md-3 nolu numunede ise Pb elementi en yüksek konsantrasyonda bulunmaktadır. Numunelerin alındığı lokasyonlar göz önünde bulundurulduğunda md-3 ve md-18 nolu örnekleri akarsu kaynak bölgesini, md-22 ve md-27 nolu örneğin organize sanayi bölgesini, pç-8 nolu örnek ise kıyı alanını temsil etmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere kaynak alanından alınan numunedeki Pb ağır metali konsantrasyonu, diğer lokasyonlardaki Pb konsantrasyonlarına göre en yüksek seviyededir. Pb elementinin kaynak alanında daha yoğun bulunması muhtemelen ana kayaların kimyasal alterasyona uğramasıyla ilişkili olup doğal faaliyetler sonucu meydana gelen zenginleşmeyi işaret etmektedir. Organize sanayi bölgesinden alınan numunelerdeki Co, Cu, Fe, Mn, Se, Cr, Zn ve Ni ağır metallerinin konsantrasyonu diğer lokasyonlardaki numunelerin konsantrasyonlarına kıyasla en yüksek düzeyde bulunmaktadır. Dolayısıyla md-22 ve md-27 nolu tortul numunelerin içerdiği ağır metallerle ait yüksek konsantrasyonların antropojenik faaliyetlerden kaynaklandığı düşünülmüştür. Ağır metallerin en düşük konsantrasyonları Van Gölü kıyı tortullarında bulunmaktadır. Bunun muhtemel sebebi ise tortul numunesinde kil boyu tane miktarının düşük olmasından ve dolayısıyla suda eriyik halde bulunan ağır metallerin bağlanabileceği materyal miktarının çok az olmasından ve ağır metal konsantrasyonunu arttırıcı doğal kaynakların bölgede yoğun şekilde bulunmamasından kaynaklanmaktadır.

Ağır metallerin insan sağlığı ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesi için hesaplanan kirlilik faktörü değerleri Se, Zn ağır metalleri için çok yüksek düzeyde kirlenme, Ni ağır metali için orta düzeyde kirlenme ve diğer ağır metaller için düşük düzeyde kirlenme olduğunu işaret etmektedir. Ancak, kirlilik yükü indisi sonuçlarında ise ağır metal konsantrasyonlarının toksik etki edecek düzeyde olmadığı sonucunu vermiştir. Jeo-birikim indisleri akarsu tortullarında Se elementindeki birikimin ciddi boyutta olduğunu ve ekolojik risk değerlendirmesi gerektirdiğini, zenginleşme faktörü değerleri ise Ni, Se ve Zn elementlerince ortalama olarak “orta ve orta-şiddetli zenginleşme” işaret etmektedir. Potansiyel ekolojik risk indisi verilerine göre akarsu-göl tortullarında incelenen elementler için E_r^I ve RI indisleri, Moralli Deresi sistemine ait tortullardaki element düzeylerinin düşük ekolojik risk oluşturduğunu göstermiştir.

Kaynakça

- Akbulut, S. (2013). *Giresun sahillerindeki bazı derelerin denize deşarj olduğu noktalardaki su ve sedimentte ağır metal kirliliğinin belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Giresun, Türkiye.
- Ali, M. M., Ali, M. L., Islam, M. S., & Rahman, M. Z. (2016). Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 5, 27-35.
- Barona, A., Aranguiz, I., & Elias, A. (1999). Assessment of metal extraction, distribution and contamination in surface soils by a 3-step sequential extraction procedure. *Chemosphere*, 39(11), 1911-1922.
- Bentum, J. K., Anang, M., Boadu, K. O., Koranteng-Addo, E. J., & Antwi, E. O. (2011). Assessment of heavy metals pollution of sediments from Fosu lagoon in Ghana. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 25(2).
- Bettinetti, R., Giarei, C., & Provini, A. (2003). Chemical analysis and sediment toxicity bioassays to assess the contamination of the River Lambro (Northern Italy). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 45(1), 0072-0078.
- El-Bourai, M. M., El-Barbary, A. A., Yehia, M. M., & Motawea, E. A. (2010). Heavy metal concentrations in surface river water and bed sediments at Nile Delta in Egypt. *Suo*, 61(1), 1-12.
- Boszke, L., Sobczynski, T. and Kowalski, A. (2004). Distribution of mercury and other heavy metals in bottom sediments of the Middle Odra river (Germany/Poland). *Polish Journal of Environmental Studies*, 13(5), 495-502.

- Bouchez, J., Gaillardet, J., France-Lanord, C., Maurice, L., & Dutra-Maia, P. (2011). Grain size control of river suspended sediment geochemistry: Clues from Amazon River depth profiles. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 12(3).
- Brady, N. C. (1984). *The Nature and Properties of Soils*. New York, USA: Macmillan.
- Cabral Pinto, M. M. S., Ferreira da Silva, E. A. (2019). Heavy Metals of Santiago Island (Cape Verde) Alluvial Deposits: Baseline Value Maps and Human Health Risk Assessment. *International Journal of Environmental Resources and Public Health*, 16, 2.
- Casas, J. M., Rosas, H., Solé, M., & Lao, C. (2003). Heavy metals and metalloids in sediments from the Llobregat basin, Spain. *Environmental Geology*, 44(3), 325-332.
- Chabukdhara, M., & Nema, A. K. (2012). Assessment of heavy metal contamination in Hindon River sediments: a chemometric and geochemical approach. *Chemosphere*, 87(8), 945-953.
- Chao, T. T. (1984). Use of partial dissolution techniques in geochemical exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 20(2), 101-135.
- 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. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152(1), 309-317.
- Dassenakis, M., Scoullou, M., & Gaitis, A. (1997). Trace metals transport and behaviour in the Mediterranean estuary of Acheloos River. *Marine Pollution Bulletin*, 34(2), 103-111.
- 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.
- Ferreira, C. S., Walsh, R. P., & Ferreira, A. J. (2018). Degradation in urban areas. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 19-25.
- Filgueiras, A. V., Lavilla, I., & Bendicho, C. (2004). Evaluation of distribution, mobility and binding behaviour of heavy metals in surficial sediments of Louro River (Galicia, Spain) using chemometric analysis: a case study. *Science of the Total Environment*, 330(1-3), 115-129.
- Ghrefat, H. A., Abu-Rukah, Y., & Rosen, M. A. (2011). Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Kafra Dam, Jordan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1), 95-109.
- Goher, M. E., Ali, M. H., & El-Sayed, S. M. (2019). Heavy metals contents in Nasser Lake and the Nile River, Egypt: An overview. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 45, 301-312.
- Goher, M. E., Mangood, A. H., Mousa, I. E., Salem, S. G., & Hussein, M. M. (2021). Ecological risk assessment of heavy metal pollution in sediments of Nile River, Egypt. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(11), 1-16.
- Gonzalez, A. E., Rodriguez, M. T., Sanchez, J. C. J., Espinosa, A. J. F., De la Rosa, F. J. B. (2000). Assessment of metals in sediments in a tributary of Guadalquivir river (Spain), heavy metal partitioning and relation between the water and the sediment system. *Water, Air Soil Pollution*, 121, 11-29.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Resources*, 14, 975-1001.
- Han, D., Cheng, J., Hu, X., Jiang, Z., Mo, L., Xu, H., & Wang, H. (2017). Spatial distribution, risk assessment and source identification of heavy metals in sediments of the Yangtze River Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin*, 115(1-2), 141-148.
- Horowitz, A. J., & Elrick, K. A. (1987). The relation of stream sediment surface area, grain size and composition to trace element chemistry. *Applied Geochemistry*, 2(4), 437-451.
- Huang, K. M., & Lin, S. (2003). Consequences and implication of heavy metal spatial variations in sediments of the Keelung River drainage basin, Taiwan. *Chemosphere*, 53(9), 1113-1121.
- Jain, C. K., Gupta, H., & Chakrapani, G. J. (2008). Enrichment and fractionation of heavy metals in bed sediments of River Narmada, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 141, 35-47.
- Kaushik, A., Kansal, A., Kumari, S., & Kaushik, C. P. (2009). Heavy metal contamination of river Yamuna, Haryana, India: assessment by metal enrichment factor of the sediments. *Journal of Hazardous Materials*, 164(1), 265-270.
- Kördel, W., Dassenakis, M., Lintemann, J., & Padberg, S. (1997). The importance of natural organic material for environmental processes in waters and soils (Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 69(7), 1571-1600.

- Krishna, A. K., & Mohan, K. R. (2016). Distribution, correlation, ecological and health risk assessment of heavy metal contamination in surface soils around an industrial area, Hyderabad, India. *Environmental Earth Sciences*, 75(5), 411.
- Laidlaw, M. A. S., & Taylor, M. P. (2011). Potential for childhood lead poisoning in the inner cities of Australia due to exposure to lead in soil dust. *Environmental Pollution*, 159(1), 1–9.
- Li, Y. H., Burkhardt, L., O'Hara, P., & Santschi, P. H. (1984). Partition of radiotracers between suspended particles and seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 2011-2019.
- Li, F., Huang, J., Zeng, G., Yuan, X., Li, X., Liang, J., Wang, X., Tang, X., & Bai, B. (2013). Spatial risk assessment and sources identification of heavy metals in surface sediments from the Dongting Lake, Middle China. *Journal of Geochemical Exploration*, 132, 75-83.
- Maanan, M., Saddik, M., Maanan, M., Chaibi, M., Assobhei, O., & Zourarah, B. (2015). Environmental and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Nador lagoon, Morocco. *Ecological Indicators*, 48, 616-626.
- Malvandi, H. (2017). Preliminary evaluation of heavy metal contamination in the Zarrin-Gol River sediments, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 117(1-2), 547-553.
- Miranda, L. S., Wijesiri, B., Ayoko, G. A., Egodawatta, P., & Goonetilleke, A. (2021). Water-sediment interactions and mobility of heavy metals in aquatic environments. *Water Research*, 202, 117-386.
- Morris, A. W., Bale, A. J., & Howland, R. J. M. (1982). Chemical variability in the Tamar Estuary, south-west England. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 14(6), 649-661.
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2, 108-118.
- Okoro, H. K., Ige, J. O., Iyiola, O. A., & Ngila, J. C. (2017). Fractionation profile, mobility patterns and correlations of heavy metals in estuary sediments from olonkoro river, in tede catchment of western region, Nigeria. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 8, 53-62.
- Özkan, Ö. (2016). *Ankara çayı dere yatağı çökellerinin jeokimyasal, izotopik özellikleri ve ağır metal içeriği*. (Yüksek Lisans Tezi), Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, Türkiye.
- Pejman, A., Bidhendi, G. N., Ardestani, M., Saeedi, M., & Baghvand, A. (2017). Fractionation of heavy metals in sediments and assessment of their availability risk: A case study in the northwestern of Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 114(2), 881-887.
- Rabee, A. M., Al-Fatlawy, Y. F., & Nameer, M. (2011). Using Pollution Load Index (PLI) and geoaccumulation index (I-Geo) for the assessment of heavy metals pollution in Tigris river sediment in Baghdad Region. Al-Nahrain. *Journal of Science*, 14(4), 108-114.
- Sakan, S. M., Đorđević, D. S., Manojlović, D. D., & Predrag, P. S. (2009). Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments. *Journal of Environmental Management*, 90(11), 3382-3390.
- Salah, E. A. M., Zaidan, T. A., & Al-Rawi, A. S. (2012). Assessment of heavy metals pollution in the sediments of Euphrates River, Iraq. *Journal of Water Resource and Protection*, 4(12), 1009.
- Saloman, W. N., Rooij, H., & Bril, J. (1987). Sediments as a source for contaminants. *Hydrobiologia*, 149, 13-30.
- Salomons, W., & Stigliani, W. M. (Eds.) (1995). *Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments: Risk Assessment of Delayed and Non-Linear Responses*. Berlin, Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.
- Singh, K. P., Malik, A., Sinha, S., Singh, V. K., & Murthy, R. C. (2005). Estimation of source of heavy metal contamination in sediments of Gomti River (India) using principal component analysis. *Water, Air, and Soil Pollution*, 166(1), 321-341.
- Soares, H. M. V. M., Boaventura, R. A. R., Machado, A. A. S. C., & Da Silva, J. E. (1999). Sediments as monitors of heavy metal contamination in the Ave river basin (Portugal): multivariate analysis of data. *Environmental Pollution*, 105(3), 311-323.
- Sodango, T. H., Li, X., Sha, J., Shang, J., & Bao, Z. (2021). Sources, Spatial Distribution and Extent of Heavy Metals in Relation to Land Use, Lithology and Landform in Fuzhou City, China. *Minerals*, 11(12), 1325.
- Soliman, N. F., Nasr, S. M., & Okbah, M. A. (2015). Potential ecological risk of heavy metals in sediments from the Mediterranean coast, Egypt. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13(1), 1-12.

- Sümengen, M. (2008). 1/100000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Van K50 Paftası. MTA Arşivi No:65, 18 s (yayımlanmamış).
- Şen, G. (2015). *Moralli Deresinin (Tuşba, Van) ve çevresinin sedimantolojik, mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.
- Şenel, M., Acarlar, M., Çakmakoglu, A., Dağar, Z., Erkanol, O., Örence, S., Taşkıran, M. A., Ulu, Ü., Ünal, M. F., & Yıldırım, H. (1984). Özalp (Van)-İran sınırı arasındaki alanın jeolojisi: MTA Rapor No: 7623, 18 s (yayımlanmamış).
- Tam, N. F. Y., & Wong, Y. S. (2000). Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps. *Environmental Pollution*, 110(2), 195-205.
- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R., & Jeffney, D.W. (1980). Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgolander Meeresunters*, 33, 566-572.
- Turekian, K. K., & Wedepohl, K. H. (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72(2), 175-192.
- White, K. D., & Tittlebaum, M. E. (1985). Metal distribution and contamination in sediments. *Journal of Environmental Engineering*, 111(2), 161-175.
- Woitke, P., Wellnitz, J., Helm, D., Kube, P., Lepom, P., & Litheraty, P. (2003). Analysis and assessment of heavy metal pollution in suspended solids and sediments of the river Danube. *Chemosphere*, 51(8), 633-642.
- Varol, M. (2011). Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. *Journal of Hazardous Materials*, 195, 355-364.
- Vinha G. Silva M. M., Cabral Pinto M., Dinis P. A., Mandavela L. (2019). Geochemistry of Urban Soil in the Fast-Growing Kuito City (Angola). In D. Doronzo, E. Schingaro, J. Armstrong-Altrin, B. Zoheir (eds), *Petrogenesis and Exploration of the Earth's Interior*. Switzerland: Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01575-6_32
- Vu, C. T., Lin, C., Shern, C. C., Yeh, G., & Tran, H. T. (2017). Contamination, ecological risk and source apportionment of heavy metals in sediments and water of a contaminated river in Taiwan. *Ecological Indicators*, 82, 32-42.
- Yıldız, N., & Yener, G. (2010). Van Gölü'nde sediment birikim hızı, radyoaktif ve ağır metal kirliliğinin tarihlenmesi. *Ekoloji*, 19(77), 80-87.
- 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. *Journal of Geochemical Exploration*, 146, 136-148.
- Yuan, G. L., Sun, T. H., Han, P., Li, J., & Lang, X. X. (2014). Source identification and ecological risk assessment of heavy metals in topsoil using environmental geochemical mapping: typical urban renewal area in Beijing, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 136, 40-47.
- Zhang, W., Feng, H., Chang, J., Qu, J., Xie, H., & Yu, L. (2009). Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: an assessment from different indexes. *Environmental Pollution*, 157(5), 1533-1543.
- Zhang, J., & Gao, X. (2015). Heavy metals in surface sediments of the intertidal Laizhou Bay, Bohai Sea, China: distributions, sources and contamination assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 98(1-2), 320-327.
- Zhao, C., Li, K., Peng, M., Qin, A., & Cheng, X. (2014). Overview of trace metals in the urban soil of 31 metropolises in China. *Journal of Geochemical Exploration*, 139, 31-52.