

AKÜ FEMÜBİD 19 (2019) 015803 (226-240)

AKU J. Sci. Eng. 19 (2019) 015803 (226-240)

Doi: 10.35414/akufemubid.408653

Araştırma Makalesi / Research Article

Kütahya Şehir Merkezinde Yer Alan Çocuk Parklarındaki Toprakların Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi

Cafer Özkul¹¹Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya.

e-posta: cafer.ozkul@dpu.edu.tr

Geliş Tarihi: 22.03.2018 ; Kabul Tarihi: 06.02.2019

Öz

Yoğun kentleşme, sanayileşme ve bunlara bağlı olarak ortaya çıkan trafik yoğunluğu, madencilik ve endüstriyel faaliyetler şehir topraklarının kirlenmesine ve geri dönüşü olmayacak şekilde zarar görmesine neden olmaktadır. Şehir merkezinde yer alan çocuk parkları da bu kirlilikten fazlasıyla etkilenmektedir. Bu kirliliğinin önemli bir bölümünü ise insanlarda toksik etki gösteren ağır metal kirliliği oluşturmaktadır. Çocuklar ise bu alanlarda en fazla vakit geçiren gruptur ve bu kirlilikten en fazla onlar etkilenmektedir. Bu çalışmada Kütahya'daki çocuk parklarında yer alan toprakların ağır metal içerikleri incelenmiştir. Kütahya şehir merkezi yerleşim alanında bulunan 19 çocuk parkından toprak örnekleri toplanmıştır. Örnekler toprağın 0-10 cm derinliğinden alınmış ve As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ve Zn ağır metallerinin analizleri yapılmıştır. Son analizler ICP-MS yöntemi ile gerçekleştirilmiş olup çözelti hazırlamak için aqua regia (A.R.) kullanılmıştır. Toprağın üst kısımlarından alınan örneklerle ait ağır metal konsantrasyonları, As için 9.60-260.90 mg/kg, Cd için 0.07-1.24 mg/kg, Cr için 16.10-55.50 mg/kg, Cu için 9.13-65.23 mg/kg, Hg için 0.02-0.60, Ni için 24.70-121.30 mg/kg, Pb için 13.06-113.60 mg/kg ve Zn için 28.70-252.90 mg/kg'dir. Park topraklarındaki ağır metal kirliliğini değerlendirmek için Zenginleşme Faktörü (EF), Jeobirikim İndeksi (Igeo), Kirlilik Faktörü (CF) ve Kirlilik Yük İndeksi (PLI) parametreleri hesaplanmıştır. Özellikle As, Cd, Hg, Ni, Pb ve Zn ağır metal içerikleri, çalışma alanındaki çocuk parklarında tehlike oluşturabilecek kadar yüksek bulunmuştur.

Anahtar kelimeler

Çocuk Parkları;
Ağır Metaller;
Toprak Kirliliği;
Kütahya;
Türkiye.

Determination of The Heavy Metal Pollution of The Soils in The Children Playgrounds Located in Kütahya City Center

Abstract

The intense urbanization and industrialization and the resulting traffic intensity, mining and industrial activities cause irreversible pollution to urban soils. Children playgrounds in the city center are greatly affected by this pollution. A significant part of this pollution created by heavy metals which are toxic to humans. Children are the group that spend the most time in these areas and they are most affected by this pollution. In this study, the heavy metal contents of the soils in the children playgrounds in Kütahya were examined. Soil samples were collected from 19 children playgrounds located in Kütahya city center residential area. The samples were taken from 0-10 cm depth of the topsoil and As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn analyses of heavy metals were conducted. Aqua regia (A.R.) was used for solutions and the final analyses were performed by ICP-MS method. Heavy metal concentrations in topsoils vary between 9.60 to 260.90 mg/kg for As, 0.07 to 1.24 mg/kg for Cd, 16.10 to 55.50 mg/kg for Cr, 9.13 to 65.23 mg/kg for Cu, 0.02 to 0.60 mg/kg for Hg, 24.70 to 121.30 mg/kg for Ni, 13.06 to 113.60 mg/kg for Pb and 28.70 to 252.90 mg/kg for Zn, respectively. Enrichment Factor (EF), Geoaccumulation Index (Igeo), Contamination Factor (CF) and Pollution Load Index (PLI) have been calculated to evaluate heavy metal pollution in the topsoils. In particular, the contents of heavy metals such as As, Cd, Hg, Ni, Pb and Zn have been found to be high enough to cause danger in the children playgrounds.

Keywords

Children Playgrounds;
Heavy Metals;
Soil Pollution;
Kütahya;
Turkey.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Dünyada, özellikle şehir merkezlerine yakın bölgelerde bulunan endüstriyel faaliyetler, hızlı şehirleşme ve trafik yoğunluğu şehirlerde önemli derecede çevre kirliliğine neden olan faktörlerdir (Galitskova and Murzayeva 2016). Bu şehirlerde yaşayan toplumlar, sürekli olarak bu kirlilikle karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu durum, bu toplumların yaşam kalitelerini doğrudan ya da dolaylı olarak etkilemektedir. Çevre kirliliğinin önemli bir bölümünü ise canlılarda toksik etki gösteren ağır metal kirliliği (toprak, su ve hava) oluşturmaktadır (Szyrkowska *et al.* 2009). Ağır metaller, fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 g/cm³ ten daha yüksek olan ve ayrıca kontaminasyon ve potansiyel toksisite ile ilişkilendirilen metaller ya da yarı-metaller (metalloidler) olarak tanımlanmaktadır (Duffus 2002, Kahvecioğlu vd. 2009).

Ağır metaller, doğada, jeojenik (doğal) ya da antropojenik (gübre ve pestisit kullanımı, endüstriyel ve evsel atıklar, kömür yakıtlı termik santraller, metal ergitme sanayi ve egzoz emisyonları gibi insan aktiviteleri sonucu oluşmuş) kaynaklı olarak bulunabilmektedir (Adriano 1986, Verla *et al.* 2015). Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki talep ve dolayısıyla artan bazı metallerin üretimi ve kullanımı, bu metallerin çevreye dağılımını arttırmaktadır. Bu da, şehirlerde ciddi çevre ve sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Potansiyel olarak toksik elementleri oluşturan ağır metallerin insan organizmasına solunum, sindirim sistemi ve cilt yoluyla girdiği gözlenmektedir (Ljung 2006, Nieć *et al.* 2013).

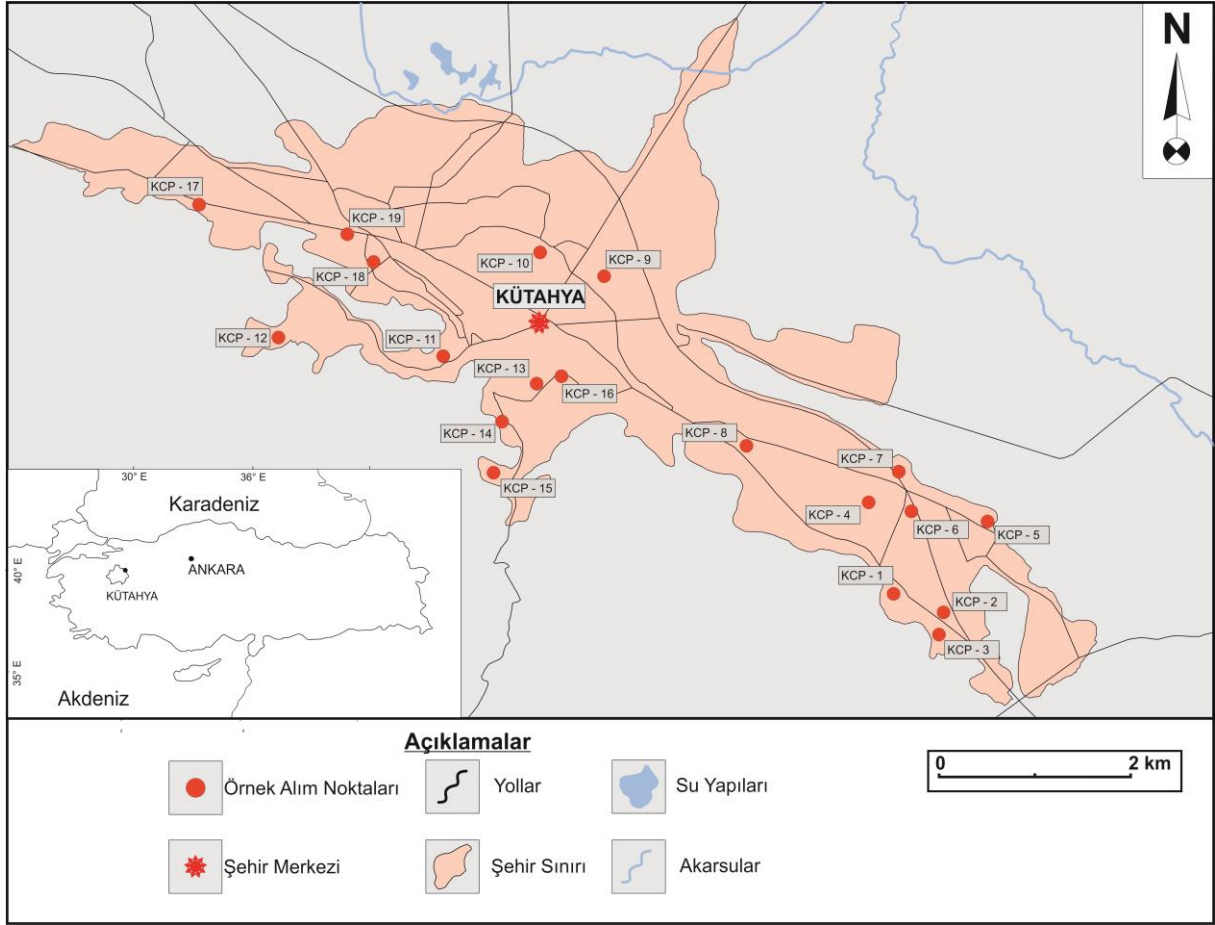
Yerleşim bölgelerindeki ağır metal kirleticilerin son depolanma alanı ise topraklardır. İnsanların yaşam alanlarındaki ağır metaller, kaynağı doğal veya antropojenik olsun, biyolojik birikim ve toksisite özelliğine bağlı olarak potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır (Verla vd. 2015). Şehirlerde ve diğer yerleşim bölgelerinde yaşayan en savunmasız nüfus ise çocuklardır. Çocuklar, özellikle oyun parklarında çoğu zaman nereden getirildiği belli olmayan taşınmış (azonal) bazen de yerli (zonal) yüzey

topraklarıyla doğrudan temas halindedirler. Bu nedenle oyun parklarındaki topraklara özel dikkat ve özen gösterilerek incelenmesi gerektiği açıktır. Ağır metallerle kirlenmiş topraklar, oyun parklarında oynayan çocukların vücutlarına girerek (solunum, sindirim ve cilt) sağlıklarını doğrudan etkileyebilme potansiyeline sahiptirler.

Ülkemizde, çocuk parklarındaki toprakların ağır metal içerikleri ile ilgili sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır (Hekimbaşı 2007, Ak *vd.* 2012). Bu çalışmalarda, çocuk parklarındaki topraklarda ortaya çıkan ağır metal kirliliğinin ağırlıklı olarak trafik yoğunluğundan kaynaklandığı vurgulanmıştır. Bununla birlikte, Kütahya'da bulunan çocuk parklarında (KÇP) ise bu içerikte bir çalışma daha önce yapılmamıştır. Bu çalışmanın amacı Kütahya şehir merkezinde yer alan çocuk parklarındaki toprakların ağır metal kirlilik düzeylerini belirlemektir. Bu kapsamda, Kütahya şehir merkezinde genele yayılmış ve henüz üzeri kauçuk malzeme ile kaplanmamış 19 çocuk parkında yer alan toprakların ağır metal içerikleri (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ve Zn) belirlenmiştir. Ayrıca bu topraklar için, zenginleşme faktörü, jeobirikim indeksi, kirlilik faktörü ve kirlilik yük indeksi parametreleri kullanılarak ağır metal kirlilik düzeyleri açısından değerlendirme yapılmıştır.

1.1 Çalışma alanı

Çalışma alanı, Ege Bölgesi'nin iç Batı Anadolu Bölümü'nde yer alan Kütahya ilinin şehir merkezini kapsamaktadır (Şekil 1). Kütahya şehir merkezi, İç Anadolu Bölgesi ile Ege Bölgesi arasında yaklaşık 50 km² alana sahip bir geçiş bölgesinde bulunmaktadır. Şehir, 39° 22' 50" ile 39° 27' 25" Kuzey enlemleri ve 29° 55' 58" ile 30° 02' 50" Doğu boylamları arasında ve ortalama 980 m rakıma sahip bir alanda konumlanmaktadır. Günümüzde 240 bin nüfusa sahip olan şehir merkezi, 1954 yılında kurulan azot fabrikası ile birlikte çokta hızlı olmayan bir endüstrileşme ve kentleşme sürecine girmiştir. Şehir içindeki trafik yoğunluğu ise son yıllarda oldukça artmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası ve örnekleme noktaları.

1.2 Topografya ve iklim

Bölge, Orta Anadolu havzası ile Batı Ege platosu arasında İç Batı Anadolu eşiği üzerinde bulunmaktadır. Gerek dağ ve tepe dizileri, gerek çukur sahalar, eşiğin genel karakterine uygun olarak kuzeybatı – güneydoğu istikametinde uzanırlar. Yellice Dağı (1764 m), Gümüş Dağı (1901 m), Yeşil Dağ (1533 m), Türkmen Dağı (1829 m), Murat Dağı (2312 m), Şaphane Dağı (2121 m) ve Eğrigöz Dağı (2312 m) ile Kütahya ve Tavşanlı yaylaları bölgenin topografyasını oluştururlar.

Çalışma alanı; Ege Bölgesi'nde yer almasına rağmen, denizden uzaklık ve yükseltiye bağlı olarak iklimi kıyı Ege'den daha farklıdır. Bölgede görülen iklim Ege, Marmara ve İç Anadolu Bölgeleri arasında bir geçiş tipidir. İklim ve sıcaklık şartları bakımından, her üç bölgenin özelliklerini taşır. Sıcaklık şartları İç Anadolu, yağış şartları Marmara Bölgesi tesiri altındadır. Çalışma alanında yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve yağışlı geçer. Yıllık sıcaklık ortalaması 10.5 °C'dir. En sıcak aylar, temmuz ve

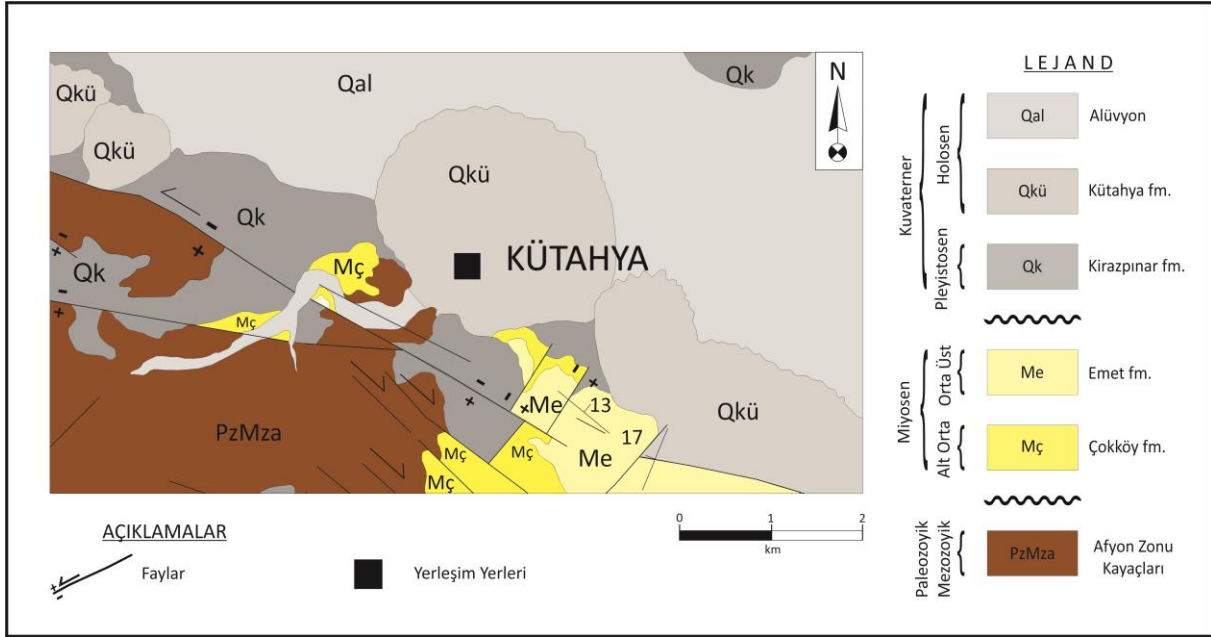
ağustos, en soğuk aylar ise ocak ve şubattır. Bölgede ölçülen en yüksek sıcaklık, 38.6 °C'dir. En düşük ölçülen sıcaklık ise -28.1 °C'dir. Yağışlar, karasal iklime bağlı olarak, kış, ilkbahar ve sonbaharda görülür. Yazları genellikle kuraktır. Yıllık ortalama yağış miktarı 565 mm'dir. En yağışlı ay aralık, en kurak ay ağustostur. Yağışların %38.8'i kış, %29.4'ü ilkbahar, %12.5'i yaz, %19.3'ü sonbahar aylarında düşer. Kış aylarında, sıcaklığın düşük ve yükseltinin fazla olması nedeniyle yağışlar, genellikle kar şeklinde, diğer mevsimlerde ise yağmur şeklindedir. Çalışma alanındaki hâkim rüzgâr yönü ise kuzey-kuzeybatıdır (KİÇDR, 2017).

1.3 Jeolojik özellikler

Çalışma alanında Neojen yaşlı birimler, Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı mermer, mikaşist ve metakonglomera gibi metamorfik birimlerden oluşan Afyon temel kayaları üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Neojen yaşlı istif ise altta Çökköy formasyonu (konglomera, kumtaşı, kiltası, kireçtaşı ve tüf) ve üzerine uyumlu olarak gelen Emet

formasyonundan (kireçtaşı ve marn) oluşmaktadır. Kuvaterner yaşlı Kirazpınar formasyonu (çakıl, kum, kil ve silt), Kütahya formasyonu (çakıl, kum, silt ve kil) ve alüvyon (kum, silt ve kil) Neojen yaşlı birimleri

uyumsuzlukla örtmektedir (Özburan 2009, Özburan ve Güner 2012). Çalışma alanına ait jeoloji haritası Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Özburan 2009’dan değiştirilerek).

2. Materyal ve Metot

Kütahya şehir merkezinde bulunan çocuk parklarındaki oyun alanlarından 19 adet toprak örneği alınmıştır (Şekil 1). Toprak örnekleri özellikle yüzeyden, parkta oynayan çocukların devamlı temas halinde oldukları 0-10 cm arasındaki kısımdan toplanmıştır. Toprak örnekleme, Ekim 2016 ayı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Örnekleme noktaları park alanlarında çocukların yoğun olarak oynadıkları alanlardan seçilmiştir ve örnekleme işlemi için plastik kürek kullanılmıştır. Her örnekleme noktasından bir kilogram toprak örneği alınmıştır ve analiz işlemine kadar polietilen torbalar içinde saklanmıştır.

Toplanan örnekler laboratuvar ortamında oda sıcaklığında 3 gün süre ile kurutulmuştur. Daha sonra tahta havanda örnek içerisindeki topraklar öğütülmeden ezilmiştir. Son olarak toprak örneklerinin kimyasal analizi için ideal olan 177 um'lik tane boyu elde etmek için 80 mesh'lik elekten geçirilmiştir (Rose et al. 1991, Thomson 1986). Ortama gelen metal katyonlarının ince taneli partiküllerin (örneğin kil tanelerinin) eksi yüklü geniş

yüzeyleri tarafından çekilip adsorbe edilmesi dolayısıyla ince tane boyulu partiküllerin metal birikiminde ana faktör olması (Gibbs 1977, Pepper vd. 1996) nedeniyle 80 mesh altı topraklar analizler için seçilmiştir.

Örneklerin çözündürme işlemi, 0.5 g kuru toz halindeki toprak örneğinin aqua regia (A.R.) solüsyonunda (HCl+HNO₃+H₂O) 95 °C’de basınçlı teflon krozölerde 1 saat süreyle yapılmıştır. Bu çözündürme yöntemi, toplama en yakın sıcak asit çözündürme yöntemi olarak toprak analizlerinde kullanılmaktadır. Çözündürme sonrası elde edilen çözeltilerden; As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ve Zn ağır metallerinin konsantrasyon ölçümleri ICP-MS yöntemi ile ACME (Vancouver-Kanada) laboratuvarlarında yaptırılmıştır.

2.1 Zenginleşme Faktörü (Enrichment Factor, EF)

Zenginleşme faktörü (EF), topraktaki jeojenik veya antropojenik ağır metal kirlilik kaynağını tespit etmek için sıklıkla kullanılan yararlı bir göstergedir (Buat-Menard and Chesselet 1979). EF değeri, ölçülen bir element miktarının, aynı elemente ait

referans değerine göre normalize edilmesiyle hesaplanır. Referans element, topraktaki konsantrasyonunun değişmemesi ve çok düşük kimyasal reaksiyona sahip olması ile karakterize olur (Barbieri 2016). En yaygın referans elementleri Al, Ti, Mn, Sc, Fe ve Zr elementleridir (Quevauviller et al. 1989, Pacyna and Winchester 1990, Schiff and Weisberg 1999, Reimann and Caritat 2000, Sutherland 2000, Chatterjee et al. 2007, Machender et al. 2011). Bu çalışmada, referans değer olarak Mason (1966) tarafından belirlenen yerkabuğu değerlerinden Fe element değerleri kullanılmıştır.

EF aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$EF = \frac{\left(\frac{C_n}{C_{ref}}\right)_{örnek}}{\left(\frac{B_n}{B_{ref}}\right)_{referans}} \quad (1)$$

C_n : İncelenen elementin analizi yapılan örnekteki değeri,

C_{ref} : Referans elementin analizi yapılan örnekteki değeri,

B_n : İncelenen elementin yerkabuğundaki ortalama değeri (Mason 1966),

B_{ref} : Referans elementin yerkabuğundaki ortalama değeri (Mason 1966).

EF değerlendirilmesi için literatürde yaygın olarak kullanılan Sutherland (2000)'in önerdiği sınıflama kullanılmıştır. Buna göre EF değeri 5 ayrı kirlilik sınıfında incelenmektedir:

Çizelge 1. Zenginleşme Faktörü (EF) sınıflaması (Sutherland 2000):

EF < 2	Minimal zenginleşme
2 ≤ EF ≤ 5	Orta zenginleşme
5 ≤ EF ≤ 20	Belirgin zenginleşme
20 ≤ EF ≤ 40	Çok yüksek zenginleşme
EF > 40	Aşırı zenginleşme

2.2 Jeobirikim İndeksi (Geoaccumulation Index, I_{geo})

Jeobirikim indeksi (I_{geo}), günümüzdeki mevcut element konsantrasyonlarının sanayi öncesi seviyelerle karşılaştırarak topraklardaki artan metal kontaminasyonunu belirlemek için kullanılır. İndeks başlangıçta Müller (1969) tarafından dip çökelleri için önerilmesine rağmen toprak kirliliğinin değerlendirilmesi için de yaygın olarak

kullanılmaktadır (Miko et al. 2000, Loska et al. 2003, Sengupta et al. 2010, Chung and Chon 2014).

Jeobirikim indeksi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5 \times B_n} \right) \quad (2)$$

C_n : Toprak örneğindeki metal konsantrasyonunun değeri,

B_n : n metalinin yerkabuğundaki ortalama değeri (Mason 1966),

1.5: Temel değer matriksi korelasyon faktörü (çok küçük antropojenik etkilerden dolayı).

Jeobirikim indeksi Müller (1969, 1981) tarafından 7 ayrı kirlilik sınıfına ayrılmıştır:

Çizelge 2. Jeobirikim İndeksi (I_{geo}) sınıflaması (Müller 1969; 1981):

Sınıfı	Değer	Kirlilik Derecesi
0	$I_{geo} < 0$	Pratik olarak kirlenmemiş
1	$0 < I_{geo} < 1$	Kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş
2	$1 < I_{geo} < 2$	Orta derecede kirlenmiş
3	$2 < I_{geo} < 3$	Orta-çok kirlenmiş
4	$3 < I_{geo} < 4$	Çok kirlenmiş
5	$4 < I_{geo} < 5$	Çok-aşırı kirlenmiş
6	$I_{geo} > 5$	Aşırı kirlenmiş

2.3 Kirlilik Faktörü (Contamination Factor, CF) ve Kirlilik Yük İndeksi (Pollution Load Index, PLI)

Kirlilik faktörü (CF), Hakanson (1980) tarafından önerilmiştir. Topraktaki kirlilik seviyesinin tespit edilmesinde sıklıkla kullanılır. CF, topraktaki ağır metal değerinin yerkabuğu ortalama değerine (Mason 1966) bölünmesiyle elde edilir. Aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

$$CF = \frac{C_{metal}}{C_0} \quad (3)$$

C_{metal} : Toprak örneğindeki metalin konsantrasyonu

C_0 : İncelenen metalin yerkabuğundaki ortalama değeri (Mason 1966).

Çizelge 3. Kirlilik faktörü (CF) sınıflaması (Hakanson 1980):

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

Kirlilik Yük İndeksi (PLI), her bir örnekleme noktasındaki toprak ağır metal kirlilik boyutunun değerlendirilmesi için Tomlinson ve diğ. (1980) oluşturulmuş bir indekstir. İndeks, her bir metale ait kirlilik faktörlerinin (CF) hesaplanmasıyla aşağıdaki eşitlik kullanılarak elde edilmektedir.

$$PLI = \sqrt[n]{(CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n)} \quad (4)$$

CF: Kirlilik faktörü,

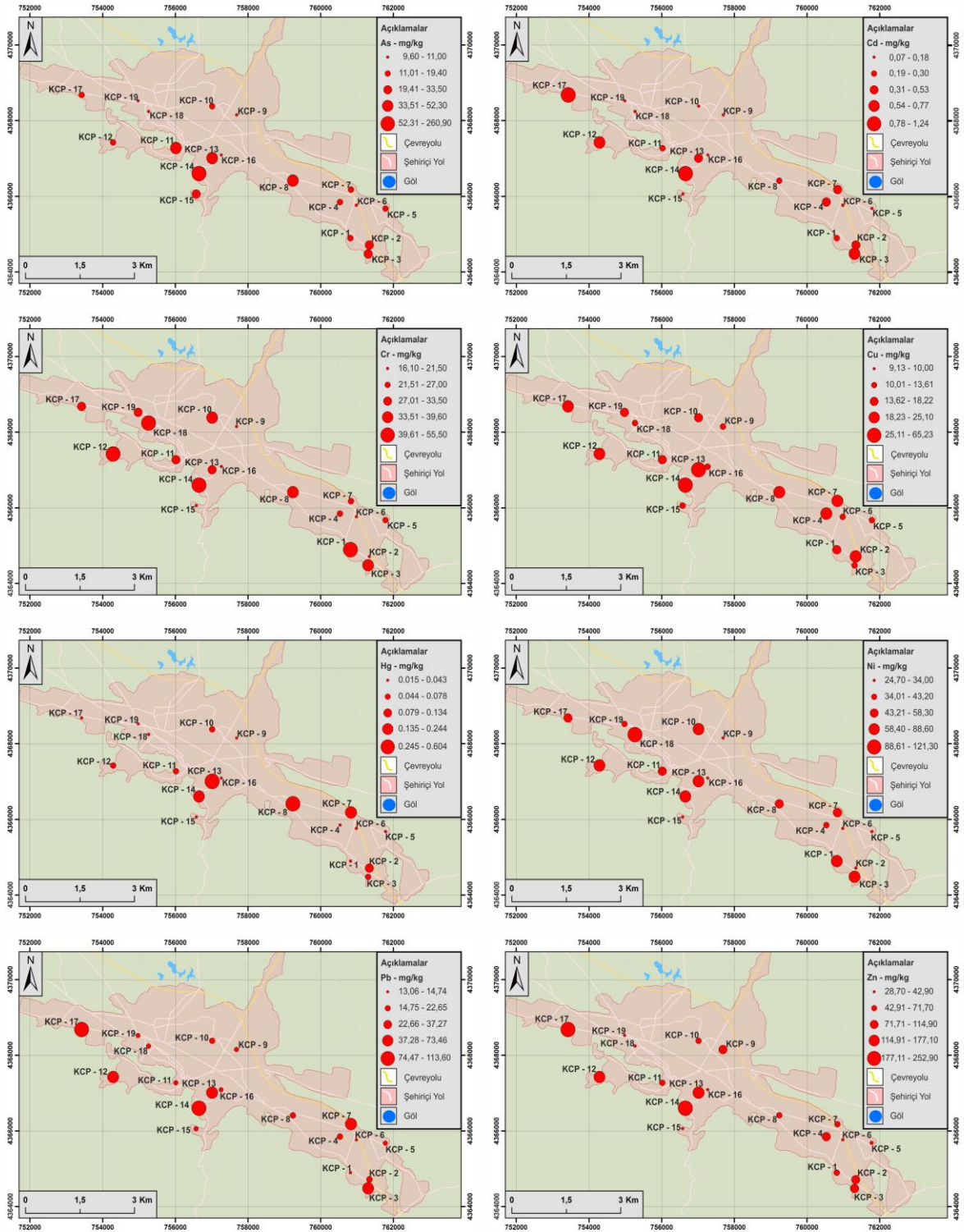
n: Metal sayısı. Chakravarty ve Patgiri (2009)'a göre, elde edilen PLI değeri >1 ise kirlilik var, PLI değeri <1 ise kirlilik yok demektir.

3. Tartışma ve Sonuçlar

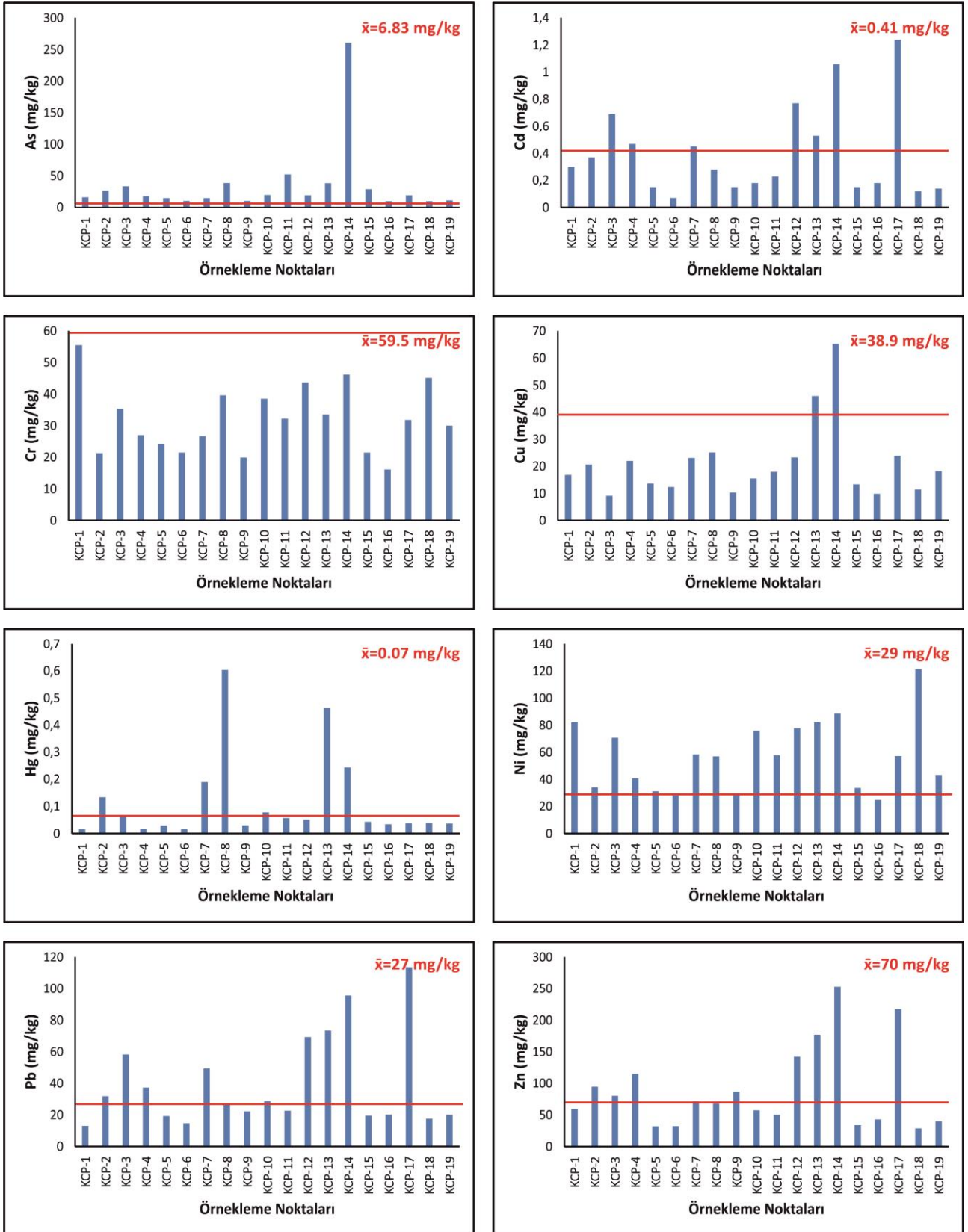
Kütahya şehir merkezinde yer alan 19 çocuk parkından alınan toprak örneklerinin ağır metal içeriklerine ait tanımlayıcı istatistik parametreleri hesaplanmıştır (Çizelge 4). Çalışma alanındaki örnekleme noktalarına ait ağır metal konsantrasyon haritaları ve grafikleri sırasıyla şekil 3 ve şekil 4'de sunulmuştur. Konsantrasyon haritalarının hazırlanmasında ArcGIS 10 programı kullanılmıştır. Çocuk parklarına ait toprakların temel özelliklerini belirlemek için pH ölçümleri ve tane boyu analizleri yapılmıştır. Toprak örneklerinde pH 7.51–8.01 (ort. 7.78) aralığında değişen değerlere sahiptir. Bu değerler göz önüne alındığında toprak örneklerinin düşük alkali karakter taşıdığı tespit edilmiştir. Ayrıca toprak örneklerine ait tane boyu dağılımı ise şekil 5'de verilmiştir.

Çizelge 4. Toprak örneklerinin ağır metal içeriklerinin tanımlayıcı istatistikleri.

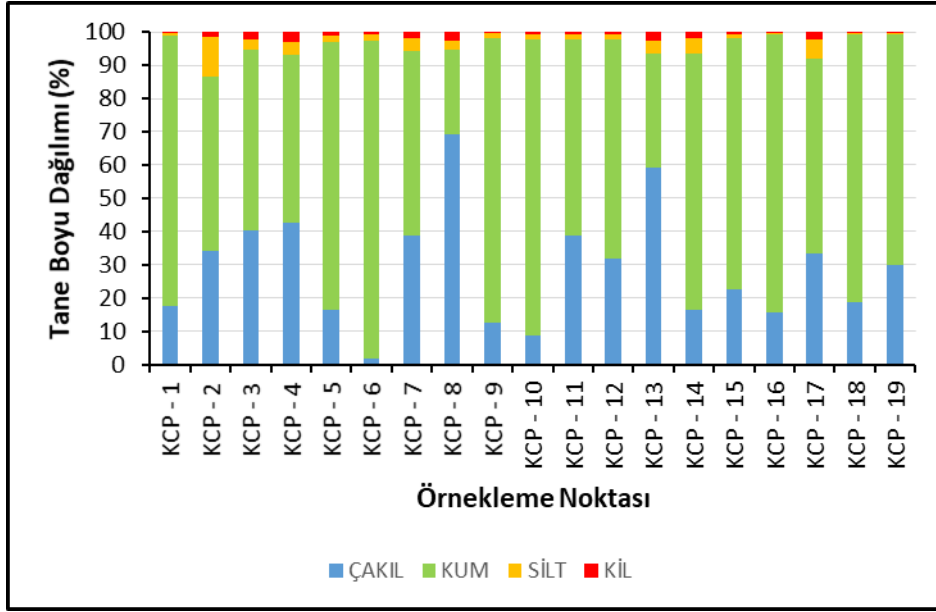
Örnekleme	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	pH
KCP-1	15.90	0.30	55.50	16.84	0.02	82.10	13.06	59.50	7.51
KCP-2	26.60	0.37	21.30	20.70	0.13	34.00	31.83	94.80	7.78
KCP-3	33.50	0.69	35.30	9.13	0.07	70.60	58.23	80.40	7.73
KCP-4	17.70	0.47	27.00	22.00	0.02	40.70	37.27	114.90	7.75
KCP-5	14.50	0.15	24.30	13.61	0.03	31.10	19.25	31.90	7.85
KCP-6	10.30	0.07	21.50	12.39	0.02	28.10	14.74	32.20	7.80
KCP-7	14.60	0.45	26.70	23.07	0.19	58.30	49.37	71.70	7.73
KCP-8	38.70	0.28	39.60	25.10	0.60	56.90	27.10	67.90	7.84
KCP-9	10.30	0.15	19.90	10.32	0.03	28.30	22.28	86.80	7.73
KCP-10	19.40	0.18	38.50	15.48	0.08	75.80	28.69	57.30	8.00
KCP-11	52.30	0.23	32.20	17.95	0.06	57.80	22.65	50.00	7.64
KCP-12	19.10	0.77	43.70	23.26	0.05	77.70	69.31	142.10	7.66
KCP-13	38.30	0.53	33.50	45.99	0.46	82.20	73.46	177.10	7.85
KCP-14	260.90	1.06	46.20	65.23	0.24	88.60	95.58	252.90	7.90
KCP-15	28.90	0.15	21.50	13.34	0.04	33.50	19.52	33.80	7.79
KCP-16	9.60	0.18	16.10	9.83	0.03	24.70	20.21	42.90	7.72
KCP-17	18.90	1.24	31.80	23.88	0.04	57.20	113.60	217.80	7.78
KCP-18	9.70	0.12	45.10	11.45	0.04	121.30	17.61	28.70	8.01
KCP-19	11.00	0.14	30.00	18.22	0.04	43.20	20.05	39.90	7.74
Ortalama	34.22	0.40	32.09	20.94	0.12	57.48	39.67	88.56	7.78
Ortanca	18.90	0.28	31.80	17.95	0.04	57.20	27.10	67.90	7.78
Minimum	9.60	0.07	16.10	9.13	0.02	24.70	13.06	28.70	7.51
Maksimum	260.90	1.24	55.50	65.23	0.60	121.30	113.60	252.90	8.01
Basıklık	17.03	1.34	-0.37	6.15	4.78	0.17	1.08	1.28	0.99
Çarpıklık	4.05	1.41	0.51	2.36	2.29	0.69	1.39	1.43	0.04
STD	56.17	0.33	10.61	13.62	0.16	26.11	29.24	65.26	0.12



Şekil 3. Çalışma alanına ait ağır metal konsantrasyon haritaları.



Şekil 4. Ağır metallerin örnekleme noktalarına göre konsantrasyonları, \bar{x} : dünya toprak ortalaması (Kabata-Pendias 2011).



Şekil 5. Toprak örneklerinin tane boyu dağılımı.

3.1 Arsenik

Arsenik (As), yer kabuğunda yaygın olarak bulunan doğal bir elementtir. Yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonu 1.8 mg/kg olarak hesaplanmıştır (Mason 1966, ATSDR 2007). As topraktaki konsantrasyonu ise 6.8 mg/kg civarındadır (Kabata-Pendias 2011). Toprak; metal ergitme, madencilik faaliyetleri, kimyasal sanayi faaliyetleri, kömür yakma, kömürle çalışan termik santraller ve jeotermal santraller gibi antropojenik faaliyetler ve/veya bölgenin jeolojik yapısından kaynaklanan jeojenik etkiler sebebiyle As tarafından fazlaca kirlenmektedir (Arık ve Yıldız 2009, Özkul vd. 2015). Tabii ki bu kirlenmenin o bölgede yaşayan canlılar üzerinde olumsuz etkiler oluşturması kaçınılmazdır. Dokunma, solunma ve ağız yoluyla alınan As, özellikle insanlarda kanser, cilt ve dolaşım sistemi hastalıklarının oluşmasına sebebiyet vermektedir (Scragg 2006).

KÇP alınan toprak örneklerinde arsenik konsantrasyonları 9.60 - 260.90 mg/kg arasında olup ortalama 34.22 mg/kg'dır. As için, Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri 18.25 - 724.72 (belirgin zenginleşme - aşırı zenginleşme; Tablo); Jeobirikim İndeksi (I_{geo}) değerleri 1.83 - 6.59 (orta derecede kirlenmiş - aşırı kirlenmiş); Kontaminasyon Faktörü (CF) değerleri 5.33 - 144.94 (önemli derecede kirlenme - aşırı derecede kirlenme) arasında değişmektedir.

3.2 Kadmiyum

Kadmiyum (Cd), yer kabuğunda ortalama 0.2 mg/kg oranında bulunmaktadır (Mason 1966). Topraktaki konsantrasyonu ise ortalama 0.4 mg/kg seviyelerindedir (Kabata-Pendias 2011). Doğada nadiren saf halde bulunur. Toprakta kadmiyum kirliliği ciddi bir çevre sorunu olarak görülmektedir. Kadmiyumun, cıva ve kurşun ile birlikte canlılar için en çok toksik etkiye sahip olan ağır metallere biri olduğu kabul edilmektedir (Campbell 2006). İnsan sağlığına yönelik olarak oluşturduğu en büyük tehlike ise böbreklerde böbrek fonksiyon bozukluğuna yol açan kronik birikimi olduğu tespit edilmiştir (Manahan 2003). Gübreleme, pil sanayi, plastik sanayi, madencilik faaliyetleri, metal ergitme ve kömürle yakıtlı termik santraller topraktaki Cd kirliliğinin başlıca antropojenik kaynaklarıdır (Fleischer et al. 1974, Williams and David 1981, Arık ve Yıldız 2009, ATSDR 2012a, Palutoğlu vd. 2018).

Kadmiyum değerlerinin KÇP toprak örneklerinde 0.07 - 1.24 mg/kg aralığında olduğu tespit edilmiştir (ortalama 0.40 mg/kg). Cd için, Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri 1.24 - 26.50 (minimal zenginleşme - çok yüksek zenginleşme); Jeobirikim İndeksi (I_{geo}) değerleri (-2.10) - 2.05 (pratik olarak kirlenmemiş - orta-çok kirlenmiş); Kontaminasyon Faktörü (CF) değerleri 0.35 - 6.20 (az kirlenme - aşırı derecede kirlenme) arasında olduğu belirlenmiştir.

3.3 Krom

Çevreye krom salınımı jeojenik ve antropojenik kaynaklardan gerçekleşir. Bu kaynaklar arasında en fazla endüstriyel salınımlar etkili olmaktadır. Krom salınımına en fazla katkısı olan endüstriler arasında ise metal işleme, tabakhane tesisleri, kromat üretimi, paslanmaz çelik üretimi, ferrokrom ve krom pigment üretimi yer almaktadır. Krom, ayrıca kömürün yakılmasıyla da çevreye salınabilmektedir (ATSDR 2012b). Dünya topraklarına ait ortalama Cr değeri 59.5 mg/kg'dır (Kabata-Pendias 2011). Yerkabuğu ortalama krom içeriği ise 100 mg/kg'dır (Mason, 1966).

Kütahya çocuk parkı toprak örneklerinde krom konsantrasyonlarının 16.10 – 55.50 mg/kg (ortalama 32.09 mg/kg) değerleri arasında değiştiği gözlenmektedir. Cr için, Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri 0.56 – 2.31 (minimal zenginleşme – orta zenginleşme); Jeobirikim İndeksi (I_{geo}) değerleri (-3.22) – (-1.43) (pratik olarak kirlenmemiş); Kontaminasyon Faktörü (CF) değerleri 0.16 – 0.56 (az kirlenme) arasında elde edilmiştir.

3.4 Bakır

Bakır (Cu) dünyada en çok kullanılan üçüncü metaldir (Int Kyn. 2). Ayrıca tüm canlıların büyümesinde gerekli olan önemli bir mikro besin maddesidir. Fakat yüksek dozlarda anemiye, karaciğer ve böbrek hasarına, mide ve bağırsak tahrişine neden olabilmektedir (Wuana and Okieimen 2014). Toprakta bakır kirliliğinin ana kaynağı kömür yakma, pirometalurjik faaliyetler, fosfat gübreleri, madencilik faaliyetleri ve litojenik (jeojenik) kökenlidir (Nriagu and Pacyna 1988). Dünya topraklarındaki Cu ortalama değeri 38.9 mg / kg'dır (Kabata-Pendias 2011). Yerkabuğunda ise ortalama 55 mg/kg değerine sahiptir (Mason 1966).

KÇP toprak örneklerinde Cu konsantrasyonları 9.13 – 65.23 mg/kg (ortalama 20.94 mg/kg) değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir. Cu için, Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri 0.63 – 5.93 (minimal zenginleşme – belirgin zenginleşme); Jeobirikim İndeksi (I_{geo}) değerleri (-3.18) – (-0.34) (pratik olarak kirlenmemiş); Kontaminasyon Faktörü

(CF) değerleri 0.17 – 0.19 (az kirlenme) arasında tespit edilmiştir.

3.5 Cıva

Cıva (Hg), madencilik faaliyetleri ve metal ergitme, fosil yakıtların yakılması, çimento üretimi, cıva hücreli tesislerde klor alkali üretimi, çöp yakma, Hg teknolojisi kullanılarak altın üretimi, pil ve elektrik aydınlatmaları üretimi faaliyetleri sonrası fazlasıyla çevreye salınmaktadır (Jasinski 1994, Randall et al. 2004, Şaşmaz vd. 2015). Cıva insanlar tarafından en az 3,500 yıldır bilinmektedir ve kullanılmaktadır (Nriagu 1979). Cıvanın canlılar için gerekli hiçbir biyolojik fonksiyonu bilinmemektedir. Aksine, Hg, insana ve hayvana karşı en zehirli elementler arasındadır ve tüm kimyasal formları insanlar için toksiktir (Dock and Vather 2000). Cıvanın yerkabuğunda ve toprakta ortalama olarak 0.07 mg/kg seviyelerinde bulunduğu kabul edilmektedir (Kabata-Pendias 2011).

Cıva değerlerinin KÇP toprak örneklerinde 0.02 – 0.60 mg/kg aralığında olduğu belirlenmiştir (ortalama 0.12 mg/kg). Hg için, Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri 0.39 – 15.25 (minimal zenginleşme – belirgin zenginleşme); Jeobirikim İndeksi (I_{geo}) değerleri (-3.00) – 2.33 (pratik olarak kirlenmemiş – orta-çok kirlenmiş); Kontaminasyon Faktörü (CF) değerleri 0.19 – 7.55 (az kirlenme – aşırı derecede kirlenme) arasında olduğu tespit edilmiştir.

3.5 Nikel

Toprakta nikel (Ni) kirliliğinin ana kaynakları; metal kaplama endüstrileri, fosil yakıtların yakılması, nikel madenciliği ve çöp yakma tesisleridir (Khodadoust et al. 2004, ATSDR 2005a). Ni, toprakta ortalama 29 mg/kg seviyelerinde yer alır. Yerkabuğunda ise bu oran 20 mg/kg civarındadır (Kabata-Pendias 2011). İnsan vücuduna özellikle deri teması, solunum ve besin yoluyla girmektedir. Vücuda yüksek dozlarda alınan nikel özellikle böbreklerde ve akciğerlerde harabiyete ve hatta akciğer kanserine neden olmaktadır (ATSDR 2005a).

Kütahya çocuk parkı toprak örneklerinde nikel konsantrasyonlarının 24.70 – 121.30 mg/kg (ortalama 57.48 mg/kg) değerleri arasında değiştiği

gözlenmektedir. Ni için, Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri 1.19 – 5.91 (minimal zenginleşme – belirgin zenginleşme); Jeobirikim İndeksi (I_{geo}) değerleri (-2.19) – 0.11 (pratik olarak kirlenmemiş – kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş); Kontaminasyon Faktörü (CF) değerleri 0.33 – 1.62 (az kirlenme – orta derecede kirlenme) arasında elde edilmiştir.

3.6 Kurşun

Kurşun (Pb), insanoğlunun çıkardığı ve işlediği ilk metallere birisidir ve antik çağlardan beri çok çeşitli nesnelere ve amaçlar için yaygın olarak kullanılmıştır (Nriagu 1978; 1983). Yerkabuğunun ortalama Pb içeriği 15 mg/kg seviyesindedir. Farklı topraklardan elde edilen Pb ortalama değeri ise 27 mg / kg olarak hesaplanmaktadır (Kabata-Pendias 2011). Pb, insan vücuduna solunum ve ağız yoluyla girmekte, organlarda birikmekte ve toksik etki göstermekte, hatta ölümlere neden olabilmektedir. En çok gastrointestinal sistem, böbrekler ve merkezi sinir sistemi vücuda alınan kurşundan etkilenmektedir. Çocuklarda ise, en fazla altı yaşın altında olanlar etkilenmektedir ve gelişim bozukluğu, düşük IQ, dikkat süresinin kısalığı, hiperaktivite ve zihinsel bozukluk şeklinde kendini göstermektedir (Baldwin and Marshall 1999, Int Kyn. 1).

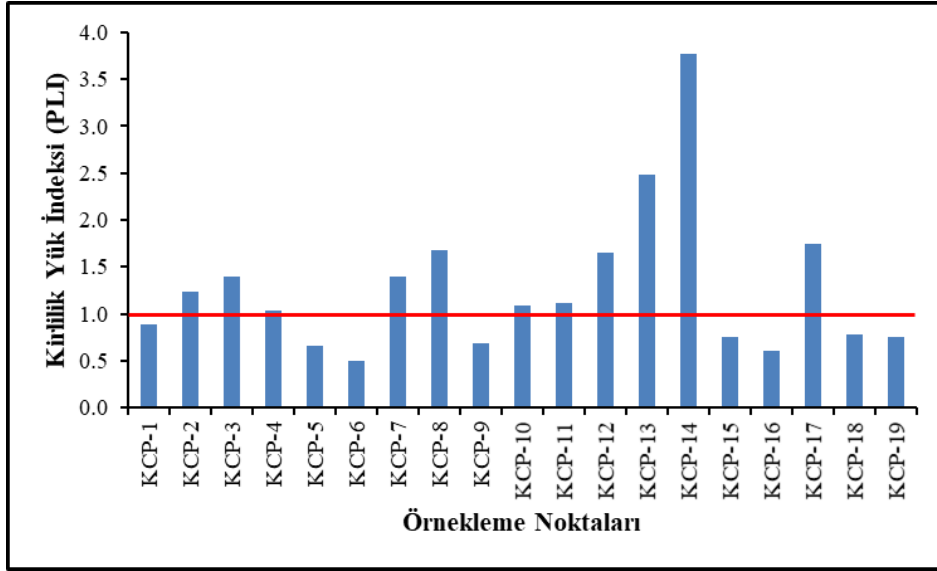
Pb değerlerinin KÇP toprak örneklerinde 13.06 – 113.60 mg/kg aralığında olduğu tespit edilmiştir (ortalama 39.67 mg/kg). Kurşun için, Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri 2.08 – 36.76 (orta zenginleşme – çok yüksek zenginleşme); Jeobirikim İndeksi (I_{geo}) değerleri (-0.58) – 2.54 (pratik olarak kirlenmemiş – orta-çok kirlenmiş); Kontaminasyon Faktörü (CF) değerleri 1.00 – 8.74 (orta derecede kirlenme – aşırı derecede kirlenme) arasında olduğu belirlenmiştir.

3.7 Çinko

Çinko (Zn), hem doğal (jeojenik) süreçler hem de insan faaliyetleri (antropojenik) sonucunda toprakta birikim gösterir. Ancak bu birikimde antropojenik etki daha fazladır. Zn, madencilik faaliyetleri, fosil yakıtların yakılması, çelik üretimi, çöp yakma ve tarımsal uygulamalar (pestisitler ve gübreleme) (ATSDR 2005b; Kabata-Pendias 2000) sonucunda çevreye salınır. Çinko, doğada kolay taşınabilir bir elementtir ve tüm canlılar için gerekli olan bir mikro besin maddesidir (Mertens and Smolders 2012). Yüksek dozda toksik ve kanserojen etkiler gösterir ve nörolojik komplikasyonlar, hipertansiyon, böbrek ve karaciğer fonksiyon bozukluklarına neden olmaktadır (Roa et al. 2001). Yerkabuğunun ortalama Zn içeriği 70 mg/kg kabul edilmektedir ve aynı değer dünya çapındaki çeşitli toprakların ortalaması için de geçerlidir (Kabata-Pendias 2011).

Kütahya çocuk parkı toprak örneklerinde ait çinko konsantrasyonlarının 28.70 – 252.90 mg/kg değerleri arasında değişmekte olup ortalama 88.56 mg/kg hesaplanmıştır. Zn için, Zenginleşme Faktörü (EF) değerleri 1.41 – 18.06 (minimal zenginleşme – belirgin zenginleşme); Jeobirikim İndeksi (I_{geo}) değerleri (-1.87) – 1.27 (pratik olarak kirlenmemiş – orta derecede kirlenmiş); Kontaminasyon Faktörü (CF) değerleri 0.41 – 3.61 (az kirlenme – önemli derecede kirlenme) arasında elde edilmiştir.

Çalışma alanındaki çocuk parklarından alınan toprak örneklerinde PLI değerleri 0.50 – 3.76 arasında değişmekte ve ortalama 1.27 değerine sahiptir. Bu değerlere göre çocuk parklarından 11 tanesi (KCP-2, KCP-3, KCP-4, KCP-7, KCP-8, KCP-10, KCP-11, KCP-12, KCP-13, KCP-14 ve KCP-17) kritik değerin ($PLI > 1$) üzerindedir. Bu sonuçlar örnekleme yapılan bu noktaların ağır metaller tarafından kirlendiğini göstermektedir. Diğer örnekleme noktalarında ise (KCP-1, KCP-5, KCP-6, KCP-9, KCP-15, KCP-16, KCP-18 ve KCP-19) PLI değerleri 1'in altında kalmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Çalışma alanı örnekleme noktalarına ait Kirlilik Yük İndeksi (PLI) dağılımı.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Kütahya yerleşim alanı çocuk parklarındaki topraklarda Zenginleşme Faktörü (EF) ve Jeobirikim İndeksi (Igeo) parametrelerine göre; As, Cd, Hg, Ni, Pb ve Zn ağır metallerince önemli oranda zenginleşme ve kirlenme tespit edilmiştir. Özellikle As ve Cd ağır metallerinde bu kirlenme ciddi boyutlara ulaşmıştır. Hg, Ni, Pb ve Zn ağır metalleri açısından değerlendirildiğinde ise kirlenme dikkate değer boyutlardadır. Krom ve bakır ağır metalleri açısından kirlenme durumu, önemsenmeyecek derecede çok düşük düzeylerde gerçekleşmiştir. Ayrıca çalışma alanının her bir örnekleme noktasında elde edilen kirlilik yük indeksi (PLI) sonuçlarına göre çalışma konusu ağır metallerin bütünü için bir değerlendirme yapılmıştır. Bu kapsamda çalışma alanı KCP-2, KCP-3, KCP-4, KCP-7, KCP-8, KCP-10, KCP-11, KCP-12, KCP-13, KCP-14 ve KCP-17 nolu örnekleme noktalarındaki çocuk parklarının genel olarak ağır metallerce kirlendiği tespit edilmiştir.

Topraklardaki ağır metal kirliliği, özellikle şehirlerde, artan endüstrileşme, nüfus artışı ve trafik yoğunluğu karşısında günden güne büyüyen ve ciddi boyutlara ulaşan bir sorun haline gelmektedir. Toprak, kirleticiler için son depolanma alanıdır. Toprak kirliliğinde geriye dönüş olanağı yoktur. Toprakların temizlenmesi çoğu zaman imkânsız bazen de çok uzun yıllar alan bir süreç gerektirmektedir. Bu

kirlenmenin şehirlerde yaşayan insanların sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturması kaçınılmazdır. Bu durumdan ise en fazla çocuklar etkilenecektir. Bu sebeple özellikle çocukların yoğun olarak vakit geçirdikleri toplumsal alanların (çocuk park ve bahçeleri) konumları ve bu alanlarda kullanılan materyallerin (kum ve toprak) seçimi daha da önem kazanmaktadır. Bu kapsamda parklarda kullanılacak toprak malzemenin ağır metal içerikleri belirlenerek kirlenmemiş temiz bölgelerden getirilmesi ve ayrıca park alanlarının da kirlenme kaynaklarından uzak bölgelerde kurulması sağlanmalıdır.

Çalışma alanında, ağır metallerce kirlenmiş olduğu tespit edilen çocuk parklarındaki toprakların temiz olan topraklar ile değiştirilmesi veya bu parkların üzerlerinin kauçuk malzeme ile kaplanması önerilmektedir.

Teşekkür

Arazi ve laboratuvar çalışmalarında desteklerinden dolayı Recep Uğur ACAR'a teşekkür ederim.

5. Kaynaklar

- Adriano, D.C., 1986. Elements in the Terrestrial Environment. Springer Verlag.
- Ak, N., Eroğlu, E., Güney, İ., 2012. Statistical analysis of soil heavy metals of Istanbul children playgrounds. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, **28(2)**, 1151-1158.
- Arik, F. ve Yıldız, T., 2009. Environmental Pollution Effect of As-Pb-Zn Deposits In SE Tavaslı (Kütahya-Turkey). *ICASTOR Journal of Engineering*, **2:3(3)**, 363- 382.
- ATSDR, 2005a. Toxicological profile for nickel. Atlanta: U.S. Dept. of Health & Human Services.
- ATSDR, 2005b. Toxicological profile for zinc. Atlanta: U.S. Dept. of Health & Human Services.
- ATSDR, 2007. Toxicological profile for arsenic. Atlanta: U.S. Dept. of Health & Human Services.
- ATSDR, 2012a. Toxicological profile for cadmium. Atlanta: U.S. Dept. of Health & Human Services.
- ATSDR, 2012b. Toxicological profile for chromium. Atlanta: U.S. Dept. of Health & Human Services.
- Baldwin D.R. and Marshall, W.J., 1999. Heavy metal poisoning and its laboratory investigation, *Annals of Clinical Biochemistry*, **36 (3)**, 267–300.
- 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.
- Buat-Menard, P. and 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.
- Campbell, P. G. C., 2006. Cadmium-A priority pollutant. *Environmental Chemistry*, **3 (6)**, 387–388.
- Chakravarty, I. M. and Patgiri, A. D., 2009. Metal Pollution Assessment in Sediments of the Dikrong River, N.E. *India Journal of Human Ecology*, **27**, 63-67.
- Chatterjee, M., Filho, E. V. S., Sarkar, S. K., Sella, S. M., Bhattacharya, A., Satpathy, K. K., Prasad, M. V. R., Chakraborty, S., Bhattacharyya, B. D., 2007. Distribution and possible source of trace elements in the sediment cores of a tropical macrotidal estuary and their ecotoxicological significance. *Environ Int*, **33**, 346–356.
- Chung, S. and Chon, H.T., 2014. Assessment of the level of mercury contamination from some anthropogenic sources in Ulaanbaatar, Mongolia. *J Geochem Explor*, **147**, 237–244.
- Dock, L., and Vather, M., 2000. Metal toxicology. In B. Ballantyne, T. Mars, & T. Syversen (Eds.), General and applied toxicology. London: Macmillan, 2049–2078.
- Duffus J., 2002. Heavy metals: a meaningless term (IUPAC Technical report). *Pure Appl Chem*. **74**, 793-807.
- Fleischer, M., Sarofim, A.F., Fassett, D.W. Hammond, P., Shacklette, H.T., Nisbet, I.C.T., Epstein, S., 1974. Environmental impact of cadmium. *Environ. Health Perspect*. **5**, 253.
- Galitskova, Y.M., Murzayeva, A.I., 2016. Urban soil contamination. *Procedia Engineering*, **153**, 162-166.
- Gibbs, R.J., 1977. Transport Phases of Transition Metals in the Amazon and Yukon Rivers. *Geol. Soc. Am. Bull*, **88**, 829-843.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. *A sedimentological approach Water Res.*, **14**, 975-1001.
- Hekimbaşı, E.B., 2007. İstanbul'daki Bazı Çocuk Parklarının Kum Havuzlarındaki Ağır Metal Kirliliğinin ve Bunun Neden Olduğu Genotoksitenin Belirlenmesi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi, Araştırma Projesi.
- Jasinski, S. M., 1994. The materials flow of mercury in the United States (U.S. Bureau of Mines Information Circular 9412). Washington, DC.
- Kabata-Pendias, A., 2000. Trace Element in Soils and Plants. Third edition, CRC Press, 413.
- Kabata-Pendias, A., 2011. Trace elements in soils and plants. Florida: CRC Press.
- Kahvecioğlu Ö., Kartal G., Güven A., Timur S., 2009. Metallerin çevresel etkileri. *Metalurji Dergisi*, **136**, 47-53.
- Khodadoust, A.P., Reddy, K.R., Maturi, K., 2004. Removal of nickel and phenanthrene from kaolin soil using different extractants. *Environmental Engineering Science*, **21 (6)**, 691–704.
- KİÇDR, 2017. Kütahya il çevre durum raporu. Kütahya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
- Ljung, K., 2006. Metals in urban playground soils, distribution and bioaccessibility. Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

- 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
- Machender, G., Dhakate, R., Prasanna, L., Govil, P. K., 2011. Assessment of heavy metal contamination in soils around Balanagar industrial area, Hyderabad, India. *Environ Earth Sci*, **63**, 945–953.
- Manahan, S.E., 2003. Toxicological Chemistry and Biochemistry. CRC Press, Limited Liability Company (LLC), 3rd edition.
- Mason, B., 1966. Principals of geochemistry. New York: Wiley.
- Mertens, J. and Smolders, E., 2012. Zinc. In B. J. Alloway (Ed.), Heavy metals in soils, 3rd ed., Dordrecht: Springer, 465-494.
- Miko, S., Peh, Z., Bukovec, D., Prohic, E., Kastmüller, Z., 2000. Geochemical baseline mapping and Pb pollution assessment of soils in the karst in Western Croatia. *Natura Croatica*, **9 (1)**, 41-59.
- Müller, G., 1969. Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geo J*, **2**, 108–118.
- Müller, G., 1981. Die Schwermetallbelastung der Sedimenten des Neckars und Seiner Nebenflüsse, *Chemiker-Zeitung*, **6**, 157.
- Nieć J., Baranowska R., Dziubanek G., Rogala D., 2013. Children’s exposure to heavy metals in the soils of playgrounds, sport fields, sandpits and kindergarten grounds in the region of Upper Silesia. *Journal Ecology and Health*, **17:2**, 55–62.
- Nriagu, J.O., 1978. The biogeochemistry of lead. Amsterdam Elsevier, 18–88.
- Nriagu, J.O., 1979. Production and uses of mercury. In J. O. Nriagu (Ed.), The biogeochemistry of mercury in the environment, Amsterdam, Elsevier, 23–40.
- Nriagu, J.O., 1983. Occupational exposure to lead in ancient times. *Science of the Total Environment*, **31**, 105–116.
- Nriagu, J.O., Pacyna, J., 1988. Quantitative Assessment of Worldwide Contamination of Air, Water and Soil by Trace Metals. *Nature*, **333**, 134 – 139.
- Özburan, M. 2009. Kütahya ve Çevresinin Neotektonik İncelemesi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 227.
- Özburan, M., Gürer, Ö. F., 2012. Late Cenozoic polyphase deformation and basin development, Kütahya region, western Turkey. *International Geology Review*, **54** (12), 1401-1418.
- Özkul, C., Çiftçi, E., Köprübaşı, N., Tokel, S., Savaş, M., 2015. Geogenic arsenic anomalies in soils and stream waters of Neogene Emet basin (Kütahya-Western Turkey). *Environ. Earth. Sci.*, **73 (10)**, 6117–6130.
- Pacyna, J.M., Winchester, J.W., 1990. Contamination of the global environment as observed in the Arctic. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, **82**, 149–57.
- Palutoğlu, M., Akgul, B., Suyarko, V., Yakovenko, M., Kryuchenko, N., Şaşmaz, A., 2018. Phytoremediation of Cadmium by Native Plants Grown Mining Soil. *Bull Environ Contam Toxicol*, **100**, 293-297.
- Pepper, I.L., Gerba, C.P., Brusseau, M.L., 1996. Pollution Science. Academic Press, New York.
- Quevauviller, P., Lavigne, R., Cortez, L., 1989. Impact of industrial and mine drainage wastes on the heavy metal distribution in the drainage basin and estuary of the Sado River (Portugal). *Environ Pollut*, **59**, 267–86.
- Randall, P., Hedrick, E., Grimmet, P., Engle, M., Ilyushchenko, M., 2004. Observations and analysis of mercury in topsoil within a 100 m radius of a chlor-alkali plant in northern Kazakhstan using EPA method 7473. In International conference on mercury as a global pollutant, Ljubljana, Vol. 1, 207–211.
- Reimann, C., de Caritat, P., 2000. Intrinsic flaws of element enrichment factors (EFs) in environmental geochemistry. *Environ Sci Technol*, **34**, 5084–91.
- Roa, M.S., Gopalkrishnan, R., Venkatesh, B.R., 2001. Medical geology—an emerging field in environmental science. National Symposium on Role of Earth Sciences, Integrated and Related Societal Issues, GSI Spl. Pub., 65, 213–222.
- Rose, A.W., Hawkes, H.E., Webb, J.S., 1991. Geochemistry in mineral exploration. London: Academic Press.
- Samantaray, S., 2002. Biochemical responses of Cr-tolerant and Cr-sensitive mung bean cultivars grown on varying levels of chromium. *Chemosphere*, **47**, 1065–1072.
- Schiff, K. C., Weisberg, S.B., 1999. Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments. *Marine Environmental Research*, **48(2)**, 161–176.
- Scragg, A., 2006. Environmental Biotechnology, Oxford University Press, Oxford, UK, 2nd edition.

- Sengupta, S., Chatterjee, T., Ghosh, P. B., 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.
- Sutherland, R. A., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environ Geol*, **39**, 611–27.
- Szynkowska, M.I., Pawlaczyk, A., Leśniewska, E., T. Paryjczak, T., 2009. Toxic Metal Distribution in Rural and Urban Soil Samples Affected by Industry and Traffic. *Polish J. of Environ. Stud.*, **18**, 1141-1150
- Şaşmaz, M., Akgül, B., Yıldırım, D., Sasmaz, A., 2015. Mercury uptake and phytotoxicity in terrestrial plants grown naturally in the Gumuskoy (Kutahya) mining area, Turkey. *Int J Phytoremediation*, **18(1)**, 69-76.
- Thomson, I., 1986. Exploration geochemistry: design and interpretation of soil surveys, *Rev Econ Geol*, **3**, 1–18.
- Verla, E.N., Spiff, A.I., Horsfall, M. Jnr., 2015. A preliminary survey of Heavy metals concentrations in Children playground within Owerri Metropolis, Imo State, Nigeria. *Research Journal of Chemical Sciences*, **5(11)**, 1-8.
- Williams, C.H., David, D.J., 1981. The effect of superphosphate on the cadmium content of soils and plants, *Aust. J. Soil Res*, **11**, 43.
- Wuana R.A. and Okieimen Felix E., 2011. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry. Risks and Best Available Strategies for Remediation, *International Scholarly Research Network, ISRN Ecology*, **2011**, 20.

İnternet kaynakları

1)http://www.nsc.org/news_resources/Resources/Documents/Lead_Poisonning.pdf. (14.03.2018)

2)<http://trademetafutures.com/copperhistory.html>. (15.03.2018)