



Belediye Katı Atık Döküm Sahası Çevresi Orman Topraklarında Ağır Metal Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

Temel SARIYILDIZ^{1*}, Gamze SAVACI²

¹ Toprak İlimi ve Ekoloji Anabilim Dalı, Orman Mühendisliği, Orman Fakültesi, Bursa Teknik Üniversitesi

² Toprak İlimi ve Ekoloji Anabilim Dalı, Orman Mühendisliği, Orman Fakültesi, Kastamonu Üniversitesi

E-Posta: temel.sariyildiz@btu.edu.tr, gsavaci@kastamonu.edu.tr

Gönderim 10.04.2023; Kabul 19.06.2023

Özet: Modern ekonomilerde, tarım, sanayi ve ulaşım da dahil olmak üzere çeşitli faaliyet türleri, büyük miktarda atık ve yeni tür kirleticiler üretmektedir. Toprak, hava ve su, geleneksel olarak tüm bu atıkların bertaraf edildiği alanlar olarak kullanılmaktadır. Çalışman temel amacı, belediye katı atık çöp döküm sahası çevresi orman topraklarının ağır metal konsantrasyonlarının toprak derinliği ve çöp alanından uzaklığa bağlı değişiminin belirlenmesidir. Bu amaçla, şehir çöplüğünün yakın çevresinden başlayarak 100 m, 200 m, 300 m, 750 m ve 2000 metre uzaklıkta örnekleme alanları alınmıştır. Toprak örnekleme her bir örnek alanında dört farklı toprak derinlik kademesinden (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm ve 15-20 cm) yapılmıştır. Toprak örneklerinin pH, tekstür (kum, toz kil) ve ağır metal konsantrasyonları (Zn, Pb, Ni, Cu, Cr ve Cd) belirlenmiştir. Sonuçlar, orman toprağındaki ağır metal konsantrasyonu ile çöplük alanına olan uzaklık arasında önemli bir ilişkinin olduğunu göstermiştir. Çöplük alanından uzaklaştıkça topraktaki ağır metal konsantrasyonunun (Cd hariç) artış gösterdiği tespit edilmiştir. Jeobirikim indeksinin (I_{geo}) sonuçları, toprak örneklerinin çoğunun Cd ve Zn için kirlenmemiş olarak kabul edilebileceğini ortaya koyarken, I_{geo} değerlerine dayalı olarak Cr değerlerinin mesafeye bağlı olarak orta ila şiddetli derecede, Ni (2000 m), Cu (100, 2000 m) ve Pb (100, 200 ve 2000 m) değerlerinin orta derecede kirliliğe sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca kirlilik faktörünün (C_f) sonuçları Cu, Ni ve Pb için düşük kirlilik, Zn için orta ve Cd için orta ila çok yüksek kirlilik seviyeleri arasında göstermiştir. Kirlilik yükü indeksi (PLI) değerleri, çöplük etrafında düşük bulunmuş olup, diğer mesafelerde yüksek bulunmuştur ve 1.05 ile 2.05 arasında değişmiştir. Bu da katı atık döküm sahasından uzaklaştıkça metallerin toplamı dikkate alındığında topraklarda yüksek kirlenme olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, katı atık döküm sahalarının çevreye önemli düzeyde ağır metalle kirlettiği ve bu nedenle sahalarda mevcut ağır metallerin miktarını azaltmak için atıkların ayrıştırılması ve geri dönüşümünün yoğunlaştırılması gerektiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Düzensiz (vahşi) depolama yöntemi, Kastamonu, mesafe, orman toprağı, toprak derinliği

Assessment of Heavy Metal Concentrations in Forest Soils Around Municipal Solid Waste Dumping Site

Received 10.04.2023; Accepted 19.06.2023

Abstract: In modern economies, various types of activity, including agriculture, industry and transportation, produce a large amount of wastes and new types of pollutants. In order to get rid of all these wastes, soil, air and water have been traditionally used as disposal sites. Present study aimed to investigate the heavy metal concentrations in forest soils around the municipality solid waste dumping site in relation to soil depths and the distances from the dumping site. For this aim, soil samples were collected around the dumping site at the distances of 100 m, 200 m, 300 m, 750 m and 2000 m. The soil samples were taken from 0-5cm, 5-10 cm, 10-15 cm and 15-20 cm of soil depths using soil cores. The soil samples were analysed for pH, texture (sand, silt and clay) and heavy metal concentrations (Zn, Pb, Ni, Cu, Cr and Cd). The results showed that there was a significant relationship between the heavy metal concentrations in forest soil and the distance to the solid waste dumping site. The heavy metal concentrations (except Cd) showed an increase in the forest soil with the distances. The results of the geoaccumulation index (I_{geo}) reveal that most of the soil samples can be considered uncontaminated for Cd and Zn, while based on the I_{geo} values, the Cr values are moderate to severe depending on the distance, Ni (2000 m), Cu (100 m, 2000 m) and Pb (100 m, 200 m, 2000 m) values showed moderate pollution. In addition, the results of the pollution factor (C_f) showed low pollution for Cu, Ni and Pb, medium for Zn, between medium and very high pollution levels for Cd. Pollution load index (PLI) values were found to be low around the waste and higher at other distances and ranged from 1.05 to 2.05. This shows that there is high contamination in the soils when the sum of metals is taken into account as the distance from the solid waste dumpsite is taken into account. As a result,

* İlgili E-posta/ Corresponding E-mail: temel.sariyildiz@btu.edu.tr
(ORCID: 0000-0003-3451-3229)

it has been shown that solid waste dumpsites pollute the environment with significant heavy metals and therefore waste separation and recycling should be intensified in order to reduce the amount of heavy metals present at the sites.

Key Words: Distance, forest soil, Kastamonu, open dumping (wild) method, soil depth

GİRİŞ

Topraklardaki ağır metal kirliliği küresel boyutta gıda güvencesi ve gıda güvenliği hakkındaki tartışmalarda en öncelikli konular arasında yer almaktadır^[1, 2]. Avrupa Birliği'ndeki kirlenmiş sahaların ve farklı kirlilik türlerinden etkilenmiş alanların, yeniden iyileştirmesinin, yıllık 17.3 milyar avroya mal olacağına bildirilmesi^[3, 4] Avrupa'daki sorunun boyutunu gözler önüne sermesi açısından önemli bir örnektir. Topraklar, ağır metallerin toprakta birikmesiyle kirlenmektedir. Bu birikmede ise hızla artan sanayi emisyonları, maden atıkları, yüksek metal içeren atıkların bertarafı, kurşunlu benzin, boyalar, tarımsal arazilere uygulanan gübreler, hayvan gübreleri, arıtma çamurları, böcek ilaçları, atık su ile sulama, yakılan kömür atıkları, katı atık döküm sahaları ve atmosferik birikmenin neden olabileceği birçok araştırma ile ortaya konulmuştur^[5,6]. Metal kirleticiler arasında yer alan, nikel (Ni), çinko (Zn), bakır (Cu), krom (Cr), arsenik (As), kurşun (Pb) ve kadmiyum (Cd) ciddi bir küresel endişe haline gelmiştir^[7,8]. Çevre ve ekosistemlerin ağır metallerle kirlenmesi doğal ortamlarda biyojeokimyasal döngünün bozulmasına neden olmaktadır^[9,10]. Özellikle ağır metal kirliliği, bu tip topraklar üzerinde yaşayan bitkiler için büyük bir potansiyel tehlikedir. Ağır metaller, bitki dokularında aşırı biriktiği zaman, canlılıkla ilgili çeşitli büyüme proseslerinin değişmesine sebep olmaktadır^[11]. Bunlara örnek olarak; mineral beslenme, transpirasyon, fotosentez, enzim aktivitesi, nükleik asit yapısı, klorofil biyosentezi ve çimlenme gibi bitkinin canlılık olaylarının değişmesine sebep olması verilebilir^[12, 13]. Bunlara ek olarak membranlarda hasar, hormon dengesinin bozulması, su ilişkisinin değişmesi gibi fizyolojik olaylar da eklenebilir.

Hızlı sanayileşme ve nüfusun artması, köylerden şehirlere doğru göçü hızlandırmakta, bu durum şehirlerde günlük olarak binlerce tona ulaşabilen belediye katı atık üretimine neden olmaktadır. Katı atıklar organik ve inorganik kökenli olabilir. Bu atıklar, hızla artan üretim, tüketim ve kırsal toplumdaki insan ve hayvan faaliyetlerinin artıkları yanında kullanılmayan, istenmeyen ya da ilk kullanıcılar için değerini kaybetmiş atıklar olabilmekte ve kirliliğin ana nedenini oluşturmaktadırlar^[14, 15]. Sürekli artan kaynakların tüketimi, endüstriyel ve evsel faaliyetlerden kaynaklanan büyük miktarlarda katı atığın ortaya çıkmasıyla sonuçlanmakta ve insan sağlığına yönelik önemli tehditler içermektedir^[16]. Gelişmiş ülkeler katı atıkların bertarafı için yasal düzenlemeler uygulasa da, gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkelerde halen daha karmaşık olmayan metotlar kullanılmadığı devam etmektedir, bu metotlar içinde en yaygın olanı açık alan düzensiz katı atık döküm sahalarıdır^[17].

Düzensiz (vahşi) veya kontrolsüz depolama olarak tanımlanan bu yöntem^[18], zamanla hava, toprak ve su gibi doğal kaynaklar başta olmak üzere çevreye büyük zararlar vermektedir^[19, 20]. Genellikle az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde daha çok başvurulan bu yöntem, Türkiye'de de uzun zamandır kullanılmaktadır^[21]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK, 2017) verilerine göre, Türkiye belediye atık miktarları 1994 yılında 17.76 milyon tondan 2016 yılında 31.58 milyon ton olarak artış göstermiştir. Bu atıklarının %64'lük kısmı düzenli depolama ile %36 düzensiz döküm (Vahşi depolama), %6 geri kazanım ile yönetilmektedir^[22]. Düzensiz depolama yöntemiyle katı atıkların depolandığı sahaların toprak kirliliğine etkisini ortaya koyan birçok çalışma bulunmaktadır^[23]. Bu çalışmaların sonucunda yer alan değerlendirmelerde, genel olarak düzensiz çöp döküm sahalarında eğitim koşulları dikkate alınmadan dökülen çöplerin, kirletici olarak doğrudan sızıntı sularıyla önce toprağı daha sonra da su kaynaklarını etkilediği ifade edilmektedir. Bununla beraber, depolama sahalarına kurallara uygun katı atık gelmediği ve sahalar tekniğine uygun olarak işletilmediği zaman her yıl yüzlerce yangın meydana gelmektedir. Bu yangınlar esnasında çevrede yaşayanların sağlığı için çok tehlikeli ve tehdit edici boyutta yoğun bir hava kirliliği yaşanmakta, rüzgârında etkisi ile dumanlar çevre ormanlara ve yerleşim yerlerine kadar ulaşmaktadır. Özellikle yaz ayları ile ilkbahar ve sonbahar aylarında yangınlar daha sık meydana gelmektedir. Ülkemizde depolama alanlarında meydana gelen yangınlarla ilgili net bir istatistiği bilgi bulunmamaktadır. Ancak, 2500'den daha fazla çöp depolama sahası olan ABD'de yılda yaklaşık 8400 adet ve İngiltere'de 300 civarında yangın meydana gelmektedir^[24].

Toprakların ağır metal konsantrasyonu üzerine yapılan çalışmalar genelde çöp depolama alanlarının kentsel ya da ziraat alanı topraklarının kirlenmesi üzerine gerçekleştirilmiştir. Çevresi orman topraklarının ağır metal konsantrasyonları üzerine etkisi konusunda yapılan çalışmalar ise sınırlı

sayıdadır. Bazen çok düşük konsantrasyondaki ağır metaller bile toksik olabilmektedir. Çünkü bu miktarlar yer altı sularını, toprağı ve hava kalitesini kirletebilmekte, sonuç olarak bitki, hayvan ve insan sağlığını etkileyebilmektedir. Bu nedenle, orman topraklarındaki ağır metal konsantrasyonları üzerine bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Burada sunulan çalışmada, yıl içinde birkaç kez yangına maruz kaldığı bilinen, düzensiz bir katı atık depolama alanı çevresi orman topraklarının ağır metal konsantrasyonlarının mesafe ve toprak derinliğine bağlı değişiminin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

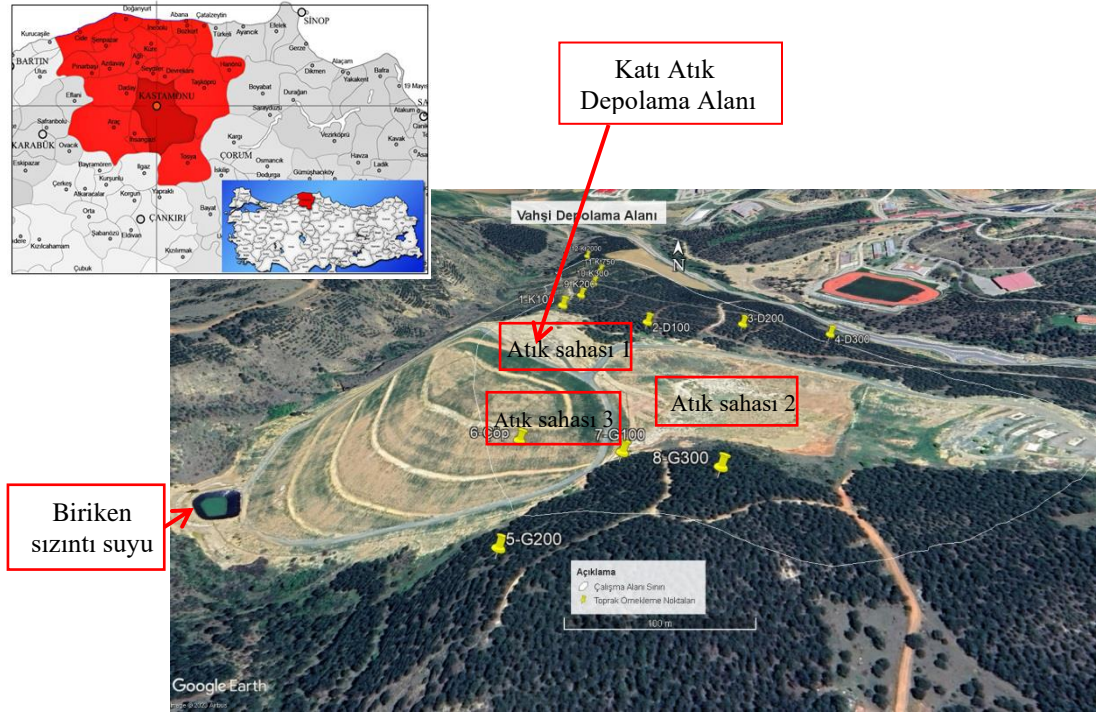
Çalışma alanının tanıtımı

Çalışma, Kastamonu şehir merkezine 9 km, yerleşim yerlerine ise oldukça yakın (1-2 km) bir alanda yer alan ve Belediye tarafından katı atık döküm sahası olarak kullanılan alanın çevresinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Katı atık döküm sahası 863 m yükseltide, yaklaşık 70 000 m² alanı ile 180.000 m³ depolama kapasitesine sahip olup, saha ormanlık alanda bulunan yaklaşık 25 metre derinliğindeki bir vadide bulunmaktadır ^[25]. Bu çöplük 2018 yılı itibariyle yaklaşık 30 yıldır kullanılmaktadır. Sahada elektrik ve su bulunmaktadır. Belediye ile sözleşmeli çöp toplayıcılar geri dönüştürülebilir atıkları sahadan toplamaktadırlar. Ayrıca bu döküm sahasında organik çöp (%29), 10 mm'den küçük parçalanmış iyi fraksiyonlar (%19), inert malzemeler (%12), kâğıt ve karton (%10), metaller (%6), cam şişe (%5), plastik (%4), kompozitler (%1), tehlikeli evsel atıklar (%1) ve diğer atıklar (%13) yer almaktadır (Şekil 1) ^[25].

Çalışma alanının temelinde Eosen yaşlı neritik kireçtaşı yer almaktadır ^[26]. Jeomorfolojik olarak bu saha, kuzeybatı yönünde ve yaklaşık %40 eğimli bir yapıdadır. Sahanın oldukça eğimli olmasına bağlı olarak yağmur yağdığında yüzey suları vadiden aşağı doğru akmakta ve sızıntı suyu oluşumuna neden olmaktadır ^[25]. Vadinin dibindeki sızıntı suyu görülebilir durumdadır (Şekil 1).

Çalışma alanında kışlar uzun, soğuk ve karlı iken, yazlar kısa ve sıcaktır ^[27]. Çalışma alanı uzun döneme ait (1975-2020) meteorolojik verilerin tarafımızdan analizine göre, yıllık toplam yağış 489 mm, yıllık ortalama sıcaklık 9.6°C'dir. Yağışın en fazla olduğu ay Mayıs (71.1 mm), en düşük olduğu ay Şubat'tır (25.8 mm). Ağustos ayında sıcaklıklar en yüksek seviyede olup, ortalama 20.2°C iken, Ocak ayında en düşük seviyede, ortalama -0.8°C'dir.

Belediye tarafından katı atık döküm sahası etrafında yer alan ormanların asli ağaç türü saf karaçam olup, tarafımızdan incelenen Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'ne ait meşcere haritalarında 79, 80 ve 81 nolu bölmelerde kaldığı görülmüştür. Çalışma sahasındaki karaçam meşcerelerinde yapılan incelemede ve ölçümlerde karaçam ağaçlarının sııklık/direklik çağında (göğüs yüksekliği çapı 8-19.9 cm arasında) ve meşcere kapalılığının ise 2-3 seviyesinde (toprak yüzeyini örtme derecesi 0.41-0.70 arasında) olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Belediye açık alan katı atık döküm sahasının konumu ve örnekleme noktalarının yeri.

Toprak örnekleme alanları, Kastamonu'daki çöp döküm alanının yakın çevresinden başlayarak, kuzey, güney ve doğu yönlerinde yayılış gösteren karaçam meşcerelerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Seçilen örnek alanların, çöplüğe yakın çevresinden başlayarak, 100 m, 200 m, 300 m, 750 m ve 2 km mesafede yer almıştır. Çöp çevresi, 100 m, 200 m ve 300 m mesafe üzer, 750 m ve 2 km mesafelerde ikişer olmak üzere toplamda 16 örnek alanda çalışılmıştır. Her bir örnek alanında açılan toprak çukurunun 4 farklı toprak derinlik kademesinden (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm ve 15-20 cm) toprak silindiri yardımıyla örnekleme yapılmıştır (Şekil 2).

Sızıntı suyu toprağın, yüzey sularının ve yeraltı sularının kirlenmesine neden olur. Açık ve düzensiz depolama sahasının önemli bir bileşeni olan toprak, kirlı maddelerin depolandığı bir ortamdır. Bu ortamdan sürekli olarak diğer ortamlara (hava, yer altı ve yüzey suyu) buharlaşma, erozyon ve sızma yoluyla taşındığından, bu toprak bileşeni dikkatle izlenmesi gereken doğal bir kaynaktır^[28]. Bu nedenle bazı toprak özellikleri (toprağın pH'sı, toprağın tekstürü ve toprağın besin elementleri) kirliliğin miktarı ve dağılımı üzerinde çok önemlidir^[29, 30]. Bu çalışmada, araziden getirilen toprak örneklerinin pH'sı 1/2.5 oranında toprak + saf su karışımında dijital pH metre ile ölçülmüştür^[31]. Toprakların tekstürü Bouyoucos'un hidrometre yöntemine göre belirlenmiştir^[32]. Toprakların ağır metal konsantrasyonları Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında Spectro markalı Xepos II modeli olan XRF (X-Işını Floresans Spektrometresi ile belirlenmiştir.

Çalışmada, elde edilen sonuçlara göre, istatistiksel analizler yapılarak, çöp alanından uzaklık ve toprak derinlik kademelerinin toprak ağır metal konsantrasyonları üzerindeki değişime etkileri varyans analizi (ANOVA) ile test edilmiştir. Ortalamaların karşılaştırılması Duncan testi ile yapılmıştır. İstatistik işlemler SPSS istatistik paket programı (IBM SPSS 20.0) kullanılarak bilgisayar ortamında yapılmıştır.



Şekil 2: Çöp döküm sahasının genel görüntüsü ile toprak örneklerinin araziden alınması.

Topraktaki Ağır Metal Kirliliğinin Ekolojik Değerlendirilmesi

Toprağın insan kaynaklı ağır metal kirliliği, Jeobirikim indeksi (I_{geo}), Kirlilik faktörü (C_f) ve Kirlilik yük indeksi (PLI) ekolojik parametreler veya kirlilik göstergeleri ile tahmin edilebilmektedir ^[33].

Jeobirikim indeksi (I_{geo})

Jeobirikim indeksi (I_{geo}) toprak örneklerinde metal kirliliğini belirlemek için kullanılmıştır. Jeobirikim indeksinin formülü aşağıda verilmiştir.

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

Burada, C_n toprak örneğinde n. ağır metalin ölçülen konsantrasyonu, B_n ise n. elementin yer kabuğu ortalamasındaki jeokimyasal background (referans) değeri ve 1.5 litojenik etkilerden kaynaklanan background matris düzeltme faktörüdür ^[34]. Örneklerden elde edilen I_{geo} değerleri 7 ayrı kirlilik sınıflamasına göre değerlendirilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Jeobirikim indeksi (I_{geo}) sınıflaması ^[35]

I_{geo} Değeri	I_{geo} Sınıfı	Açıklama
$I_{geo} < 0$	0	Kirlenme yok
$0 < I_{geo} < 1$	1	Kirlenme yok ile orta derecede kirlenmiş
$1 < I_{geo} < 2$	2	Orta derecede kirlenme var
$2 < I_{geo} < 3$	3	Orta-şiddetli kirlenme var
$3 < I_{geo} < 4$	4	Şiddetli kirlenme var
$4 < I_{geo} < 5$	5	Şiddetli-çok şiddetli arası kirlenme var
$I_{geo} > 5$	6	Çok fazla kirlenme var

Kirlilik faktörü (C_f)

Çalışma alanı toprak örneklerindeki ağır metal kirliliğinin boyutu ayrıca kirlilik faktörü (C_f) yöntemi ile hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Buna göre her bir örnekleme noktasındaki metal içeriğinin o metale ait yer kabuğundaki elementin bolluk değerine oranı ile kirlilik faktörü (C_f) hesaplanmaktadır. C_f aşağıda verilen denklem ile bulunmuştur ^[36].

$$C_f = \frac{C_{metal}}{C_o} \quad (2)$$

C_{metal} : Toprak örneğindeki metal konsantrasyonu, C_o : Yer kabuğundaki metalin bolluk değeri
Hesaplanan C_f değeri 4 ayrı kirlilik sınıfında incelenmiştir ^[36].

Tablo 2. Kirlilik faktörü (C_f) sınıflandırması

C _f Değeri	Açıklaması
C _f < 1	Az kirlenme
1 < C _f < 3	Orta kirlenme
3 < C _f < 6	Önemli ölçüde kirlenme
C _f > 6	Çok yüksek kirlenme

Kirlilik yük indeksi (PLI)

Kirlilik yük indeksi (PLI), farklı yerlerin kirlilik durumlarını karşılaştırmak, kirlilik boyutunu ve farklı numune istasyonları boyunca değişimi belirlemek için Tomlinson vd., (1980) tarafından oluşturulmuş bir indekstir^[37]. Tomlinson vd., (1980) tarafından geliştirilen kirlilik yük indeksi (PLI) aşağıdaki denklemle verilmektedir^[37].

$$PLI = \sqrt[n]{C_{f1} \times C_{f2} \times C_{f3} \times \dots \times C_{fn}} \quad (3)$$

C_f: Kirlilik faktörü n: Metal sayısı

Chakravarty vd. (2009)'ne göre, elde edilen PLI değeri > 1 ise kirlilik var, PLI değeri < 1 ise kirlilik yok demektir^[38].

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma alanındaki toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. Çöplük alanından uzaklaştıkça kum miktarında bir azalma, toz miktarında ise bir artış not edilmiştir. Toprak pH ve kil miktarında ise önemli bir değişiklik görülmemiştir (Tablo 3).

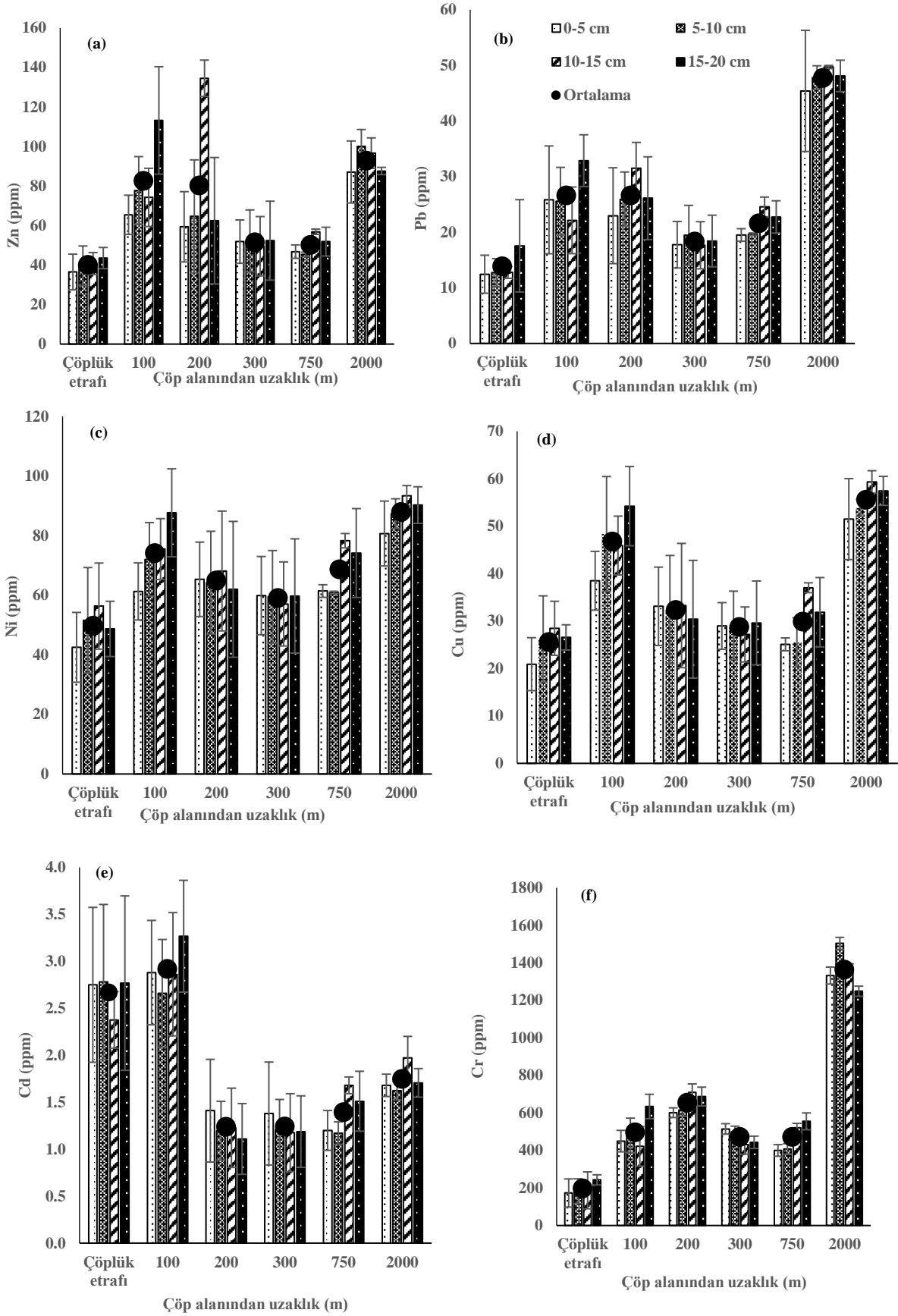
Tablo 3. Örnekleme alanlarının bazı toprak özellikleri

Çöp alanından uzaklık (m)	pH	Kum (%)	Toz (%)	Kil (%)	Toprak türü
Çöplük etrafı	7.98	80	11	7	Kumlu balçık
100	8.03	84	10	6	Kumlu balçık
200	7.96	75	17	7	Kumlu balçık
300	7.88	76	19	5	Kumlu balçık
750	7.91	70	23	7	Kumlu balçık
2000	7.78	72	20	8	Kumlu balçık

Çalışma sahası kumlu balçık tekstürüne sahiptir. Bu topraklar orta derecede geçirgendir ve sızma oranı, önemli miktarda yüzey akışına ve erozyona neden olabilen daha yoğun yağmurlar dışında yağmurun çoğunu absorbe edebilir. Kumlu toprağın gözenekli ve geçirgen olmasından dolayı, vahşi depolama alanlarındaki atıklardan ortaya çıkan sızıntı suyu yer altı suyunu kirletmede etkili olduğu düşünülebilir. Böylece, bazı metallerin ve elementlerin konsantrasyonundaki değişiklik, sızmanın bir sonucu olabilir. Örnekleme alanlarının, pH aralığı 7.78 ile 8.03 arasında olan hafif alkali ila orta alkali arasındaki topraklardan oluşmaktadır. Topraklarda yüksek pH değeri, özellikle yarı kurak bölgelerde bitki büyümesini destekleyen ağır metallerinin immobilizasyonuna neden olmaktadır^[30].

Toprak pH'sı genellikle metal biyoyararlanımı, toksisite ve çevredeki alanlara sızma kabiliyetinde önemli bir katkıya sahiptir^[39]. Buna bağlı olarak açık atık depolama alanlarındaki toprak pH ve mevcut ağır metaller, boşaltılan atık miktarından büyük ölçüde etkilendiği söylenebilir.

Düzensiz katı atık depolama alanından uzaklaştıkça orman toprağındaki ağır metal konsantrasyonundaki değişimler Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Orman topraklarının ağır metal konsantrasyonlarının katı atık depolama alanına uzaklığıyla değişimi

Çalışmada, orman toprağındaki ağır metal konsantrasyonları toprak derinliği ile önemli bir değişiklik göstermez iken, çöp alanından uzaklık ile kadmiyum hariç diğer ağır metal konsantrasyonlarının mesafeye bağlı olarak önemli miktarda arttığı belirlenmiştir (Tablo 4). En yüksek ağır metal konsantrasyonu sürpriz bir şekilde, katı atık depolama alanından en uzak mesafede bulunan orman topraklarında tespit edilmiştir (Tablo 5). Kadmiyum, diğer beş ağır metallere farklı olarak en yüksek konsantrasyonunu, katı atık depolama alanı yakınında ve 100 metre mesafede bulunan orman topraklarında göstermiştir (Tablo 5, Şekil 3e). Toprakta değer olarak bulunan ağır metal konsantrasyonları genel olarak şu sıralamada tespit edilmiştir: Cr > Zn > Ni > Cu > Pb > Cd.

Çalışmamızda, çöplük alanından uzaklaştıkça Cd miktarında azalma olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, bazı çalışmalarda topraklardaki Cd konsantrasyonunun açıkça depolama alanından uzaklaştıkça azalma eğiliminde olduğunu bildirilmiş, nedeni olarak çalışılan topraklarda daha fazla Cd zenginleşmesinin veya Cd'nin diğer metallere göre taşınım farklılığından kaynaklanmış olabileceği ifade edilmiştir [40]. Diğer çalışmalarda, Cd konsantrasyonunun topraklarda yüksek olmasının temel sebebi olarak çöplük döküm alanında yoğun olarak bulunan ve Cd içeren materyallerden (telefon ve el feneri pilleri, plastik ve elektronik araçlar) kaynaklandığı bildirilmiştir [23].

Tablo 4. Mesafeye bağlı olarak toprak ağır metallerinin değişime ait ANOVA sonuçları

Kaynak	F-oranları					
	Zn	Pb	Ni	Cu	Cr	Cd
Çöp alanından uzaklık (ÇU)	4.159**	25.930***	18.805***	19.787***	64.754***	48.046***
Toprak Derinliği (TD)	.882ns	.571ns	3.570ns	2.377ns	.456ns	.411ns
ÇU x TD	1.224	.863	.828	.706	.532	1.269

Yıldız işaretleri önem derecesini ifade etmektedir: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$, ns: anlamlı değil

Tablo 5. Çalışmada belirlenen orman topraklarındaki ortalama ağır metal konsantrasyonları (ppm).

Çöp alanından uzaklık (m)	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Çöplük etrafı	2.67	197	25.5	49.8	13.9	40.1
100	2.92	496	46.7	74.1	26.6	82.6
200	1.24	653	32.3	64.9	26.6	80.2
300	1.24	472	28.7	59.0	18.3	51.5
750	1.39	471	29.9	68.7	21.6	50.2
2000	1.75	1363	55.5	87.9	47.8	92.9

Toprak örnekleri üzerinde yapılan kimyasal analiz sonucunda, ağır metal konsantrasyonları kullanılarak hesaplanan jeobirikim indeksleri (I_{geo}), kirlilik faktörü (C_f) değerleri ile kirlilik faktörlerine ait değerler kullanılarak hesaplanan kirlilik yükü indislerine (PLI) ait değerler Tablo 6'da verilmiştir. Çöplük alanından uzaklaştıkça Cd (Şekil 3e) ve Zn (Şekil 3a) miktarının tüm toprak örneklerinde I_{geo} değerleri sıfırdan küçüktür ($I_{geo} < 0$) ve topraklarda kirlenme yoktur. Özellikle 2000 m uzaklıktaki topraklarda Pb (Şekil 3b), Ni (Şekil 3c), Cu (Şekil 3d) ve Cr (Şekil 3f) jeobirikim indeksleri sıfırdan fazla ve kirlenme yok ile orta kirlenme arasında (Cu ve Ni), orta kirlenme ile şiddetli kirlenme (Cr) arasında ya da orta kirlenme (Pb) göstermiştir. 100 uzaklıkta ise Pb (0.260) < Cu (0.316) < Cr (1.392) şeklinde birikim görülmektedir. Jeobirikim sınıflanmasına göre Cr elementi, çöplükten 100 m ile 750 m arasında uzaklıktaki topraklarda orta kirlenme göstermiştir (Tablo 6, Şekil 3f). Kurşun (Pb) tortul kayalarındaki başlıca kaynağını genellikle, magmatik ve metamorfik kayalarındaki potasyumlu feldspat ve mikaların bozulması sonucu açığa çıkmaktadır [41]. Çevreye krom salınımı jeojenik kirleticilerle (As, Cd, Cu, Zn gibi elementler, HCl, volkanik kül, SO₂, CO₂, gibi gazlar) ve insan kaynaklı gerçekleşmektedir [42]. Gümüş Kırıl (2019), Batman ili şehir merkezinin topraklarında Zn (kısmen) ve Ni elementlerinin jeobirikim indekslerine göre kirlenmiş-orta derecede kirlenme ile Cu ve Pb orta derecede kirlilik gösterdiğini belirtmiştir [43]. Özkul ve ark. (2018) Kütahya-Altıntaş ovası tarım topraklarında Jeobirikim İndeksine (I_{geo}) göre; Cr (-3.36) - (-1.12) (pratik olarak kirlenmemiş), Cu (-1.05)-0.13 (pratik olarak kirlenmemiş, kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş), Ni 0.22-2.08 (kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş, orta-çok kirlenmiş), Pb (-0.58)-0.96 (pratik olarak kirlenmemiş,

kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş) ve Zn (-1.30)-0.02 (pratik olarak kirlenmemiş, kirlenmemiş orta derecede kirlenmiş) arasında değerler bulmuşlardır^[44]. Çalışmamızdaki çöplük etrafı ve çöplüğe farklı uzaklıktaki topraklarda en fazla kirlilik oluşturan ağır metal ise krom olmuştur. Cr elementindeki jeobirikim değerinin ciddi boyutta olduğunu ve ekolojik bir risk değerlendirmesi gerektiğini göstermiştir (Tablo 6).

Kirlilik Faktörüne (C_f) göre; şehir çöplük döküm alanında ve farklı uzaklıktaki noktalarda Cd elementi için çok yüksek kirlilik ($C_f > 6$) ve Cr elementi için çöplük etrafı orta kirlilik ($C_f > 1$) ve diğer uzaklıkta ise yüksek kirlilik ($C_f < 6$) ve çok yüksek kirlilik ($C_f > 6$) tespit edilmiştir. Zn elementi için şehir çöplüğünden 100 m, 200 m ve 2000 m uzaklıkta topraklarda orta derecede kirlenme gözlemlenmiştir. Diğer metaller açısından ise çok ciddi bir kirlenme söz konusu değildir. Buna göre en fazla kirlilik gösteren ağır metaller Cr ve Cd olmuştur (Tablo 6). Mohseni-Bandpei vd. (2017) İran'da farklı topraklarda altında yapmış oldukları çalışmalarında, benzer şekilde Cd, Cr ve Zn metallerinin ortalama C_f değerlerinin ($3 \leq C_f < 6$) önemli derecede kirlilik derecesi sınıfında olduğunu tespit etmişlerdir^[45]. Machender vd. (2011) Hindistan-Balanagar sanayi bölgesindeki topraklarda, kentleşme ve sanayileşmeden kaynaklı ağır metal kirliliğini ortaya koymaya çalışmışlardır. Elde edilen sonuçlarda, Cr, Cu, Pb ve Zn elementlerin kirlenme faktörleri yüksek kirlenme gösterdiğini bulmuşlardır^[46]. Magmatik kayaçlar genellikle tortuldan daha yüksek yoğunlukta ağır metalleri içerir. Ancak dünyada tortul kayaçlar daha fazladır ve toprakta ağır metallerin daha önemli bir kaynağını temsil eden yer kabuğu yüzeyinin yaklaşık %75'ini içermektedir^[47]. Bununla birlikte, çalışma alanının jeolojik anakayasası tortul kayaçlardan olan neritik kireçtaşı kayaçlardan oluşması, topraklarda yüksek oranda ağır metal birikiminin etkisi olabileceği düşünülmektedir. Toprak örneklerinde Kirlilik Yük İndeksi (PLI) sonuçlarına göre değerlendirildiğinde, çöplük etrafı hariç PLI değerlerinin kirlilik sınır değeri olan 1 değerinin ($PLI > 1$) üzerinde kaldığı belirlenmiştir. Buna göre çöplük alandan 100 m ile 2000 m uzaklık arasında altı ağır metallerin (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn) toplamı değerlendirildiğinde toprak örneklerinin tamamının kirlendiği tespit edilmiştir (Tablo 6). Çöplük alanından 300 m mesafeden sonra kirlilik tekrar artış göstermiştir (Tablo 5 ve 6). Bunun sebebi 1 nolu atık döküm sahasından kuzey yönüne doğru eğimin azalması (Şekil 1) ve yağmur sularının yamaç altında bulunan karaçam meşcerelerine (750 m ve 2000 m) doğru yüzey akışa geçmesi ya da atık yoluyla sızmasıyla oluşan sızıntı suyu ile bu mesafedeki toprakların kirlenmiş olabilir. Bu, ağır metallerin bölgeden akararak sızmasının bir sonucu olabilir^[48]. Bununla beraber, sızıntı suyunun çevredeki toprağa, yüzey sularına veya yer altı sularına müteakip hareketi, ciddi kirlilik sorunlarına neden olmaktadır^[49].

Tablo 6. Çalışma topraklarında hesaplanan I_{geo} indeksleri, kirlilik faktörleri ve kirlilik yük indeksleri

Çöp alanından uzaklık (m)	I_{geo} indeksleri						
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
Çöplük etrafı	-5.81 ^{KY}	0.059 ^{KY/OK}	-0.556 ^{KY}	-0.754 ^{KY}	-0.675 ^{KY}	-1.282 ^{KY}	
100	-5.68 ^{KY}	1.392 ^{OK}	0.316 ^{KY/OK}	-0.181 ^{KY}	0.260 ^{KY/OK}	-0.239 ^{KY}	
200	-6.92 ^{KY}	1.789 ^{OK}	-0.215 ^{KY}	-0.372 ^{KY}	0.261 ^{KY/OK}	-0.282 ^{KY}	
300	-6.91 ^{KY}	1.320 ^{OK}	-0.386 ^{KY}	-0.509 ^{KY}	-0.278 ^{KY}	-0.921 ^{KY}	
750	-6.75 ^{KY}	1.317 ^{OK}	-0.327 ^{KY}	-0.290 ^{KY}	-0.040 ^{KY}	-0.958 ^{KY}	
2000	-6.42 ^{KY}	2.850 ^{OK/ŞK}	0.566 ^{KY/OK}	0.07 ^{KY/OK}	1.106 ^{OK}	-0.0697 ^{KY}	
Ortalama	-6.415^{KY}	1.455^{OK}	-0.100^{KY}	-0.339^{KY}	1.106^{KY/OK}	-0.0625^{KY}	
Çöp alanından uzaklık (m)	Kirlilik faktörü (C_f)						Kirlilik Yük İndeksi (PLI)
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
Çöplük etrafı	16.69 ^{ÇYK}	1.615 ^{OK}	0.375 ^{DK}	0.503 ^{DK}	0.199 ^{DK}	0.528 ^{DK}	0.90 ^{KY}
100	18.25 ^{ÇYK}	4.066 ^{YK}	0.687 ^{DK}	0.748 ^{DK}	0.38 ^{DK}	1.087 ^{OK}	1.58 ^{KV}
200	7.75 ^{ÇYK}	5.352 ^{YK}	0.475 ^{DK}	0.655 ^{DK}	0.38 ^{DK}	1.055 ^{OK}	1.32 ^{KV}
300	7.75 ^{ÇYK}	3.869 ^{YK}	0.422 ^{DK}	0.596 ^{DK}	0.261 ^{DK}	0.678 ^{DK}	1.05 ^{KV}
750	8.69 ^{ÇYK}	3.861 ^{YK}	0.440 ^{DK}	0.694 ^{DK}	0.308 ^{DK}	0.661 ^{DK}	1.13 ^{KV}
2000	10.94 ^{ÇYK}	11.172 ^{ÇYK}	0.816 ^{DK}	0.888 ^{DK}	0.682 ^{DK}	1.222 ^{OK}	2.05 ^{KV}
Ortalama	11.68^{ÇYK}	4.989^{YK}	0.536^{DK}	0.681^{DK}	0.368^{DK}	0.872^{DK}	1.34^{KV}

KY: Kirlenme Yok, KY/OK: Kirlenme Yok ile Orta Kirlenme arası, OK: Orta Kirlenme, OK/ŞK: Orta Kirlenme ile Şiddetli Kirlenme arası, DK: Düşük Kirlenme, YK: Yüksek Kirlenme, ÇYK: Çok Yüksek Kirlenme, KV: Kirlilik var, KY: Kirlilik yok

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, Avrupa Birliği, Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri ve Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre toprakta bulunmasına izin verilen maksimum eşik değerlerle (Tablo 7) karşılaştırıldığında, orman topraklarında belirlenen Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonlarının Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre oldukça yüksek, Avrupa birliği ve Birleşik Krallık sınır değerlerine göre ise, Cr konsantrasyonunun sınır değerden oldukça yüksek, Ni konsantrasyonunun sınır değerlerin çok az üzerinde, Cd konsantrasyonunun sınır değere oldukça yakın, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonlarının sınır değerlerin altında kaldığı belirlenmiştir. Amerika Birleşik Devletleri sınır değerlerine göre ise sadece Cr konsantrasyonu sınır değerlerinin üzerinde iken Cu, Cd, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları sınır değerlerinin altında bulunmuştur.

Tablo 7. Topraklardaki ağır metal konsantrasyonları için uluslararası eşik değerleri ^[50].

Ağır metal (ppm)	Avrupa Birliği	Birleşik Krallık	Amerika Birleşik Devletleri	Dünya Sağlık Örgütü
Cd	3.0	1.4	400	0.002-0.5
Cr	180	6.4	400	0.002-0.2
Cu	140	63	80-200	1-12
Ni	50	50	100	0.1-5
Pb	300	70	300	0.3-10
Zn	300	200	200-300	12-60

Topraklar, sanayi ve insan faaliyetleri sonucunda çevreye salınan ağır metaller için bir depolama alanı durumundadır. Bununla birlikte, yukarıda belirtilen eşik değerlerin üzerindeki ağır metaller, buldukları alanda olumsuz ekolojik etkilerin meydana gelmesine neden olurken, daha yüksek değerlerde bitkiler, hayvanlar ve insanlar için zehirli hale gelmektedir ^[51]. Çalışmada, Belediye'ye ait düzensiz katı atık depolama alanı çevresi orman topraklarında mesafeye ve toprak derinliğine bağlı olarak elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, orman topraklarında ağır metal konsantrasyonlarında bir zenginleşmenin olduğu ve bunun geniş bir alana yayıldığı anlaşılmaktadır. Burada sunulan çalışma sonuçları, 2017 yılında elde edilen verilerdir. Aynı çöplük sahası için 2020 yılında yayınlanan ^[52] ve sadece çöplük alanın bulunduğu sahadaki toprakların ağır metal konsantrasyonlarının belirlendiği bir araştırmada, topraktaki Cd için 1.6- 3.03 mgkg⁻¹, Cr için 111.6-128.2 mgkg⁻¹, Cu için 26-636.5 mgkg⁻¹, Ni için 64.1-967.2 mgkg⁻¹, Pb için 11.9-66.3 mgkg⁻¹ ve Zn için 71.6-760 mgkg⁻¹ arasında değerler bildirilmiştir. Çalışmamızdaki çöplük alanı ve çevresi orman topraklarındaki ağır metal değerleri, Cr haricinde (çalışmamızda daha yüksektir), 2020 yılına ait çalışmanın bildirdiği değerler arasında olmakla beraber, orman topraklarında belirlenen ortalama ağır metal konsantrasyonlarının, çöplük alanı veya açık alan topraklarından daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Çöplük çevresi açık alan veya tarım alanları topraklarıyla karşılaştırıldığında, orman topraklarında daha düşük ağır metal belirlenmesi iki sebepten kaynaklanmış olabilir: (1) ağır metallerin ormanlık alanlarda toprak yüzeyindeki organik horizonlarda (ölü örtü) birikim göstermesi^[53], (2) orman alanların asidik yapısının bazı ağır metallerin yıkanmasına neden olması^[54]. Toprak organik horizonlarında biriken ağır metallerin orman ekosistemine verdiği zararlar arasında, topraktaki biyolojik faaliyetlerin etkilenmesi sonucunda organik maddenin ayrışmasının gecikmesi ve sonuç olarak bitki besin döngüsünün sekteye uğramasıdır ^[55].

Çöplük alanı etrafındaki toprakların ağır metal miktarları, çalışmanın yapıldığı yıla, bölgeye ve topografik yapıya bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin, jeomorfolojik olarak dalgalı plato yüzeyine karşılık gelen, KB yönünde hafif eğimli bir yapıda olan ve kuru tarım faaliyetlerinin yapıldığı bir sahada kurulu olan Çorlu çöp depolama alanında yapılan bir çalışmada ^[23], topraklardaki ağır metal miktarını Cr için 11.69-490 mgkg⁻¹, Cu için 3.14-28.12 mgkg⁻¹, Ni için 3.89-437.99 mgkg⁻¹, Pb için 6.26-29.87 mgkg⁻¹ ve Zn için 10.79-107.17 mgkg⁻¹ olarak bildirilmiştir. Benzer şekilde, Niğde ilinde eğimli bir arazide kurulu düzensiz bir katı atık depolama sahası için topraklardaki ortalama ağır metal miktarı, Cr için 81 mgkg⁻¹, Cu için 222 mgkg⁻¹, Ni için 133 mgkg⁻¹, Pb için 267 mgkg⁻¹ ve Zn için 74 mgkg⁻¹ olarak bildirilmiştir ^[56]. Çalışmamızda karaçam orman toprakları için belirlenen ortalama ağır metal konsantrasyonları, Çorlu çöp depolama sahasında (çöplük etrafı dahil yaklaşık 10.000 metrekairelik bir alanda gerçekleştirilen çalışma) belirlenen değerler arasında kalmaktadır. Niğde çöp

alanı için bildirilen değerlerle karşılaştırıldığında ise çalışmamızda belirlenen Cr ve Zn miktarının oldukça yüksek, Cu, Ni ve Pb miktarının daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Belirlenen değerler arasındaki farklılığın, çöplük sahasında depolanan materyallerin çeşitliliğinden de kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir.

Kastamonu İli 2021 Çevre Durum Raporu'na göre, çalışmamızın gerçekleştirildiği şehir çöplüğünün 2020 yılı itibariyle katı atık kompozisyonu; %38.19'lık kısmı organik çöp, %1.01 cam atıklar, %1.01 kâğıt, %2.01 plastik atıklar, %0.5 metaller, %1.5 tekstil, %0.50 kompozit malzemeler, %55.28 diğer kategorilerden oluşmaktadır^[57]. Ek olarak, orman topraklarında bazı ağır metal konsantrasyonlarındaki artış eğiliminin diğer kaynaklardan da alana ulaşması mümkündür. Çalışmamızda çöp depolama alanına en uzak mesafedeki orman topraklarında belirlenen en yüksek ağır metal konsantrasyonlarının sadece çöplük alandan kaynaklı olmadığı, bu alanların yoğun bir trafiğe sahip ana yola ve yerleşim alanlarına yakın olmasından kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir. Orman topraklarının içerdiği doğal ağır metal konsantrasyonları önceden bilinmediği için orman topraklarındaki kirlilik yoğunluğunu tam olarak ortaya çıkarmak ve sonuçlarını ulusal veya uluslararası ağır metal sınır değerleriyle veya düzenlemelerle karşılaştırmak daha zordur^[58]. Bununla beraber, orman ekosistemlerinin sağladığı hizmetlerin sürdürülebilir sağlamak için, orman ekosistemlerinin ağır metal konsantrasyonlarını ve bu konsantrasyonlar üzerinde etkili olabilecek insan faaliyetleri veya doğal süreçlerin izlenmesi bakımından, bu konuda yapılacak çalışmaların sayısının artırılması gerekmektedir.

Belediye katı atık çöp döküm sahası topraklarında ağır metal kirlilik boyutunun belirlenmesi amacıyla Jeobirikim İndeksi (I_{geo}), Kirlilik Faktörü (C_f) ve Kirlilik Yük İndeksi (PLI) parametreleri hesaplanmıştır. Jeobirikim indeksinin (I_{geo}) sonuçları, toprak örneklerinin çoğunun Cd ve Zn için kirlenmemiş olarak kabul edilebileceğini ortaya koyarken, I_{geo} değerlerine dayalı olarak Cr değerlerinin mesafeye bağlı olarak orta ila şiddetli derecede, Ni (2000 m), Cu (100 m, 2000 m) ve Pb (100 m, 200 m ve 2000 m) değerlerinin orta derecede kirliliğe sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca kirlilik faktörünün (C_f) sonuçları Cu, Ni ve Pb için düşük kirlilik, Zn için orta ve Cd için orta ila çok yüksek kirlilik seviyeleri arasında göstermiştir. Bu sonuçlara göre; ortalama Cd ve Cr ağır metallerince bölge topraklarında oldukça önemli oranlarda kirlenme gözlenmektedir. Cu, Ni, Pb ve Zn ağır metalleri için kirlilik boyutu ciddi oranlara ulaşmamıştır. Kirlilik yükü indeksi (PLI) değerleri, çöplük etrafında düşük bulunmuş olup ($PLI < 1$), diğer mesafelerde yüksek bulunmuştur ($PLI > 1$). Bununla birlikte, mevcut ağır metaller için farklı uzaklıktaki toprakların kirlendiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, hızlı sanayileşme ve nüfus artışından çöplerin bertaraf amaçlı kullanılan düzensiz veya kontrolsüz depolama alanlarının yakın çevresi açık alan veya tarım toprakları kadar orman topraklarında ağır metal konsantrasyonlarının yükselmesinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Açık alan veya tarım alanı topraklarıyla karşılaştırıldığında, orman topraklarındaki ağır metal konsantrasyonlarının daha düşük eğilimde olması, ağır metallerin toprak üstü organik horizonlarda birikmesi veya daha asidik yapı gösteren orman topraklarından yıkanmasına bağlı olabilmektedir. Çalışmamız, toprak üstü organik horizonlardaki ağır metal miktarının belirlenmesi üzerine planlanmadığı için buna yönelik sonuçlar burada sunulamamıştır. Bu nedenle, konu ile ilgili gelecekte orman ekosistemlerine yönelik yapılacak çalışmalarda, toprak üstü organik horizonların ağır metal içeriklerinin, biyolojik faaliyetlere ve ölü örtü ayrışma süreçlerine etkisinin detaylı olarak çalışılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kong, X.B., 2014, China must protect high-quality arable land. Nature 506 (7). <http://dx.doi.org/10.1038/506007a> (06 February 2014).
- [2] CEC, 2006a, Thematic Strategy for Soil Protection. COM (2006)231 Final. Commission of the European Communities, Brussels (22.9.2006).
- [3] van Liedekerke, M., Prokop, G., Rabl-Berger, S., Kibblewhite, M., Louwagie, G., 2014, Progress in the management of contaminated sites in Europe. EUR 26376. Publications Office of the European Union, Luxembourg (68 pp.).
- [4] CEC, 2006b, Impact Assessment of the Thematic Strategy on Soil Protection. COM (2006)231 Final (SEC(2006)1165).

- [5] Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y.M., Huang, Y.Z., Zhu, Y.G., 2008, Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China, *Environmental Pollution*, 152 (3), 686–692.
- [6] Zhang, M. K., . Liu, Z.Y., Wang, H., 2020, Use of single extraction methods to predict bioavailability of heavy metals in polluted soils to rice, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41 (7), pp. 820–831.
- [7] Carvalho, M.E.A., Castro, P.R.C., Azevedo, R.A., 2020, Hormesis in plants under Cd exposure: From toxic to beneficial element? *Journal of Hazardous Materials* 384: 121434. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121434>.
- [8] Singh, H., Yadav, M., Kumar, N., Kumar, A., Kumar, M., 2020, Assessing adaptation and mitigation potential of roadside trees under the influence of vehicular emissions: A case study of *Grevillea robusta* and *Mangifera indica* planted in an urban city of India. *PLoS ONE* 15(1): 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227380>.
- [9] Kumar, V., Sharma, A., Kaur, P., Sidhu, G.P., Bali, A.S., Bhardwaj, R., Thukral, A.K., Cerda, A., 2019, Pollution assessment of heavy metals in soils of India and ecological risk assessment: A state-of-the-art. *Chemosphere* 216: 449–462. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.066>
- [10] Guarda, P.M., Pontes, A.M.S., Domiciano, R.S., Gualberto, L.S., Mendes, D.B., Guarda, E.A., José, E.C., da Silva, J.E.C., 2020, Assessment of Ecological Risk and Environmental Behavior of Pesticides in Environmental Compartments of the Formoso River in Tocantins, Brazil. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 79, 524–536. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00770-7>
- [11] Phalsson, A.M.B., 1989, Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants, *Water, Air, Soil Pollution*, 47, 287-319.
- [12] Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M., Pehlivan, M., 2009, Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alınları, Ziraat Bilimler Dergisi*, 17(2), 14-26.
- [13] Yerli, C., Çakmakçı, T., Şahin, Ü., Tüfenkçi, Ş., 2020, Ağır Metallerin Toprak, Bitki, Su ve İnsan Sağlığına Etkileri, *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9, 103-114.
- [14] Berkun, M., 1991, Solid waste characteristic and removal planning in the Eastern Black Sea. Region research projects no. 91112001, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey
- [15] Mee, D.L. and Topping, G., 1998, Black Sea pollution assessment. In: GEF Black Sea environmental programme. Black Sea environmental series, p 10.
- [16] Ziadat, A.H, and Mott, H., 2005, Assessing solid waste recycling opportunities for closed campuses. *Manag Environ Qual* 16:250–256
- [17] Kocasoy, G., 2002, Solid waste management in Turkey. *Waste Manag* 21.
- [18] Yılmaz, A. ve Bozkurt, Y., 2010, Türkiye’de Kentsel Katı Atık Yönetimi Uygulamaları ve Kütahya Katı Atık Birliği (KÜKAB) Örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 15 (1), 11-28.
- [19] Gökçe, G. F., Kırkkık Aydemir, K.P., Hasanoğlu, P., Özbay, M., 2015, Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarının ve Vahşi Depolama Alanlarının Islahı ve Bitkilendirilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3, 258-271.
- [20] Tekin, Ö.F. ve Söylemez, A., 2018, Bir Yerel Çevre Politikası Olarak Vahşi Depolama Alanlarının Islahı: Konya Aslım Çöplüğü Örneği. *Uluslararası Su ve Çevre Kongresi SUÇEV (22-24 Mart 2018) Bildiriler Kitabı*, s.: 1407-1414, Bursa.
- [21] Ertürk, M.C. ve Görgün, E., 2011, Türkiye’deki Düzensiz Çöp Döküm Sahalarının Islahında Güncel Bir Örnek: Mersin Çavuşlu Çöp Depolama Sahasının Rehabilitasyonu. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma*, 3, 200-208.
- [22] TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı) (2017), Belediye Atık İstatistikleri, 2016. Haber Bülteni, 29/11/2017, Sayı: 24876.
- [23] Ozsahin, E., Sari, H., Eroglu, I., Yuksel, O., Ozdes, M., 2019, Düzensiz çöp döküm sahalarının toprak kirliliğine etkisinin değerlendirilmesi. B. Gonencgil, T. A. Ertek, I. Akova ve E. Elbasi (Ed.), *1st Istanbul International Geography Congress Proceedings Book (s. 356-363) içinde*. İstanbul, Türkiye: Istanbul University Press. <https://doi.org/10.26650/PB/PS12.2019.002.036>
- [24] United States Fire Administration, 2002, Landfill fires: Their magnitude, characteristics, and mitigation. Federal Emergency Management Agency, United States Fire Administration, National Fire Data Center. FA–225.

- [25] KASMİB, 2018, Kastamonu ili 2017 yılı çevre durum raporu. Kastamonu Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. 117 sayfa.
- [26] Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ.E., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H.Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. vd., 2011, 1:1.250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara-Türkiye.
- [27] Coşkun, S., 2021, Küre Dağlarının Kastamonu iklimi üzerindeki etkileri. Türk Coğrafya Dergisi, (77), 37-52. <https://doi.org/10.17211/tcd.833701>
- [28] Banar, M., Cokaygil, Z., Ozkan, A., 2009, Life cycle assessment of solid waste management options for Eskişehir, Turkey. Waste management, 29(1), 54-62.
- [29] Kanmani, S., and Gandhimathi, R., 2013, Assessment of heavy metal contamination in soil due to leachate migration from an open dumping site. Applied water science, 3, 193-205.
- [30] Ali, S. M., Pervaiz, A., Afzal, B., Hamid, N., Yasmin, A., 2014, Open dumping of municipal solid waste and its hazardous impacts on soil and vegetation diversity at waste dumping sites of Islamabad city. Journal of King Saud University-Science, 26(1), 59-65.
- [31] Jackson, M.L., 1962, Soil chemical analysis. (Constable and Company, Ltd: London).
- [32] Bouyoucos, G.J., 1962, Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. Agronomy Journal, 54(5), 464-465.
- [33] Turhan, Ş., Garad, A.M.K., Hançerlioğulları, A., Kurnaz, A., Gören, E., Duran, C., ... & Aydın, A., 2020, Ecological assessment of heavy metals in soil around a coal-fired thermal power plant in Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 79, 1-15.
- [34] Al-Haidarey, M.J.S., Hassan, F.M., Al-Kubaisey, A.R.A., Douabul, A.A.Z., 2010, The geoaccumulation index of some heavy metals in Al-Hawizeh Marsh, Iraq. E-Journal of Chemistry, 7(S1), S157-S162.
- [35] Loska, K., Cebula, J., Pelczar, J., Wiechuła, D., Kwapuliński, J., 1997, Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the Rybnik water reservoir in Poland. Water, Air, and Soil Pollution, 93, 347-365.
- [36] Hakanson, L., 1980, An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water research, 14(8), 975-1001.
- [37] Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R., Jeffrey, D.W., 1980, Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. Helgoländer meeresuntersuchungen, 33, 566-575.
- [38] Chakravarty, M., & Patgiri, A. D. (2009). Metal pollution assessment in sediments of the Dikrong River, NE India. Journal of Human Ecology, 27(1), 63-67.
- [39] Odiyo, J. O., Bapela, H. M., Mugwedi, R., Chimuka, L., 2005, Metals in environmental media: A study of trace and platinum group metals in Thohoyandou, South Africa. Water SA, 31(4), 581-588.
- [40] Liu, C., Cui, J., Jiang, G., Chen, X., Wang, L., Fang, C., 2013, Soil heavy metal pollution assessment near the largest landfill of China. Soil and Sediment Contamination: An International Journal, 22(4), 390-403.
- [41] Şahinci, A., 1991, Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, 151-246, İzmir.
- [42] Özkul, C., 2019, Kütahya şehir merkezinde yer alan çocuk parklarındaki toprakların ağır metal kirliliğinin belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1), 226-240.
- [43] Gümüş Kıral, N., 2019, Batman ili şehir merkezinin toprak jeokimyası (Master's thesis, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [44] 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. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 17(1), 13-26.
- [45] Mohseni-Bandpei, A., Ashrafi, S. D., Kamani, H., Paseban, A., 2017, Contamination and ecological risk assessment of heavy metals in surface soils of Esfarayen city, Iran. *Health scope*, 6(2).
- [46] Machender, G., Dhakate, R., Prasanna, L., Govil, P.K., 2011, Assessment of heavy metal contamination in soils around Balanagar industrial area, Hyderabad, India. *Environmental Earth Sciences*, 63, 945-953.

- [47] Bláha, L., Bocková, R., Hnilička, F., Hniličková, H., Holubec, V., Möllerová, J., ... & Zieglerová, J., 2003, *Rostlina a stres (Plant and Stress)*. 1 vyd. Praha: VÚRV Praha, 156 s. ISBN 80-86555-32-1.
- [48] Getachew, D., and Habtamu, D., 2015, Heavy metal pollution of soil around solid waste dumping sites and its impact on adjacent community: the case of Shashemane open landfill, Ethiopia. *Journal of Environment and Earth Science*, 5(15), 169-178.
- [49] Naveen, B.P., Sumalatha, J., Malik, R.K., 2018, A study on contamination of ground and surface water bodies by leachate leakage from a landfill in Bangalore, India. *International Journal of Geo-Engineering*, 9, 1-20.
- [50] Asemave, K. and Anhwange, B.A., 2012, *Evaluation of heavy metals in waste dumpsites. Germany, Lambert Academic Publishing; ISBN: 978-3-659-37380-0.* Available:https://www.researchgate.net/publication/2369049_32.
- [51] Adriano, D.C., 2001, *Trace elements in terrestrial environments: Biochemistry, bioavailability and risks of metals*. 2nd Edition, Springer- Verlag, New York, Available:<http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-21510-5>
- [52] Savacı, G. and Öksüz, Ç., 2020, Investigation of heavy metal concentrations in soil caused by Kastamonu city wild storage dumpsite. *Turkish Journal of Forest Science*, 4(1), 26-39.
- [53] Dijkstra, E.A., 1998, Micromorphological study on the development of humus profiles in heavy metal polluted and non-polluted forest soils under Scots pine. *Geoderma*, 82, 341 –358.
- [54] Tyler, L.D., Gerth, J., Brummer, G., 1984, The relative affinities of Cd, Ni and Zn, for different soil clay fractions and goethite. *Geoderma*, 34, 17 –35.
- [55] McBride, M., Sauvé, S., Hendershot, W., 1997, Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. *Eur J Soil Sci.*, 48, 337 –346.
- [56] Tumuklu, A., Yalcin, M.G., Sonmez, M., 2007, Detection of Heavy Metal Concentrations in Soil Caused by Nigde City Garbage Dump. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16(4), 651-658.
- [57] KASMIİB, 2021, Kastamonu ili 2021 yılı çevre durum raporu. Kastamonu Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
- [58] Huisman, D.J., Vermeulen, F.J.H., Baker, J., Veldkamp, A., Kroonenberg, S.B., Klaver, G.T., 1997, A geological interpretation of heavy metal concentrations in soils and sediments in the southern Netherlands. *J Geochem Explor*, 59, 163 –174.