



Farklı Ana Materyaller Üzerinde Oluşmuş Toprakların Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi (Kırklareli, Türkiye)

Gökhan TUĞYAN¹

Ali SUNGUR^{2*}

¹ÇOMÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme ABD, 17020, Çanakkale

²ÇOMÜ, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 17020, Çanakkale

*Sorumlu yazar: sungur@comu.edu.tr

Özet

Toprak sistemine ağır metaller, doğal ortamlarda kayaçların ayrışması sonucu ulaşmaktadır. Bu çalışma Kırklareli ilinde orman örtüsü altında farklı litolojilere sahip alanlarda yürütülmüştür. Çalışmanın amacı, farklı ana materyaller ve benzer bitki örtüsü-iklim etkisi altında oluşmuş toprakların ağır metal konsantrasyonlarını belirlemektir. Bu kapsamda dört farklı ana materyal (granit, şist, kireç taşı ve karasal kırıntı) üzerinde oluşmuş topraklarda 0-20 cm derinlikte toplam 20 adet yüzey örnekleme yapılmıştır. Toprak örnekleri kral suyu yaş yakma yöntemi ile ekstrakte edilmiş, Cd, Co, Cu, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları alevli atomik absorpsiyon spektrometresi ile tayin edilmiştir. Farklı ana materyallerden oluşan topraklar arasındaki farkları belirlemek için deneysel verilerde varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır ($p<0,05$). Ağır metal değişkenlerinin ortalamaları Tukey çoklu aralık testi ile karşılaştırılmıştır. Farklı ana materyaller üzerinde oluşmuş toprakların Cd içerikleri istatistiksel olarak bir farklılık göstermemiştir. Co, Ni, Pb ve Zn şist üzerinde oluşmuş topraklarda en yüksek ve istatistiksel olarak bu farklılık önemli bulunmuştur. Co, Ni ve Pb kireç taşı üzerinde oluşmuş topraklarda da ikincil düzeyde yüksek çıkmış ve bu farklılık yine istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Cu en fazla granit üzerinde oluşmuş topraklarda (ortalama $90,25 \pm 22,09 \mu\text{g/g}$) olup bu farklılaşma istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Sonuçlar değerlendirildiğinde en düşük metal konsantrasyonları karasal kırıntı üzerinde oluşmuş topraklarda ve en yüksek konsantrasyonları (Cu hariç) ise şist üzerinde oluşmuş topraklarda olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ana materyal, Toprak, Ağır metal, Arazi örtüsü, Kırklareli

Determination of Heavy Metal Concentrations in Soil Formed on Different Parent Materials (Kırklareli, Turkey)

Abstract

Heavy metals reach the soil system as a result of the decomposition of rocks in natural environments. This study was conducted in Kırklareli province under forest cover in areas with different lithologies. The aim of the study is to determine the heavy metal concentrations of soils formed under different parent materials and similar vegetation-climate effect. In this context, 20 samples were collected from the surface soils (0-20 cm) formed on four different parent materials (Granite, schist, limestone and terrestrial crumb). The soil samples extracted by *Aqua regia* wet digestion method and Cd, Co, Cu, Ni, Pb and Zn concentrations determined by using flame atomic absorption spectrometry. The experimental data were analyzed with analysis of variance (ANOVA) to determine the differences between soils consisting of different parent materials ($p<0.05$). Tukey multiple range test used for comparing the means of the heavy metals. The Cd content of the soils formed on different parent materials was not differ statistically and was found in low concentrations. Co, Ni, Pb and Zn are the highest and have statistically significant difference in soils formed on the schist. Co, Ni and Pb were also secondarily high in soil formed on the limestone and this difference was found statistically significant. Cu is mostly in soils formed on granite (average $90.25 \pm 22.09 \mu\text{g/g}$) and this dissimilarity was found statistically significant. When the results were evaluated, the lowest metal concentrations were determined in soils formed on terrestrial crumb and the highest concentrations were in soils formed on the schist (excluding Cu).

Keywords: Parent material, Soil, Heavy metal, Land cover, Kırklareli

Giriş

Toprak, çevresel faktörlerdeki değişimin etkisiyle aşamalı değişimler geçiren dinamik bir sistemdir. Ağır metaller toprak sistemine doğal ortamlarda kayaçların ayrışması sonucu ulaşmaktadır. Toprak oluşumu ana kayaların ayrışması ile oluşan ana materyal üzerinde gelişen bir süreçtir. Toprağı oluşturan ana materyalin veya kayacın bileşimi toprağın mineralojik ve elementel bileşimini etkilemektedir (Everest ve Özcan, 2018). Özellikle kimyasal ayrışma, ana materyallerin altere olmasına ve elementlerin minerallerden çözeltilere geçmesine yol açmaktadır. Ağır metaller toprak tarafından adsorpsiyon ve çökeltme mekanizmaları ile hareketsiz hale getirilerek tutulabildiği gibi farklı biyolojik ve kimyasal mekanizmalarla toprak çözeltilisinde mobil hale geçebilirler. Bu mobil hale gelen ağır metaller içme suyu kaynaklarının, göl ve deniz gibi sulu ortamlarının kontaminasyona uğramasına neden olabilir.

Kökensel farklılıklara sahip ağır metallerin ekosistemler üzerindeki etkisi sıklıkla araştırılmıştır (Adriano, 1986). Ağır metaller toprak sistemine doğal ortamlarda kayaçların ayrışması sonucu ulaşabildiği gibi, çevresel etkilerle de topraklara farklı düzeylerde ağır metal ulaşabilmektedir (De Vries ve ark., 2009). Diğer yandan ağır metallerin orman ekosistemlerindeki uzun vadeli etkisi tam belirgin olmayabilir. Bergkvist ve ark. (1989) ağır metallerin bozulmamış veya ağır kirli olmayan alanlardaki dağılımı hakkındaki veri eksikliği üzerinde dikkat çekmektedir. Bu nedenle son zamanlarda yoğunlaşan araştırmalar, topraklarda Cu, Zn, Cd ve Pb gibi ağır metallerin davranışlarını anlamayı amaçlamaktadır. Ağır metallerin toprakta tutulması toprağın pH, redoks potansiyeli ve su içeriği gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişim gösterebilmektedir (Sungur ve ark., 2015). Bu katı fazda bir elementin kimyasal dönüşüm oranı için önemli bir rol oynar (Sposito, 1989). Yüzeydeki organik tabakalarda biriken ve organik maddelerle güçlü kompleksler oluşturan ağır metallerin orman topraklarındaki biyolojik aktiviteyi etkilediği belirlenmiştir. Bu durum topraktaki organik madde ayrışma oranında azalma eğilimine yol açmıştır (McBride ve ark., 1997). Ayrıca, topraklarda pH'nin azalması minerallerin çözünmesine ve bazı ağır metallerin sızmasına neden olabilir. Böyle bir etkinin asitleştirme işlemlerine mi yoksa ağır metallerin antropojenik birikmesine mi bağlı olduğunu belirlemek genellikle zordur (Hernandez ve ark., 2003). Birçok çalışmada, orman topraklarının doğal ağır metal içeriği herhangi bir çalışma alanı için referans veya kontrol toprağı olarak (pedogeokimyasal arka planı) karşılaştırmakta kullanılmıştır (Huisman ve ark., 1997). Atmosferik taşınımların, yüzey topraklarındaki Pb ve/veya diğer ağır metal içerikleri için önemli olduğu bilinmektedir. Örneğin, orman topraklarının üst horizonları genellikle bitki örtüsünün hava filtreleme etkisinin bir sonucu olarak ağır metallerin birikimini göstermektedir. Yüzeydeki bu zenginleşmenin atmosferik birikim derecesinin bir göstergesi olarak alınabileceği de önerilmiştir (Berthelsen ve ark., 1994).

Orman topraklarında bulunan metallerin, özellikle ağır metallerin miktarları hakkında bilgi yetersizdir. Dolayısıyla orman topraklarını çalışmak hem ana materyalden gelen ağır metallerin ayrışma ve tutulma sürelerinin tahmin edilmesinde hem de olası hava kirleticilerinin uzun vadeli etkilerinin belirlenmesinde birincil bir öneme sahiptir. Bu çalışma arazi örtüsünün yaklaşık %40'ı orman olan Kırklareli ilinde yürütülmüştür. İl sınırları içerisinde Istranca dağlarının bir bölümü yer almaktadır. Istranca masiflerinde metamorfik kayaçlar, magmatik ve sedimenter olmak üzere çok farklı jeolojik birimler yüzeylenmiştir. Çalışmanın amacını, farklı ana materyaller/kayaçlar üzerinde oluşmuş ve benzer vejetasyon-iklim etkisi altında bulunan topraklardaki metal konsantrasyonlarının belirlenmesi ve farklı ana materyaller üzerinde oluşmuş toprakların ağır metal bakımından karşılaştırılması oluşturmaktadır.

Materyal ve Yöntem

Çalışma Alanı ve Toprak Örneklemesi

Çalışma alanındaki ormanlık alanlarda kayın ağaçları yaygın bulunmaktadır. Geniş yapraklı bu orman bitkisi altında organik maddesi yüksek topraklar oluşmaktadır. Kırklareli ilinde orman örtüsü altında farklı litolojilere sahip alanlarda yürütülen çalışma alanında metamorfik, magmatik ve sedimenter kayaçlar bulunmaktadır. Çalışma ile farklı ana materyaller üzerinde ve benzer bitki örtüsü-iklim etkisi altında oluşmuş toprakların ağır metal konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu amaçla dört farklı ana materyal (granit, şist, kireç taşı ve karasal kırıntı) üzerinde oluşmuş topraklarda yüzeyden

Farklı Ana Materyaller Üzerinde Oluşmuş Toprakların Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi (Kırklareli, Türkiye)

(0-20 cm) her bir litolojide beşer örnek olmak üzere toplam 20 adet toprak örneği alınmıştır. Toprak örnekleme yapılırken plastik kürek kullanılmış ve örnekler bez torbalarda laboratuvara taşınmıştır. Toprak örnekleri öncelikle oda sıcaklığında hava kuru hale getirilmiş ve tahta bir tokmak yardımıyla toprak agregatları kırılarak 2 mm'lik elekten elenerek analizlere hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan bu örnekler tekstür, pH ve elektriksel iletkenlik analizleri için kullanılmıştır. Elenmiş örneklerin bir kısmı havanda öğütülmüş ve 0,5 mm'lik elekten elenerek organik madde, kalsiyum karbonat ve ağır metal analizlerinde kullanılmıştır.

Örneklerde Fiziko-kimyasal Analizler

Toprak örneklerinin tepkimesi (pH) ve elektriksel iletkenlik (EC) düzeyleri 1:2.5 toprak: su süspansiyonunda pH-metre ve iletkenlik ölçer (EC-metre) ile ölçülmüştür. Toprak tane irilik dağılımı (toprak tekstürü), 2 mm'lik elekten elenmiş bozulmuş toprak örneklerinde Bouyoucos (1951)'de belirtilen esaslar temel alınarak hidrometre yöntemiyle belirlenmiştir. Toprak organik madde (OM) içeriği asit ortamda dikromatın organik maddeyi oksitlemesi esasına dayanarak tespit edilmiştir (Nelson ve Sommers, 1982). Toprak kalsiyum karbonat (CaCO_3) içerikleri, Scheibler kalsimetresi ile CO_2 hacminin ölçülmesi esasına göre yüzde (%) olarak hesaplanmıştır (Nelson, 1982).

Örneklerde Ağır Metal Analizi ve Doğruluk Testi

Toprak örneklerinin Cd, Co, Cu, Ni, Pb ve Zn içeriklerini belirlemek için topraklar kral suyu ($\text{HNO}_3:\text{HCl}$ karışımı, 1:3 oranında) yaş yakma yöntemi ile ekstrakte edilmiştir. Toprak örneklerinin ağır metal içerikleri alevli atomik absorpsiyon spektroskopisi (FAAS) kullanılarak belirlenmiştir. FAAS için çalışma koşulları Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. FAAS cihazı için çalışma koşulları (çalışmada oyuk katot lambası ve alev gazı olarak hava-asetilen kullanılmıştır)

Metal	Dalga boyu (nm)	Lamba akımı (mA)	Yarık genişliği (nm)	Gaz akışı (L/h)	Alev yüksekliği (mm)	Enjeksiyon oranı (mL/dakika)
Cd	228,8	3,0	0,2	50	6	3
Co	240,7	7,0	0,2	55	6	3
Cu	324,8	3,0	1,4	50	6	3
Ni	232,0	5,0	0,2	75	6	3
Pb	283,3	3,0	1,4	85	6	3
Zn	213,9	4,0	0,5	65	5	3

Havanda öğütülmüş ve homojenliği sağlanmış örneklerden yaklaşık 4-5 gram örnek 85°C 'ye ayarlı etüvde bekletilmiş ve nem belirsizliği giderildikten sonra her örnekten 1 gram tartılmıştır (0,001 g hassasiyetinde terazi ile). Tartılan örnekler 100 mL kapasiteli behere aktarılmış ve 20 mL kral suyu ilave edilerek üzerine saat camı kapatılmıştır. Daha sonra sıcak tabla (hot-plate) üzerine alınan örnekler sıcaklığın kademeli olarak artırılmasıyla kuruluğa yakın buharlaştırılmış ve örnekler 0.45 μm 'lik bir mavi-bant filtreden geçirilerek 50 mL'ye ultra saf su ile tamamlanmıştır. Çalışmada kullanılan yaş yakma yönteminin doğruluğu sertifikalı referans madde (ERM-CC141, toprak) kullanılarak test edilmiştir. Bu kapsamda elde edilen geri kazanımlar Çizelge 2'de verilmiştir. Geri kazanımlar %98 ile %112 aralığında olup sonuçlar tatmin edici bulunmuştur.

Çizelge 2. Kral suyu ile ekstrakte edilmiş sertifikalı referans maddesinin (ERM-CC141, toprak) sertifika değerleri ve bu çalışmada bulunan değerler (ort. \pm sd) ile geri kazanım oranları, $n = 3$

Metaller	Sertifika değeri($\mu\text{g/g}$)	Ölçülen değer($\mu\text{g/g}$)	Geri kazanım (%)
Cd	$0,25 \pm 0,04$	$0,28 \pm 0,07$	112
Co	$7,9 \pm 0,9$	$8,62 \pm 1,2$	109
Cu	$12,4 \pm 0,9$	$12,36 \pm 1,0$	100
Ni	$21,9 \pm 1,6$	$23,07 \pm 1,8$	105
Pb	$32,2 \pm 1,4$	$31,56 \pm 2,6$	98
Zn	$50,0 \pm 4,0$	$51,33 \pm 4,8$	103

Farklı Ana Materyaller Üzerinde Oluşmuş Toprakların Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi (Kırklareli, Türkiye)

İstatistiksel Analiz

Çalışma kapsamında elde edilen verilerle farklı ana materyallerden oluşan topraklar arasındaki farkları belirlemek için varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır ($p < 0,05$). Ağır metal değişkenlerinin ortalamaları Tukey çoklu aralık testi ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analizler MINITAB-17 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Toprak Örneklerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Farklı kayaçlar (ana materyaller) üzerinde oluşmuş topraklardan alınan örnekler için bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge incelendiğinde toprak örneklerine ait ortalama pH değeri göz önüne alındığında; kireç taşı, şist ve granit üzerinde oluşmuş toprakların hafif asit, karasal kırıntı üzerinde oluşmuş toprakların ise orta dereceli asit olduğu (5,60) görülmüştür. Kireç taşı üzerinde oluşmuş beşinci toprak örneğine ait pH değeri yüksek organik madde içeriğine (%10,53) bağlı olarak diğer örnek noktalarına göre daha düşük bulunmuştur. Örneklerin elektriksel iletkenlik (EC) değerleri oldukça düşük olup tüm ortalamaların 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den daha küçük olduğu belirlenmiştir. Farklı kayaçlar üzerinde oluşmuş tüm toprakların kalsiyum karbonat içeriklerinin düşük olduğu görülmüştür. Orman örtüsü altından alınan toprak örneklerinin yıkanma (yağışlar) etkisiyle göreceli olarak düşük pH, EC ve kalsiyum karbonat değerlerine sahip olması beklenen bir sonuçtur.

Çizelge 3. Toprak örneklerine ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler

Ana Materyal	Örnek No	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	OM (%)	Kireç (%)	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)
Kireç taşı	1	7,20	174,0	7,77	1,34	44,5	21,6	33,9
	2	6,01	159,9	9,82	1,58	48,7	32,0	19,3
	3	7,04	177,6	8,46	0,79	54,9	21,6	23,5
	4	6,74	175,5	6,52	0,87	46,6	34,1	19,3
	5	5,77	208,0	10,53	1,34	34,1	23,7	42,3
	<i>Ortalama</i>	<i>6,55</i>	<i>179,0</i>	<i>8,62</i>	<i>1,18</i>	<i>45,75</i>	<i>26,58</i>	<i>27,67</i>
	<i>Standart sap.</i>	<i>0,63</i>	<i>17,6</i>	<i>1,60</i>	<i>0,34</i>	<i>7,60</i>	<i>6,00</i>	<i>10,10</i>
Karasal kırıntı	6	5,28	86,5	6,03	1,50	0,8	54,9	44,3
	7	5,70	66,3	7,48	0,87	23,7	50,8	25,6
	8	6,04	84,7	2,15	1,50	15,3	57,0	27,7
	9	5,50	28,1	0,45	0,95	32,0	40,3	27,7
	10	5,47	40,6	1,03	1,58	27,8	46,6	25,6
	<i>Ortalama</i>	<i>5,60</i>	<i>61,24</i>	<i>3,43</i>	<i>1,28</i>	<i>19,92</i>	<i>49,92</i>	<i>30,17</i>
	<i>Standart sap.</i>	<i>0,29</i>	<i>26,16</i>	<i>3,14</i>	<i>0,34</i>	<i>12,36</i>	<i>6,69</i>	<i>7,99</i>
Şist	11	5,32	102,2	7,90	1,26	25,8	42,4	31,8
	12	7,12	214,0	5,36	0,79	25,8	42,4	31,8
	13	7,38	397,0	3,23	6,55	13,3	21,6	65,2
	14	5,97	105,7	8,95	0,39	15,3	32,0	52,7
	15	6,15	109,2	8,18	1,03	34,1	36,2	29,8
	<i>Ortalama</i>	<i>6,39</i>	<i>185,6</i>	<i>6,73</i>	<i>2,00</i>	<i>22,83</i>	<i>34,92</i>	<i>42,25</i>
	<i>Standart sap.</i>	<i>0,85</i>	<i>127,2</i>	<i>2,38</i>	<i>2,56</i>	<i>8,54</i>	<i>8,67</i>	<i>15,87</i>
Granit	16	6,50	119,1	3,99	2,76	23,7	32,0	44,3
	17	6,49	70,0	1,31	1,26	19,5	32,0	48,5
	18	6,19	36,0	0,66	2,37	15,3	25,8	58,9
	19	6,30	21,6	0,28	1,18	11,2	9,1	79,8
	20	6,32	53,7	1,48	1,26	29,9	25,8	44,3
	<i>Ortalama</i>	<i>6,36</i>	<i>60,1</i>	<i>1,54</i>	<i>1,77</i>	<i>19,9</i>	<i>24,9</i>	<i>55,2</i>
	<i>Standart sap.</i>	<i>0,13</i>	<i>37,7</i>	<i>1,45</i>	<i>0,74</i>	<i>7,3</i>	<i>9,4</i>	<i>15,0</i>

Farklı Ana Materyaller Üzerinde Oluşmuş Toprakların Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi (Kırklareli, Türkiye)

Toprak örneklerine ait organik madde (OM) ortalama değerlerine bakıldığında karasal kırıntı üzerinde oluşmuş toprakların OM düzeyinin orta, granit üzerinde oluşmuş toprakların az ve şist ile kireç taşı üzerinde oluşmuş toprakların ise fazla olduğu anlaşılmıştır (Çizelge 3). Bu durum ortamdaki bitkisel yoğunluk ve orman altı örtü ile ilişkilidir. Toprak örneklerine ait ortalama kil, silt ve kum oranlarına bağlı olarak kireç taşı üzerinde oluşmuş toprakların kil, karasal kırıntı ile şist üzerinde oluşan toprakların tın ve granit üzerinde oluşan toprakların ise kumlu tın bünyeye sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu bünye sınıfları kayaçların mineralojik özellikleri ile ilişkilidir.

Toprakların Ağır Metal İçerikleri

Farklı ana materyaller üzerinde oluşmuş toprak örneklerine ait Cd, Co, Cu, Ni, Pb ve Zn içerikleri Çizelge 4'te sunulmuştur. Ayrıca farklı ana materyallerden oluşan toprakların içerdiği ağır metal içerikleri arasındaki farkları belirlemek için varyans analizi (ANOVA) uygulanmış ve Şekil 1'de sunulmuştur.

Çizelge 4. Toprak örneklerine ait ağır metal konsantrasyonları ($\mu\text{g/g}$)

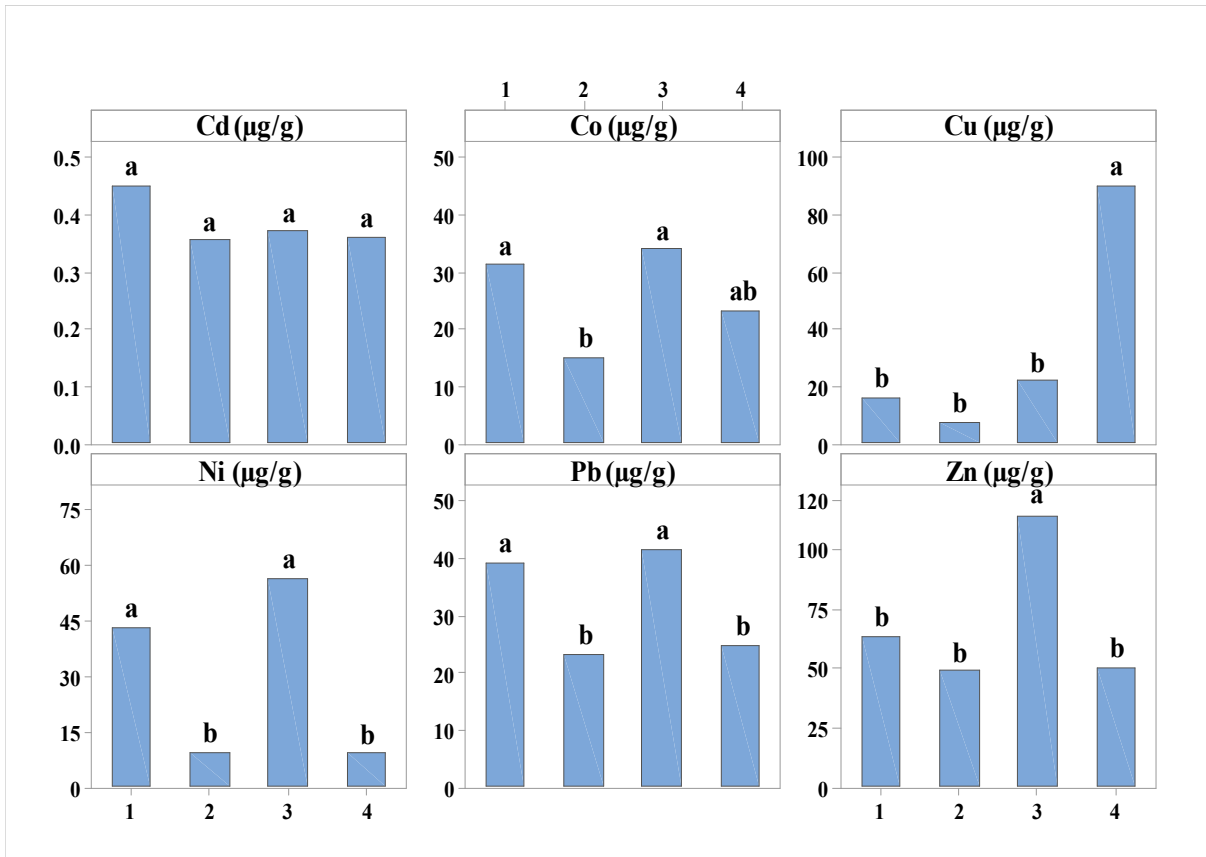
Ana Materyal	Örnek No	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
Kireç taşı	1	0,63	53,70	16,54	38,68	42,17	57,22
	2	0,58	31,63	15,87	39,57	36,45	59,78
	3	0,70	34,55	17,41	45,00	42,41	67,63
	4	0,74	37,44	16,47	44,54	42,82	64,06
	5	0,74	22,54	14,53	48,03	32,69	69,26
	<i>Ortalama</i>	<i>0,68</i>	<i>35,97</i>	<i>16,16</i>	<i>43,16</i>	<i>39,31</i>	<i>63,59</i>
	<i>Standart sap.</i>	<i>0,07</i>	<i>11,38</i>	<i>1,07</i>	<i>3,94</i>	<i>4,53</i>	<i>5,10</i>
Karasal kırıntı	6	1,03	13,54	7,51	11,15	29,12	49,68
	7	0,48	16,79	8,22	9,81	25,31	74,30
	8	0,34	15,45	5,49	6,04	14,53	43,50
	9	0,41	15,44	10,24	11,54	21,30	39,56
	10	0,42	14,76	7,01	5,56	26,54	39,28
	<i>Ortalama</i>	<i>0,54</i>	<i>15,20</i>	<i>7,69</i>	<i>8,82</i>	<i>23,36</i>	<i>49,26</i>
	<i>Standart sap.</i>	<i>0,28</i>	<i>1,18</i>	<i>1,74</i>	<i>2,84</i>	<i>5,69</i>	<i>14,61</i>
Şist	11	0,47	20,36	18,01	40,88	43,90	87,87
	12	0,63	42,86	19,82	55,74	56,38	104,88
	13	0,52	35,98	30,18	51,92	32,25	103,04
	14	0,60	43,28	21,65	81,76	41,20	175,92
	15	0,57	27,46	20,84	52,01	35,65	102,72
	<i>Ortalama</i>	<i>0,56</i>	<i>33,99</i>	<i>22,10</i>	<i>56,46</i>	<i>41,88</i>	<i>114,89</i>
	<i>Standart sap.</i>	<i>0,07</i>	<i>9,97</i>	<i>4,72</i>	<i>15,20</i>	<i>9,30</i>	<i>34,80</i>
Granit	16	0,55	28,22	104,56	15,10	27,38	53,86
	17	0,62	22,99	52,68	7,17	35,76	42,34
	18	0,54	21,20	89,92	7,63	19,61	49,94
	19	0,45	22,87	107,44	9,18	18,06	51,96
	20	0,56	21,14	96,64	7,35	24,77	54,15
	<i>Ortalama</i>	<i>0,54</i>	<i>23,28</i>	<i>90,25</i>	<i>9,29</i>	<i>25,12</i>	<i>50,45</i>
	<i>Standart sap.</i>	<i>0,06</i>	<i>2,90</i>	<i>22,09</i>	<i>3,35</i>	<i>7,05</i>	<i>4,84</i>

Toprak örneklerinde ortalama Cd konsantrasyonları çok fazla bir değişkenlik sergilememekle birlikte, kireç taşı ($0,68 \pm 0,07 \mu\text{g/g}$) > şist ($0,56 \pm 0,07 \mu\text{g/g}$) > granit ($0,54 \pm 0,06 \mu\text{g/g}$) = karasal kırıntı ($0,54 \pm 0,28 \mu\text{g/g}$) sıralamasını izlemiştir. Cd konsantrasyonları bakımından farklı ana materyaller üzerinde oluşmuş topraklar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılaşma görülmemiştir (Şekil 1). Toprak örneklerinin ortalama Co kapsamı bakımından incelendiğinde kireç

Farklı Ana Materyaller Üzerinde Oluşmuş Toprakların Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi (Kırklareli, Türkiye)

taşı üzerinde oluşmuş toprakların göreceli olarak yüksek ($35,97 \pm 11,38 \mu\text{g/g}$), karasal kırıntı üzerinde oluşan topraklarda ise düşük değerlere ($15,20 \pm 1,18 \mu\text{g/g}$) sahip olduğu anlaşılmıştır. Topraklar Co içerikleri bakımından istatistiksel olarak karşılaştırıldığında kireç taşı ve şist üzerinde oluşan topraklar arasında farklılaşma olmadığı ancak diğer ana materyaller olan granit ve karasal kırıntılar üzerinde oluşmuş topraklardan anlamlı düzeyde farklı çıktığı görülmüştür (Şekil 1).

Farklı ana materyaller üzerinde oluşmuş toprak örneklerinin ortalama Cu içerikleri incelendiğinde en yüksek konsantrasyonun $90,25 \pm 22,09 \mu\text{g/g}$ ortalama değer ile granit üzerinde oluşmuş toprak örneklerinde olduğu Çizelge 4'te açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca granit ile diğer kayalar üzerinde oluşan topraklar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan şist, kireç taşı ve karasal kırıntı üzerinde oluşan topraklarda istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır (Şekil 1). Toprak örneklerinin ortalama Ni içeriklerine bakıldığında şist ($56,46 \pm 115,20 \mu\text{g/g}$) > kireç taşı ($43,16 \pm 3,94 \mu\text{g/g}$) > granit ($9,29 \pm 3,35 \mu\text{g/g}$) > karasal kırıntı ($8,82 \pm 2,84 \mu\text{g/g}$) üzerinde oluşmuş topraklar sıralamasını izlediği görülmüştür. İstatistiksel olarak karşılaştırıldığında; şist ve kireç taşı üzerinde oluşan toprakların granit ve karasal kırıntılar üzerinde oluşan topraklardan anlamlı şekilde farklı olduğu belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Toprak örneklerinin ortalama ağır metal içerikleri ($\mu\text{g/g}$). Farklı harfler, istatistiksel olarak 0,05 düzeyinde önemli farklılıkları göstermektedir. 1: Kireç taşı üzerinde oluşmuş topraklar, 2: Karasal kırıntı üzerinde oluşmuş topraklar, 3: Şist üzerinde oluşmuş topraklar, 4: Granit üzerinde oluşmuş topraklar.

Toprak örneklerine ait ortalama Pb içeriklerine bakıldığında, konsantrasyonlar farklı olsa da Ni elementinde olduğu gibi şist ($41,88 \pm 9,30 \mu\text{g/g}$) > kireç taşı ($39,31 \pm 4,53 \mu\text{g/g}$) > granit ($25,12 \pm 7,05 \mu\text{g/g}$) > karasal kırıntı ($23,36 \pm 5,69 \mu\text{g/g}$) üzerinde oluşmuş topraklar sıralamasını izlediği görülmüştür (Çizelge 4). İstatistiksel olarak karşılaştırıldığında; şist ve kireç taşı üzerinde oluşan toprakların granit ve karasal kırıntılar üzerinde oluşan topraklardan anlamlı şekilde farklı olduğu belirlenmiştir (Şekil 1). Toprak örneklerinin ortalama Zn konsantrasyonları şist ($114,89 \pm 34,80 \mu\text{g/g}$) > kireç taşı ($63,59 \pm 5,10 \mu\text{g/g}$) > granit ($50,45 \pm 4,84 \mu\text{g/g}$) > karasal kırıntı ($49,26 \pm 14,61 \mu\text{g/g}$) üzerinde oluşmuş topraklar sıralamasını izlediği görülmüştür (Çizelge 4). Şist üzerinde oluşmuş toprakların Zn konsantrasyonu diğer kayalar üzerinde oluşmuş topraklardan istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılaşmıştır (Şekil 1).

Sonuç ve Öneriler

Topraktaki ağır metal kaynakları doğal veya antropojenik kökenli olabilir. Doğal kökenler litojenik ve pedojenik süreçlerle ilişkilidir. Bu çalışma farklı ana materyaller üzerinde ve benzer bitki örtüsü-iklim etkisi altında oluşmuş topraklara odaklanmış ve farklı kayalar üzerinde oluşmuş toprakların ağır metal konsantrasyonları arasındaki farklılaşma irdelenmiştir. Bu nedenle çalışmada atmosferik emisyon kaynaklı ilaveler tüm örnekleme noktalarında eşit kabul edilmiş ve sonuçlar direkt olarak ana materyaller arasındaki farklılaşma olarak kabul edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular şöyle özetlenebilir: (1) Aynı iklim ve bitki örtüsü etkisi altında ve farklı kayalar üzerinde oluşmuş tüm toprakların yıkanma etkisiyle pH, EC ve kalsiyum karbonat değerleri düşük bulunmuştur, (2) Farklı ana materyaller üzerinde oluşmuş toprakların Cd içerikleri istatistiksel olarak bir farklılık göstermemiş olup düşük konsantrasyonlarda bulunmuştur, (3) Co, Ni, Pb ve Zn şist üzerinde oluşmuş topraklarda en yüksek ve istatistiksel olarak bu farklılık önemli bulunmuştur, (4) Co, Ni ve Pb kireç taşı üzerinde oluşmuş topraklarda da ikincil düzeyde yüksek çıkmış ve bu farklılık yine istatistiksel olarak önemli bulunmuştur, (5) Cu en yüksek granit üzerinde oluşmuş topraklarda olup bu farklılaşma istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde en düşük metal konsantrasyonları karasal kırıntı üzerinde oluşmuş topraklarda ve en yüksek metal konsantrasyonları (Cu hariç) ise şist üzerinde oluşmuş topraklarda olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

- Adriano D.C., 1986. Trace elements in the terrestrial environment. Springer-Verlag, New York, 501p.
- Bergkvist B., Folkesson L., Berggren D. 1989. Fluxes of Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, and Ni in temperate forest ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 47(3-4), 217-286.
- Berthelsen B. O., Steinnes E., Abrahamsen G., Stuanes A. O. 1994. Mobility of heavy metals in pine forest soils as influenced by experimental acidification. *Water, Air, and Soil Pollution*, 73(1), 29-48.
- Bouyoucos G.S., 1951. A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soils. *Argon. Jour.* 43: 434-448.
- De Vries W., Solberg S., Dobbertin M., Sterba H., Laubhann D., Van Oijen M., Reinds, G. J. 2009. The impact of nitrogen deposition on carbon sequestration by European forests and heathlands. *Forest Ecology and Management*, 258(8), 1814-1823.
- Everest, T., Özcan, H., 2018. Toprak Verimliliğinin Değerlendirilmesinde Pedo-Jeolojik Yaklaşım. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5, 589-603.
- Hernandez, L., Probst, A., Probst, J.L., Ulrich, E., 2003. Heavy metal distribution in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination. *Science of the Total Environment*, 312(1-3), 195-219.
- Huisman, W.J., Peters, J.F., Zwanenburg, M.J., de Vries, S.A., Derry, T.E., Abernathy, D., van der Veen, J.F., 1997. Layering of a liquid metal in contact with a hard wall. *Nature*, 390(6658), 379.
- McBride, M., Sauve, S., Hendershot, W., 1997. Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. *European Journal of Soil Science*, 48(2), 337-346.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page AL, editor;, Miller RH, editor; & Keeney DR, editor.(Eds.), *Methods of soil analysis, part 2*: 539-577. Madison: American Society of Agronomy.
- Nelson, R.E., 1982. Carbonate and gypsum. In: Page AL, editor;, Miller RH, editor; & Keeney DR, editor.(Eds.), *Methods of soil analysis, part 2*: 181-197. Madison: American Society of Agronomy.
- Sposito G. 1989. Surface-reactions in natural aqueous colloidal systems. *Chimia*, 43(6), 169-176.
- Sungur, A., Soylak, M., Yilmaz, E., Yilmaz, S., Ozcan, H., 2015. Characterization of heavy metal fractions in agricultural soils by sequential extraction procedure: the relationship between soil properties and heavy metal fractions. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 24(1), 1-15.