



Araştırma Makalesi/Research Article

## Termik Santrallerin Etrafındaki Topraklarda Ağır Metal Kapsamlarının Belirlenmesi: Çanakkale Örneği

Mehmet Parlak<sup>1\*</sup>  İsmail Taş<sup>2</sup>  Ceren Görgişen<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lapseki Meslek Yüksekokulu, Lapseki-Çanakkale,

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Çanakkale,

<sup>3</sup>T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü

\*Sorumlu yazar: mehmetparlak06@hotmail.com

Geliş Tarihi: 16.09.2022

Kabul Tarihi: 01.11.2022

### Öz

Kömürle çalışan termik santrallerin faaliyetleri sonucu etrafa yayılan en önemli kirleticilerden birisi de ağır metallerdir. Ağır metaller toprakta birikerek kirliliğe neden olmaktadır. Bu araştırmanın amacı Çanakkale'deki üç termik santralin (Bekirli, Değirmencik, Çan 18 Mart) etrafından rastgele alınmış yüzey topraklarında (0-5 cm) ağır metal konsantrasyonları ile ağır metallerin çevresel risklerini saptamaktır. Toprakların ağır metal analizleri ICP-OES kullanılarak yapılmıştır. Biga'daki (Bekirli ve Değirmencik) termik santrallerin etrafından alınmış topraklarda Cd, Cr, Mn, Ni ve Zn konsantrasyonu dünya topraklarından yüksek; Co, Cr ve Pb konsantrasyonu ise dünya topraklarından düşük saptanmıştır. Çan 18 Mart Termik Santrali etrafındaki topraklarda Cd, Mn ve Zn konsantrasyonu dünya topraklarından yüksek; Co, Cr, Cu, Ni ve Pb konsantrasyonu ise dünya topraklarından düşük belirlenmiştir. Hem Biga hem de Çan'daki termik santrallerde kirlilik faktörü Cd hariç diğer ağır metallerde (Mn, Pb ve Zn) orta düzeyde saptanmıştır. Üç termik santralin etrafındaki topraklar jeobirikim indeks değerlerine göre Cd bakımından kirlenmemiş Mn bakımından aşırı derecede kirlenmiştir. Kirlilik yük indeksine göre ise Cd, Cu, Mn ve Zn'de kirlenme saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır metaller, Toprak kirliliği, Kirlenme indisleri, Termik santral

### Determination of Heavy Metal Content of Soils around Thermal Power Plants: The Case of Çanakkale Province

#### Abstract

Heavy metals are among the most important pollutants emitted as a result of the activities of coal-fired thermal power plants. Heavy metals accumulate in the soil and result in pollution. This study was conducted to determine the heavy metal concentrations and the environmental risks of heavy metals in the surface soils (0-5 cm) randomly taken around three thermal power plants (Bekirli, Değirmencik, Çan 18 Mart) in Çanakkale province of Turkey. Heavy metal analyses of the soils were made using ICP-OES. Cd, Cr, Mn, Ni, and Zn concentrations in the soils taken around the thermal power plants in Biga (Bekirli and Değirmencik) were higher; Co, Cr and Pb concentrations were found to be lower than the world soils. Cd, Mn and Zn concentrations of the soils around Çan 18 Mart Thermal Power Plant were higher than world soils; Co, Cr, Cu, Ni, and Pb concentrations were determined to be lower than world soils. In both Biga and Çan thermal power plants, the contamination factor was found moderate in the other heavy metals (Mn, Pb, and Zn), except for Cd. The soils around three thermal power plants were in practically uncontaminated (Cd) and extremely contaminated (Mn) based on mean geoaccumulation index values. According to the pollution load index, contamination was detected for Cd, Cu, Mn, and Zn.

**Keywords:** Heavy metals, Soil pollution, Pollution indices, Coal-fired power plant

#### Giriş

Dünyada şehirleşme ve hızlı endüstrileşmenin artmasıyla çevredeki ağır metal birikimi de artmaktadır. Son yıllarda çevredeki ağır metal konsantrasyonlarıyla ilgili yapılan araştırmalar çoğalmıştır (Savcı, 2012; Rahmanian ve Safari, 2020; Lermi ve Sunkari, 2021; Long ve ark., 2021; Ateş ve ark., 2022; Parlak ve ark., 2022; Rahmanian ve Safari, 2020; Zhang ve ark., 2022). Ağır

metallerin çevreye yayılmasında etken olan en önemli endüstriyel faaliyetler termik santraller, çimento üretimi, gübre sanayi, demir çelik sanayi, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleridir (Kahvecioğlu ve ark., 2003). Termik santrallerde kömürün yakılmasıyla küldeki ağır metaller atmosfere yayılmakta ve daha sonra ağır metaller toprakta kirliliğe yol açmaktadır.

Son yıllarda termik santrallerin etrafındaki topraklarda ağır metal kirliliğiyle ilgili araştırmalar yapılmıştır (Keegan ve ark., 2006; Haktanır ve ark., 2010; Ateş ve ark., 2022; Mandal ve ark., 2022). Keegan ve ark. (2006) 30 yıldan fazla süredir kömürle çalışan Slovakya’ daki termik santralin etrafındaki topraklarda ağır metal konsantrasyonlarını (Zn, Pb, Cu, Cr, Ni ve Cd) araştırmıştır. 0-5 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde Zn konsantrasyonu dünya ortalamasından yüksek iken kalan ağır metallerin (Pb, Cu, Cr, Ni, Cd) konsantrasyonu dünya ortalamasının altında bulunmuştur. Haktanır ve ark. (2010) Muğla-Yatağan termik santralının etrafındaki toprakların ağır metal (Cd,Cu,Mn,Ni,Pb,Zn) kapsamlarının santrale olan mesafe ile ilişkili olmadığı, daha çok hâkim rüzgâr yönüne bağlı olarak değiştiğini belirlemiştir. Yapılan bir araştırmada termik santralin etrafındaki toprak örneklerinde Cu, Cr, Co, Mn, Ni’ in ortalama konsantrasyonları üst kıtasal kabuk değerleri ve Avrupa toprak ortalamasından daha yüksek saptamıştır (Ateş ve ark., 2022). Mandal ve ark.(2022) Batı Bengal’de (Hindistan) termik santral etrafındaki topraklarda ağır metallerin kirlilik indekslerini saptamışlardır. Araştırmacılar Mn hariç tüm ağır metallerin (Cu, Pb, Zn) topraklarda orta düzeyde kirlilik oluşturduğunu tespit etmiştir. Örnekleme alanının neredeyse tamamının son derece düşük ile düşük kirlilik seviyelerine sahip olduğunu bu da toprağın orta derecede bozulduğunu göstermiştir.

Ağır metaller; düşük derişimlerde bile toksik etki gösterebilen elementlerdir. Ağır metaller organizmaya ağız, solunum ve deri yolu ile alınır ve çoğu özel bir destek olmadan vücudun boşaltım yolları ile (böbrek, karaciğer, barsak, akciğer, deri) atılamazlar. Bu nedenle ağır metallerin büyük bir bölümü, biyolojik organizmalarda birikirler. Birikim sonucu, canlıların bünyesinde yoğunlaşan bu metaller, etkili dozlara ulaştıklarında, ciddi hastalıklara (tiroit, nörolojik, otizm ve kısırılık gibi) hatta ölümlere neden olabilirler (Özbolet ve Tuli, 2016).

Çanakkale’de 17 000-18 000 MW’a yaklaşan kurulu güç ile 16 kömürlü termik santralin üretim yapması planlanmıştır. Halen Çanakkale’de 5 kömürlü termik santral çalışır durumdadır. Bunlar Bekirli Biga, Değirmencik Biga, Karabiga Cenal, Çan 18 Mart ve Çan ODAŞ termik santralleridir. Türkiye’nin toplam enerji üretiminin yaklaşık 90 00 MW olduğu düşünüldüğünde, ülkemiz üretiminin yaklaşık beşte biri kadar enerji üretiminin Çanakkale’de yapıldığı görülmektedir. Bu santrallerin çalışması, daracık ama yaşam dolu bölgede yılda 50 milyon ton kömürün yakılacağı, binlerce tonu tehlikeli atık olmak üzere 20 milyon ton atık (cüruf, radyoaktivite ve ağır metal içeren kül, vb.) üretileceği anlamına gelmektedir (Mutluay, 2020). Böylece, Çanakkale Türkiye’nin kazan dairesi yapılmak istenmektedir. Termik santral faaliyetlerinin insan sağlığı, biyolojik çeşitlilik ve ekosistem üzerine olumsuz etkilerinin olacağı çok açıktır. Bu araştırmanın amacı Çanakkale’deki 3 termik santralin (Bekirli, Değirmencik, Çan 18 Mart) etrafındaki topraklarda ağır metal konsantrasyonlarını, ağır metallerin kirlenme indisleri (kirlilik faktörü, jeobirikim indeksi ve kirlilik yük indeksi) ile ağır metallerin yersel dağılımı saptamaktır.

## **Materyal ve Yöntem**

### **Çalışma Alanı**

Bekirli(4471875 K, 504282 D) ve Değirmencik (4477263 K, 511352 D) termik santralleri Çanakkale’nin Biga ilçesinde bulunmaktadır (Şekil 1). Biga ilçesi Marmara’nın güneybatısında yer almakta olup Biga’nın doğusunda Balıkesir’in Gönen ilçesi, batısında Çanakkale’nin Lapseki ilçesi, güneyinde Çanakkale’nin Yenice ve Çan ilçeleri, kuzeyinde Marmara Denizi bulunmaktadır. Bekirli Termik Santrali 1200 MW kurulu gücü ile Türkiye’nin 12., Çanakkale’nin ise en büyük termik santralidir. Tesis Türkiye’ nin 3. büyük ithal kömürlü termik santralidir. İthal kömüre dayalı elektrik üretimi yapan Bekirli Termik Santrali’nin ilk ünitesi Aralık 2011’de, ikinci ünitesi Temmuz 2014’de devreye alınmıştır. Santralde süper kritik kazan teknolojisi kullanılmıştır. Değirmencik Termik Santrali 405 MW kurulu gücü ile Türkiye’nin 46., Çanakkale’ nin ise 2. büyük termik santralidir.135 MW’lık üç üniteden oluşan santralde akışkan yataklı yakma teknolojisi kullanılmıştır (Yılmaz, 2017). Biga’nın iklimi Akdeniz ve Karadeniz geçiş iklimi özelliğindedir. Çalışma alanında hakim rüzgâr yönü kuzeydoğudur. Biga Yarımadası’nın jeolojisi genel hatlarıyla Kazdağ, Karadağ, Çamlıca, Karabiga masiflerinde mostra veren metamorfik temel kayaları ile bunları örten çökel ve volkanik kayalarla temsil edilmektedir. Toprak örneklerinin alındığı yerler Torasan formasyonu (fillat, mermer,

kalkışist, mikaşist), sazak formasyonu (metabazit, metalav ve metatüf) ve alüvyon/yamaç döküntüsü içerisinde (Yiğitbaş ve Tunç, 2020). Biga'daki temik santrallerin etrafından toprak örnekleri alınan mera ve ormanlardaki bitki örtüsü kermes meşesi (*Quercus coccifera* L.), abdest bozan (*Sarcopoterium spinosum* L.), mazı meşesi (*Quercus infectoria*) ve fıstık çamından (*Pinus pinea* L.) oluşmaktadır.

18 Mart Çan Termik Santrali (40°01'15,62" enlemi ile 26°58'32,88" boylamı) Çanakkale'nin Çan ilçesinde bulunmaktadır (Şekil 1). Akışkan yataкта yakma teknolojisi kullanılan santral 320 MW kurulu güce sahiptir. Akışkan yataklı kazan teknolojisi Türkiye'de ilk kez bu santralde uygulanmıştır (Yılmaz, 2017). Biga ve Çan'da meteoroloji istasyonu olmadığı için Çanakkale iklim verileri dikkate alınmıştır. 1975-2017 meteorolojik verilere göre araştırma alanının ortalama sıcaklığı 16.1 °C, ortalama yağışı ise 650 mm'dir (MGM, 2018). Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Türkiye Rüzgar Atlası'na göre termik santralin bulunduğu alan Türkiye'nin en rüzgarlı bölgesi içinde yer almaktadır (MGM, 2018). Çalışma alanındaki hakim rüzgar yönü kuzey-kuzey batıdır. Çan linyit havzası Geç Oligosen-Erken Miyosen dönemlerinde volkanizma ve tektoniğin birleşik etkisinin sonucu oluşan kaldere tipi bir havzadır (Bozcu ve ark., 2015). Çan ilçe merkezindeki kömür ocağı açık ocak maden işletmeciliğiyle işletilmekte olup çıkan düşük kaliteli linyitler termik santralde yakıt olarak kullanılmaktadır. Toprak örneklerinin alındığı mera ve ormanlarda mazı meşesi (*Quercus infectoria*), karaçalı (*Paliurus spina-cristi* Mill.), akçakesme (*Phillyrea latifolia*), kermes meşesi (*Quercus coccifera* L.) ve kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) yer almaktadır (Parlak ve ark., 2017).

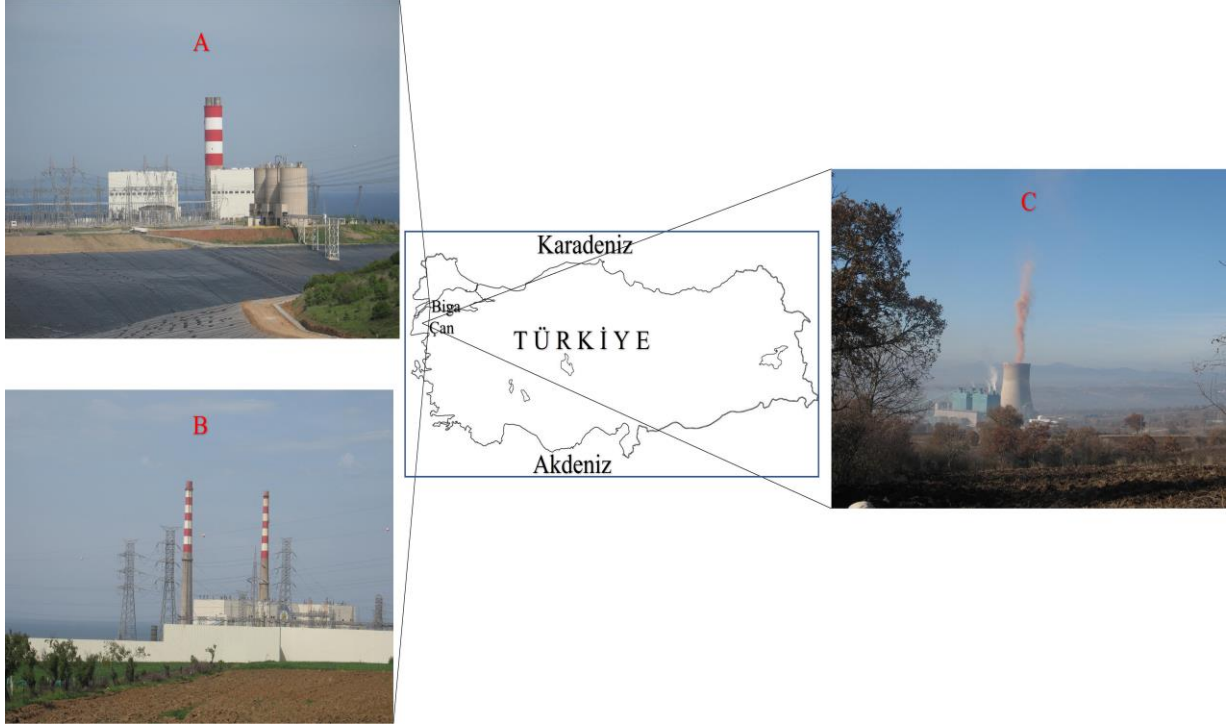


Figure 1. The location of the study area (A: Bekirli Thermal Power Plant, B: Değirmencik Thermal Power Plant, C:18 Mart Çan Thermal Power Plant)

Şekil 1. Çalışma alanının konumu(A: Bekirli Termik Santrali, B: Değirmencik Termik Santrali, C:18 Mart Çan Termik Santrali)

### Toprak Örneklerinin Alınması ve Toprak Analizleri

Biga'daki termik santrallerin (Bekirli ve Değirmencik) etrafındaki mera ve ormanlardan rastgele örnekleme yöntemine göre 45 noktadan, 18 Mart Çan termik santrali etrafındaki mera ve ormanlardan ise yine aynı yöntemle göre 62 noktadan yüzey toprağı (0-5 cm) alınmıştır. Mera veya ormanın 3 yerinden alınan toprak örnekleri karıştırılarak tek örnek haline getirilmiştir. Tarımda kullanılan gübreler ile pestisitlerin içerdiği ağır metallerin etkisinden kurtulmak istenmesi nedeniyle mera ve ormanlardan örnekleme yapılmıştır. Toprak örneği alınmış yerlerin koordinatları  $\pm 10$  m hassaslıktaki GPS (küresel konumlandırma sistemi) ile belirlenmiştir. Alınmış toprak örnekleri laboratuvara getirildikten sonra içerindeki taş ve bitki parçacıkları ayıklanmış ve laboratuvar

kurutulmuştur. Daha sonra toprak örnekleri 2 mm'lik elekten elenerek analizlere hazır hale getirilmiştir.

Toprak örneklerinin bünyesi(%kil,%silt,%kum) hidrometre yöntemiyle belirlenmiş(Gee ve Or, 2002) ve bünye(tekstür) üçgeninde bünye sınıfı saptanmıştır. pH ve EC değerleri saturasyon çamurunda (Thomas,1996; Rhoades,1996); organik madde modifiye edilmiş Walkley-Black yaş yakma yöntemine(Nelson ve Sommers,1996)göre saptanmıştır. Toplam ağır metaller (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) örnekler nitrik ve perklorik asit karışımıyla yaş yakıldıktan sonra (USEPA, 1996) ICP-OES (indüktif eşleşmiş plazma-optik emisyon spektrometresi) kullanılarak belirlenmiştir.

### **Kirlenme İndisleri**

Dünyadaki farklı araştırmacılar tarafından kirlilik faktörü (KF), jeobirikim indeksi ( $I_{geo}$ ), kirlilik yük indeksi (KYİ) gibi farklı kirlenme indisleri kirlenmemiş alana göre örnekleme alanındaki toksik metallerin girdisini belirlemek için kullanılmaktadır (Cujic ve ark., 2016; Joshy ve ark., 2015; Mandal ve ark., 2022; Olumuyiwa ve ark., 2014).

**Kirlilik Faktörü(CF):** Kirlilik faktörünün toprak kirliliğini izlemek için etkili bir yöntem olduğu düşünülmüştür (Mandal ve ark., 2022). Kirlilik faktörü aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$CF_i = \frac{C_{\text{örnekteki metal}}}{C_{\text{yer kabuğundaki metal}}} \quad (1)$$

Eşitlikte  $C_{\text{örnekteki metal}}$  metalin belirlenen konsantrasyonu,  $C_{\text{yer kabuğundaki metal}}$  yer kabuğundaki konsantrasyonudur. Kirlilik faktörü 4 sınıfa ayrılmaktadır: i)düşük $\leq 1$ ; ii)orta= $1 \leq CF < 3$ ; iii) yüksek  $3 \leq CF < 6$  ve iv) çok yüksek $\geq 6$ .

**Jeobirikim İndeksi ( $I_{geo}$ ):** Muller (1969) mevcut konsantrasyonu sanayi öncesi seviyelerle karşılaştırarak sedimentteki metal kirliliğini ölçmek ve tanımlamak için jeobirikim indeksini önermiştir. Kirlenmenin derecesini gösteren jeobirikim indeksi aşağıdaki eşitliği kullanarak hesaplanmıştır.

$$I_{geo} = \log_2(C_i/1.5 \times B_i) \quad (2)$$

Bu eşitlikte  $C_i$ : metalin mevcut konsantrasyonu,  $B_i$ : yer kabuğundaki elementin ortalama değeri (Wedepohl, 1995),  $1.5 =$  Litolojik varyasyon nedeniyle değişkenliği en aza indirme faktörü.  $I_{geo}$  7 sınıfa ayrılmaktadır. (i) kirlenmemiş=  $\leq 0$ ; (ii) kirlenmemiş ile orta derecede kirlenmiş= $0-1$ ; (iii) orta derecede kirlenmiş= $1-2$ ; (iv) orta derece ile aşırı derecede kirlenmiş= $2-3$ ; (v) aşırı derecede kirlenmiş= $3-4$ ; (vi) aşırı derecede ile yoğun olarak kirlenmiş= $4-5$ ; (vii) yoğun olarak kirlenmiş= $\geq 5$ . Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn'nin yer kabuğundaki ortalama değerleri sırasıyla  $24 \text{ mgkg}^{-1}$ ,  $126 \text{ mgkg}^{-1}$ ,  $25 \text{ mgkg}^{-1}$ ,  $716 \text{ mgkg}^{-1}$ ,  $56 \text{ mgkg}^{-1}$ ,  $65 \text{ mgkg}^{-1}$ 'dir (Wedepohl, 1995).

**Kirlilik Yük İndeksi(KYİ):**Çalışma alanındaki ağır metallerin konsantrasyonunu belirlemede kullanılmaktadır. KYİ aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$KYİ = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \frac{C_i}{B_i}} \quad (3)$$

Bu eşitlikte  $C_i$  topraktaki ağır metal konsantrasyonunu,  $B_i$  ise yer kabuğundaki ağır metal konsantrasyonunu göstermektedir. KYİ 1'den küçükse kirlenme yoktur, KYİ 1'den büyükse kirlenme vardır.

Termik santrallerin etrafındaki topraklarda ağır metallerin yersel dağılımı ArcGIS 10.1 programı kullanılarak haritalanmıştır (ESRI, 2009). Yersel dağılımın belirlenmesinde enterpolasyon yöntemi olarak Empirical Bayesian kriging metodu kullanılmıştır.

### **İstatistik Analiz**

Toprakların bazı fizikokimyasal özellikleri ve ağır metal kapsamalarına ait tanımlayıcı istatistikler (ortalama, standart sapma, en az, en fazla) Minitab 16 istatistik programı yardımıyla yapılmıştır.

**Bulgular ve Tartışma**

Çanakkale'deki termik santrallerin etrafından alınan toprakların bazı fizikokimyasal özellikleri ile ağır metal konsantrasyonları Çizelge 1' de verilmiştir. Bekirli ve Değirmencik termik santrallerinin etrafındaki toprakların bünyesi kumlu tın, kumlu killi tın, tın, kil, killi tın, kumlu tın, tınlı kum ve kum iken pH' ları 5.15 ile 7.78 arasında, EC' leri ise 0.11 ile 0.73 dSm<sup>-1</sup> aralığında değişmiştir. Toprakların ortalama organik madde kapsamı %4.47 olarak saptanmıştır. Toprak örneklerinin toplam Cd, Co ve Cr içeriklerinin sırasıyla 1.51 ile 4.78; 0.47 ile 12.59; 4.15 ile 199.80 mgkg<sup>-1</sup> aralığında değişmiştir. Toplam Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn kapsamı ise sırasıyla 4.18 ile 85.34; 149.90 ile 2771; 1.45 ile 182.10; 7.51 ile 82.66; 29.45 ile 330.20 mgkg<sup>-1</sup> aralığında tespit edilmiştir. 18 Mart Çan Termik Santrali etrafındaki toprakların ortalama kil, silt ve kum içerikleri sırasıyla %35.02, %22.54 ve %42.44 olup toprakların %33.87' sini kil, %30.65'ini kumlu kil tın, %25.81'ini killi tın, %4.84' ünü kumlu tın, %3.22' sini tın ve %1.61'ini kumlu kil bünyeli topraklar oluşturmaktadır. Toprakların pH'sı 5.35 ile 8.70 aralığında, EC'si 0.19 ile 1.63 dSm<sup>-1</sup> aralığında, organik maddesi %0.84 ile %7.61 aralığında değişmiştir. Toplam Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn kapsamı sırasıyla 2.58 mgkg<sup>-1</sup>, 2.71 mgkg<sup>-1</sup>, 15.40 mgkg<sup>-1</sup>, 31.43 mgkg<sup>-1</sup>, 1086 mgkg<sup>-1</sup>, 10.40 mgkg<sup>-1</sup>, 16.19 mgkg<sup>-1</sup> ve 81.50 mgkg<sup>-1</sup> olarak saptanmıştır.

Table 1. Some physicochemical properties and heavy metal contents of the soils taken around the thermal power plants in Çanakkale

Çizelge 1. Çanakkale'deki termik santrallerin etrafından alınan toprakların bazı fizikokimyasal özellikleri ile ağır metal kapsamı

	Bekirli ve Değirmencik Termik Santralleri				Çan Termik Santrali			
	Ortalama±standart sapma	En az	En fazla	Varyasyon katsayısı*	Ortalama±standart sapma	En az	En fazla	Varyasyon katsayısı*
Kil(%)	17.53±9.88	2.04	45.65	56	35.02±11.39	11.63	65.22	32
Silt(%)	23.56±8.91	6.12	38.78	38	22.54±6.08	8.75	34.13	27
Kum(%)	58.91±16.37	29.79	89.80	21	42.44±11.68	22.22	68.75	27
pH	6.41±0.70	5.15	7.78	11	6.32±0.55	5.35	8.70	9
EC(dSm <sup>-1</sup> )	0.39±0.17	0.11	0.73	43	0.77±0.32	0.19	1.63	41
Organik madde(%)	4.47±1.77	0.76	7.33	39	4.96±1.33	0.84	7.61	27
Toplam Cd (mgkg <sup>-1</sup> )	2.49±0.78	1.51	4.78	31	2.58±0.62	1.69	5.31	24
Toplam Co (mgkg <sup>-1</sup> )	4.11±3.55	0.47	12.59	86	2.71±2.30	0.06	9.44	84
Toplam Cr (mgkg <sup>-1</sup> )	71.28±56.24	4.15	199.8	79	15.40±10.26	4.36	74.84	66
Toplam Mn (mgkg <sup>-1</sup> )	35.94±21.88	4.18	85.34	61	31.43±27.24	9.51	311.60	86
Toplam Ni (mgkg <sup>-1</sup> )	1 143.70±593.90	149.90	2 771	52	1086±852	172	6195	78
Toplam Pb (mgkg <sup>-1</sup> )	75.36±54.97	1.45	182.10	73	10.40±5.89	2.64	29.52	56
Toplam Zn (mgkg <sup>-1</sup> )	22.08±14.22	7.51	82.66	64	16.19±8.11	4.67	61.95	50
	97.70±61.37	29.45	330.2	63	81.50±82.6	24.8	482.7	101

\*Varyasyon katsayısı <15 = düşük varyasyon, 15-35 = orta varyasyon, >35 = yüksek varyasyon

Çanakkale'deki termik santrallerin etrafından alınan toprak örneklerindeki ağır metal kapsamı ile diğer ülkelerdeki termik santrallerin karşılaştırılması Çizelge 2'de verilmiştir. Bekirli ve Değirmencik Termik Santrallerinin etrafından alınan topraklardaki Cd konsantrasyonu Tunçbilek, Rusya ve Dünya topraklarından yüksek, Brezilya ve TKKY 'den düşük; Co konsantrasyonu Çin,

Kangal ve Dünya topraklarından düşük; Cr konsantrasyonu Brezilya, Türkiye ve Dünya toprakları hariç diğerlerinden (Çin, Tunçbilek, Rusya, Kangal, Afşin-Elbistan) düşük; Cu konsantrasyonu Tunçbilek, Brezilya ve Kangal'dan yüksek, Çin, Rusya, Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği(TKKY) ve Dünya topraklarından düşük; Mn konsantrasyonu Çin, Rusya, Brezilya, Kangal ve Dünya topraklarından yüksek; Ni konsantrasyonu Çin, Rusya, Brezilya, TKKY ve Dünya topraklarından yüksek, Tunçbilek, Kangal, Afşin-Elbistan'dan düşük; Pb konsantrasyonu Tunçbilek, Brezilya, Kangal ve Dünya'dakinden yüksek, Çin, Rusya ve TKKY 'den düşük; Zn konsantrasyonu Tunçbilek, Brezilya, Kangal ve dünya topraklarından yüksek, Çin, Rusya, Afşin Elbistan ve TKKY'den düşük saptanmıştır. 18 Mart Çan Termik Santrali etrafındaki topraklarda Cd konsantrasyonu Brezilya ve TKKY 'den düşük, Tunçbilek, Rusya ve Dünya topraklarından yüksek; Co konsantrasyonu Çin, Kangal ve Dünya topraklarından düşük; Cr konsantrasyonu Brezilya'dan yüksek, Çin, Tunçbilek, Rusya, Kangal, Afşin-Elbistan, TKKY ve Dünya topraklarından düşük; Cu konsantrasyonu Tunçbilek, Brezilya, Kangal'dan yüksek, Çin, Rusya, TKKY ve Dünya topraklarından düşük; Mn konsantrasyonu Çin, Rusya, Brezilya, Kangal ve dünya topraklarından yüksek; Ni konsantrasyonu Brezilya'dan yüksek diğerlerinden (Çin, Tunçbilek, Rusya, Kangal, Afşin Elbistan, TKKY ve Dünya toprakları) düşük; Pb konsantrasyonu Brezilya'dan yüksek, Çin, Tunçbilek, Rusya, Kangal, TKKY ve Dünya topraklarından düşük; Zn konsantrasyonu Tunçbilek, Brezilya ve Dünya topraklarından yüksek Çin, Rusya, Kangal, Afşin Elbistan ve TKKY'den düşük saptanmıştır. Koca (2019) Silopi-Şırnak'taki termik santralin etrafından 6 toprak örneği alarak ağır metal analizleri yapmış ve analiz sonuçlarını iki toprak kirliliği yönetmeliği çerçevesinde değerlendirmiştir. Adı geçen araştırmacının belirttiği gibi TKKY'nin tekrar gözden geçirilerek revize edilmesi gereklidir. Termik santraller etrafındaki topraklarda ağır metal kapsamının farklı çıkması termik santralin baca yüksekliği, termik santralin etrafındaki toprak özellikleri, rüzgar yönü, iklimsel faktörler, atmosferik basınç, kömür kalitesi, kömürün yanma sıcaklığı ve kömürün ağır metal içeriğinden kaynaklanabilir (Özkul, 2016).

Table 2. Heavy metal concentrations in the soils taken around the thermal power plants in Çanakkale and other thermal power plants (mgkg<sup>-1</sup>)

Çizelge 2. Çanakkale'deki termik santraller ile diğer termik santrallerin etrafından alınmış topraklardaki ağır metal konsantrasyonları(mgkg<sup>-1</sup>)

Ağır metal	Termik Santral, Ülke									
	Bekirli ve Değirmencik-Çanakkale, Türkiye	18 Mart Çan-Çanakkale, Türkiye	Shaan xi, Çin	Tunçbilek-Kütahya, Türkiye	Novorcherka ssk, Rusya	Candio ta, Brezilya	Kangal, Türkiye	Afşin-Elbistan, Türkiye	Türkiye	Dünya
Cd	2.5	2.6	-	0.1	0.6	64.8	-	-	3	0.41
Co	4.1	2.7	18	-	-	-	64	-	-	11.3
Cr	71.3	15.4	99.1	288.2	108.4	12.8	713	191.7	100	59.5
Cu	35.9	31.4	40.3	19.6	52.5	10.8	29	38.5	140	38.9
Mn	1143.7	1086	626.4	-	834.2	485.5	721	-	-	488
Ni	75.4	10.4	30.3	557.7	57.6	8.4	610	189.4	75	29
Pb	22.1	16.2	39.7	21.2	37.6	11	17	-	300	27
Zn	97.7	81.5	124.7	57.9	102.8	50.3	82	102.2	300	70
Kaynak	Bu araştırma	Bu araştırma	Lu ve ark., 2013	Özkul, 2016	Linnik ve ark., 2019	Silva Junior ve ark., 2019	Turhan ve ark., 2020	Akba y ve ark., 2022	Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği(TKKY), 2005	Kabat a Pendi as, 2011

Biga'daki termik santrallerin etrafındaki topraklarda ağır metallerin yersel dağılımı Şekil 2'de verilmiştir. Cd konsantrasyonu termik santrallerin yakınındaki alanda yüksek iken çalışma alanının güneyinde daha düşük; Co kapsamı termik santrallerin güneyinde ve güneybatısında yüksek iken doğu ve kuzeydoğusunda daha düşük; Cr kapsamı güney ve batı yönlerinde yüksek iken kuzey ve doğu yönlerinde daha düşük saptanmıştır. Termik santrallere yakın alanlar Cu konsantrasyonu bakımından en kirli bölgeler olarak tespit edilmiştir. Çalışma alanının güney ve batısında Mn konsantrasyonu yüksek iken kuzeyi ve doğusunda Mn konsantrasyonu daha düşük; kuzeyi ve doğusunda Ni kapsamı düşük iken, batısı ve güneyinde daha yüksek Ni kapsamı belirlenmiştir. En fazla Pb ve Zn kirliliği termik santrallerin yakınında saptanmıştır. Çalışma alanında hakim rüzgar yönünde topraklarda ağır metal konsantrasyonları artmamıştır. Bazı araştırmacılar (Cujic ve ark., 2016; Tanic ve ark., 2019)termik santrallerin etrafındaki topraklarda ağır metal kapsamının hakim rüzgar yönünde

arttığını belirtmişlerdir. Tsikritzis ve ark., (2002) batı Makedonya'daki termik santrallerin etrafındaki alanda ağır metallerin dağılımı ile hakim rüzgar yönü arasında korelasyon olmadığını bildirmiştir. Bunun nedeni termik santralden salınan dumandaki ağır metallerin davranışının baca yüksekliği ve atmosferik stabiliteden etkilenmesi olarak belirtilmiştir (Hu ve ark., 2012; Minkina ve ark., 2021).

18 Mart Çan Termik Santrali etrafındaki toprakların büyük bölümünde toplam Cd  $2-3 \text{ mgkg}^{-1}$  arasında değişim gösterirken kuzey - kuzey batı bölümünde bu değerler artış göstererek Doğancılar Köyü çevresinde  $5 \text{ mgkg}^{-1}$  seviyelerine kadar çıkmıştır (Şekil 3). Alanın güney batı bölümünde Cd içeriği azalarak  $1-2 \text{ mgkg}^{-1}$  seviyelerine kadar düşmüştür. Toplam Co'nun çalışma alanındaki dağılımı farklılıklar göstermiştir. Özellikle termik santral çevresi, Karadağ Köyü ve Çekiçler Köyü çevresinde  $7 \text{ mgkg}^{-1}$  'a kadar yükselerek en yüksek değeri almıştır. Alanın güneybatı bölümünde bu değerler  $0-1 \text{ mgkg}^{-1}$  'a kadar düşmüş, doğu- kuzeydoğu bölümünde  $2-3 \text{ mgkg}^{-1}$  civarında saptanmıştır. Toprakların toplam Cr içeriği, homojen bir dağılım ( $10-20 \text{ mgkg}^{-1}$  aralığında) göstermiştir. Araştırma alanının kuzey-kuzeydoğu ve özellikle Doğaca Köyü çevresinde toprakların toplam Cr kapsamı içeriği ( $60 \text{ mgkg}^{-1}$ ) artış göstermiştir. Termik santralin güneydoğu istikametinde toplam krom içeriği en düşük değerleri ( $10 \text{ mgkg}^{-1}$ ) göstermiştir. Araştırma alanının büyük bölümünde toplam Cu içeriği  $50 \text{ mgkg}^{-1}$  'dan daha düşük iken kuzey batı yönünde toplam Cu kapsamı  $100 \text{ mgkg}^{-1}$  'a kadar çıkmıştır. Çalışma alanı topraklarının toplam Mn kapsamı büyük bölümünün hemen hemen homojen bir dağılım sergileyerek  $620-1240 \text{ mgkg}^{-1}$  aralığında bulunmuştur. Kuzey-kuzey batı bölümü ve özellikle Doğancılar Köyü çevresinde toplam Mn içeriği  $4960 \text{ mgkg}^{-1}$  seviyesine kadar yükselmiştir. Alanın güney batı bölümünde Koyunyeri ve Bahadırılı Köyleri arasında toplam Mn konsantrasyonu azalarak  $0-620 \text{ mgkg}^{-1}$  aralığına kadar düşmüştür. Toplam Ni'in alandaki dağılımı yönleri göre farklılıklar göstermiştir. Özellikle termik santral çevresi, kuzey-kuzey doğu hattından güney- güney batı hattında  $15-20 \text{ mgkg}^{-1}$  'a kadar yükselerek en yüksek değeri almıştır. Alanın doğu batı ekseninde bu değerler  $5-10 \text{ mgkg}^{-1}$  'a kadar düşmüştür. Çalışma alanının büyük bölümü  $10-20 \text{ mgkg}^{-1}$  arasında toplam Pb içeriğine sahiptir. Alanın kuzey batı yönünde toprakların toplam Pb kapsamı  $20-30 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında değişim göstermiştir. Araştırma alanı topraklarının büyük bölümünün toplam Zn içeriği  $50-100 \text{ mgkg}^{-1}$  aralığında değişim göstermiştir. Kuzey - kuzeybatı bölümü ve özellikle Doğancılar Köyü çevresinde toplam Zn konsantrasyonu  $400 \text{ mgkg}^{-1}$  seviyelerine kadar yükselmiştir. Alanın güney batı bölümünde yer alan Koyunyeri, Bahadırılı, Karakadılar, Büyükpaşa ve Durali Köyleri arasında toplam Zn kapsamı azalarak  $0-50 \text{ mgkg}^{-1}$  arasındaki seviyelere kadar düşmüştür. Termik santral etrafındaki toprakların toplam Mn, Zn, Cd, Pb ve Ni içerikleri hakim rüzgar yönü olan kuzey-kuzeybatı yönünde artış göstermiştir. Toprakların toplam Co ve Cr kapsamı ise kuzey yönünde artış göstermiştir. Agrawal ve ark., (2010) Hindistan'da kömürle çalışan 4 termik santralin etrafındaki topraklarda hakim rüzgar yönü olan batıda Cd, Pb, As, Ni'in maksimum konsantrasyonlarını sırasıyla 0.69, 13.69, 17.76 ve  $3.51 \text{ mgkg}^{-1}$  olarak bulmuşlardır.

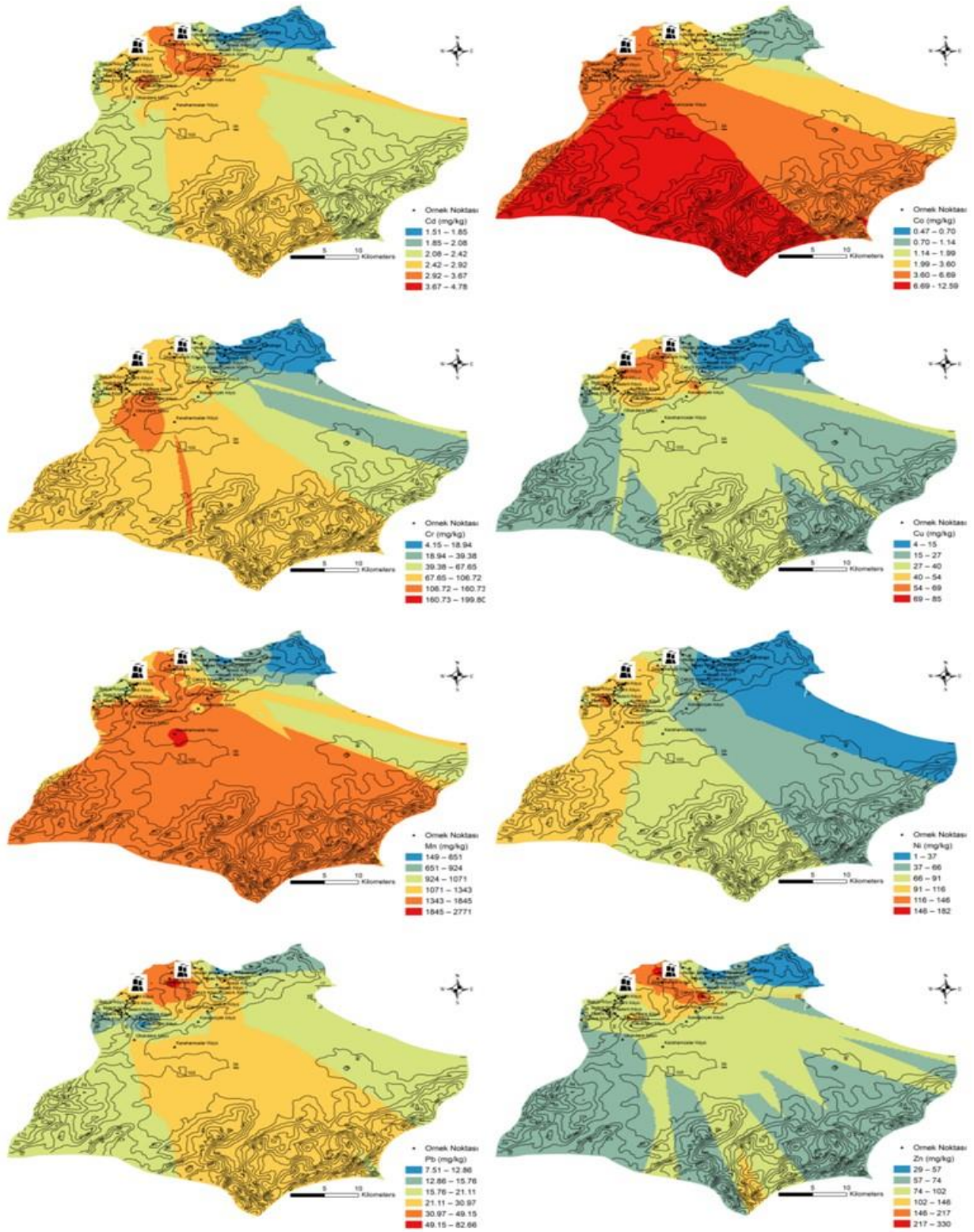


Figure 2. Spatial distribution of heavy metals of the surface soils around thermal power plants in Biga  
Şekil 2. Biga'daki termik santrallerin etrafındaki yüzey topraklarında ağır metallerin yersel dağılımı



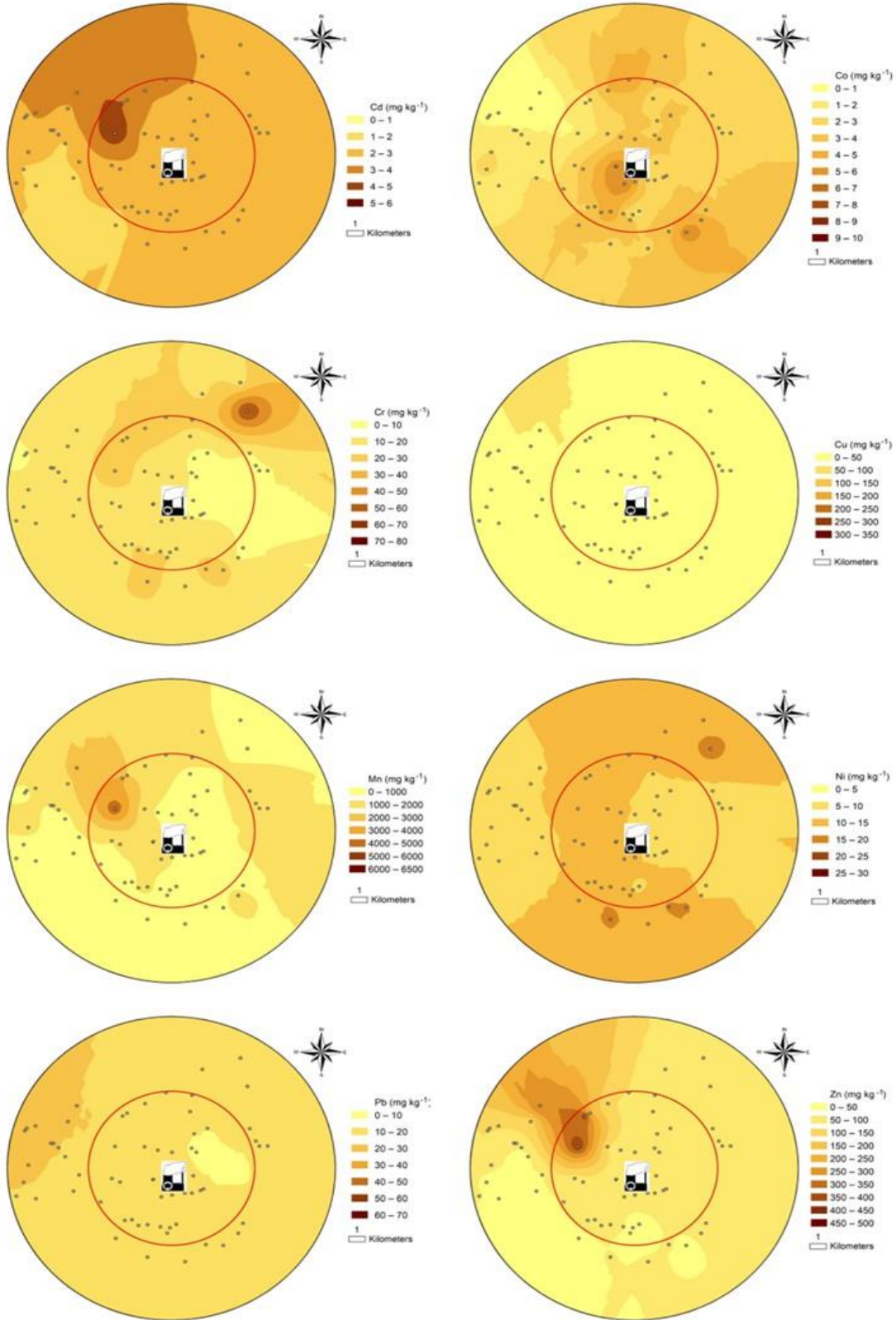


Figure 3. Spatial distribution of heavy metals of the surface soils around 18 Mart Çan Thermal Power Plant  
Şekil 3. 18 Mart Çan Termik Santrali etrafındaki yüzey topraklarında ağır metallerin yersel dağılımı

Termik santrallerin etrafından alınan topraklardaki ağır metallerin kirlenme indisleri Çizelge 3' de verilmiştir. Biga'daki 2 termik santralin etrafından örneklenen toprakların KF değerleri Cd için 24.12; Co için 0.17; Cr için 1.43; Cu için 0.56; Mn için 1.59; Ni için 1.34; Pb için 1.48; Zn için ise 1.50'dir. Biga topraklarındaki ağır metaller KF'ye göre sınıflandırıldığında, Cd çok yüksek zenginlikte; Co ve Cr düşük, diğerleri (Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn) ise orta sınıfta belirlenmiştir. 18 Mart Çan Termik Santrali etrafından alınan toprakların Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn değerleri 16.9-63.1, 0.01-0.39, 0.03-0.59, 0.38-12.46, 0.24-8.65, 0.05-0.52, 0.31-4.18, 0.38-7.42 aralıklarında değişim göstermiştir(Çizelge 3). Çan'daki termik santralin etrafındaki topraklarda ağır metallerin kirlilik faktörü(CF) Cd>Mn>Cu>Zn>Pb>Ni>Cr>Co sıralamasında bulunmuştur. Çan'daki topraklarda Cd çok yüksek; Cu, Mn, Pb ve Zn orta; Cr ve Ni ise düşük sınıfta belirlenmiştir. Cujic ve ark., (2016) Sırbistan'ın en büyük kömürle çalışan termik santralinin etrafındaki topraklarda CF'leri Cd için 1.8; Co için 2.2; Cr için 0.7; Cu için 1.8; Mn için 1.2; Ni için 3.9; Pb için 1.3; Zn için ise 1.4 olarak saptamıştır. Araştırmacılar toprakların bazı ağır metallerce(Cd, Co, Cu, Ni) kirlendiğini belirtmiştir. Huang ve ark., (2017) hesapladıkları kirlilik faktörüne göre Güneybatı Çin'deki Jinsha termik santralının etrafındaki orman topraklarının esas olarak Cd ile kirlendiğini belirtmiştir. Termik santral civarındaki toprakların ağır metallerce kirlenmesi metallerin uçucu olma sıcaklığına, rüzgar yönüne, iklim faktörlerine, yanma sıcaklığına, kömür kalitesine, kömürün ağır metal kapsamına ve atmosferik basınca göre değişir (Özkul, 2016). Genellikle termik santrallerde kullanılan düşük kaliteli kömürler yüksek kül kapsamlıdır. Bunun sonucu olarak daha fazla gaz ve uçucu küller çevreye yayılmaktadır. Böylece termik santrallerin etrafındaki topraklar kirlenmektedir. Biga'daki termik santrallerin etrafındaki topraklarda ağır metallerin jeobirikim indeksleri ( $I_{geo}$ ) Cd için -0.79; Co için 0.63; Cr için 1.80; Cu için 1.31; Mn için 2.49; Ni için 1.62; Pb için 1.17; Zn için 1.82 olarak belirlenmiştir. 18 Mart Çan Termik Santrali etrafındaki topraklarda ağır metallerin jeobirikim indeksleri( $I_{geo}$ ) Cd için -0.75; Co için 0.14; Cr için 1.60; Cu için 1.39; Mn için 2.49; Ni için 1.32; Pb için 1.10; Zn için 1.78 olarak saptanmıştır. Hem Biga hem de Çan'daki termik santrallerin etrafındaki topraklarda ağır metallerin jeobirikim indeksi bakımından Cd kirlenmemiş; Co kirlenmemiş ile orta derecede kirlenmiş; Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn orta derece ile aşırı derecede kirlenmiş; Mn ise aşırı derecede kirlenmiş sınıfına girmiştir. Pastrana-Corral ve ark., (2017) Meksika' da termik santrallerin etrafındaki topraklarda ağır metallerin (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb)  $I_{geo}$  değerlerinin kirlenmemiş ve orta derecede kirlenmiş olduğunu; Cujic ve ark.,(2016) ise Sırbistan' taki termik santralin etrafındaki alanda Cd, Co, Cr, Cu ve Pb için  $I_{geo}$  değerlerinin kirlenmemiş ile orta derecede kirlenmiş olduğunu belirlemiştir. Özkul (2016) Kütahya-Seyitömer termik santralının civarındaki toprakların Cd, Cr, Cu, Pb, Zn için jeobirikim indekslerinin kirlenmemiş ile orta derecede kirlenmiş; Ni için ise aşırı derecede yoğun olarak kirlenmiş olduğunu tespit etmiştir. Biga'daki termik santrallerde KYİ bakımından Cd, Cu, Mn, Pb ve Zn'de kirlenme mevcut olup Çan 18 Mart Termik Santralinde ise Cd, Cu, Mn ve Zn'de kirlenme saptanmıştır. Lu ve ark., (2013) Baqiao (Kuzeybatı Çin) termik santrali etrafındaki topraklarda kirlilik yük indeksinin 1.05 ile 3.10 aralığında olup ortalama değerinin ise 1.33 olduğunu ve araştırılan alanın ağır metallerle kirlendiğini belirtmiştir.



Kirlenme İndisleri	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Biga ve Değirmencik Termik Santralleri								
Kirlilik faktörü(CF)	24.12 [16.9-31.3]	0.17 [0.02-0.52]	1.43 [0.16-3.41]	0.56 [0.03-1.58]	1.59 [0.21-3.87]	1.34 [0.02-3.25]	1.48 [0.50-5.58]	1.5 [0.45-5.08]
Jeobirikim indeksi ( $I_{geo}$ )	-0.79 [(-0.99)-(0.50)]	0.63 [(-0.19)-(1.20)]	1.80 [1.35- 2.07]	1.31 [0.78-1.60]	2.49 [2.28- 2.61]	1.62 [0.79- 1.94]	1.17 [0.90- 1.54]	1.82 [1.63- 2.05]
Kirlilik yük indeksi(KYİ)	22.69	0.11	0.37	1.15	1.56	0.76	1.37	1.43
18 Mart Çan Termik Santrali								
Kirlilik faktörü (CF)	25.82 [16.90-53.10]	0.11 [0.01-0.39]	0.12 [0.03-0.59]	1.26 [0.38-12.46]	1.51 [0.24-8.65]	0.18 [0.05-0.52]	1.09 [0.31-4.18]	1.25 [0.38-7.42]
Jeobirikim indeksi ( $I_{geo}$ )	-0.75 [(-0.95)-(0.68)]	0.14 [(-4.34)-(1.12)]	1.60 [1.36- 1.92]	1.39 [1.13- 1.89]	2.49 [2.30- 2.69]	1.32 [0.99- 1.60]	1.10 [0.73- 1.47]	1.78 [1.60- 2.11]
Kirlilik yük indeksi (KYİ)	25.2	0.06	0.10	1.05	1.27	0.16	0.99	1.01

Table 3. Pollution indices of soils sampled around thermal power plants in Çanakkale [mean(minimum-maximum)]

Çizelge 3. Çanakkale'deki termik santrallerin etrafından örneklenen toprakların kirlenme indisleri [ortalama(en az-en fazla)]



### Sonuç ve Öneriler

Termik santraller, etrafındaki topraklarda kirliliğe neden olan faktörlerin başında gelmektedir. Biga'daki (Bekirli ve Değirmencik) termik santraller etrafından alınmış 45 topraktaki ortalama ağır metal konsantrasyonları Cd için  $2.49 \text{ mgkg}^{-1}$ , Cr için  $4.11 \text{ mgkg}^{-1}$ , Cr için  $71.28 \text{ mgkg}^{-1}$ , Cu için  $35.94 \text{ mgkg}^{-1}$ , Mn için  $1143.70 \text{ mgkg}^{-1}$ , Ni için  $75.36 \text{ mgkg}^{-1}$ , Pb için  $22.08 \text{ mgkg}^{-1}$ , Zn için  $97.70 \text{ mgkg}^{-1}$  olarak tespit edilmiştir. Biga'daki santrallerin etrafındaki topraklarda Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonları Türkiye'de toprak kirliliği kontrol yönetmeliğinden düşük iken Ni konsantrasyonu ise izin verilen değerden yüksek saptanmıştır. 18 Mart Çan Termik Santrali etrafından alınmış 62 toprakta ise Cd  $1.69-5.31 \text{ mgkg}^{-1}$ , Co  $0.06-9.44 \text{ mgkg}^{-1}$ , Cr  $4.36-74.84 \text{ mgkg}^{-1}$ , Cu  $9.51-311.60 \text{ mgkg}^{-1}$ , Mn  $172-6195 \text{ mgkg}^{-1}$ , Ni  $2.64-29.52 \text{ mgkg}^{-1}$ , Pb  $4.67-61.95 \text{ mgkg}^{-1}$ , Zn ise  $24.80$  ile  $482.70 \text{ mgkg}^{-1}$  aralığında değişmiştir. Çan'daki termik santralin etrafındaki topraklarda ağır metal (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn) konsantrasyonları ise Türkiye'de izin verilen değerlerden düşük belirlenmiştir.

Termik santrallerin etrafındaki mera ve orman topraklarında kirlenme faktörü Cd için çok yüksek, diğer ağır metallerde (Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) düşük sınıf ile orta sınıf aralığında; jeobirikim indeksine göre kirlenmemiş (Cd) ile orta derece ile aşırı derecede kirlenmiş aralığında tespit edilmiştir. Araştırma alanlarındaki topraklarda kirlilik yük indeksine göre Cd, Cu, Mn ve Zn'da kirlenme saptanmıştır. Yapılacak araştırmalar mera ve orman topraklarıyla sınırlı kalmamalı aynı zamanda tarım topraklarını da kapsamalıdır. Termik santrallerin etrafındaki topraklarda yetiştirilen ürünlerin ağır metal içerikleri de düzenli olarak izlenmelidir. Daha sonra toprak ve bitkideki ağır metal sonuçları termik santrallerin etrafındaki köylerde yaşayan insanlarla paylaşılmalıdır.

**Teşekkür:** Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje Numarası: FBA-2016-1047.

### Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Kaynaklar

- Agrawal, P., Mittal, A., Prakash, R., Kumar, M., Singh, T.B., Tripathi, S.K., 2010. Assessment of contamination of soil due to heavy metals around coal fired thermal power plants at Singrauli Region of India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 85: 219–223.
- Akbay, C., Aytop, H., Dikici, H., 2022. Evaluation of radioactive and heavy metal pollution in agricultural soil surrounding the lignite-fired thermal power plant using pollution indices. *International Journal of Environmental Health Research*. 19:1-2.
- Ateş, Ö., Taşpınar, K., Yalçın, G., Kızılaslan, F., Pınar, M.Ö., Toprak, S., Alveroğlu, V., Yavuz, R., Özen, D., 2022. Ecological and contamination assessment of soil in the region of coal-fired thermal power plant. *International Journal of Environmental Health Research* <https://doi.org/10.1080/09603123.2022.2108384>
- Bozcu, M., Akgün, F., Gürdal, G., Bozcu, A., Yeşilyurt, S.K., Karaca, Ö., Akkiraz, S.M., 2015. Evolution of Çan-Etili (Çanakkale-NW Turkey) lignite basin: Sedimentology, petrology, palynology and lignite characterization. *Int. J. Sediment Res.* 30: 190–207.
- Cujic, M., Dragovic, S., Dordevic, M., Dragovic, R., Gajic, B., 2016. Environmental assessment of heavy metals around the largest coal fired power plant in Serbia. *Catena*. 139: 44-52.
- ESRI, 2009. Environmental Systems Research Institute Inc. ArcGIS 10.1: Getting Started with ArcGIS Available online: [http://downloads.esri.com/support/documentation/ao\\_/1003Getting\\_Started\\_with\\_ArcGIS.pdf](http://downloads.esri.com/support/documentation/ao_/1003Getting_Started_with_ArcGIS.pdf) (Erişim Tarihi: 12.07.2022).
- Gee, G. W., Or, D., 2002. Particle-size analysis. In: Dane, J. H., Topp, G. C. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 4, Physical Methods*. 255–293. SSSA Book Series 5. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.

- Haktanır, K., Sözüdoğru Ok, S., Karaca, A., Arcak, S., Çimen, F., Topçuoğlu, B., Türkmen, C., Yıldız, H., 2010. Muğla-Yatağan termik santrali emisyonlarının etkisinde kalan tarım ve orman topraklarının kirlilik veri tabanının oluşturulması ve emisyonların vejetasyona etkilerinin araştırılması. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi. 2 (1): 13-30.
- Hu, X., Zhang, Y., Ding, Z. H., Wang, T. J., Lian, H. Z., Sun, Y. Y., Wu, J. C., 2012. Bioaccessibility and health risk of arsenic and heavy metals (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn and Mn) in TSP and PM<sub>2.5</sub> in Nanjing, China. *Atmospheric Environment*. 57: 146–152
- Huang, X., Hu, J., Qin, F., Quan, W., Cao, R., Fan, M., Wu, X., 2017. Heavy metal pollution and ecological assessment around the Jinsha Coal-Fired Power Plant (China). *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 14:1589.
- Joshy, G., Reginald, E. M., Lal, C.R., Tarit, B. D., Tofan, K. R., Mahesh, M., 2015. Human exposure risks for metals in soil near a coal-fired power-generating plant. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 68: 451-461.
- Kabata-Pendias, A., 2011. Trace Elements of Soils and Plants, fourth ed. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, USA, p. 505.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2003. Metallerin çevresel etkileri -I. *Metaller Dergisi* 136: 47-53.
- Keegan, T.J., Farago, M.E., Thornton, I., Bing H., Colvile, R.N., Pesch, B., Jakubis, P., Nieuwenhuijsen, M.J., 2006. Dispersion of As and selected heavy metals around a coal-burning power station in central Slovakia. *Science of the Total Environment* 358: 61– 71.
- Koca, Y.K., 2019. Termik santralin çevresel kirlenici etkisinin toprak kirlilik yönetmelikleri çerçevesinde değerlendirilmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Derg* 22(Ek Sayı 1): 148-153.
- Lermi, A., Sunkari, E. D., 2021. Pollution and probabilistic human health risk assessment of potentially toxic elements in the soil-water-plant system in the Bolkar mining district, Niğde, south-central Turkey. *Environmental Science and Pollution Research* <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15398-w>
- Linnik, V.G., Minkina, T.M., Bauer, T.V., Saveliev, A.A., Mandzhieva, S.S., 2019. Geochemical assessment and spatial analysis of heavy metals pollution around coal-fired power station. *Environmental Geochemistry and Health* 42: 4087–4100. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00361-z>
- Long, Z., Huang, Y., Zhang, W., Shi, Z., Yu, D., Chen, Y., Liu, C., Wang, R., 2021. Effect of different industrial activities on soil heavy metal pollution, ecological risk, and health risk. *Environmental Monitoring and Assessment* 193: 20. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08807-z>
- Lu, X., Zhao, C., Chen, C., 2013. Environmental assessment of heavy metal and natural radioactivity in soil around a coal-fired power plant in China. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 295: 1845-1854.
- Mandal, S., Bhattacharya, S., Paul, S., 2022. Assessing the level of contamination of metals in surface soils at thermal power area: Evidence from developing country (India). *Environmental Chemistry and Ecotoxicology* 4: 37-49.
- MGM, 2018. Çanakkale iklim verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (yayınlanmamış).
- Minkina, T., Konstantinova, E., Bauer, T., Mandzhieva, S., Sushkova, S., Chaplygin, V., Burachevskaya, M., Nazarenko, O., Kızılkaya, R., Gülser, C., Maksimov, A., 2021. Environmental and human health risk assessment of potentially toxic elements in soils around the largest coal-fired power station in Southern Russia. *Environmental Geochemistry and Health* 43: 2285-2300.
- Muller, G., 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal* 2: 103-118.
- Mutluay, İ., 2020. Kaz Dağları'nın Çıığı. Suyun ve Rüzgarın Şehri: Çanakkale. 315-323 ss. Editör: Dizman, İ., İletişim Yayınları 2912, Memleket Kitapları 37, İstanbul.
- Nelson, R.E., Sommers, L.E., 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Sparks, D. L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. 961-1010. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Olumuyiwa, O. O., Simiso, D., Omotayo, R. A., Mathew, M.N., 2014. Assessing the enrichment of heavy metals in surface soil and plant (*Digitaria eriantha*) around coal-fired power plants in South Africa. *Environmental Science and Pollution Research* 21: 4686–4696.
- Özbolet, G., Tuli, A., 2016. Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi* 25(4):502-521.
- Özkul, C., 2016. Heavy metal contamination in soils around Tunçbilek Thermal Power Plant (Kütahya, Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment* 188(5): 284. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5295-2>
- Parlak, M., Taş, İ., Görgişen, C., Durak, E., 2017. Çan Termik Santrali etrafındaki topraklarda radyonüklitlerin belirlenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 5 (2): 45–53.
- Parlak, M., Tunçay, T., Botsou, F., 2022. Heavy metals in soil and sand from playgrounds of Çanakkale city (Turkey), and related health risks for children. *Sustainability* 14: 1145. <https://doi.org/10.3390/su14031145>

- Pastrana-Corral, M.A., Wakida, F.T., Temores-Pena, J., Rodriguez-Mendivil, D.D., Garcia-Flores, E., Pinon-Colin, T.D.J., Quinonez-Plaza, A., 2017. Heavy metal pollution in the soil surrounding a thermal power plant in Playas de Rosarito, Mexico. *Environmental Earth Sciences* 76: 583. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6928-7>.
- Rahmanian, M., Safari, Y., 2020. Contamination factor and pollution load index to estimate source apportionment of selected heavy metals in soils around a cement factory, SW Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1861252>.
- Rhoades, J.D., 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks, D. L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. 417-436. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Savcı, S., 2012. An agricultural pollutant: Chemical fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development* 3(1):77-80.
- Silva Junior, F.M.R., Ramires, P.F., Santos, M.D., Seus, E.R., Soares, M.C.F., Muccillo-Baisch, A.L., Mirlean, N., Baisch, P.R.M., 2019. Distribution of potentially harmful elements in soils around a large coal-fired power plant. *Environmental Geochemistry and Health* 41: 2131–2143.
- Tanic, M.N., Cujic, M., Dragovic, S., Dakovic, M., 2019. Ecological and health risk assessment of heavy metals pollution in soil around the Thermal Power Plant “Nikola Tesla A”. *Facta Universitatis. Series: Working and Living Environmental Protection* 16(2): 67-82.
- Thomas, G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D. L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. 475-490. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 2005. Resmi Gazete Tarihi: 31.05.2015 Resmi Gazete Sayısı: 25831.
- Tsikritzis, L.I., Ganatsiosis, S.S., Duliu, O.G., Costas, V.K., Sawidis, T.D., 2002. Trace elements distribution in soil in areas of lignite power plants of Western Macedonia. *Journal of Trace and Microprobe Techniques* 20(2): 269-282.
- Turhan, Ş., Garad A.M.L., Haçerlioğulları, A., Kurnaz, A., Gören, E., Duran, C., Karataşlı, M., Altıkulaç, A., Savacı, G., Aydın, A., 2020. Ecological assessment of heavy metals in soil around a coal-fired thermal power plant in Turkey. *Environmental Earth Sciences* 79: 134. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-8864-1>
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 1996. Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. (Revision 2).
- Wedepohl, K.H., 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 59(7):1217–1232.
- Yılmaz, Ş., 2017. Türkiye’ de termik santrallerin detaylı dökümü (envanteri) ve santraller hakkında genel bilgiler. *Türkiye’ de Termik Santraller 2017*. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayın No: MMO/668, Ankara. ss.167-222.
- Yiğitbaş, E., Tunç, İ.O., 2020. Biga Yarımadası’nda Sakarya zonunun prekambriyen metamorfik kayaları; Geç ediyakaran gondwanaland aktif kıta kenarı. *Türkiye Jeoloji Bülteni* 63: 277-302.
- Zhang, X., Yang, H., Sun, R., Cui, M., Sun, N., Zhang, S., 2022. Evaluation and analysis of heavy metals in iron and steel industrial area. *Environment, Development and Sustainability*. 24: 10997-11010.