

Aksaray İlinin Güneybatısındaki Toprakların Ağır Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Murat KALKAN¹ , Mustafa Haydar TERZİ^{1*} 

¹ Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author
E-mail: mhaydarterzi@aksaray.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article
Geliş Tarihi/Received: 14.09.2023
Kabul Tarihi/Accepted: 21.11.2023

ÖZ

Bu çalışma da Aksaray-Adana E-90 karayolunun çevresinde yerleşim yerleri, eğitim (üniversite), sanayi ve tarımsal faaliyetlerin sürdürüldüğü bölgede yer alan toprakların jeokimyasal olarak ağır metal içeriklerinin belirlenmesi ve ulusal-uluslararası belirlenmiş standartlarla karşılaştırılarak ağır metal kirliliğinin boyutlarının araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda 15 adet toprak örneği alınmış, bu örneklerin arsenik (As), kadmiyum (Cd), kobalt (Co), bakır (Cu), nikel (Ni) ve kurşun (Pb) içerikleri indüktif olarak eşleştirilmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre As içerikleri 2 ile 212,8 mg/kg, Cd içerikleri 0,1 ile 0,4 mg/kg, Co içerikleri 1,4 ile 19,1 mg/kg, Cu içerikleri 5,1 ile 39,6 mg/kg, Ni içerikleri 12,4 ile 110,7 mg/kg ve Pb içerikleri 7,6 ile 53,2 mg/kg arasında bulunmuştur. Analiz sonuçları çalışma alanındaki bazı toprak örneklerinin Avusturya, Belçika, Hollanda, İsviçre, Türkiye ve Dünya Sağlık Örgütüne ait toprakta belirlenen sınır değerlere göre As, Ni ve Pb açısından, üst kıtasal kabuk, dünya toprak ve şeyl gibi jeolojik ortalama değerlere göre ise As, Cd, Co, Cu, Ni ve Pb açısından zenginleştiğini göstermiştir. Bu karşılaştırmaların yanında jeo-birikim indeksi (I_{geo}) hesaplamalarına göre ise çalışma alanındaki topraklarda As, Cd, Ni ve Pb kirliliği olduğu belirlenmiştir. I_{geo} hesaplamalarında Co ve Cu açısından ise belirli alanlarda artış eğilimi olmasına rağmen önemli bir derecede kirlenme gözlenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır Metal, Jeo-birikim İndeksi, Jeokimya, Toprak Kirliliği, Aksaray

Assessment of Heavy Metal Pollution of the Soils in the Southwest of Aksaray City

ABSTRACT

This study was aimed to establish the levels of geochemically heavy metal contents in soils situated in the vicinity of settlements, university, industries, and agricultural activities alongside the Aksaray-Adana E-90 highway, and to determine the extent of heavy metal pollution by comparing it with national and international standards. In this study, the soil samples were collected from fifteen locations. The concentrations of arsenic (As), cadmium (Cd), cobalt (Co), copper (Cu), nickel (Ni), and lead (Pb) in the samples were measured using an Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometer (ICP-MS). The analytical results showed varying concentrations of As, Cd, Co, Cu, Ni, and Pb, ranged from 2 to 212,8 mg/kg, 0,1 to 0,4 mg/kg, 1,4 to 19,1 mg/kg, 5,1 to 39,6 mg/kg, 12,4 to 110,7 mg/kg and 7,6 to 53,2 mg/kg, respectively. The concentrations of As, Ni, and Pb in some of the soil samples in the study area exceeded the limit values in the soils recommended by Austria, Belgium, Netherlands, Switzerland, Türkiye and the World Health Organization. Similarly, some of the soil samples exhibited enrichment of As, Cd, Co, Cu, Ni, and Pb based on the geological average values including those of the upper continental crust, world soil, and shale. Moreover, the calculations of the geo-accumulation index (I_{geo}) revealed that the existence of soil pollution with As, Cd, Ni, and Pb in the soils within the study area. It was also established that Co and Cu did not show significant pollution based on the I_{geo} calculations, although these showed an increasing trend in certain areas.

Keywords: Heavy Metal, Geo-accumulation Index, Geochemistry, Soil Pollution, Aksaray

Cite as;

Kalkan, M. ve Terzi, M.H. (2023). Aksaray İlinin Güneybatısındaki Toprakların Ağır Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi. *Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering*, 4(2), 219-231. DOI: 10.53501/rteufemud.1360204

1. Giriş

Son yıllarda sürdürülebilir çevre yönetimi çerçevesinde ağır metallerin ekosistem üzerindeki doğrudan veya dolaylı etkilerini araştıran çalışmalar giderek önem kazanmaktadır. Topraklara karışan ve biriken ağır metaller litoloji, maden ve volkanizma gibi jeolojik kökenli olarak belirli alanlarda yoğunlaşabileceği gibi, günümüzde kentleşme, sanayileşme, fosil yakıtların kullanımı ve tarımsal faaliyetler gibi faktörler sonucunda da antropojenik kökenli olarak da karşımıza çıkabilmektedir. Doğal veya antropojenik olarak toprakta yüksek konsantrasyonlarda bulunabilen bazı ağır metallerin mikrobiyal aktiviteye, toprak verimliliğine, biyolojik çeşitlilik ve ürünlerdeki verim kayıplarına, besin zinciri yoluyla sıcakkanlılarda zehirlenmelere kadar birçok çevre ve insan sağlığı problemlerine etkisi olmaktadır (Çağlarımak ve Hepçimen, 2010; Kara ve Kara, 2018; Özbolet ve Tuli, 2016; Seven vd., 2018; Sungur vd., 2020; Yerli vd., 2020). Ağır metallerin bazıları (Co, Cu, Ni gibi) toksik olmasına rağmen hayvan ve bitkiler için gerekli oldukları gibi, bazıları (Cd, Pb gibi) ise hayvan ve bitkiler için doğrudan toksik özelliindedir (Haktanır ve Arcak, 1998; Yıldız, 2001). Ağır metaller organizmaya ağız, solunum ve deri yoluyla alınır ve özel bir destek olmadan vücudun boşaltım yollarıyla (böbrek, karaciğer, bağırsak, akciğer, deri) atılamazlar. Bu nedenle ağır metallerin büyük bir bölümü, biyolojik organizmalarda birikirler. Birikim sonucu canlıların bünyesinde yoğunlaşan bu ağır metaller, etkili dozlara ulaştıklarında ciddi hastalıklara (tiroit, nörolojik, otizm ve kısırlık gibi) ve hatta ölümlere neden olabilirler (Özbolet ve Tuli, 2016). Bu nedenle hava, su gibi ekolojik sistemin temelini oluşturan ve insanoğlunun yaşantısında önemli bir yere sahip olan toprakta oluşabilecek olası jeolojik ve/veya antropojenik kökenli ağır metal kirliliklerinin ne derecede ve hangi ağır metal bakımından kirlendiğinin belirlenmesi günümüz dünyası için oldukça önem arz etmektedir.

Toprakta ağır metal kirliliğinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar gün geçtikçe artış göstermektedir. Bu kapsamda farklı araştırmacılar tarafından 0-5 cm (Bodur vd., 2023; Yan vd., 2013), 0-10 cm (Özkul, 2008; Rostaminy vd., 2023), 5-10 cm (Aghlidi vd., 2020), 0-15 cm (Bilge ve Çimrin, 2013; Moore vd., 2016; Özkul vd., 2018), 15-20 cm (Kırat ve Savcı, 2023), 0-20 cm (Adiloğlu ve Sağlam, 2015; Sarıyıldız ve Savacı, 2023; Sungur vd., 2020; Türkmenler, 2022), 0-25 cm (Dartan ve Toröz, 2013; Vural, 2014), 20-30 cm (Atilla vd., 2017; Akyıldız ve Karataş, 2018; Baran ve Kıral, 2021; Vural ve Çiçek, 2020), 0-30 cm (Chiroma vd., 2014; Özkan, 2017; Palas, 2020; Vural ve Erdoğan, 2014; Yılmaz ve Terzi, 2023), 0-40 cm (Demirela vd., 2020) ve 0-50 cm (Adimalla vd., 2019) gibi değişen derinliklerden toprak örnekleri alınarak analitik cihazlar vasıtasıyla jeokimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu cihazlar arasında atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) (Akyıldız ve Karataş, 2018; Bilge ve Çimrin, 2013; Chiroma vd., 2014; Rostaminy vd., 2023; Sungur vd., 2020), indüktif olarak eşleştirilmiş plazma-atomik/optik emisyon spektrometresi (ICP-AES/OES) (Abacı Bayar ve Yılmaz, 2020; Adiloğlu ve Sağlam, 2015; Aghlidi vd., 2020; Durdu, 2018; Özkan, 2017; Palas, 2020; Vural ve Erdoğan, 2014; Vural, 2014), indüktif olarak eşleştirilmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) (Bodur vd., 2023; Baran ve Kıral, 2021; Dartan ve Toröz, 2013; Kırat ve Savcı, 2023; Moore vd., 2016; Özkul vd., 2018; Özkul, 2008; Türkmenler, 2022; Vural ve Çiçek, 2020; Yan vd., 2013) ve enerji/dalga boyu dağılımlı x-ışınları floresans spektrometresi (ED/WD-XRF) (Adimalla vd., 2019; Atilla vd., 2017; Demirela vd., 2020; Sarıyıldız ve Savacı, 2023; Yılmaz ve Terzi, 2023) toprak örneklerinin ağır metallerini belirlemede sıklıkla kullanılmaktadır.

Aksaray ilinin konumu ve önemli bir ulaşım güzergâhının üzerinde yer alması, üniversitesinin yanında sanayi bölgelerinin gelişmesi, yeni yapılaşmalara ve istihdam olanaklarına sahip

olması, tüm bunlarla birlikte artan nüfus ve trafik yoğunluğu, bölgedeki topraklarda ağır metal kirliliğinin araştırılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Ancak Aksaray ili özelinde ağır metal kirliliğine yönelik yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır (Durdu, 2018; Demirela vd., 2020). Durdu (2018) yaptığı çalışmada Aksaray-Sultanhanı, Aksaray-Karacaören ve Aksaray-Altınkaya köylerine kadar olan karayolu güzergâhlarında 11 farklı noktadan aldıkları toprak örneklerinde, toksik özellik gösteren Al, Hg, Pb, Cd, Zn, Ni ve Fe gibi ağır metallerin varlığını ICP-OES cihazıyla tespit etmiştir. Demirela vd. (2020) ise Aksaray Üniversitesi merkez kampüs alanındaki topraklarda WD-XRF cihazıyla tespit ettikleri As ve Pb içeriklerinin üst kabuk ortalama değerlerine göre yüksek olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada da aktif ve yoğun bir trafiğe sahip olan Aksaray-Adana E-90 karayolunun üzerinde yerleşim yerleri, eğitim (üniversite), sanayi ve tarımsal faaliyetlerin sürdürüldüğü bölgede yer alan toprakların jeokimyasal olarak ağır metal içeriklerinin belirlenmesi ve ulusal-uluslararası belirlenmiş standartlarla karşılaştırılarak ağır metal kirliliğinin boyutlarının araştırılması amaçlanmıştır.

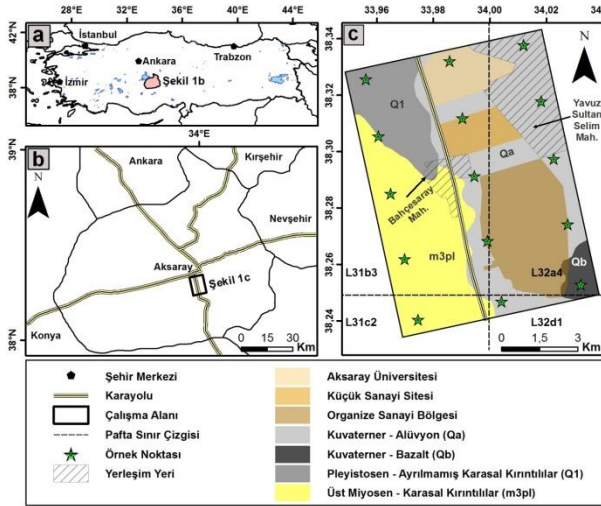
2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

İç Anadolu bölgesinin Orta Kızılırmak bölümünde, 38-39 kuzey paralelleri ile 33-35 doğu meridyenleri arasında yer alan Aksaray yaklaşık 7.997 km²'lik bir yüz ölçümüne sahip olup, denizden yüksekliği (rakım) ortalama 980 m'dir. Aksaray, Hasan Dağı, Melendiz Dağları ve Ekecik Dağı gibi önemli yükseltilerin yanında büyük çoğunlukla düz ve geniş bir arazi yapısına sahiptir. Aksaray ili orta iklim kuşağında olup, karasal iklim tipine sahiptir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlıdır. Yağışlar genellikle ilkbahar ve kış aylarında görülmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık 12,1 °C ve aylık ortalama yağış miktarı 360,6 mm'dir (URL-1; URL-2). Aksaray ilinin ekonomisi ve işgücünün büyük bir bölümü tarımsal faaliyetlere bağlıdır. 2018 yılı verilerine göre Aksaray ilinin

yüz ölçümüne oranla ilde bulunan tarım alanlarının büyüklüğü yaklaşık %51'dir. Aksaray'ın iklimi ve toprak yapısı ile uygun olarak üretilen tarım ürünleri, buğday, mısır, arpa, çavdar, yulaf, triticale, kuru fasulye, nohut, yeşil mercimek, ayçiçek tohumu, aspir tohumu, patates, yer elması, şeker pancarı, fiğ ve yonca'dır (AHİKA, 2019).

Aksaray sınırları içerisinde yer alan ve bu araştırmaya konu olan çalışma alanı, şehir merkezinin güneybatısında, L31b3, L31c2, L32a4 ve L32d1 paftalarının kesişiminde ve Aksaray-Adana karayolunun çevresinde yaklaşık 67 km²'lik bir alan kaplamaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı içerisinden geçen Aksaray-Adana karayolunda 2022 yılındaki trafik yoğunluğu Karayolları Genel Müdürlüğü-Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) verilerine göre sanayi bölgeleri civarında 11.540 araç sayısına ulaşmıştır (URL-3). Karayolu çevresindeki yerleşim yerlerinden Bahçesaray Mahallesi 2022'de 3.495 kişilik nüfusa sahip iken, Yavuz Sultan Selim Mahallesi ise 8.762 kişilik bir nüfusa ev sahipliği yapmaktadır (URL-4). Çalışma alanı içerisinde yer alan Aksaray Üniversitesi merkez kampüsü yaklaşık 4,5 km²'lik bir alan kaplamakta ve içerisinde bulundurduğu 13 fakülte, 3 enstitü, 1 yüksekokul ve 1 meslek yüksekokulunda 2022 yılı verilerine göre 16.362 öğrenci, 296 idari ve 748 akademik personel ile toplamda 17.406 kişilik bir insan hareketliliğine sahiptir (URL-5). Aksaray Üniversitesinin güneyinde yer alan ve yaklaşık 3,2 km²'lik bir alan kaplamakta olan Küçük Sanayi Sitesinde araç tamir, kaporta, boya ve döşeme vb. işlerin yanında hırdavat, demir sac profil, kereste, PVC kapı vb. üretim faaliyetleri gösteren 1.620 dükkân yer almaktadır (URL-6). Çalışma alanındaki diğer bir sanayi bölgesi olan ve yaklaşık 12 km²'lik bir alan kaplayan Organize Sanayi Bölgesinde üretime geçen, geçmeye hazırlanan, yapımı ve proje çalışması devam eden toplam fabrika sayısı 585 iken, toplam istihdam sayısı 13.472'dir (URL-7).



Şekil 1. Çalışma alanına ait yer bulduru ve jeoloji haritası (URL-8).

Figure 1. The location and geology maps of the study area (URL-8).

2.1.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

Aksaray ili Türkiye jeolojisindeki tektonik konumu itibariyle Ankara-Sivas-Niğde arasında yaklaşık üçgen şekilli Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı (OAKK) içerisinde yer almaktadır (Göncüoğlu vd., 1991; 1992). OAKK, çalışma alanının temel kayalarını oluşturan ve içerisinde düzenli bir istif sunan üç farklı kaya grubundan oluşmaktadır. En altta bulunan metamorfik kaya birimleri Orta Anadolu Metamorfitleri olarak adlandırılmıştır. Metamorfik kayaları tektonik olarak üzerleyen okyanusal kabuğa ait kayalar Orta Anadolu Ofiyolitleri, metamorfik ve ofiyolitik kaya birimlerini sıcak dokanak ile kesen intrüzif kayalar ise Orta Anadolu Granitoidleri olarak adlandırılmıştır (Göncüoğlu vd., 1991; 1992). Çalışma alanında OAKK'ya ait temel kayalar yüzlek vermemekte olup, yaygın olarak Üst Miyosen yaşlı karasal kırıntılılar (m3pl), Pleyistosen yaşlı ayrılmamış karasal kırıntılılar (Q1) ve Kuvaterner yaşlı bazalt (Qb) ve alüvyon (Qa) birimleri gözlenmektedir (Şekil 1; URL-8). Çalışma alanının kuzeydoğu kesimlerinde yapılan sondaj verilerine göre alttan üstte doğru sırasıyla; 700-200 m arası kumtaşı-kil ardalanması, 200-30 m arasında siltli jipsli kil, 30-1 m arasında boşluklu killi kireçtaşı, 1-0 m arasında çoğunlukla siltli

kum, az çakıllı kum ve siltli kil'den oluşan alüvyonların yer aldığı belirtilmektedir (Demirela vd., 2020; Kavurmacı vd., 2008; Usta, 2008). Karotlarda gözlenen kireçtaşları beyazımsı bej renkli olup, boşlukları ikincil kalsitler ile doldurulmuştur. Tüm birimleri uyumsuz olarak örten alüvyonların özellikle üst kesiminde gözlenen killi seviyeler sıkışmış şekilde ve kahve renkli olup, kumlu seviyeler gevşek yapıdadır. Az çakıllı kumdaki yuvarlaklaşmış çakıllar, volkanik kökenlidir (Demirela vd., 2020). Çalışma alanı içerisinde yer alan alüvyal, kahverengi ve kireçsiz kahverengi toprak çeşitlerinin tuz oranı düşük, kireçli, fosfor ve potasyum oranının yüksek olduğu belirtilmektedir (AHİKA, 2019).

2.2. Örnekleme ve ICP-MS Analizleri

Araştırmaya konu olan toprak örnekleri, Eylül 2022'de el tipi GPS (Küresel Konumlama Sistemi) kullanılarak 15 farklı örnekleme noktasından 0-30 cm derinlikten alınmıştır. Her örnekleme noktasından 1-1,5 kg kadar toprak alınarak, polietilen poşetlere konulmuştur. Laboratuvara getirilen örnekler fiziksel ve kimyasal olarak hiçbir materyalden etkilenmeyecek şekilde temiz bir ortamda oda sıcaklığında kurutulmuş, daha sonra 10 No.lu elekten (2 mm) geçirilmiştir. Toprağın bitki sapı ve kök gibi kısımlarından ayrılan ince kısmı daha sonra jeokimyasal analizler için Aksaray Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi Jeokimyasal Analiz Laboratuvarında bulunan Fritsch marka bilyeli öğütücüde öğütülerek yaklaşık 200 nolu elek altı (0,075 mm) boyutunda homojen toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen örnekler, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında bulunan ICP-MS cihazı ile altı element (As, Cd, Co, Cu, Ni, Pb) için 0,1 mg/kg hassasiyetinde analizlere tabii tutulmuştur. Çözme işlemi ve analiz için sırasıyla TS ISO 14869-1 ve SM3125 Standartlarına göre işlem prosedürü uygulanmıştır.

2.3. Ağır Metal Kirlilik Seviyesinin Tespiti ve Mekânsal Dağılım Haritalarının Oluşturulması

Çalışma alanındaki topraklardan elde edilen As, Cd, Co, Cu, Ni ve Pb içeriklerinin ağır metal kirlilik seviyesinin tespiti için örnekler Avusturya, Belçika, Hollanda, İsviçre, Türkiye ve Dünya Sağlık Örgütüne ait toprakta belirlenen sınır değerleri ile üst kıtasal kabuk, dünya toprak ve şeyl gibi jeolojik ortalama değerlerle normalize edilerek karşılaştırılmıştır. Normalize değeri ilgili örneğin *i* element değerinin, referans alınan değerin *i* element değerine bölünmesiyle elde edilir. Böylece elde edilen oransal değer, 1'den küçükse fakirleşmenin, 1'den büyükse de zenginleşmenin olduğunu gösterir. Bu hesaplamaların yanında örnekler üzerinde Muller (1969) tarafından önerilen jeo-birikim indeksi (I_{geo}) hesaplamaları da yapılmıştır. Hesaplamalar yapılırken dedeksiyon limitinin altında kalan örneklerin (kadmiyum, 2 örnek) analiz sonuçlarının yarı değerleri kullanılmıştır. Mekansal dağılım haritaları toprak kirliliği çalışmalarında yaygın olarak kullanılan krigleme yöntemi ile oluşturulmuştur (Adimalla vd., 2019;

Aghlidi vd., 2020; Baran ve Kıral, 2021; Demirela vd., 2020; Özkul vd., 2018; Palas, 2020; Vural ve Erdoğan, 2014; Yılmaz ve Terzi, 2023). Haritaların oluşturulmasında ArcMap 10.2 yazılımı kullanılmıştır. Oluşturulan haritalarda koordinat sistemi olarak WGS84 / UTM Zon 36 kullanılmıştır.

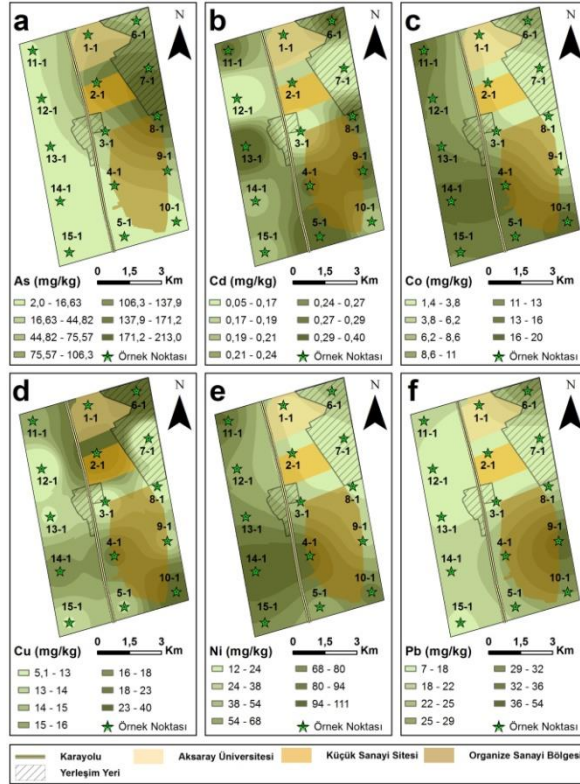
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Jeokimya

Çalışma alanından alınan toprak örneklerinin As içerikleri 2 ile 212,8 mg/kg, Cd içerikleri 0,1 ile 0,4 mg/kg, Co içerikleri 1,4 ile 19,1 mg/kg, Cu içerikleri 5,1 ile 39,6 mg/kg, Ni içerikleri 12,4 ile 110,7 mg/kg ve Pb içerikleri 7,6 ile 53,2 mg/kg arasında değişmektedir (Tablo 1). Oluşturulan mekânsal dağılım haritalarında çalışma alanının kuzeydoğusunda As, güney ve batısında Cd, güney-güneybatı, güneydoğu ve kuzeybatısında Co ve Ni içerikleri, kuzey-kuzeydoğu ve güney-güneydoğusunda Cu içerikleri, kuzeydoğu ve güneydoğusunda ise Pb içeriklerinin belirli alanlarda yoğunluk gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 2).

Tablo 1. Çalışma alanından alınan toprak örneklerine ait jeokimyasal analiz sonuçları.
Table 1. The geochemical analysis results of soil samples taken from the study area.

Örnek No	Koordinat		As mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg
	Doğu	Kuzey						
1-1	38,332079	33,985719	91,5	0,2	2	19	16,1	11,7
2-1	38,311786	33,990247	144	0,2	3,3	36,1	24,1	17,3
3-1	38,291211	33,994465	58,7	0,1	4,8	10,7	34	13
4-1	38,268308	33,999114	5,9	0,3	18,4	19	109,7	26,9
5-1	38,246693	34,004131	2,6	0,4	12,8	13,9	56,6	23,7
6-1	38,337729	34,011875	62,4	0,3	10,7	39,6	46,1	39,8
7-1	38,317788	34,018122	171	<0,1	1,4	5,1	12,4	7,6
8-1	38,297419	34,022523	212,8	0,3	3,2	11,1	22,1	15,6
9-1	38,274215	34,027537	41,6	0,3	2	13,4	30	53,2
10-1	38,252783	34,032167	5,1	0,2	19,1	28,5	87,5	28,4
11-1	38,325686	33,956129	9,3	0,3	17,6	15,4	95,9	19,3
12-1	38,305365	33,960531	2	<0,1	13	7,8	62,1	12,9
13-1	38,284994	33,964884	5,2	0,4	13,1	12,7	74,9	17,2
14-1	38,261863	33,969836	3,5	0,2	17	17,3	110,7	20,2
15-1	38,240294	33,974516	3,3	0,2	13,6	12,8	79,9	14,6
Minimum			2	0,1	1,4	5,1	12,4	7,6
Maksimum			212,8	0,4	19,1	39,6	110,7	53,2



Şekil 2. Çalışma alanından alınan toprak örneklerinin element içeriklerinin mekânsal dağılım haritaları: a) As, b) Cd, c) Co, d) Cu, e) Ni ve f) Pb.

Figure 2. The spatial distribution maps of elemental contents in the soil samples taken from the study area: a) As, b) Cd, c) Co, d) Cu, e) Ni and f) Pb

Çalışma alanındaki toprak örnekleri Avusturya, Belçika, Hollanda, İsviçre, Türkiye ve Dünya

Sağlık Örgütüne ait toprakta belirlenen sınır değerleri ile üst kıtasal kabuk, dünya toprak ve şeyl gibi jeolojik ortalama değerlerle normalize edilerek karşılaştırılmıştır (Tablo 2; Şekil 3). Bazı toprak örneklerinin Avusturya ve Belçika standartlarına göre As ve Ni, Hollanda ve İsviçre standartlarına göre Ni ve Pb, Türkiye ve Dünya Sağlık Örgütü standartlarına göre ise As ve Ni elementleri açısından belirtilen sınır değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 3, (a-c)). Benzer şekilde üst kıtasal kabuk ve dünya toprak değerlerine göre As, Cd, Co, Cu, Ni ve Pb açısından, şeyl değerine göre ise As, Cd, Ni ve Pb elementleri bakımından bazı toprak örneklerinin ortalama değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 3, (d)).

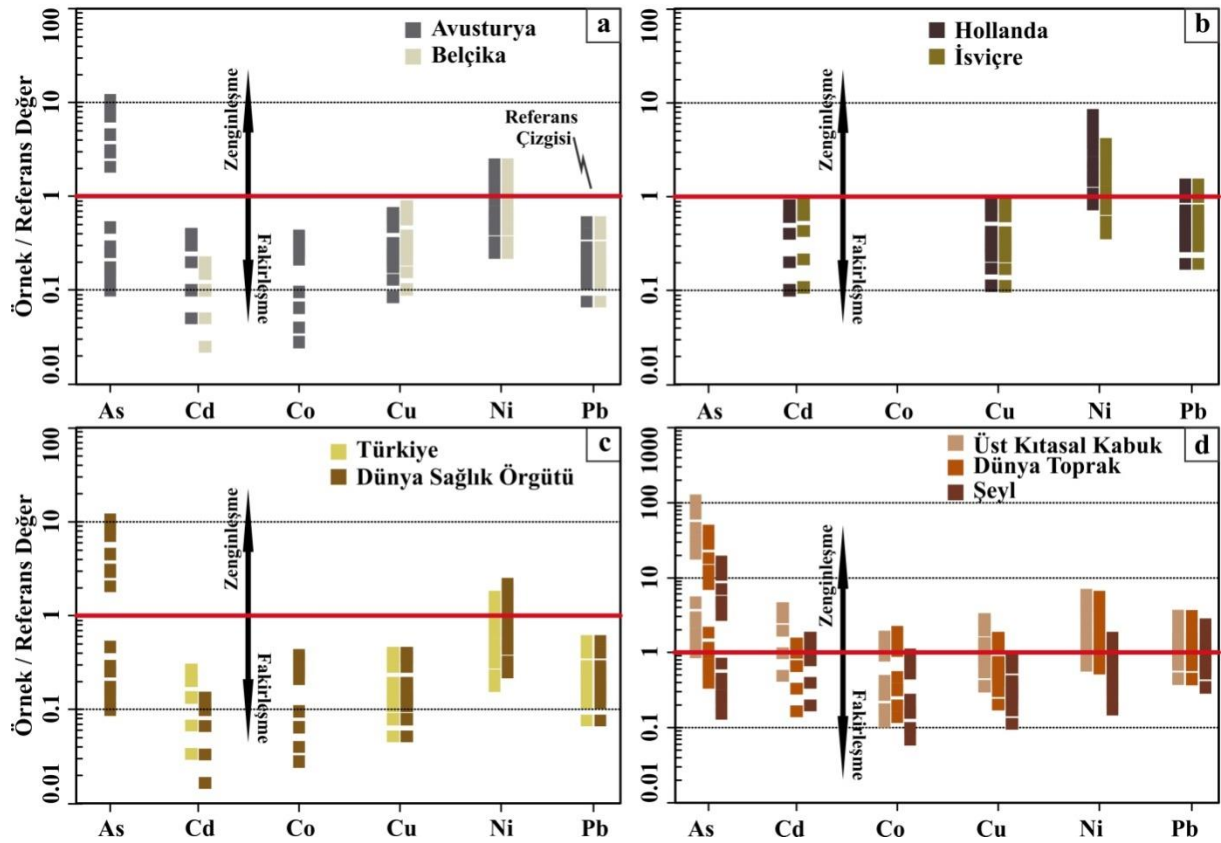
3.2. Jeo-birikim indeksi (I_{geo})

Bu çalışma kapsamında alınan toprak örneklerinin kirlenme derecesini belirlemek için Muller (1969) tarafından önerilen I_{geo} indeksi kullanılmıştır. Bu indeks günümüzdeki mevcut element değerlerini sanayileşme öncesi değerlerle karşılaştırarak toprakta meydana gelen ağır metal kirliliğinin seviyesini belirlemek için hesaplanmakta olup, literatürde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Adımalla vd., 2019; Aghlidi vd., 2020; Akyıldız ve Karataş, 2018; Arıcı, 2019; Baran ve Kırıl, 2021; Bodur vd., 2023; Özkul vd., 2018; Palas, 2020; Vural, 2014; Vural ve Çiçek, 2020).

Tablo 2. Bazı ülke ve kurumlara ait toprakta belirlenen sınır değerler ile üst kıtasal kabuk, dünya toprak ve şeyl ortalama değerleri.

Table 2. The maximum allowable limit values in the soils determined by some countries and institutions, as well as the average values of upper continental crust, world soil and shale.

	As	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Referans
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
Bazı Ülke ve Kurumlara Ait Toprakta Belirlenen Sınır Değerler							
Avusturya	20	1-2	50	60-100	50-70	100	Amlinger vd., 2004
Belçika	-	2	-	50	50	100	
Hollanda	-	0,5	-	40	15	40	
İsviçre	-	0,4	-	40	30	40	
Türkiye	-	1,5	-	100	70	100	T.C. Resmi Gazete, 2010
Dünya Sağlık Örgütü	20	3	50	100	50	100	Chiroma vd., 2014
Jeolojik Ortalama Değerler							
Üst Kıtasal Kabuk	2	0,102	11,6	14,3	18,6	17	Wedepohl (1995)
Dünya Toprak	5	0,3	10	25	20	17	Koljonen (1992);
Şeyl	13	0,25	20	45	70	22	Reimann ve Caritat (1998)



Şekil 3. Çalışma alanından alınan toprak örneklerinin As, Cd, Co, Cu, Ni ve Pb içeriklerinin a) Avusturya ve Belçika, b) Hollanda ve İsviçre, c) Türkiye ve Dünya Sağlık Örgütü'nün toprakta belirlenen sınır değerlerine ve d) üst kıtasal kabuk, dünya toprak ve şeyl ortalama değerlerine normalize edilmesiyle oluşturulan diyagramlar.

Figure 3. The diagrams show that As, Cd, Co, Cu, Ni and Pb contents of soil samples normalized to the soil limit values of: a) Austria and Belgium, b) Netherlands and Switzerland, c) Turkey and the World Health Organization, and d) the average values of upper continental crust, world soil and shale..

Aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5 \times B_n} \right) \quad (1)$$

Formüldeki C_n , toprak örneklerindeki ilgili elementin konsantrasyonu; B_n ise aynı ilgili elementin jeokimyasal temel değerini temsil etmektedir. Bu çalışma kapsamında I_{geo} indeksi hesaplamalarındaki jeokimyasal temel değeri olarak ortalama şeyl değeri (Tablo 2) kullanılmıştır. Sabit değer olan "1.5" ise antropojenik etki katsayısıdır. I_{geo} indeksi yedi farklı sınıfa ayrılmaktadır (Tablo 3).

Hesaplanan I_{geo} değerleri As için -3,29 ile 3,45, Cd için -2,91 ile 0,09, Co için -4,42 ile -0,65, Cu için -3,73 ile -0,77, Ni için -3,08 ile 0,08 ve Pb için -2,12 ile 0,69 arasında değiştiği

belirlenmiştir (Tablo 4). Dolayısıyla çalışma alanındaki topraklarda I_{geo} indeksine göre kobalt ve bakır açısından bir kirlenmenin olmadığını söylemek mümkündür. Bununla birlikte As için 3 örneğin (Örnek No: 3-1; 6-1; 9-1) orta derecede, 2 örneğin (1-1; 2-1) orta derecede-çok kirlenmiş ve 2 örneğin (7-1; 8-1) çok kirlenmiş sınıfta yer aldığı belirlenmiştir. Ayrıca Cd (5-1; 13-1), Ni (4-1; 14-1) ve Pb (6-1; 9-1) elementleri için ise 2'şer örneğin kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş sınıfta yer aldığı belirlenmiştir (Tablo 3 ve 4). I_{geo} hesaplamasına göre kirlilik belirlenen dört element (As, Cd, Ni, Pb) için mekansal dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4). Bu haritalarda dört elementin büyük çoğunlukla birbirlerinden farklı alanlarda yer aldığı gözlenmektedir. Bu durum bu elementlerin oluşturduğu toprak kirliliğinin farklı kaynaklardan ve birbirlerinden bağımsız

olarak türemiş olabileceği fikrini akla getirmektedir.

Oluşturulan haritalarda I_{geo} -As kuzeydoğu yönünde düzenli bir şekilde artış trendi göstermektedir (Şekil 4, (a)). As açısından önemli derecede artış gösteren örneklerin (1-1; 2-1; 3-1; 6-1; 7-1; 8-1; 9-1) sanayi bölgelerine olan yakınlığı meydana gelen artışın sanayileşme ile ilgili olduğu fikrini öne çıkarmaktadır. Çünkü burada bulunan sanayi bölgelerinde metal, gübre, cam vb sektörlerinde (Mirsal, 2008) faaliyet gösteren sanayi kuruluşlarının varlığı arsenik içeriklerini antropojenik olarak arttırmış olabilir.

Bunun aksine Kavurmacı ve Tekocak Yardımlı (2020) ise Aksaray ve çevresinde yaptıkları yeraltı suyu kimyası çalışmalarında yüksek As içeriklerinin Hasandağı volkanizmasının yanında bölgedeki derin dolaşım suların kırık-çatlaklar boyunca yüzeye çıkarken sığ dolaşım sistemine sahip soğuk sularla karışması ile ilişkili olabileceğini vurgulamaktadır. Ancak As içeriklerinin üst kıtasal kabuk, dünya toprak ve şeyl ortalama değerlerine göre de zenginleşmiş olması, As artışının jeolojik faktörlerden ziyade antropojenik faktörlerden beslendiği fikrini güçlendirmektedir.

Tablo 3. Jeo-birikim indeksi sınıflaması (Muller, 1969).

Table 3. The geo-accumulation index classification (Muller, 1969).

Jeo-birikim İndeksi	I_{geo} Sınıfı	Toprak Kalitesi
$I_{geo} \leq 0$	0	Kirlenmemiş
$0 < I_{geo} < 1$	1	Kirlenmemiş/orta derecede kirlenmiş
$1 < I_{geo} < 2$	2	Orta derecede kirlenmiş
$2 < I_{geo} < 3$	3	Orta derecede/çok kirlenmiş
$3 < I_{geo} < 4$	4	Çok kirlenmiş
$4 < I_{geo} < 5$	5	Çok/aşırı kirlenmiş
$5 < I_{geo} < 10$	6	Aşırı kirlenmiş

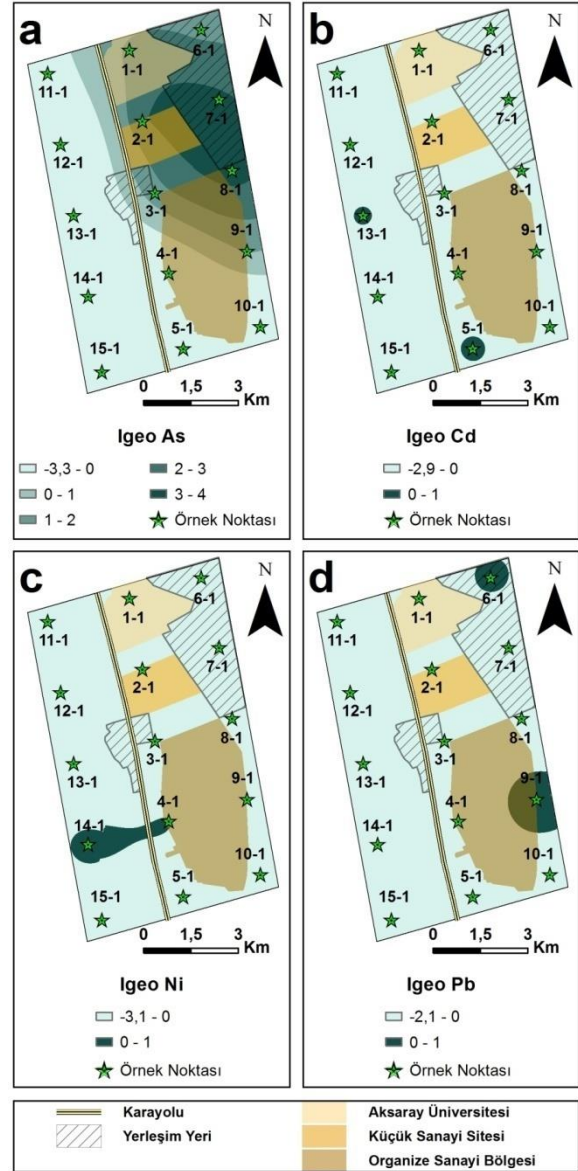
Tablo 4. Jeo-birikim indeksi hesaplama sonuçları.

Table 4. The results of geo-accumulation index calculation

Örnek No	I_{geo} -As	I_{geo} -Cd	I_{geo} -Co	I_{geo} -Cu	I_{geo} -Ni	I_{geo} -Pb
1-1	2,23	-0,91	-3,91	-1,83	-2,71	-1,50
2-1	2,88	-0,91	-3,18	-0,90	-2,12	-0,93
3-1	1,59	-1,91	-2,64	-2,66	-1,63	-1,34
4-1	-1,72	-0,32	-0,71	-1,83	0,06	-0,29
5-1	-2,91	0,09	-1,23	-2,28	-0,89	-0,48
6-1	1,68	-0,32	-1,49	-0,77	-1,19	0,27
7-1	3,13	-2,91	-4,42	-3,73	-3,08	-2,12
8-1	3,45	-0,32	-3,23	-2,60	-2,25	-1,08
9-1	1,09	-0,32	-3,91	-2,33	-1,81	0,69
10-1	-1,93	-0,91	-0,65	-1,24	-0,26	-0,22
11-1	-1,07	-0,32	-0,77	-2,13	-0,13	-0,77
12-1	-3,29	-2,91	-1,21	-3,11	-0,76	-1,36
13-1	-1,91	0,09	-1,20	-2,41	-0,49	-0,94
14-1	-2,48	-0,91	-0,82	-1,96	0,08	-0,71
15-1	-2,56	-0,91	-1,14	-2,40	-0,39	-1,18
Minimum	-3,29	-2,91	-4,42	-3,73	-3,08	-2,12
Maksimum	3,45	0,09	-0,65	-0,77	0,08	0,69

I_{geo} -Cd güney yönünde (5-1) ve batı yönündeki (13-1) örneklerin olduğu bölgelerde alansal bir yoğunluk göstermektedir (Şekil 4, (b)). Bu örneklerden birinin (5-1) Aksaray-Adana karayoluna yakınlığı, diğerinin (13-1) ise tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bir alanda bulunması dikkat çekicidir. Dolayısıyla bu noktaların bulunduğu alanlarda antropojenik faktörlerin etkisi olduğu söylenebilir. Çünkü dizel yakıt kullanımı, araç lastikleri, yağlar ve diğer araç donanımları (Bilge ve Çimrin, 2013) veya gübre sanayi atıkları ile toprağa uygulanan fosfat gübreleri (Dartan ve Toröz, 2013) kadmiyum artışına neden olabilmektedir.

I_{geo} -Co hesaplamaları ile Avusturya, Belçika, Hollanda, İsviçre, Türkiye ve Dünya Sağlık Örgütüne ait toprakta belirlenen sınır değerler, üst kıtasal kabuk, dünya toprak ve şeyl gibi jeolojik ortalama değerlerle olan karşılaştırmaların sonucunda çalışma alanındaki topraklarda şu an için önemli bir kobalt kirlenmesinin olmadığı belirlenmiştir. Ancak element dağılım haritasında güney-güneybatı (4-1; 14-1), güneydoğu (10-1) ve kuzeybatı (11-1) istikametinde bir artış eğilimi sergilemektedir (Şekil 2, (c)). Dolayısıyla bu bölgelerde gerçekleşen çeşitli tarımsal uygulamalar, sanayileşme ve araç trafiği gibi antropojenik etkiler (Adiloğlu ve Sağlam, 2015; Özkul, 2008; Yan vd., 2013), çalışma alanında her ne kadar önemli bir kirlenme göstermese de kobaltın kendi içerisinde gösterdiği artış eğilimine sebep olmuş olabilir.



Şekil 4. I_{geo} 'ya ait mekânsal dağılım haritaları: a) As, b) Cd, c) Ni ve d) Pb.

Figure 4. The spatial distribution maps of the I_{geo} : a) As, b) Cd, c) Ni and d) Pb.

Cu açısından yapılan hesaplamalar ve karşılaştırmalar çalışma alanındaki topraklarda günümüz için önemli bir bakır kirlenmesinin olmadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte bakır için çizilen element dağılım haritasında kuzey-kuzeydoğu (1-1; 2-1; 6-1) ve güney-güneydoğu (4-1; 10-1) yönlerine doğru bir artış eğilimi görülmektedir (Şekil 2, (d)). Özellikle güneydoğu (10-1) istikametinde gözlenen artış, bölgede yaygın olarak yayılım gösteren Hasandağı volkanizması ürünlerinden olan bazaltlardan kaynaklanmış olabilir. Çünkü bölgenin yakın çevresinde volkanik kayaların Cu içerikleri 10,6 ile 100,8 mg/kg arasında değişmekte olup (Gall vd., 2022; Güçtekin ve Köprübaşı, 2009; Doğan-Külahci, 2016; Reid vd., 2017), bu kayalardan doğal olarak toprağa bakır geçmiş olabilir. Bunun aksine trafik yoğunluğunun topraklarda bakır elementi artışına neden olduğu bilindiğinden (Bilge ve Çimrin, 2013), Aksaray-Adana karayoluna yakın bölgelerdeki toprak örneklerinde (1-1; 2-1; 4-1; 6-1) bakır içeriklerindeki artışın antropojenik kaynaklı olabileceği de düşünülebilir.

I_{geo} -Ni hesaplamalarının sonuçlarına göre güney-güneybatısındaki iki örnekte (4-1; 14-1) nikel elementi yoğunlaşmaktadır (Şekil 4, (c)). Güneydoğu yönündeki nikel artışı (10-1), çalışma alanının güneyinden itibaren yaygın olarak mostra veren volkanik kayalar ile ilgili olabilir (Şekil 2, (e)). Bölgedeki volkanik kayaların Ni içerikleri 17 ile 180 mg/kg arasında değişmektedir (Gall vd., 2022; Doğan-Külahci, 2016; Reid vd., 2017). Dolayısıyla toprağın bu kayalardan doğal olarak beslendiği düşünülebilir. Ancak volkanik kayalardan uzaklaştıkça gerçekleşen nikel artışları ise jeolojik faktörlerden ziyade birçok çalışmacının (Adiloğlu, 2013; Abacı Bayar ve Yılmaz, 2020; Atilla vd., 2017; Bilge ve Çimrin, 2013; Hu vd., 2006) belirttiği gibi bölgedeki insan aktivitesinden, sanayi kuruluşları ve araç kullanımından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Çünkü dizel yakıt ve motor yağı kullanan tarım araçlarının (Özkan, 2017) bu bölgelerdeki aktivitesi nikel artışına neden olmuş olabilir.

I_{geo} -Pb sonuçları kuzeydoğu (6-1) ve güneydoğu (9-1) istikametlerinde bir artış eğilimi sergilemektedir (Şekil 4, (d)). Nüfus ve trafik yoğunluğunun Pb elementi artışına neden olduğu bilindiğinden (Atilla vd., 2017; Bilge ve Çimrin, 2013), bulunduğu bölgedeki araç ve insan yoğunluğu 6-1 nolu örnekteki artışa sebebiyet vermiş olabilir. 9-1 nolu örnekteki artışın ise sanayi bölgelerine olan yakınlıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü bu bölgede kâğıt, metal, gübre, cam, kaplama vb sektörlerinde faaliyet gösteren sanayi kuruluşlarının topraktaki kurşun element içeriklerindeki artışa neden olduğu bilinmektedir (Mirsal, 2008).

4. Sonuç

Bu çalışmada Aksaray-Adana E-90 karayolunun üzerinde yerleşim yerleri, eğitim (üniversite), sanayi ve tarımsal faaliyetlerin sürdürüldüğü bölgede yer alan topraklardaki ağır metal kirliliğinin boyutları belirlenmiştir. Elde edilen analiz sonuçları Avusturya, Belçika, Hollanda, İsviçre, Türkiye ve Dünya Sağlık Örgütüne ait toprakta belirlenen sınır değerlere göre As, Ni ve Pb açısından, üst kıtasal kabuk, dünya toprak ve şeyl gibi jeolojik ortalama değerlere göre ise As, Cd, Co, Cu, Ni ve Pb açısından bazı toprak örneklerinin sınır değerleri aştığını göstermiştir. I_{geo} hesaplamaları ile çalışma alanındaki topraklarda As, Cd, Ni ve Pb kirliliği olduğu tespit edilmiştir. I_{geo} hesaplamalarında Co ve Cu ise belirli alanlarda artış eğilimi göstermiş olmasına rağmen önemli bir derecede kirlenme göstermemiştir. Ancak ilerleyen zamanlarda nüfus artışının devamı ve dolayısıyla insan aktivitesinin hızla artışı topraklarda ağır metal kirliliğinin boyutlarını arttıracaktır. Bu nedenle bu kapsamdaki çalışmaların dönemsel olarak tekrar edilmesiyle birlikte toprakta ağır metal kirliliğine sebebiyet veren kaynaklar dikkatlice belirlenmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır. Bu doğrultuda başta tarımsal amaçlı kullanılan ve ağır metal içeren materyallerin kullanımı sınırlandırılmalı, sanayi atıkları düzenli olarak kontrol edilmeli ve fosil yakıtların yerine

alternatif enerji kaynaklarının kullanımı teşvik edilmelidir.

Yazar Katkısı

M. Kalkan: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Araştırma, Yazım, İnceleme, Düzenleme; **M. H. Terzi:** Proje yönetimi, Kavramsallaştırma, Metodoloji, Araştırma, Yazım, İnceleme, Düzenleme, Görselleştirme.

Teşekkür

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: 2023-016).

Kaynaklar

- Abacı Bayar, A.A., Yılmaz, K. (2020). Adıyaman, Kahramanmaraş ve Hatay sulak alanı topraklarında bazı ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi. *Black Sea Journal of Agriculture*, 3(2), 128-134.
- Adiloğlu, S. (2013). Tekirdağ İlinde Otoban Kenarlarında Bulunan Tarım Arazilerinde Bazı Ağır Metallerin Kirliliğinin Araştırılması. Doktora Tezi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Adiloğlu, S., Sağlam, M. (2015). Karayolu kenarlarındaki tarım arazilerindeki topraklarda ekstrakte edilebilir Kobalt (Co) içerikleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(3), 24-29. <https://doi.org/10.5578/fmbd.9981>
- Adimalla, N., Qian, H., Wang, H. (2019). Assessment of heavy metal (HM) contamination in agricultural soil lands in northern Telangana, India: An approach of spatial distribution and multivariate statistical analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 246. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7408-1>
- Aghlidi, S.P., Cheraghi, M., Lorestani, B., Sobhanardakani, S., Merrikhpour, H. (2020). Analysis, spatial distribution and ecological risk assessment of arsenic and some heavy metals of agricultural soils, case study: South of Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 18, 665-676. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00492-x>
- Ahiler Kalkınma Ajansı (AHİKA), (2019). Aksaray tarıma dayalı ihtisas organize sanayi bölgesi fizibilite raporu. Aksaray Ticaret ve Sanayi Odası, Türkiye, 189s.
- Akyıldız, M., Karataş, B. (2018). Adana şehir merkezindeki topraklarda ağır metal kirliliğinin araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 199-214. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.509559>.
- Amlinger, F., Pollak, M., Favoino, E. (2004). Heavy metals and organic compounds from wastes used as organic fertilizers. Final report ENV, A, 2, ETU/2001/0024 (prepared for European Commission Director General Environment; ECDGE), 229p.
- Arıcı, Ö.K. (2019). Eğribayat-Tatlıcak (Konya) Çevresindeki Toprak ve Bitkilerin Jeokimyasal Özellikleri ve Ağır Metal Kirliliği. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Atilla, E., Haldenbilen, S., Koralay, T. (2017). Denizli ilinde tarım arazilerinde ulaşım kaynaklı kirlenme. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 12. Ulaştırma Kongresi*, Adana, Türkiye.
- Baran, H.A., Kiral, N.G. (2021). Assessment of heavy metal pollution of urban soils of batman by multiple pollution indices. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1899166>
- Bilge, U., Çimrin, K.M. (2013). Viranşehir-Kızıltepe karayolu kenarındaki topraklarda motorlu taşıtlardan kaynaklanan ağır metal kirliliği. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 19, 323-329. <https://doi.org/10.1501/Tarimbil.0000001257>
- Bodur, B., Kılıç, M.D., Yayla, M., Mercan, S. (2023). İstanbul'daki otoyol kenarı toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonlarının ve jeo-birikim indeksinin değerlendirmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 11(1), 1-13. <https://doi.org/10.33409/tbbd.1273865>
- Chiroma, T.M., Ebewe, R.O., Hymore, F.K. (2014). Comparative assessment of heavy metal levels in soil, vegetables and urban grey waste water used for irrigation in Yola and Kano. *International Refereed Journal of Engineering and Science*, 3(2), 1-9.
- Çağlarırnak, N., Hepçimen, A. Z. (2010). Ağır metal toprak kirliliğinin gıda zinciri ve insan sağlığına etkisi. *Akademik Gıda*, 8(2), 31-35.
- Dartan, G., Toröz, İ. (2013). Güney Marmara bölgesinde tarım topraklarında ağır metal kirliliğinin araştırılması. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 25(1), 24-40.
- Demirela, G., Yılmaz, E., Kavurmacı, M.M. (2020). Aksaray üniversitesi kampüs alanının hidrojeokimyasal, jeoteknik ve toprak jeokimyası karakteristikleri, Aksaray. *Aksaray*

- University Journal of Science and Engineering*, 4 (1), 90-112. <https://doi.org/10.29002/asujse.712844>
- Doğan-Külahcı, G.D. (2016). Chronological, Magmatological and Geochemical Study of Post-Collisional Basaltic Volcanism in Central Anatolia and Its Spatio-Temporal Evolution. Ph.D. Thesis, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II, France.
- Durdu, B. (2018). Tarıma Açık Alanlarda Toprak Kirliliğinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, Türkiye.
- Gall, H., Kürkçüoğlu, B., Cipar, J., Crispin, K., Furman, T. (2022). Recycling and recharge at Hasandağ stratovolcano, central Anatolia: Insights from plagioclase textures and zoning patterns. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 177(8), 84. <https://doi.org/10.1007/s00410-022-01949-y>
- Göncüoğlu, M.C., Toprak, V., Kuşçu İ., Erler, A., Olgun, E. (1991). Orta Anadolu masifinin batı bölümünün jeolojisi, Bölüm 1, Güney Kesim TPAO Rapor No: 2909, Türkiye.
- Göncüoğlu, M.C., Erler, A., Toprak, V., Yalınız, M.K., Olgun, E., Rojay, B. (1992). Orta Anadolu masifinin batı bölümünün jeolojisi, Bölüm 2, Orta Kesim TPAO Rapor No: 3155, Türkiye.
- Güçtekin, A., Köprübaşı, N. (2009). Geochemical characteristics of mafic and intermediate volcanic rocks from the Hasandağ and Erciyes volcanoes (Central Anatolia, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18(1), 1-27. <https://doi.org/10.3906/yer-0806-2>
- Haktanır, K., Arcak, S. (1998). Çevre kirliliği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Ankara Üniversitesi Yayın No: 1503, Ders Kitabı: 457, Ankara, Türkiye.
- Hu, K.L., Zhang, F.R., Li, H., Huang, F., Li, B.G. (2006). Spatial patterns of soil heavy metals in urban-rural transition zone of Beijing. *Pedosphere*, 16 (6): 690-698. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(06\)60104-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(06)60104-5)
- Kara, E.E., Kara, E. (2018). Toprakta ağır metal kirliliğinin insan sağlığına etkileri ve çözüm önerileri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 11(1), 56-62.
- Kavurmacı, M.M., Sarı, M., İnce, G. (2008). Aksaray Üniversitesi kampüs alanının jeoteknik değerlendirilmesi, Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Aksaray, Türkiye.
- Kavurmacı, M.M., Tekocak Yardımlı, B.B. (2020). Aksaray bölgesi yeraltı suyu kalitesinin konumsal dağılımının interpolasyon teknikleri kullanılarak belirlenmesi. *DSİ Teknik Bülteni*, 135, 1-17.
- Kırat, G., Savcı, S. (2023). Ulutaş köyü (Erzurum) bölgesindeki topraklarda ağır metal kirliliğinin araştırılması. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 10(2), 223-233. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1139651>.
- Koljonen, T. (ed.), (1992). Geochemical Atlas of Finland, Part 2: Till. Geological Survey of Finland, Espoo, Finland, 218 p.
- Mirsal, I.A. (2008). Soil pollution origin, monitoring and remediation. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Second edition. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-70777-6>
- Moore, F., Sheykhi, V., Salari, M., Bagheri, A. (2016). Soil quality assessment using GIS-based chemometric approach and pollution indices: Nakhak mining district, Central Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 188, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5152-3>.
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2, 108-118.
- Özolat, G., Tuli, A. (2016). Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 25(4), 502-521. <https://doi.org/10.17827/akt.253562>
- Özkan, A. (2017). Antakya-Cilvegözü karayolu etrafındaki tarım arazilerinde ve bitkilerdeki ağır metal kirliliği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 9-18. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.357176>
- Özkul, C. (2008). İzmit (Kocaeli) civarında endüstrileşmenin toprak ağır metal derişimine etkisi. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 7(2), 1-9.
- Özkul, C., Acar, R.U., Köprübaşı, N., Er, A. E., Kızılkaya, H.İ., Metin, M., Şenel, M.N. (2018). Altıntaş (Kütahya-Türkiye) ovası tarım topraklarında ağır metal kirliliğinin araştırılması, öncel çalışma. *Journal of Applied Earthsciences*, 17(1), 13-26. <https://doi.org/10.30706/uybd.426408>
- Palas, S. (2020). Aliğa Körfezi geç kuvaterner-güncel yüzey sedimanlarında ağır metal birikiminin incelenmesi. *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 29: 29-48.
- Reid, M.R., Schleiffarth, W.K., Cosca, M.A., Delph, J.R., Blichert-Toft, J., Cooper, K.M. (2017). Shallow melting of MORB-like mantle under hot continental lithosphere, central Anatolia. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18, 5,

- 1866–1888.
<https://doi.org/10.1002/2016GC006772>
- Reimann, C., De Caritat, P. (1998). Chemical elements in the environment: Factsheets for the geochemist and environmental scientist. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1st edition.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-72016-1>
- Rostaminy, M., Jamzadeh, S., Mehrab, N., Mousavi, S. R., Valizadeh-Kakhki, F., Chabok, A. (2023). Assessment of heavy metal accumulation using soil pollution indices in an industrial town, landfill, and wastewater treatment plant of Ilam city, Iran. *Eurasian Soil Science*, 1-13.
<https://doi.org/10.1134/S106422932360029X>.
- Sarıyıldız, T., Savacı, G. (2023). Belediye katı atık döküm sahası çevresi orman topraklarında ağır metal konsantrasyonlarının değerlendirilmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 6(1), 32-45.
- Seven, T., Can B., Darende, B. N., Ocak, S. (2018). Hava ve toprakta ağır metal kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 91-103.
- Sungur, A., Vural, A., Gundogdu, A., Soylak, M. (2020). Effect of antimonite mineralization area on heavy metal contents and geochemical fractions of agricultural soils in Gümüşhane Province, Turkey. *Catena*, 184, 104255.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104255>.
- T.C. Resmi Gazete, (2010). Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelik. Tarih: 03.08.2010, No: 27661.
- TS ISO 14869-1, (2004). Toprak kalitesi - toplam element muhtevasının tayini için çözme - Bölüm 1 - Hidroflorik ve Perklorik Asitlerle Çözme. 8s.
- Türkmenler, H. (2022). Adıyaman ili topraklarında ağır metal kirliliğinin araştırılması. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(18), 562-570.
<https://doi.org/10.54365/adyumbd.1135617>.
- Usta, O. (2008). Aksaray'da doğal karbondioksit (CO₂) üretimi. *Su-Enerji-Sağlık Sempozyumu*, Bildiri Özleri, 20-23 Ekim 2008, Aksaray, Türkiye.
- Vural, A. (2014). Toprak ve akasya ağacı sürgünlerindeki iz/ağır metal dağılımı, Gümüşhane-Türkiye. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*. 148, 85-106.
- Vural, A., Çiçek, B. (2020). Cevherleşme sahasında gelişmiş topraklardaki ağır metal kirliliği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(2), 1533-1547.
<https://doi.org/10.29130/dubited.643775>.
- Vural, A., Erdoğan, M. (2014). Eski Gümüşhane Kırkpavli alterasyon sahasında toprak jeokimyası çalışması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 1-15.
- Wedepohl, K.H. (1995). The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 7, 1217-1232.
[https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00038-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00038-2)
- Yan, X., Gao, D., Zhang, F., Zeng, C., Xiang, W., Zhang, M. (2013). Relationships between heavy metal concentrations in roadside topsoil and distance to road edge based on field observations in the qinghai-tibet plateau, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10, 762-775.
<https://doi.org/10.3390/ijerph10030762>
- Yerli, C., Çakmakci, T., Şahin, Ü., Tüfenkçi, Ş. (2020). Ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığına etkileri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9 (Özel Sayı), 103-114.
<https://doi.org/10.46810/tdfd.718449>
- Yıldız, N. (2001). Toprak kirletici bazı ağır metallerin (Zn, Cu, Cd, Cr, Pb, Co ve Ni) belirlenmesinde kullanılan yöntemler. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(2), 207-213.
- Yılmaz, E., Terzi, M.H. (2023). Geochemical investigation of soil quality in terms of toxic elements using an AHP-Based index. *Environmental Geochemistry and Health*.
<https://doi.org/10.1007/s10653-023-01720-7>
- URL-1, (2023). <https://aksaray.ktb.gov.tr/TR-63622/cografya.html>, 13 Eylül 2023.
- URL-2, (2023). <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=AKSARAY>, 13 Eylül 2023.
- URL-3, (2023). https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Is_tatistikler/TrafikveUlasim.aspx, 13 Eylül 2023.
- URL-4, (2023). <https://www.tuik.gov.tr/>, 13 Eylül 2023.
- URL-5, (2023). <http://www.aksaray.edu.tr/sayilarla/default.aspx>, 3 Eylül 2023.
- URL-6, (2023). <https://aksaray.bel.tr/HaberDetay.aspx?icerikId=3328&YENI-SANAYI-SITESI-NDE-CARLAR-DONMEYE-BASLADI>, 13 Eylül 2023.
- URL-7, (2023). <https://www.aksarayosb.org.tr/osb-parsel-durumu#>, 13 Eylül 2023.
- URL-8, (2023). <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>, 13 Eylül 2023.