

## Ulutaş Köyü (Erzurum) Bölgesindeki Topraklarda Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması

Güllü KIRAT<sup>1\*</sup> , Serpil SAVCI<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Yozgat

<sup>2</sup>Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Yozgat

\*Sorumlu Yazar: [gullu.kirat@yobu.edu.tr](mailto:gullu.kirat@yobu.edu.tr)

**Geliş Tarihi: 02.07.2022 Düzeltme Geliş Tarihi: 21.09.2022 Kabul Tarihi: 21.09.2022**

### Öz

Erzurum ili İspir ilçesi Ulutaş köyünde yapılan bu çalışmada, tabanda yer alan metamorfik birimin üzerinde volkanik ve sedimanter kayalar diskordanslı bir şekilde yer almıştır. İspir ilçesinin 20 km kuzeyinde yer alan Ulutaş köyü ve yakın çevresinde Cu - Zn cevherleşmesinin çevre topraklardaki metal birikimlerini, çevre kirliliğini ve bu metallerin neden olduğu kirlilik kaynaklarını araştırmak amacıyla 20 adet toprak örneği alınmıştır. Bu kapsamda alınan toprak örneklerindeki Cu (bakır), Mn (mangan), Ni (Nikel), Pb (kurşun), Sb (antimuan) ve Zn (çinko) metallerin jeokimyasal analizleri ICP-MS cihazı ile yapılarak elde edilen element değerlerinin birbirleri ile ilişkisi istatistiksel yöntemle incelenmiştir. Çalışma alanındaki topraklarda Cu metallerinin ortalama değerlerinin, ultrabazik kayaların ve siyenitlerin ortalama değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür. Mn - Ni, Ni - Zn ve Ni - Mn metalleri arasında yüksek pozitif bir korelasyon gözlenirken, Cu ile Mn, Ni, Pb, Sb ve Zn metalleri arasında zayıf bir korelasyon gözlenmiştir. Çalışma alanından alınan topraklardaki metal kirlilik değerlerini bulmak için, Zenginleştirme Faktörü (EF); Jeobirikim İndeksi (Igeo); Kontaminasyon Faktörü (CF); Kirlilik Yükü İndeksleri (PLI) hesaplanmıştır. Toprak örneklerinde metal kirliliğinin belirlenmesinde temel değer olarak ise, şeyl ortalama değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, Zenginleştirme Faktörü hesaplanırken değerleri normalleştirmek için Fe kullanılmıştır. Cu elementinin zenginleşme değerlerinin 0.3 – 4.0 arasında olduğu ve 2 ile 9 nolu lokasyonlarda orta, diğer lokasyonlarda daha az zenginleşme olduğu gözlenirken, incelenen diğer metallerde EF değerleri oldukça düşük olduğundan zenginleşme olmadığı gözlenmiştir. Igeo değerlerinin 0.06– 0.08; CF değerlerinin 0.3 – 1.1 arasında değiştiği görülmüştür. PLI değeri ortalama 0.5 olarak hesaplanmıştır. Tüm lokasyonlardaki PLI değerleri <1 olduğundan çalışma alanında bu metaller açısından herhangi bir kirliliğin olmadığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Toprak, kirlilik, korelasyon

## Investigation of Heavy Metal Pollution in Soils in Ulutaş Village (Erzurum) Region

### ABSTRACT

In this study, which was carried out in the Ulutaş village of İspir county in Erzurum, volcanic and sedimentary rocks were discordantly located on the metamorphic unit at the base. 20 soil samples were taken in order to investigate the metal accumulations of Cu - Zn mineralization in the surrounding soils, environmental pollution and the pollution sources caused by these metals in Ulutaş village and its close vicinity, located 20 km north of İspir district. In this context, geochemical analyzes of Cu, Mn, Ni, Pb, Sb and Zn metals in the soil samples taken were made with the ICP-MS device, and the relationship of the element values obtained with each other was investigated by statistical method. It was observed that the average value of Cu metals in the soils in the study area was higher than the average values of ultrabasic rocks and syenites. While a high positive correlation was observed between Mn - Ni, Ni - Zn and Ni - Mn metals, a weak correlation was observed between Cu and Mn, Ni, Pb, Sb and Zn metals. Enrichment Factor (EF) to find the metal pollution

values in the soils taken from the study area; Geoaccumulation Index (Igeo); Contamination Factor (CF); Pollution Load Indexes (PLI) were calculated. Shale average values were used as the baseline value for the determination of metal pollution in soil samples. In this study, Fe was used to normalize the values while calculating the Enrichment Factor. While it was observed that the enrichment values of Cu element were between 0.3 – 4.0 and there was moderate enrichment at locations 2 and 9, less enrichment was observed in other locations, it was observed that there was no enrichment in the other metals examined since the EF values were quite low. Igeo values were 0.06– 0.08; It was observed that the CF values varied between 0.3 and 1.1. The PLI value was calculated as an average of 0.5. Since the PLI values at all locations were <1, no pollution was found in the study area in terms of these metals.

**Key words:** Soil, pollution, correlation.

## GİRİŞ

İnsan faaliyetleri ile oluşan çeşitli bileşiklerin toprakta yaşayan veya yetişen canlılara zarar verecek miktarda olması, toprağa ilave edilen kimyasalların toprağın özümleme kapasitesinden fazla olması ve toprak veriminin düşmesi toprak kirliliği olarak tanımlanmaktadır (Özbek, 2010; Seven ve ark., 2018). Ağır metaller toprak kirliliğine sebep olan önemli kirleticiler arasındadır. Toprağa karışan ve biriken bu ağır metaller, biyolojik çeşitliliğe, toprak verimine, ürün kaybına ve besin zinciri yolu ile zehirlenmelere kadar birçok insan ve çevre problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Seven ve ark., 2018, Özay ve Mammadov, 2013).

Topraklardaki ağır metallerin kaynağı, jeojenik veya antropojenik kökenli olabilmektedir. Jeojenik (doğal) kökenli kirlilik, toprağı meydana getiren ana malzemedeki kaynaklanmaktadır. Pestisid ve gübrelerin aşırı kullanımı, madencilik faaliyetleri, fosil yakıtlar, hızlı nüfus artışı, atmosferik birikim, kontrolsüz atık su deşarjı, endüstriyel faaliyetler ve trafik yoğunluğu topraklardaki antropojenik kirliliğin ana kaynağıdır (Cai ve ark., 2009; Chary ve ark., 2008; Gil ve ark., 2004, Li ve ark., 2009; Nicholson ve ark., 2003; Romić ve Romić, 2003; Zhang, 2006; Zhao, 2008; Özkul, 2019).

Çevre kirliliğini oluşturan en önemli ağır metal kirliliği suda, havada ve toprakta oluşmaktadır (Szykowska ve ark., 2009). Ağır metallerin fiziksel olarak yoğunluğu 5 g/cm<sup>3</sup>'ten daha yüksektir. Ayrıca potansiyel toksisite ve kontaminasyon ile ilişkili metaller veya yarı-metaller olarak da tanımlanmaktadır (Kahvecioğlu ve ark., 2009; Duffus, 2002; Özkul ve ark., 2018).

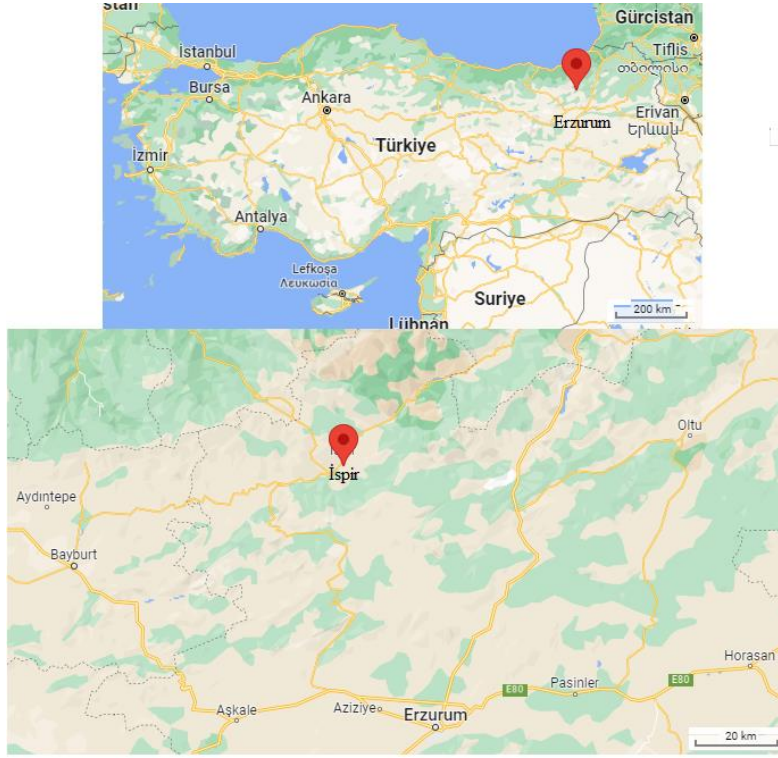
Metal kirliliği toprakta meydana gelen faaliyetleri engeller, toprak ekosistemini olumsuz etkiler ve bu olumsuzluk tüm ekosisteme hızlı bir şekilde yayılabilir. Metaller, toprakta kompleks yapıları oluşturarak, toksisitenin canlılar üzerindeki etkisini artırır ve topraktaki mikroorganizma aktivitesini olumsuz etkileyerek toprak faunasında bozulmalara neden olurlar. Toprakta nitrifikasyon, organik maddenin mineralizasyonu, toprak solunumu ve enzim aktivitesi olumsuz yönde etkilenir. Arsenik, kurşun çinko, civa, krom, nikel ve kadmiyum toprakta en fazla bulunan ağır metallerdir (Wuana ve Okieimen, 2011). Farklı yollarla toprağa ulaşan metaller, toprakta birikir ve metal kirliliğine neden olur. Toprakta bulunan kil, organik madde, demir ve alüminyum oksitler topraktaki metal birikimini indirgerler. Ayrıca topraktaki organik karbon, kil çeşitleri, toprak sıcaklığı, toprağın su içeriği, karbonat ve bikarbonatlar toprakta metallerin hareketine etki eder. Yüksek katyon kapasitesine sahip killi topraklar, ağır metalleri adsorbe ederler. Organik maddece zengin topraklar, yüksek katyon değişim kapasitesine sahip olduklarından yüksek miktarda metal birikimine sahip olurlar (Romić ve Romić, 2003). Metaller, kil ve organik maddeye güçlü bir şekilde bağlandığından dolayı toprakta metal birikimi çoğunlukla toprağın üst zonlarında daha yoğun bir şekilde bulunurlar (Yerli ve ark., 2020; Wuana ve Okieimen 2011; Kızıoğlu ve ark., 2008). Toprağın özellikleri değişir ise verimsizleşir. Bu durum bitkilere yansiyarak, bitki verimini ve kalitesini de azaltır (Yerli ve ark., 2020).

Bu çalışmanın amacı, Erzurum ili İspir ilçesi, Ulutaş köyünün doğusunda bulunan Cu-Zn cevherleşmeleri ve çevresinde yer alan topraklarda ağır metal kirliliğini belirlemektir. Bu kapsamda, topraklar için elde edilen analiz sonuçlarına zenginleşme faktörü, jeobirikim indeksi, kontaminasyon faktörü ve kirlilik yük indeksi parametreleri uygulanarak metal kirlilik düzeyleri ve çevre kirliliği değerlendirilmiştir.

## JEOLOJİ

Çalışmaya konu olan Ulutaş köyü Erzurum iline 81 km, İspir ilçesine 13 km uzaklıkta yer almaktadır (Şekil 1). Ulutaş köyü ve yakın çevresini kapsayan inceleme alanında, temelde Permo-Karbonifer öncesi metamorfik birimlerin ve bunları kesen intrüzif kayaçların (Üst Kretase) üzerinde volkanik - sedimanter kayaçlar (Eosen) yer almaktadır ve bu birimlerin üzerine alüvyonlar (Kuvaterner) gelmektedir (Çağlan ve ark., 2018). Volkanik-sedimanter kayaçlar alt (Eosen öncesi) ve üst (Eosen ve daha genç) serisi olarak ikiye ayrılmıştır. Granodiyoritler ve kuvars monzonitler ise bu seriyi kesmiştir. Kalkopirit ve molibdenit cevherleşmesi kuzey - doğu uzanımlı bir yapının orta kesimlerinde yüzeylenmektedir. Galen ve sfalerit cevherleşmesi ise bu yapının kenarında dar bir

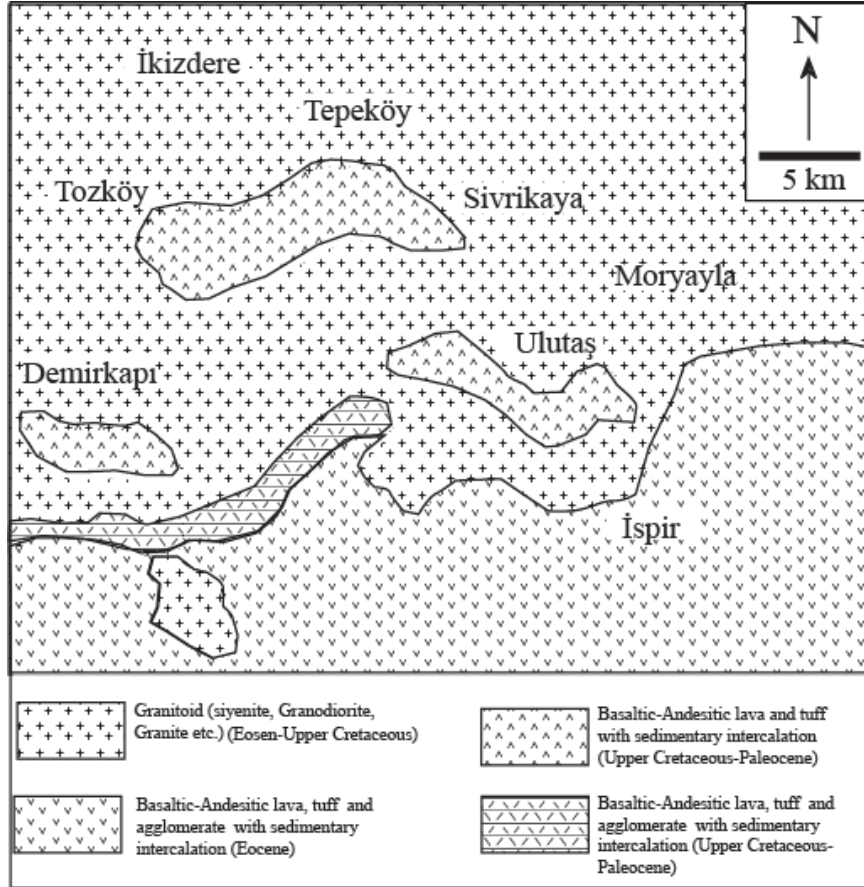
alanda yer almaktadır. Skarn tipi cevherleşmeler çalışma alanının batı kesiminde olup cevherleşme ve alterasyon jenetik olarak kuvars – monzonit ile ilişkilidir. Jeolojik, jeofizik ve sondajlardan elde edilen verilere göre, çalışma alanında porfiri tip bakır - molibden cevherleşmesi yer almaktadır (Şekil 2).



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası

## MATERYAL METOD

Ulutaş köyü ve çevresindeki topraklardan 20 adet toprak örneği alınmıştır (Şekil 1). Toprak örnekleri 15 - 20 cm derinlikten plastik kürek kullanılarak yaklaşık 400 - 500 gram alınmıştır ve laboratuvara getirilinceye kadar polietilen torbalara konulmuştur. Toplanan toprak örnekleri laboratuvar ortamında oda sıcaklığında bir hafta boyunca kurutulmaya bırakılmıştır. Daha sonra tahta havan yardımıyla örneklerin içerisindeki topraklar ezilmiştir. Son olarak örneklerin kimyasal analizi için 80 mesh'lik elekten geçirilmiştir. İnce taneli partiküller (kil taneleri) eksi yüklü geniş yüzeyler tarafından çekilerek adsorbe edilmesi ile (Gibbs, 1977; Pepper ve ark., 1996) 80 mesh altı toprak örnekleri analiz için seçilmiştir. Yaklaşık 0.1 g toprak örneği, Mikrodalga fırında (Milestone D5, ABD) 5 mL suprapure HNO<sub>3</sub>-3 mL HF ile Teflon kaplarda sindirildi. Soğutulduktan sonra berrak süpernatant polipropilen tüplere aktarıldı ve deiyonize su ile 50 mL'ye seyreltilerek analize hazırlandı. Analize hazırlanan toprak örneklerindeki Cu, Mn, Ni, Pb, Sb ve Zn elementlerin jeokimyasal analizleri ICP-MS yöntemi ile Yozgat Bozok Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (BILTEM, Yozgat, Türkiye) yaptırılmıştır. ICP-MS (İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi) yöntemi, analiz edilecek örneklerin yüksek sıcaklıkta bulunan bir plazmaya argon gönderilerek moleküler bağlar kırılır ve atomların iyonlaştığı analitik bir tekniktir. Analiz edilecek örnek solüsyon haline getirilerek solüsyon giriş sistemi ile nebulizöre ve spreycamına iletilir. Burada yüksek ve hızlı argon akışı ile hazırlanan solüsyon sisleştirilir. Sadece çok küçük damlacıklar halinde argon plazmasına gider, diğerleri ise doğrudan atığa taşınır. 6000 °K sıcaklığındaki plazma, solüsyonu buharlaştırılarak iyonize eder. İyonların akışı atmosferik basınç ile örnekleyici ve süzücü konularla yüksek vakumlu ortama gider. Sonra iyonların akımı iyon lensleri ile quadrapul'a odaklanarak kütle filtresine yönlendirilir. İyonlar kütle spektrometresinde kütle yük oranlarına göre ayrılarak dedektörler tarafından ölçülür. ICP-MS cihazı, uygun ve hızlı kütle aracılığıyla çözeltilerde eser element analizine uygundur. Düşük limit değeri, basit bir spektra ve izotop oranlarına uygunluğu ICP-MS cihazını cazip hale getirmektedir. Birçok element için limit değeri ng/L'nin altındadır. Çoklu element analizinin yapılmasında ve periyodik çizelgedeki elementlerin büyük bir kısmının nicel ve yarı nitel analizlerinde kullanılmaktadır (Seven ve ark., 2018; Önder, 2012).



Şekil 2. Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası (Kirat ve Aydın, 2018)

## TOPRAK KİRLİLİĞİ

### Zenginleşme Faktörü (EF)

EF, Zenginleşme faktörü, topraktaki jeojenik (doğal) veya antropojenik metal kirliliğinin kaynağını belirlemek için kullanılan bir göstergedir (Buat-Menard ve Chesselet., 1979) EF, analiz edilen bir elementi, aynı elementin referans değerine göre, normalize edilmesi ile hesaplanır. Referans element, toprak örneğindeki element konsantrasyonunu değiştirmeden ve düşük kimyasal reaksiyonlara sahip olması gerekir (Barbieri, 2016). Bu çalışmada, referans element olarak Mason (Mason, 1966) tarafından önerilen Fe elementi değerleri kullanılmıştır. EF değeri formül olarak (Özkul, 2019; Mason, 1966):

$$EF = (C_n / C_{ref})_{örnek} / (B_n / B_{ref})_{referans}$$

$C_n$ : Analizi yapılan örneğin değeri,

$C_{ref}$ : Referans elementin değeri,

$B_n$ : Yerkabuğundaki ortalama değer

$B_{ref}$ : Yerkabuğundaki ortalama değer

EF sınıflaması 5 ayrı gruba ayrılmıştır (Sutherland, 2000):

Değerler	Kirlilik Derecesi
$EF < 2$	Düşük Zenginleşme
$2 \leq EF \leq 5$	Orta zenginleşme
$5 \leq EF \leq 20$	Yüksek zenginleşme
$20 \leq EF \leq 40$	Çok yüksek zenginleşme
$EF > 40$	Aşırı Yüksek zenginleşme

**Jeobirikim İndeksi ( Igeo)**

Igeo, Jeobirikim indeksi, temel değer üzerindeki element zenginleşmesini belirlemek için kullanılır (Fahad Ahmad, 2016). Igeo indeksi başlangıçta dip çökel kirliliği için önerilmiştir (Müller, 1969). Ancak daha sonra bu indeks, toprak kirliliğinin değerlendirilmesinde de yaygın bir şekilde kullanılmıştır (Sengupta ve ark., 2010; Chung ve Chon, 2014; Loska ve ark., 2003; Miko ve ark., 2000). Jeobirikim indeksi formül olarak (Özkul, 2019):

$$Igeo = \log_2 (C_n \cdot 1.5 \times B_n)$$

$C_n$ : Analizi yapılmış metal değeri

$B_n$ : Ortalama Şeyl Değeri

1.5: Sabit değer

Analiz edilen bir elementte küçük de olsa antropojenik kirliliği tespit etmek için kullanılan bir indekstir. (Barbieri, 2016; Müller, 1969).

Igeo değeri Müller (Müller, 1969; Müller, 1981) tarafından 7 ayrı kirlilik sınıfına ayrılmıştır: (Özkul, 2019).

**Kontaminasyon Faktörü (CF)**

CF, Kontaminasyon Faktörü, incelenen toprakörneğindeki metal kontaminasyon seviyesini tespit etmek için kullanılır. CF değeri, toprak örneğindeki metal değerinin yerkabuğu ortalama değerine (Mason, 1966) oranı ile elde edilir. CF değeri formül olarak (Özkul, 2019):

$$CF = C_{metal} / C_o$$

$C_{metal}$ : Topraktaki metal değeri

$C_o$ : Yerkabuğundaki ortalama değer. Kirlilik faktörü (CF) sınıflaması 4 ayrı sınıfa ayrılmıştır (Özkul, 2019; Hakanson, 1980):

CF Değeri	Kirlilik Derecesi
CF<1	Az kirlilik
1<CF<3	Orta derecede kirlilik
3<CF<6	Önemli derecede kirlilik
CF>6	Aşırı derecede kirlilik

**Kirlilik Yük İndeksi (PLI)**

PLI, Kirlilik Yük İndeksi, her bir lokasyondaki toprak örneğinin, metal kirlilik miktarlarının değerlendirilmesi için Tomlinson ve ark. (Tomlinson, 1980) tarafından oluşturulmuş bir indekstir. Bu indeks formül olarak (Özkul, 2019)

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n}$$

$CF$ : Kirlilik faktörleri,

$n$ : Metal sayısı

PLI değeri > 1 ise kirlilik olduğu, PLI değeri < 1 ise kirlilik olmadığını göstermektedir (Özkul, 2019; Chakravarty, 2009).

**SONUÇLAR VE TARTIŞMA**

Magmatik kayalarda ortalama Cu içerikleri, ultrabaziklerde 10 ppm, bazaltiklerde 87 ppm, granitik kayalarda 10 - 30 ppm ve siyenitlerde 5 ppm'dir. Sedimanter kayalarda ortalama olarak şeyllerde 45 ppm, yerkabuğunda 55 ppm'dir (Turekian ve Wedepohl, 1961; Krauskopf, 1985; Pehlivan, 2017).

İnceleme alanından alınan toprak örneklerine ait Cu elementi jeokimyasal analiz sonuçlarına göre, en düşük ve en yüksek değerleri 14.1 - 49.4 ppm arasında değişmekte ve ortalama değeri 21.5 ppm'dir (Çizelge 1). Bu elementin en yüksek değeri 14 nolu lokasyonda ve en düşük değeri 9 nolu lokasyonda görülmektedir. Cu elementine ait ortalama değer ultrabazik kayaların ve siyenitlerin ortalama değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür.

Cu ile Mn, Ni, Pb, Sb ve Zn arasındaki Spearman korelasyon Çizelgesinde düşük düzeyde korelasyon oluşturduğu görülmektedir (Çizelge 2, Şekil 3). Cu elementinin zenginleşme değerlerinin 0.3 – 4.0; Igeo değerlerinin 0.06–0.08; CF değerlerinin 0.3 – 1.1 arasında ve PLI değeri 0.5 olarak hesaplanmıştır. 2 ve 9 nolu lokasyonlarda orta, diğer lokasyonlarda az zenginleşme gözlenmiştir (Çizelge 3). Igeo, CF ve PLI değerlerinin < 1 olması kirliliğin az veya olmadığını göstermektedir (Çizelge 4-6).

**Çizelge 1.** Toprak örneklerindeki elementlerin istatistiksel değerler

	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Sb</b>	<b>Zn</b>
<b>Ortalama</b>	21.5	0.4	0.01	0.03	0.001	0.03
<b>Medyan</b>	19.3	0.18	0.01	0.03	0.0008	0.03
<b>Std. Sapma</b>	8.05	0.46	0.01	0.02	0	0.02
<b>Minimum</b>	14.1	0.03	0	0.02	0	0.01
<b>Maksimum</b>	49.4	1.67	0.04	0.09	0	0.08

**Çizelge 2.** Toprak örneklerindeki elementlerin Sperman korelasyon değerleri

	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Sb</b>	<b>Zn</b>
<b>Cu</b>	1					
<b>Mn</b>	0.128	1				
<b>Ni</b>	0.081	.846(**)	1			
<b>Pb</b>	-0.047	0.226	0.014	1		
<b>Sb</b>	0.38	0.226	-0.143	.512(*)	1	
<b>Zn</b>	0.069	.928(**)	.955(**)	0.108	0.004	1

**Çizelge 3.** Toprak örneklerine ait Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri

<b>EF</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Sb</b>	<b>Zn</b>
1	0.4	0.000	0.000	0.001	0.001	0
2	4	0.005	0.001	0.011	0.007	0.004
3	0.9	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
4	1.1	0.003	0.000	0.003	0.001	0.001
5	0.6	0.000	0.000	0.006	0.0010	0.0000
6	0.3	0.001	0.000	0.001	0.0000	0.0000
7	1.5	0.002	0.000	0.005	0.0030	0.0020
8	0.3	0.000	0.000	0.001	0.0010	0.0000
9	2.5	0.008	0.001	0.015	0.0090	0.0040
10	1.6	0.000	0.000	0.007	0.0030	0.0000
11	1.3	0.001	0.000	0.007	0.0020	0.0010
12	1.5	0.000	0.000	0.003	0.0020	0.0000
13	1.2	0.000	0.000	0.003	0.0030	0.0010
14	0.8	0.000	0.000	0.001	0.0010	0.0000
15	0.3	0.000	0.000	0.001	0.0000	0.0000
16	0.4	0.000	0.000	0.001	0.0000	0.0000
17	0.7	0.000	0.000	0.002	0.0010	0.0010
18	0.9	0.000	0.001	0.003	0.0010	0.0010
19	0.6	0.000	0.000	0.002	0.0010	0.0000
20	0.3	0.000	0.000	0.001	0.0000	0.0000

**Çizelge 4.** Toprak örneklerine ait Jeobirikim İndeksi (Igeo) değerleri

Igeo	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
1	0.07	-0.001	-0.06	-0.17	-4.13	-0.03
2	0.07	-0.001	-0.06	-0.17	-4.26	-0.03
3	0.07	0	-0.05	-0.18	-4.57	-0.03
4	0.07	0.001	-0.05	-0.17	-4.57	-0.03
5	0.06	-0.004	-0.08	-0.12	-4.26	-0.05
6	0.06	0	-0.05	-0.17	-4.57	-0.03
7	0.06	-0.001	-0.06	-0.16	-4.37	-0.03
8	0.06	-0.001	-0.07	-0.17	-4.5	-0.03
9	0.06	0	-0.06	-0.15	-4.13	-0.03
10	0.06	-0.003	-0.09	-0.17	-4.57	-0.05
11	0.06	-0.002	-0.07	-0.15	-4.57	-0.04
12	0.07	-0.003	-0.08	-0.18	-4.5	-0.05
13	0.07	-0.002	-0.07	-0.18	-3.98	-0.04
14	0.08	-0.003	-0.08	-0.18	-4.37	-0.04
15	0.06	-0.003	-0.07	-0.19	-4.87	-0.04
16	0.06	-0.003	-0.08	-0.19	-4.76	-0.04
17	0.06	-0.002	-0.06	-0.19	-5.02	-0.03
18	0.06	-0.002	-0.06	-0.19	-5.02	-0.03
19	0.07	-0.002	-0.06	-0.17	-4.66	-0.03
20	0.06	-0.002	-0.06	-0.17	-4.76	-0.04

**Çizelge 5.** Toprak örneklerine ait kontaminasyon faktörü (CF) değerleri

CF	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
1	0.5	0.0010	0.0000	0.0020	0.0010	0.0000
2	0.5	0.0010	0.0000	0.0010	0.0010	0.0010
3	0.6	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
4	0.7	0.0020	0.0000	0.0020	0.0010	0.0010
5	0.4	0.0000	0.0000	0.0040	0.0010	0.0000
6	0.4	0.0020	0.0000	0.0010	0.0010	0.0010
7	0.5	0.0010	0.0000	0.0020	0.0010	0.0000
8	0.4	0.0000	0.0000	0.0020	0.0010	0.0000
9	0.3	0.0010	0.0000	0.0020	0.0010	0.0000
10	0.3	0.0000	0.0000	0.0020	0.0010	0.0000
11	0.4	0.0000	0.0000	0.0020	0.0010	0.0000
12	0.5	0.0000	0.0000	0.0010	0.0010	0.0000
13	0.5	0.0000	0.0000	0.0010	0.0010	0.0000
14	1.1	0.0000	0.0000	0.0010	0.0010	0.0000
15	0.4	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000
16	0.4	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000
17	0.3	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000
18	0.3	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000
19	0.5	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0000
20	0.4	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000

**Çizelge 6.** Toprak örneklerine ait kirlilik yük indeksi (PLI) değerleri

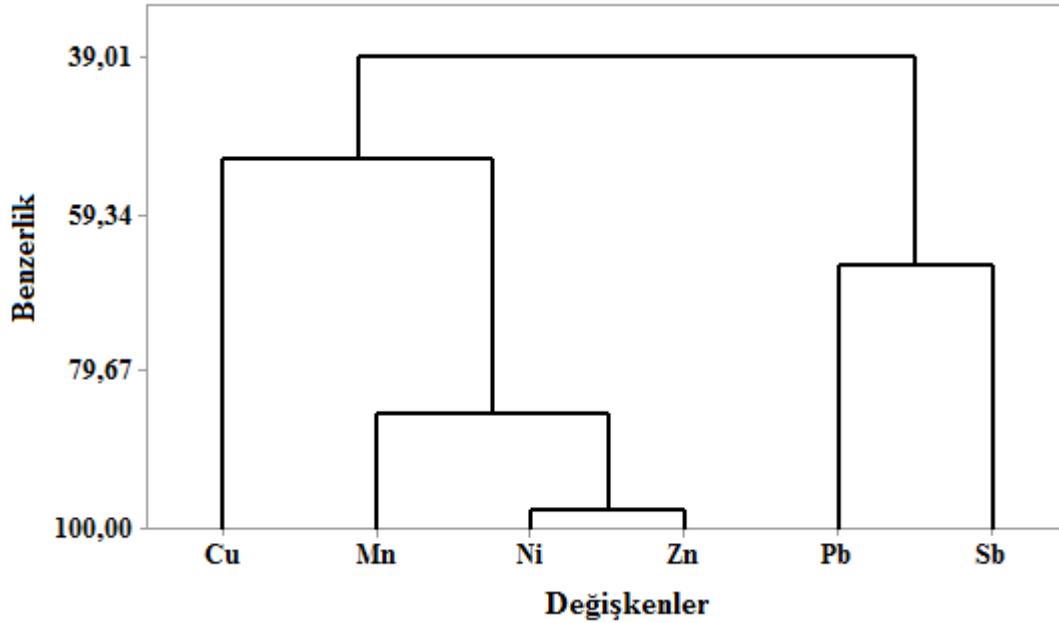
Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
0.5	0.0002	0.0001	0.0014	0.0006	0.0003

Ortalama Mn içeriği, ultrabaziklerde 1620 ppm, siyenitlerde 850 ppm, granitlerde 390 - 540 ppm arasında ve baziklerde 1500 ppm olup, ortalama olarak yerkabuğunda 950 ppm, şeyllerde 850 ppm, derin deniz killlerinde 6700 ppm'dir (Turekian ve Wedepohl, 1961; Krauskopf, 1985; Pehlivan, 2017). Analiz sonuçlarına göre, toprak örneklerindeki Mn (mangan) değerleri 0.03 – 1.7 ppm arasında değişmekte olup ortalama 0.4 ppm değerine sahiptir (Çizelge 1). Bu değerler yerkabuğu ve şeyl ortalamasının altındadır. Toprak örnekleri için hesaplanan korelasyon Çizelgesine göre, Mn elementi ile Ni ( $r = 0.85$ ) ve Zn ( $r = 0.93$ ) elementleri arasında yüksek kuvvette pozitif korelasyon ( $p < 0.1$ ) olduğu, diğer elementler ile arasında daha zayıf bir korelasyon gözlenmiştir (Çizelge 2, Şekil 3).

Mn elementinin zenginleşme değerlerinin 0.000 – 0.008; Igeo değerlerinin (-0.004) – 0.001; CF değerlerinin 0.000 – 0.002 arasında ve PLI değeri 0.0002 olduğundan alınan toprak örneklerinde Mn elementi açısından toprak örneklerinde herhangi bir zenginleşme ve kirlilik olmadığını göstermektedir (Çizelge 3-6).

Ortalama Ni değerleri, magmatik kayalarda; ultrabaziklerde 2000 ppm, bazaltiklerde 130 ppm, granitik kayalarda 4.5 - 15 ppm, ve siyenitlerde 4 ppm'dir. Bu ortalama Ni değerleri sedimanter kayaların şeyllerinde 70 ppm ve yerkabuğunda 75 ppm'dir (Turekian ve Wedepohl, 1961; Krauskopf, 1985; Pehlivan, 2017). Elde edilen analiz sonuçlarına göre, toprak örneklerindeki Ni (nikel) değerleri 0.002 – 0.04 ppm arasında değişmekte olup ortalama 0.01 ppm değerine sahiptir (Çizelge 1). Bu değerler verilen ortalama değerlere göre düşük olduğu görülmüştür.

Çalışma alanındaki toprak örneklerinden elde edilen analiz sonuçlarına göre, Sperman korelasyon katsayısı incelendiğinde Ni ile sadece Zn arasında ( $r = 0.96$ ) pozitif ve yüksek düzeyde korelasyon görülmektedir. Ancak Cu, Mn, Pb, Sb ve Zn ile zayıf bir korelasyon oluşturduğu görülmektedir. Ni elementi Sb elementi ile negatif

**Şekil 3.** Toprak örneklerindeki elementlerin dendrogramı

bir korelasyona sahiptir (Çizelge 2, Şekil 3). Toprak örneklerine ait Ni değerleri ise, 0.002-0.04 ppm arasında değişirken, ortalama değeri 0.01 ppm'dir (Çizelge 1). Ni ile Cu, Mn, Pb, Sb ve Zn arasındaki korelasyon çizelgesinde Zn ( $r = 0.96$ ) elementi ile yüksek düzeyde korelasyona, bununla birlikte Sb elementi ile negatif bir korelasyona sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 2, Şekil 3).

Ni elementinin zenginleşme değerlerinin 0.000 – 0.000; Igeo değerlerinin (-0.09) – (-0.05); CF değerlerinin 0.000 – 0.001 arasında ve PLI değeri 0.0001'dir. Toprak örneklerinde hesaplanan Ni değerlerinde zenginleşme ve kirlilik gözlenmemektedir (Çizelge 3-6).



Zn değerleri ortalama olarak ultrabaziklerde 50 ppm, bazaltiklerde 105 ppm, granitik kayalarda 39 - 60 ppm, siyenitlerde 130 ppm, şeyllerde 95 ppm'dir (Turekian ve Wedepohl, 1961; Krauskopf, 1985; Pehlivan, 2017). Çalışma alanındaki toprak örneklerinde Zn (çinko) değerleri 0.01 – 0.08 ppm arasında olup, ortalama değeri 0.03 ppm'dir (Çizelge 1). Bu değerler yukarıdaki ortalama değerlere göre, çok düşük olduğu görülmüştür. Sperman korelasyon Çizelgesine göre, Zn elementi ile Mn ( $r= 0.93$ ) ve Ni ( $r= 0.96$ ) elementleri arasında yüksek kuvvette pozitif korelasyon ( $p<0.1$ ) gözlenirken, diğer elementler ile arasında daha zayıf bir korelasyon gözlenmiştir (Çizelge 2, Şekil 3). Pb, magmatik kayalarda ortalama olarak yerkabuğunda 13 ppm, şeyllerde 20 ppm, ultrabaziklerde 1 ppm, bazaltiklerde 6 ppm, granitik kayalarda 15 – 19 ppm, siyenitlerde 12 ppm olarak belirlenmiştir (Turekian ve Wedepohl, 1961; Krauskopf, 1985; Pehlivan, 2017). Jeokimyasal analiz sonuçlarına göre en düşük ve en yüksek Pb (kurşun) değerleri 0.02 – 0.09 ppm, ortalama Pb değeri ise 0.03 ppm olarak hesaplanmıştır (Çizelge 1). Alınan toprak örneklerinde Pb elementinin Sb elementi ile  $r= 0.51$  pozitif korelasyon katsayısına ( $p<0.05$ ) sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Mn ve Ni elementleri ile düşük düzeyde bir birliktelik söz konusudur (Çizelge 2, Şekil 3).

Ultrabaziklerde 0.1 ppm, bazaltiklerde ve granitlerde 0.2 ppm, yerkabuğunda 0.2 ppm ve şeyllerde 1.5 ppm olarak ortalama Sb değerleri belirtilmiştir (Turekian ve Wedepohl, 1961; Krauskopf, 1985; Pehlivan, 2017). Analiz sonuçlarına göre, antimuan (Sb) değerleri 0.000 – 0.002 ppm aralığında değişmekte olup, 0.001 ppm ortalamasına sahiptir (Çizelge 1). Sperman korelasyon Çizelgesine göre, Sb elementi ile Cu ve Mn elementleri arasında çok zayıf bir pozitif korelasyon gözlenmiştir (Çizelge 2, Şekil 3).

Pb, Sb ve Zn elementlerinin EF, Igeo, CF ve PLI tüm değerleri  $<1$  olduğundan çalışma alanında bu elementler açısından herhangi bir zenginleşme ve kirlilik gözlenmemektedir (Çizelge 3-6).

## SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışma alanı ve çevresindeki topraklarda Cu elementinin ortalama değeri ultrabazik kayaların ve siyenitlerin ortalama değerlerinden yüksektir. Cu ile Mn, Ni, Pb, Sb ve Zn arasında zayıf bir korelasyon olduğu bulunmaktadır. Cu elementinin zenginleşme değerlerinin 2 ve 9 nolu lokasyonlarda orta, diğer lokasyonlarda az zenginleşme olduğu gözlenmiştir. Igeo, CF ve PLI değerlerine göre kirliliğin az veya kirlilik olmadığı görülmüştür.

Mn ile Ni arasında yüksek pozitif korelasyon, diğer elementler ile arasında daha zayıf bir korelasyon gözlenmiştir. Sperman korelasyon katsayısı incelendiğinde Ni ile Zn arasında pozitif ve yüksek düzeyde korelasyon görülmektedir. Zn elementi ile Mn ve Ni elementleri arasında yüksek pozitif bir korelasyon gözlenirken, diğer elementler ile arasında daha zayıf bir korelasyon gözlenmiştir. Çalışma alanındaki toprak örneklerinde Pb elementinin Sb elementi ile pozitif bir korelasyon katsayısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Sperman korelasyon Çizelgesine göre, Sb ile Cu ve Mn arasında çok zayıf bir pozitif korelasyon gözlenmiştir. Mn, Ni, Pb, Sb ve Zn elementlerinin EF, Igeo, CF ve PLI tüm değerleri  $<1$  olduğundan çalışma alanında bu elementler açısından herhangi bir zenginleşme ve kirlilik gözlenmemektedir.

Toprakta ağır metal kirleticilerinin giderilmesi oldukça zor bir işlemdir. Topraktaki metaller değerlendirilirken, antropojenik girdiler ile yerkabuğu arasındaki ilişkiyi anlamak çok önemlidir. Bu nedenle, özellikle çalışma alanındaki toprakların jeokimyasal olarak incelenmesinde ve toprakta ağır metallerden kaynaklanan zenginleşmeyi değerlendirmek için önemlidir (Çolak ve ark., 2021).

Yapılan bu çalışmada, topraktaki ağır metallerden kaynaklanan kirleticiler az da olsa uzaklaştırılması için öneriler; gübreleme işlemi ve sulama suları toprağın kimyasal yapısına göre yapılması ve belirli aralıklarla toprak analizlerinin yapılması ve EF, Igeo, CF ve PLI değerleri hesaplanarak tedbirlerin alınmasıdır.

**Çıkar Çatışması Beyanı:** Makale yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

**Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti:** Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

## KAYNAKLAR

- Buat-Menard, P., Chesselet, R., 1979. Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth Planet Sci Lett*, 42, 399–411.
- Barbieri, M., 2016. The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination, *J Geology & Geophysics*, 5, 1: 1 -4.
- Cai, Q., Long, M. L., Zhu, M., Zhou, L. Zhang, Q. Z., Liu, J., 2009. Food chain transfer of cadmium and lead to cattle in a lead-zinc smelter in Guizhou, China. *Environ Pollut*, 157:3078–82.
- Chary, S. C., Kamala, C. T., Raj, D. S. S., 2008. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecotoxicol Environ Safety*, 69: 513–24.
- Chakravarty, M. I., Patgiri, A. D., 2009. Metal Pollution Assessment in Sediments of the Dikrong River, N.E. *India Journal of Human Ecology*, 27, 63-67.

- Chung, S., Chon, H. T., 2014. Assessment of the level of mercury contamination from some anthropogenic sources in Ulaanbaatar, Mongolia. *J. Geochem. Explor.*, 147, 237–244.
- Çağlan, D., Tosun, L., Aydoğan, C., Kanaat, G., Seferoğlu, Ş., Düz, K., Çoban, B., 2018. Erzurum-İspir-Ulutaş Cu-Zn skarn projesi açık ocak alanı şev dizaynı ve karot oryantasyon uygulaması, *71. Türkiye Jeoloji Kurultayı* 23-27.
- Çolak S., Akça, Ş.B., Yazıcı, K., 2021. Toprak Kirliliğinin Zenginleştirme, Transfer ve Birikim Faktörleri ile Değerlendirilmesi; Zonguldak/Çaycuma Örneği. *Ziraat Mühendisliği* (371), 59-73. DOI: 10.33724/zm.724237
- Duffus, J., 2002. Heavy metals: a meaningless term (IUPAC Technical report). *Pure Appl Chem.* 74, 793-807.
- Fahad Ahmed, A. N. M., Fakhrudin, M. D., Imam, T., Khan, N., Khan, T. A., Md. M. Rahman and A. T. M. Abdullah, 2016. Spatial distribution and source identification of heavy metal pollution in roadside surface soil: a study of Dhaka Aricha highway, Bangladesh. *Ecological Processes* 5:2.
- Gibbs, R. J., 1977. Transport Phases of Transition Metals in the Amazon and Yukon Rivers. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 88, 829-843.
- Gil, C., Boluda R., Ramos, J., 2004. Determination and evaluation of cadmium, lead and nickel in greenhouse soils of Almeria (Spain). *Chemosphere* 55, 7:1027–1034, 2004.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach *Water Res.*, 14, 975-1001.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2009. Metallerin çevresel etkileri. *Metaller Dergisi*, 136, 47-53.
- Krauskopf, K.B., 1985. Introduction to Geochemistry, 2.nd edition. McGraw-Hill *International sreis in the Earth and Planetary Sciences.* 617.
- Kirat G, Aydın N. 2018. Investigation of Metal Pollution in Moryayla (Erzurum) and Surrounding Stream Sediments, Turkey. *International Journal of Environmental Science and Technology.* 15, 10:2229–2240.
- Kızıoğlu, F. M., Turan, M., Sahin, U., Kuslu, Y., Dursun, A., 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. *Agricultural Water Management.* 95, 6:716-724.
- Li, J. L., He, M., Han, W., Gu, Y., 2009. Analysis and assessment on heavy metal sources in the coastal soils developed from alluvial deposits using multivariate statistical methods. *Journal of Hazardous Material* 164: 976–981.
- Loska, K., Wiechula, D., Barska, B., Cebula, E., Chojnecka, A., 2003, Assessment of arsenic enrichment of cultivated soils in Southern Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, 12, 2:187-192.
- Mason, B., 1966. Principals of geochemistry. *New York: Wiley.*
- Müller, G., 1969. Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geo J*, 2, 108–118.
- Miko, S., Peh, Z., Bukovec, d., E. Prohic and Z. Kastmüller, 2000. Geochemical baseline mapping and Pb pollution assessment of soils in the karst in Western Croatia. *Natura Croatica*, 9,1, 41-59.
- Müller, G., 1981. Die Schwermetallbelastung der Sedimenten des Neckars und Seiner Nebenflüsse, *Chemiker-Zeitung*, 6, 157.
- Nicholson, F. A., Smith, S. R., Alloway, B. J., Carlton- Smith, C., Chambers, B. J., 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Science of the Total Environment.* 311: 205–219.
- Özbek, Z., 2010. Topraktaki Ağır Metaller İçin Sınır Değerlerin Uygulanabilirliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 5.
- Önder, S., 2012, Atıksular İle Sulanan Zirai Alanlardaki Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 3-4-11-17-24-25.
- Özay, C., Mammadov, R., 2013. Ağır Metaller ve Süs Bitkilerinin Fitoremediasyonda Kullanılabilirliği, *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi*, 15,1: 67-76.
- Özkul, C., Acar, R. U., Köprübaşı, N., Er, H. İ. Kızılkaya, M. Metin ve M. N. Şenel, 2018. Altıntaş (Kütahya-Türkiye) Ovası Tarım Topraklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Öncel Çalışma. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 17, 1:13-26
- Özkul, C., 2019. Kütahya Şehir Merkezinde Yer Alan Çocuk Parklarındaki Toprakların Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 19, 015803, 226-240.
- Pepper, I. L., Gerba, C. P., Brusseau, M. L., 1996. *Pollution Science.* Academic Press, New York.
- Pehlivan, H., 2017. Marmara Denizi Güneyi (Kocasu Deltası) Sedimentlerinde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı. *Yüksek Lisans Tezi.* 151 sayfa.
- Romic, M., Romic, D., 2003. Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area. *Environ. Geol.* 43, 7:795–805.

- Seven, T., Can, B., Darende, B. N., Ocak, S., 2018. Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Derleme Makale, Sayı 1, 2:91-103,.
- Szynkowska, M. I., Pawlaczyk, A., Leśniewska, E., Paryjczak, T. T., 2009. Toxic Metal Distribution in Rural and Urban Soil Samples Affected by Industry and Traffic. *Polish J. of Environ. Stud.*, 18, 1141-1150.
- Sutherland, R. A., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environ Geol*, 39, 611–27.
- Sengupta, S., Chatterjee, T., Ghosh, B. P., Saha, T., 2010. Heavy metal accumulation in agricultural soils around a coal fired thermal power plant (Farakka) in India. *Environ Sci Eng*, 52, 4:299–306.
- Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., C. R. Harris, C. R., Jeffrey, D. W., 1980. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 33, 1-4:566-575.
- Turekian, K.K.,Wedepohl, K.H., 1961, Distribution of the elements in some majör units of the eart's crust. *Geology Society America Bulletin*, 72:175-192.
- Yerli, C., Çakmakcı, T., Şahin, U., Tüfenkçi, Ş., 2020. Ağır Metallerin Toprak, Bitki, Su ve İnsan Sağlığına Etkileri *Türk Doğa ve Fen Derg.* Cilt 9, Özel Sayı, 103-114.
- Wuana, R. A., Okieimen, E. F., 2011. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *International Scholarly Research Network ISRN Ecology*. 1-20.
- Zhang, C., 2006. Using multivariate analyses and GIS to identify pollutants and their spatial patterns in urban soils in Galway, Ireland. *Environmental Pollution*. 142: 501–511.
- Zhao, Y., Xu, X., Sun, W., Huang, B., Darilek, J. L., Shi, X., 2008. Uncertainty assessment of mapping mercury contaminated soils of a rapidly industrializing city in the Yangtze River Delta of China using sequential indicator cosimulation. *Environ. Monit. Assess.* 138, 1,3:343–355.