



Van Organize Sanayi Bölgesi çevresindeki topraklarda ağır metal kirliliğinin araştırılması

✉ Güler DİLBİLİR ✉ Fusun GÜLSER*

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Van

Öz

Bu çalışmada Van Organize Sanayi Bölgesi (OSB) çevresindeki topraklarda endüstri kaynaklı ağır metal birikiminin araştırılması amaçlanmıştır. Sanayi bölgesinin kuzey, güney ve doğu yönlerinden, her bir yönde 6 farklı örnekleme noktası belirlenmiştir. Her bir örnekleme noktasında, sanayi bölgesine 0.2 km, 1.0 km ve 2.0 km uzaklıkta olmak üzere üç farklı pozisyonda toplam 54 adet (18 örnekleme noktası x3 örnekleme pozisyonu) toprak örneği 0-20 cm derinlikten alınmıştır. Her bir örnekleme noktasının GPS ile koordinatları kaydedilmiştir. Toprak örneklerinin ağır metal içerikleri yaş yakma yöntemi ile belirlenmiştir. Toprak örneklerinde en yüksek As ve Mo konsantrasyonları sanayi bölgesinden 0.2 km mesafede sırasıyla 2.74 ppm ve 1.14 ppm olarak, en yüksek Cr, Zn, Fe ve Ni konsantrasyonları sanayi bölgesine 1.0 km mesafede sırasıyla 89.33 ppm, 37.11 ppm, % 2.32, 93.15 ppm olarak ve en yüksek Pb, Cu ve Co konsantrasyonları sanayi bölgesine 2.0 km mesafede sırasıyla 3.59 ppm, 10.16 ppm ve 10.18 ppm olarak elde edilmiştir. Genel olarak sanayi bölgesine olan mesafe artarken toprak örneklerindeki ağır metal içeriklerinin azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, endüstri, kirlilik, toprak.

Investigation of heavy metal pollution in soils around Van Organized Industrial Zone

Abstract

In this study it was aimed that investigation of heavy metal pollution in soils around Van Organized Industrial Zone. Different six sampling points within each way were determined in north, south and east ways of industrial zone. The total set of 54 soil samples were taken from 0-20 cm depth in different three positions as 0.2 km, 1.0 km and 2.0 km far away to industrial zone. GPS readings were recorded for each sampling points. In soil samples the highest As and Mo concentrations as 2.74 ppm ve 1.14 ppm in 0.2 km far away to industrial zone; the highest Cr, Zn, Fe and Ni concentrations as 89.33 ppm, 37.11 ppm, % 2.32 and 93.15 ppm in 1.0 km far away to industrial zone; the highest Pb, Cu and Co concentrations as 3.59 ppm, 10.16 ppm and 10.18 ppm km in 2.0 km far away to pollutant source were obtained. Generally heavy metal concentrations in soil samples decreased while the distance to industrial zone increased.

Keywords: Heavy metal, industry, pollution, soil.

© 2024 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

Giriş

Özellikle yirminci yüzyılın ortalarına doğru hızla artan nüfus ile birlikte, tarım ve diğer alanlarda sanayi ve teknolojinin hızlı gelişmesine paralel olarak toprak kirliliğinde de artma başlamıştır (Türkoğlu, 2006). Alıcı ortam ve yine kendisi de beslenme alanı olan toprak; kimyasal uygulamalar, sulama, gübreleme, endüstriyel ve kentsel atık sularının toprağa bulaşması gibi antropojenik faaliyetlerden kolaylıkla etkilenip kirlenmektedir (Yadav, 2021). Bu nedenle günümüzde toprak kirliliği her geçen gün daha da ciddi boyutlara ulaşan önemli sorunlardan birisi olmuştur. Toprakta olması gereken sınır değerlerin üzerinde bulunan maddelerin toprağın fiziksel, kimyasal, biyolojik yapısını ve toprak kalite parametrelerini olumsuz olarak etkilemesi toprak kirliliği olarak tanımlanmaktadır (Golui ve ark., 2019; Sönmez ve Kılıç, 2021). Ağır metal kirliliği etmenlerinden biri olan ve sanayi devriminden sonra hızla artış gösteren endüstriyel faaliyetler, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de ekosistem bakımından ciddi tehlikelere yol açacak boyutlara ulaşmıştır

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (432) 444 5065
E-posta : fgulser@yyu.edu.tr

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 20 Nisan 2024 e-ISSN : 2146-8141
Kabul Tarihi : 24 Mayıs 2024 DOI : 10.33409/tbbbd.1471380

(Zengin, 2006). Gelişmiş ülkelerdeki en önemli kirlilik kaynakları kimyasal maddeler, ağır metaller ve petrol ürünleridir. Toprak kirliliği özellikle su kirliliği ile yakından ilişkilendirilmektedir. Sanayi bölgelerindeki fabrika akıntıları, bir takım katı atıkların iyi seçilmemiş yerlere bırakılması ya da gömülmesi toprağın kirlenmesine neden olabilmektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Toprağın kirlenmesi, hava kirliliği ile de yakından ilgili olup, hava kirliliğinin sebebi; endüstriyel faaliyetlerin, termik santrallerin, taşıtların ve yerleşim yerlerinin yakıt ve atık gazlarıdır (Gülser ve ark., 2013; Karaca ve ark., 2018). Bu kaynaklardan oluşan asit ve alkali yağmurlar toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını bozarak toprağın kirletmektedir. Hava kirliliğinde etkili olan gazlar, havadaki nem ile birleşerek asitleri meydana getirmekte ve yağışlarla toprağa bulaşarak toprağın da asitleşmesine neden olmaktadır. Asitliği artan topraklarda ağır metal iyonlarının yoğunluğu artmaktadır. Bu durum Mo hariç bitkiler tarafından ağır metal alınımını artırarak bitki kökleri ve mikroorganizmalarda zehir etkisi oluşturabilmekte, bitkinin ölümüne bile neden olabilmektedir. Ağır metallerin toprakta organik maddenin mineralizasyonunu, solunum aktivitesini, enzim aktivitesini ve nitrifikasyonu başta olmak üzere birçok biyokimyasal tepkimeleri doğrudan etkilediği bilinmektedir (Tuğrul, 2004; Gülser ve Erdoğan, 2008). Yoğunluğu 5 g/cm³'ten büyük olan veya atom ağırlığı 20 ve daha büyük olan elementler ağır metal olarak adlandırılmaktadır (Lindsay ve Doxtader, 1981). Ağır metaller insan vücuduna gıdalar, içme suyu ve hava yolu ile alınmaktadır. İz elementler olarak da bilinen bakır, selenyum, çinko gibi bazı ağır metaller, insan vücudunun metabolizmasını sürdürmek için gerekli olmakla birlikte yüksek miktarda bulunmaları toksik olabilmekte ve zehirlenmelere yol açabilmektedirler.

Gelişen endüstri ile birlikte çevreye ve canlı ekosistemlere ağır metal salınımı artmakta ve canlılar üzerinde olumsuz etkiler bırakmaktadır. Bu çalışmada Van Organize Sanayi Bölgesi (OSB) çevresindeki topraklarda endüstri kaynaklı ağır metal birikiminin araştırılması amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırma 38°33' kuzey, boylam derecesi ise 43°17' doğu koordinatlarına sahip lokasyonda yürütülmüştür (Şekil 1). Araştırma alanı karasal iklim kuşağı içinde yer almaktadır. Uzun yıllar ortalamaları dikkate alındığında; yıllık ortalama sıcaklık 8.9°C, en soğuk ay -3.7°C ile ocak ayı ve en sıcak ay ise 21.2°C ile temmuz ayıdır. Yıllık ortalama yağış miktarı 409 mm'dir (Anonim, 2019). Van ili hakim rüzgar yönü kuzey doğu olarak belirlenmiştir (Yayla ve ark., 2010). Çalışma alanı olan Van Organize Sanayi Bölgesi'nde; boya üretimi, fayans yapııştırıcı ve derz dolgu, ambalaj karton ve poşet üretimi, araba rekoru üretimi, hidrolik platform, PVC ve sondaj boruları, strafor ve ısı yalıtım malzemeleri üretimi, köpük ambalaj üretimi, gıda, elektrik, mermer işletme, cephe kaplama, tekstil giyim, deterjan ve kozmetik ürünleri, inşaat, petrol ürünleri, kağıt ve havlu peçete üretimi, mobilya, metal, otomotiv, kablo ve plastik üretimi sanayi kollarının olduğu bilinmektedir (Anonim, 2021).



Şekil 1. Çalışma alanı.

Bu araştırma arazi, laboratuvar ve ofis çalışmaları olarak üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Sanayi Bölgesi'nin kuzey, güney ve doğusunda yer alan ve üzerinde bitkisel üretim yapılan tarlalardan her bir yönde 6 farklı örnekleme noktasından olmak üzere, toplam 18 (kuzey-güney-doğu x 6 örn. nok.) örnekleme noktasında çalışma yürütülmüştür. Her bir örnekleme noktasının GPS ile koordinatları kaydedilmiştir. Her bir örnekleme noktasında toprak örnekleme Van Organize Sanayi Bölgesi'ne 0.2 km, 1.0 km ve 2.0 km olmak üzere üç farklı pozisyonda yapılmış ve 54 adet (18 örnekleme noktası x 3 örnekleme pozisyonu) toprak örneği alınmıştır (Şekil 2). Kuzey yönünde topoğrafyanın dağlık ve toprak kalınlığının yetersiz olması nedeniyle örnekleme işlemi yapılmamıştır.

Toprak örnekleri çift asit ekstraksiyon yöntemi kullanılarak nitrik ve perklorik asit karışımı (3:1 oranında) ile muamele edildikten sonra, ağır metal içerikleri atomik absorpsiyon spektrofotometresi (Thermo ICE 3000 series) ile analiz edilmiştir (Kacar, 2009). Elde edilen verilerin istatistiksel analizleri SAS paket program kullanılarak yapılmıştır (SAS, 2016).



Şekil 2. Çalışma alanındaki toprak örneklerinin alındığı lokasyonlar.

Bulgular ve Tartışma

Araştırma sonunda elde edilen bulguların istatistiksel analiz sonuçları yön, mesafe ve yön x mesafe interaksiyonunun toprak örneklerindeki bazı ağır metal konsantrasyonları üzerine etkilerinin önemli olduğunu göstermiştir (Çizelge 1 ve 2).

Çizelge 1. Araştırma alanı topraklarının As, Co, Cr ve Pb içeriklerine ait varyans analiz sonuçları

VK	SD	As		Co		Cr		Pb	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Yöney	2	1.23	1.79*	1.89	2.20*	800.0	3.42*	1.39	5.44**
Mesafe	2	1.21	1.76*	3.78	4.39**	87.9	0.38	0.63	2.47*
YöneyxMesafe	4	3.07	4.46**	1.49	1.74*	426.0	1.82*	0.35	1.36*
Hata	8								

**F değeri %1 düzeyinde önemlidir, *F değeri %5 düzeyinde önemlidir.

Çizelge 2. Araştırma alanı topraklarının Fe, Cu, Zn, Mo ve Ni içeriklerine ait varyans analiz sonuçları

VK	SD	Fe		Cu		Zn		Mo		Ni	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Yöney	2	425	1.18*	4.25	1.92*	0.38	0.01	0.07	0.14	1252	7.9**
Mesafe	2	393	1.09*	0.39	0.18 öd	2.77	0.08	0.30	0.61	125.1	0.8*
YöneyxMesafe	4	401	1.11*	6.04	2.73*	13.3	0.37	0.21	0.43	171.6	1.1*
Hata	8										

**F değeri %1 düzeyinde önemlidir, *F değeri %5 düzeyinde önemlidir.

Organize Sanayi Bölgesi (OSB)'nin üç farklı yönünden alınan toprak örneklerinin As, Co, Cr, Fe ve Cu içerikleri üzerine yönün etkisi %5 düzeyinde, Pb ve Ni ise %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Toprak

örneklerinin Mo ve Zn içerikleri üzerine ise yönün etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. OSB'ne olan mesafenin toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonları üzerine etkisi incelendiğinde, mesafenin etkisi Co içeriği üzerine %1, As, Fe, Ni ve Pb konsantrasyonu üzerine ise %5 düzeyinde önemli bulunmuşken Cr, Cu, Zn ve Mo konsantrasyonları üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir. OSB'nden alınan toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonu üzerine yön ve mesafenin birlikte etkisi incelendiğinde, yön x mesafe interaksiyonunun örneklerin As içeriği üzerine %1; Co, Cr, Cu, Ni, Fe ve Pb içeriği üzerine ise %5 düzeyinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir. Yön x mesafe interaksiyonunun topraktaki Zn ve Mo konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 1, 2).

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, farklı mesafelerde elde edilen As ortalamaları istatistiksel olarak önemli ($p<0.5$) bir farklılık göstermiştir. En düşük Arsenik içeriği 1.0 km mesafede 2.23 ppm olarak belirlenirken, kirletici kaynağa 0.2 km ve 2.0 km mesafedeki sırasıyla 2.74 ppm ve 2.43 ppm olarak bulunmuştur. Örnekleme yönü dikkate alındığında topraktaki As konsantrasyonuna kirletici kaynağın yönünün istatistiksel olarak önemli düzeyde ($p<0.5$) etki ettiği görülmüştür. En düşük As konsantrasyonu doğu yönünde 2.22 ppm olarak elde edilirken, en yüksek As konsantrasyonu 2.74 ppm olarak güney yönünde belirlenmiştir (Çizelge 3, 4).

Farklı örnekleme pozisyonlarında elde edilen Co konsantrasyonu, OSB'nden uzaklaştıkça istatistiksel olarak önemli ($p<0.1$) farklılıklar göstermiştir. En düşük Co ortalaması OSB'nden 0.2 km uzaklıkta 9.31 ppm olarak belirlenirken, en yüksek Co ortalaması OSB'nden 2.0 km uzaklıkta 10.18 ppm olarak elde edilmiştir. OSB'ne olan mesafeye bağlı olarak Co içerikleri artmıştır (Çizelge 3, 4). Elde edilen istatistik sonuçlar incelendiğinde OSB'nin örnekleme yönü de topraktaki Co miktarına önemli düzeyde ($p<0.5$) etki etmiştir (Çizelge 1).

OSB'ne olan uzaklıklara göre Cr konsantrasyonları değerlendirildiğinde, Cr ortalamaları arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 1). En yüksek Cr içeriği 89.33 olarak OSB'ne 1.0 km mesafede bulunurken, 0.2 km ile 2.0 km mesafede elde edilen Cr konsantrasyonu sırasıyla 88.06 ppm, 85.03 ppm olarak elde edilmiştir (Çizelge 5.4). Topraktaki Cr konsantrasyonu üzerine mesafe önemli bir etki yapmazken, OSB yönünün Cr miktarına etkisi istatistiksel olarak önemli ($p<0.5$) bulunmuştur (Çizelge 1). Toprak örneklerindeki en yüksek Cr konsantrasyonu 95.17 ppm olarak OSB'nin doğu yönünde elde edilmiştir (Çizelge 3, 4).

Van OSB'ne olan uzaklık arttıkça toprak örneklerinin Pb konsantrasyonu artmıştır (Çizelge 4). Bu artışlar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 1). En yüksek Pb ortalaması 2.0 km'de 3.59 ppm, en düşük ortalamalar ise 3.22 ppm ve 3.42 ppm olarak 0.2 km ve 1.0 km örnekleme noktalarında elde edilmiştir (Çizelge 4). Çizelge 5 incelendiğinde OSB'nin yönü topraktaki Pb konsantrasyonu üzerine önemli ölçüde ($p<0.1$) etki etmektedir. En yüksek Pb konsantrasyonu OSB'nin güney yönünde 3.59 ppm olarak bulunurken, en düşük Pb ise 3.11 ppm olarak doğu yönünde elde edilmiştir (Çizelge 3).

Farklı örnekleme pozisyonlarında elde edilen Cu ortalamaları Çizelge 4'te verilmiştir. OSB'ne olan mesafeler artarken Cu konsantrasyonunda düzenli bir değişimin olmadığı, Cu ortalamaları 0.2 km, 1.0 km ve 2.0 km örnekleme pozisyonlarında sırasıyla 10.13 ppm, 9.91 ppm, 10.16 ppm olduğu görülmektedir. Cu ortalamaları arasındaki bu farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toprak örneklerinin Cu konsantrasyonu üzerine yönün %5 düzeyinde önemli etki ettiği görülmektedir (Çizelge 2).

Mo ortalamaları sırasıyla 0.2 km, 1.0 km ve 2.0 km örnekleme pozisyonlarında 1.14 ppm, 0.89 ppm, 0.95 ppm olarak elde edilmiştir (Çizelge 4). OSB'ne 1.0 km mesafede elde edilen Mo konsantrasyonu diğer mesafelerden daha düşük bulunmuş olup bu konsantrasyonlar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli görülmemiştir (Çizelge 2). OSB'nin üç farklı yönünden alınan toprak örneklerinde, Mo konsantrasyonları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmektedir.

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre, OSB'nden uzaklaştıkça Fe konsantrasyonları arasında düzenli bir artış veya azalmanın olmadığı, 0.2 km, 1.0 km ve 2.0 km mesafede elde edilen örneklerin Fe konsantrasyonu sırasıyla %1.45, %2.32 ve %1.57 olduğu görülmüştür (Çizelge 4). En yüksek Fe içeriği 1.0 km mesafede bulunmuştur. Toprak örneklerinin Fe içeriği üzerine, OSB'nin yönü ve OSB'ne olan mesafe istatistiksel olarak %5 düzeyinde etki ettiği tespit edilmiştir (Çizelge 2).

Toprak örneklerinin Zn içerikleri, örnek alma noktaları arasındaki mesafeye göre değerlendirildiğinde istatistiksel olarak farklılıkları önemli görülmemiştir (Çizelge 2). Toprak örneklerinde Zn konsantrasyonu 0.2 km, 1.0 km ve 2.0 km'de sırasıyla 36.34 ppm, 37.11 ppm, 36.73 ppm olarak bulunmuştur (Çizelge 4). Topraktaki Zn içeriğine, OSB yönünün etkisini görmek amacıyla üç farklı yönden örnek alınmıştır. Yapılan analizler sonucu toprak örneklerindeki Zn konsantrasyonuna yönün etkisi istatistiksel olarak önemli

bulunmamıştır. Bu araştırmada toprak örneklerinin Ni içeriği üzerine yönün %5 düzeyinde önemli etki ettiği görülürken, mesafe ve yön x mesafe interaksyonunun %1 düzeyinde önemli etki ettiği belirlenmiştir.

Çizelge 3. Organize sanayi bölgesinin farklı yönlerinden alınan toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonlarına ait tanımlayıcı istatistiksel analiz sonuçları

Yöney	Tanımlayıcı İstatistikler	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	Pb	Zn
		ppm						%	ppm		
Batı	En Küçük	1.33	0.00	7.75	9.09	8.05	1.25	0.20	60.27	2.70	30.10
	En Büyük	3.58	0.00	11.32	113.38	13.07	15.58	2.96	109.85	4.30	44.93
	Ortalama	2.45	0.00	9.89	83.66	10.64	2.34	0.94	89.70	3.58	36.82
	Std. Sap.	0.59	0.00	0.86	20.94	1.20	3.31	0.68	11.59	0.41	3.56
Doğu	En Küçük	1.33	0.00	7.79	68.78	6.76	1.18	0.17	70.89	2.25	27.12
	En Büyük	3.58	0.00	12.42	131.50	13.67	1.83	2.90	135.00	4.99	64.87
	Ortalama	2.22	0.00	10.12	95.17	9.66	1.50	0.98	100.54	3.11	36.78
	Std. Sap.	0.62	0.00	1.29	15.02	1.63	0.17	0.69	16.40	0.63	8.30
Güney	En Küçük	1.42	0.00	8.44	65.35	7.62	1.33	0.25	67.07	2.65	30.56
	En Büyük	7.13	0.00	11.21	100.13	13.29	1.78	2.36	101.10	4.75	44.73
	Ortalama	2.74	0.00	9.48	83.58	9.87	1.50	1.06	83.67	3.59	36.56
	Std. Sap.	1.40	0.00	0.82	8.14	1.80	0.01	0.66	8.64	0.52	4.15

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre OSB'nin batı yönünden alınan toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonları As 2.45 ppm, Co 9.89 ppm, Cr 83.66 ppm, Cu 10.64 ppm, Fe %2.34, Mo 0.94 ppm, Ni 89.70 ppm, Pb 3.58 ppm ve Zn 36.82 ppm olarak bulunmuştur. Batı yönünden alınan toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonları sırasıyla Fe>Ni>Cr>Zn>Cu>Co>Pb>As>Mo olarak bulunmuştur (Çizelge 3).

Van Organize Sanayi Bölgesinin doğu yönünden alınan toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonları; As 2.22 ppm, Co 10.12 ppm, Cr 95.17 ppm, Cu 9.66 ppm, Fe %1,5, Mo 0.98 ppm, Ni 100.54 ppm, Pb 3.11 ppm, Zn 36.78 ppm olup sırasıyla Fe>Ni>Cr>Zn>Co>Cu>Pb>As>Mo olarak sıralanmıştır (Çizelge 3). OSB'nin güney yönünden alınan toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonları As 2.74 ppm, Co 9.48 ppm, Cr 83.58 ppm, Cu 9.87 ppm, Fe %1.5, Mo 1.06 ppm, Ni 83.67 ppm, Pb 3.59 ppm, Zn 36.56 ppm olarak bulunduğu Çizelge 5.3'te izlenmektedir. Güney yönünden alınan toprak örneklerinde ağır metal içerikleri sırasıyla Fe>Ni>Cr>Zn>Cu>Co>Pb>As>Mo olarak sıralanmıştır. Analiz sonuçlarına göre en yüksek Fe, Cu ve Zn konsantrasyonu OSB'nin batı yönünde, en yüksek Co, Ni ve Cr konsantrasyonu OSB'nin doğu yönünde, en yüksek As, Pb ve Mo konsantrasyonu ise OSB'nin güney yönünde olduğu belirlenmiştir.

OSB'nden üç ayrı mesafede alınan toprak örneklerinin ağır metal içeriklerine ait analiz sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, en yüksek As ve Mo konsantrasyonları 0.2 km mesafede sırasıyla 2.74 ppm ve 1.14 ppm olarak, en yüksek Cr, Zn, Fe ve Ni 1.0 km mesafede sırasıyla 89.33 ppm, 37.11 ppm, %2.32, 93.15 ppm olarak ve en yüksek Pb, Cu ve Co konsantrasyonları OSB'nden 2.0 km uzaklıkta sırasıyla 3.59 ppm, 10.16ppm ve 10.18 ppm olarak elde edilmiştir. OSB'ne olan uzaklık arttıkça, toprak örneklerinin Ni konsantrasyonunda artış olduğu belirlenmiştir. Alınan örneklem noktalarında en yüksek Ni konsantrasyonu 93.15 ppm olarak 1.0 km mesafede elde edilmiş olup, 0.2 ve 2.0 km mesafede elde edilen Ni konsantrasyonları sırasıyla 88.31 ppm, 92.03 ppm olarak bulunmuştur (Çizelge 4).

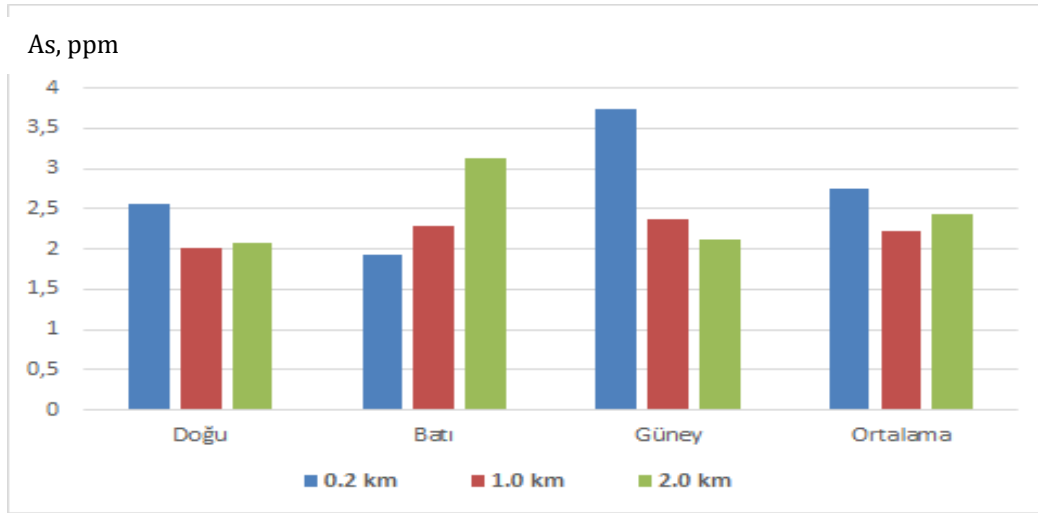
Çizelge4. Organize sanayi bölgesinde farklı mesafelerde elde edilen toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonlarına ait istatistiksel analiz sonuçları

Mesafe	Tanımlayıcı İstatistikler	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	Pb	Zn
		ppm						%	ppm	
0.2 km	En Küçük	1.33	7.75	65.35	7.62	1.18	0.31	67.07	2.25	27.12
	En Büyük	7.13	11.00	131.5	13.67	1.7	2.96	135.00	4.25	64.87
	Ortalama	2.74	9.31	88.06	10.13	1.45	1.14	88.31	3.22	36.34
	Std. Sap.	1.47	0.94	16.60	1.75	0.14	0.64	16.64	0.54	8.05
1.0 km	En Küçük	1.43	8.44	75.81	6.76	1.36	0.20	75.93	2.45	31.59
	En Büyük	2.82	11.32	113.38	13.29	15.58	2.90	109.85	4.46	44.93
	Ortalama	2.23	10.00	89.33	9.91	2.32	0.89	93.15	3.47	37.11
	Std. Sap.	0.54	0.97	10.10	1.97	3.31	0.70	11.21	0.57	3.93
2.0 km	En Küçük	1.42	8.56	9.09	8.52	1.33	0.17	60.27	2.85	28.49
	En Büyük	3.63	12.42	109.9	11.67	1.83	2.36	117.95	4.99	42.96
	Ortalama	2.43	10.18	85.03	10.16	1.57	0.95	92.03	3.59	36.73
	Std. Sap.	0.61	1.01	20.90	0.98	0.13	0.69	14.26	0.55	4.26

Çizelge 5. Van Organize Sanayi Bölgesine göre mesafe ve yönün toprak ağır metal içeriğine etkisi

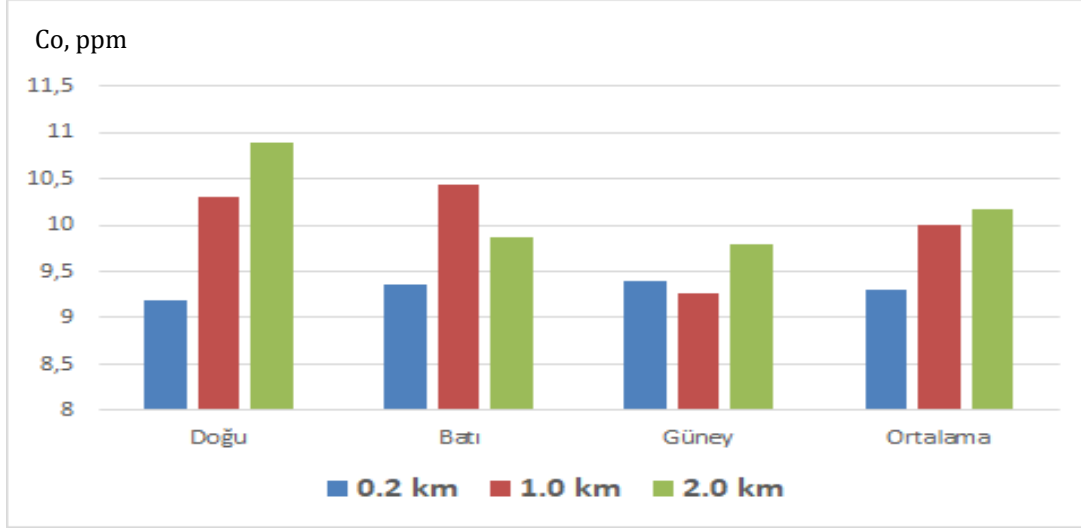
Mesafe	Ağır Metaller	Yöneyler			Ortalama
		Doğu	Batı	Güney	
0.2 km	As, ppm	2.57	1.93	3.73	2.74
	Co, ppm	9.18	9.36	9.4	9.31
	Cr, ppm	98.93	81.26	83.98	88.06
	Pb, ppm	2.85	3.4	3.4	3.22
	Fe, %	1.4	1.45	1.52	1.46
	Cu, ppm	10.86	9.82	9.84	10.17
	Zn, ppm	37.74	35.96	35.28	36.33
	Mo, ppm	1.13	1.27	1.07	1.16
	Ni, ppm	98.19	85.45	81.27	88.3
	1.0 km	As, ppm	2.02	2.29	2.38
Co, ppm		10.30	10.44	9.26	10
Cr, ppm		89.12	95.99	82.88	89.33
Pb, ppm		2.95	3.87	3.61	3.48
Fe, %		1.50	3.96	1.48	2.31
Cu, ppm		8.43	11.46	9.84	9.91
Zn, ppm		35.34	38.43	37.56	37.11
Mo, ppm		0.98	0.74	0.96	0.89
Ni, ppm		98.89	98.67	82.86	93.47
2.0 km		As, ppm	2.07	3.12	2.11
	Co, ppm	10.89	9.86	9.79	10.18
	Cr, ppm	97.47	73.73	83.88	85.03
	Pb, ppm	3.53	3.50	3.74	3.59
	Fe, %	1.61	1.61	1.50	1.57
	Cu, ppm	9.88	10.64	9.96	10.16
	Zn, ppm	37.26	36.10	36.83	36.73
	Mo, ppm	0.84	0.80	1.20	0.95
	Ni, ppm	104.27	84.96	86.87	92.03

Elde edilen veriler incelendiğinde, As'in yönlere ve uzaklığa bağlı olarak en yüksek konsantrasyonu 3.73 ppm ile güney yönünde 0.2 km'lik uzaklıkta elde edilirken, en düşük kirlilik düzeyi ise 1.93 ppm ile batı yönünde 0.2 km'lik uzaklıkta bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar bildirilen (Alloway, 1999) sınır değerler ile karşılaştırıldığında, As konsantrasyonu toprakta izin verilebilir sınır değer (As<50 ppm) altında bulunmuştur (Çizelge 5, Şekil 3).



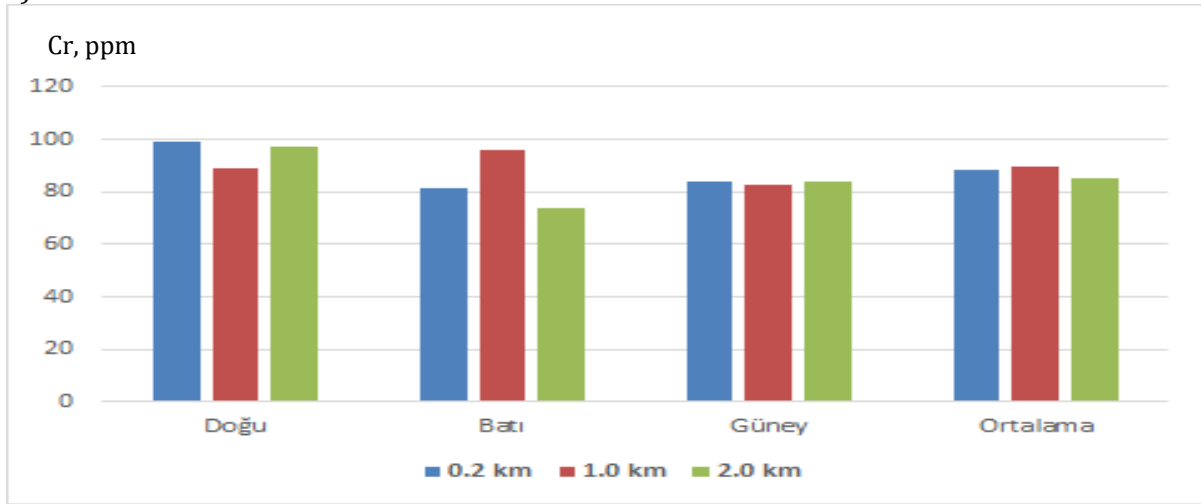
Şekil 3. Van OSB'ne göre farklı yönlerde ve mesafelerde yer alan toprakların As içerikleri.

Topraktaki Co konsantrasyonu üzerine OSB'ne olan mesafe ve yönün birlikte etkisi incelendiğinde, en yüksek Co konsantrasyonunun OSB'ne 2.0 km uzaklıkta doğu yönünde 10.89 ppm olarak belirlenirken en düşük konsantrasyonun ise yine doğu yönünde OSB'ne 0,2 km uzaklıkta 9.18 ppm olarak bildirilen (Anonim, 2005) izin verilebilir değer (Co<80 ppm) altında olduğu bulunmuştur (Çizelge 5, Şekil 4).



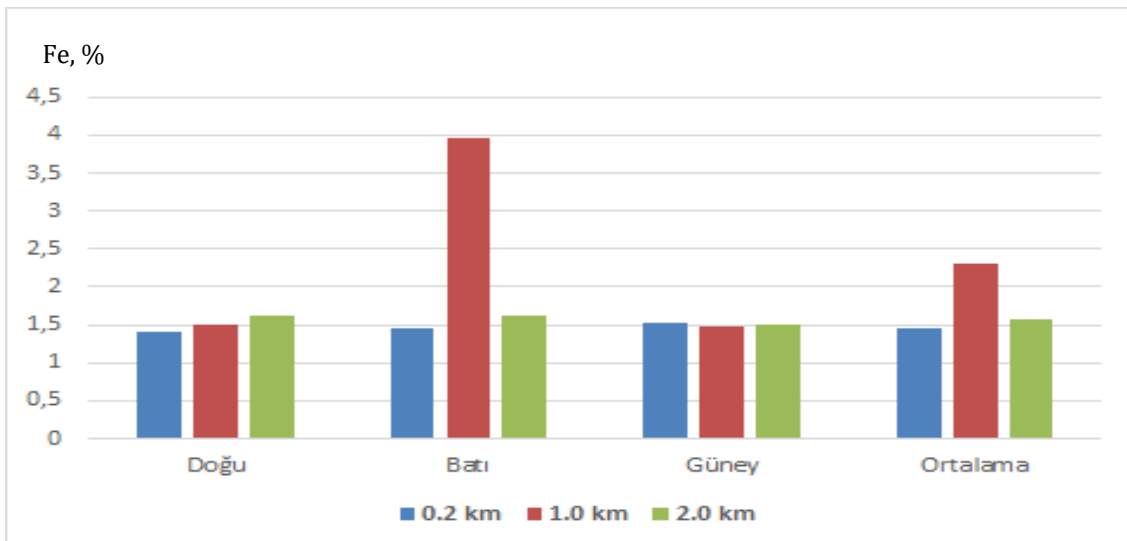
Şekil 4. Van OSB'ne göre farklı yönlerde ve mesafelerde yer alan toprakların Co içerikleri.

Krom konsantrasyonları Cr için bildirilen (Alloway, 1999) sınır değerine ($Cr < 100$ ppm) çok yakın bulunmuş olup en yüksek Cr konsantrasyonu 98.93 ppm olarak OSB'nin doğu yönünde 0.2 km uzaklıkta elde edilmiştir (Şekil 5).



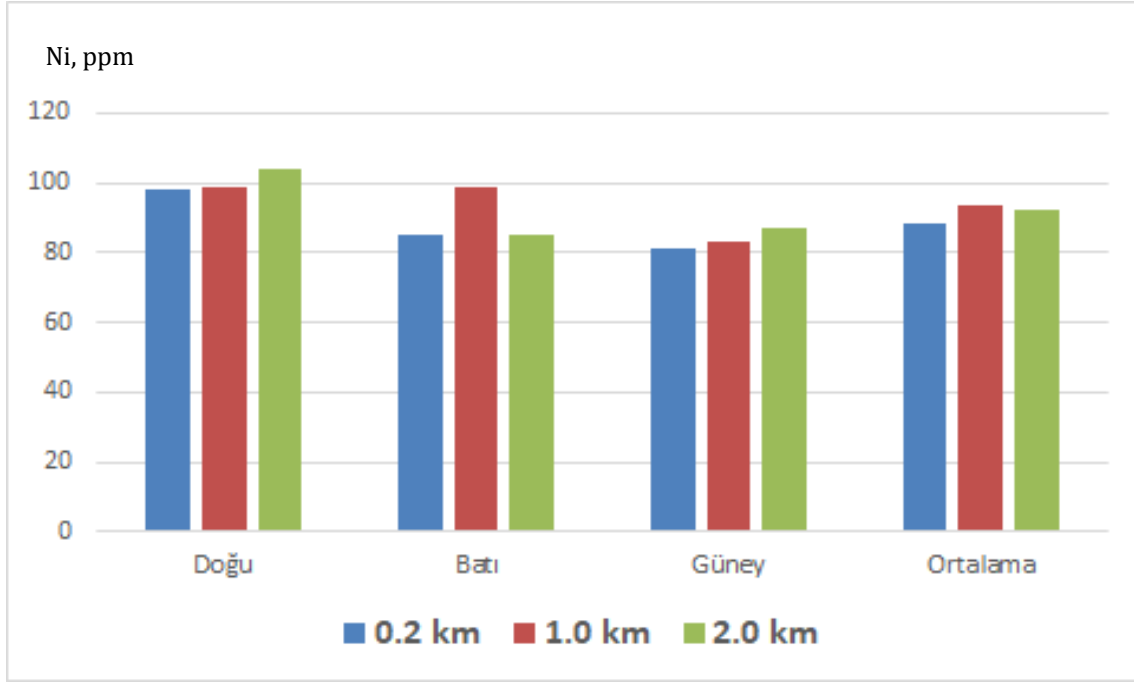
Şekil 5. Van OSB'ne göre farklı yönlerde ve mesafelerde yer alan toprakların Cr içerikleri.

Toprak örneklerinin Fe konsantrasyonları incelendiğinde, toprakta Fe için belirtilen (Anonim, 2005) sınır değere ($Fe < 4.5$ %) çok yakın bulunmuş olup sınır değere en yakın Fe konsantrasyonu OSB'nin batı yönünde 1.0 km uzaklıkta % 3.96 belirlenmiştir (Şekil 6).



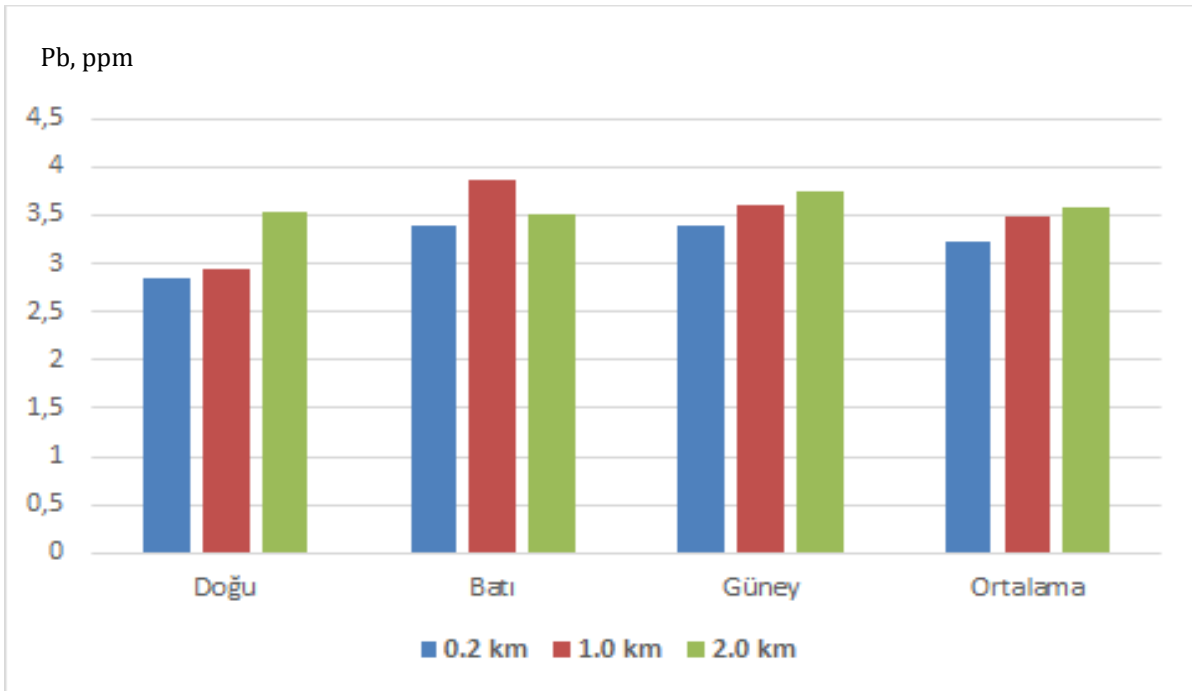
Şekil 6. Van OSB'ne göre farklı yönlerde ve mesafelerde yer alan toprakların Fe içerikleri.

En yüksek Ni içeriği OSB'nin doğu yönünde 2.0 km uzaklıkta 104.27 ppm olarak toprakta izin verilebilir (Anonim, 2005) Ni konsantrasyonunun ($Ni < 75 \text{ ppm}$) üstünde belirlenmiştir. OSB'nin diğer yön ve mesafelerinden alınan toprak örneklerinde bulunan Ni konsantrasyonları da sınır değerinin üstünde bulunmuştur (Şekil 7).

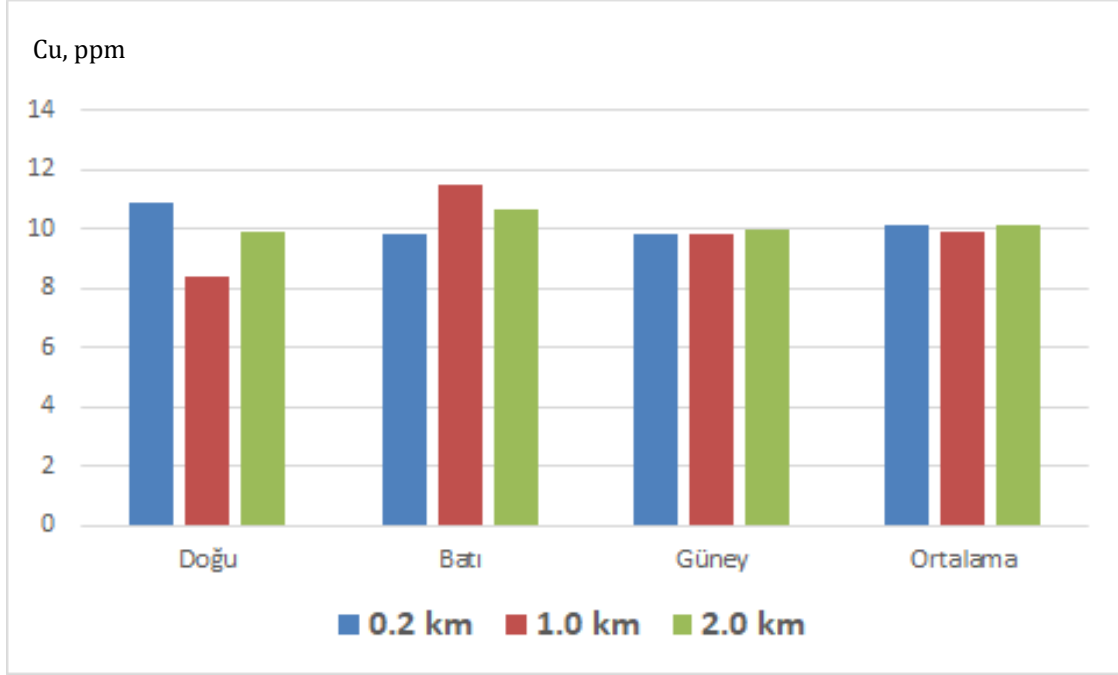


Şekil 7. Van OSB'ne göre farklı yönlerde ve mesafelerde yer alan toprakların Ni içerikleri.

Van OSB'nin farklı yön ve mesafelerinden alınan toprak örneklerinde en yüksek Pb konsantrasyonu 3.87 ppm ($Pb < 300 \text{ ppm}$), Cu 11.46 ppm ($Cu < 140 \text{ ppm}$) olarak batı yönünde 1.0 km mesafede; en yüksek Zn konsantrasyonu 37.77 ppm ($Zn < 300 \text{ ppm}$) olarak doğu yönünde 0.2 km mesafede ve en yüksek Mo konsantrasyonu 1.27 ppm olarak batı yönünde 0.2 km'de bulunmuştur (Şekil 8, 9, 10, 11). Elde edilen bu değerlerin, belirtilen sınır değerinin altında olduğu belirlenmiştir (Alloway, 1999; Anonim, 2005).



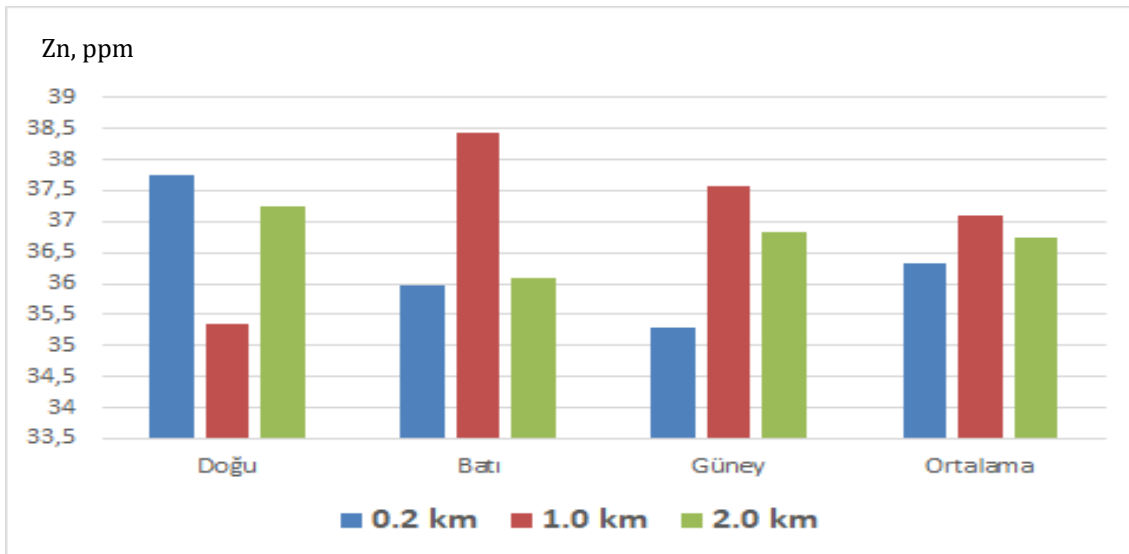
Şekil 8. Van OSB'ne göre farklı yönlerde ve mesafelerde yer alan toprakların Pb içerikleri.



Şekil 9. Van OSB'ne göre farklı yönlerde ve mesafelerde yer alan toprakların Cu içerikleri.



Şekil 10. Van OSB'ne göre farklı yönlerde ve mesafelerde yer alan toprakların Mo içerikleri.



Şekil 11. Van OSB'ne göre farklı yönlerde ve mesafelerde yer alan toprakların Zn içerikleri.

Çizelge 6. Toprak örneklerinin ağır metal içeriği üzerine yönün etkisine ait ortalamalar ve Duncan farklılık grupları.

Yöneyler	As	Cr	Co	Pb	Ni	Cu	Zn	Mo	Fe
	mg kg ⁻¹								
Doğu	2.22	95.17 a	10.12	3.11b	100.5 a	9.66	36.78	0.98	15020
Batı	2.45	83.66 b	9.89	3.59a	89.69 b	10.64	36.83	0.94	23409
Güney	2.74	83.58 b	9.48	3.59a	83.67 b	9.88	36.56	1.06	14967

a,b: farklı harflerle gösterilen ortalamalar kendi sütununda önemlidir.

Van OSB'nin üç farklı yönünden alınan toprak örneklerinin analiz sonuçları incelendiğinde, en yüksek As miktarı 2.74 ppm olarak güney yönünde elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına bakıldığında farklı yönlerden alınan toprak örneklerinin ortalama As içerikleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır (Çizelge 6). Van OSB'nin doğu, batı ve güney yönlerinden alınan toprak örneklerindeki ortalama Cr konsantrasyonunun birbirinden farklı olduğu ve bu farkın istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir. En yüksek Cr içeriği OSB'nin doğu yönünde 95.17 ppm olarak elde edilmiştir. Van OSB'nin üç farklı yönünden alınan toprak örneklerinin Co içeriği üç yönde de birbirine yakın değerlerde çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toprak örneklerinin Pb içerikleri incelendiğinde, OSB'nin batı ve güney yönünde 3.59 ppm, doğu yönünde ise 3.11 pmm olduğu belirlenmiştir. Batı ve güney yönündeki toprak örneklerinin Pb içeriği aynı iken doğu yönündeki Pb içeriği farklılık göstermekte olup bu fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 6).

OSB'nin farklı yönlerinden alınan toprak örneklerinin Fe, Cu, Zn ve Mo içerikleri de kendi aralarında istatistiksel olarak önemli bir fark göstermemiştir (Çizelge 6). En yüksek Fe, Cu ve Zn içeriği OSB'nin batı yönünden elde edilirken en yüksek Mo içeriği güney yönünde elde edilmiştir (Çizelge 3). Toprak örnekleri Ni içeriği bakımından incelendiğinde, elde edilen sonuçların yönlere göre farklılık gösterdiği görülmektedir. En yüksek Ni içeriği doğu yönünde 100.5 ppm olarak elde edilmiş olup, batı ve güney yönlerinde ise sırasıyla 89.69 ppm ve 83.67 ppm olarak bulunmuştur. Yönler arası bu farklılık doğu ve diğer iki yön arasında istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 6).

Van OSB'ne farklı mesafelerden alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri Çizelge 7'de verilmiştir. En yüksek As miktarı OSB'ne en yakın mesafede alınan toprak örneğinde 2.74 ppm olduğu ancak diğer iki mesafede elde edilen As miktarları ile arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı görülmektedir. Topraktaki Cr içeriği incelendiğinde, OSB'ne 1.0 km uzaklıktan alınan toprak örneklerindeki Cr konsantrasyonu 89.3 ppm olarak en yüksek değerde bulunmuştur. OSB'ne farklı mesafelerden alınan toprak örneklerindeki Cr konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 7). OSB'ne olan mesafe arttıkça topraktaki Co konsantrasyonunun arttığı Çizelge 7'de görülmektedir. En yüksek Co içeriği kaynağa 2.0 km mesafeden alınan toprak örneklerinde 10,18 ppm olarak bulunmuş olup, 1.0 km mesafeden elde edilen Co miktarı ile arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. 0.2 km mesafeden alına toprak örneklerinden elde edilen Co konsantrasyonu ile diğer iki mesafeden elde edilen Co konsantrasyonları ile arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 7).

Çizelge 7. Toprak örneklerinin ağır metal içeriği üzerine mesafenin etkisine ait ortalamalar ve Duncan farklılık grupları.

Mesafeler, km	As	Cr	Co	Pb	Ni	Cu	Zn	Mo	Fe
	mg kg ⁻¹								
0.2	2.74	88.1	9.31b	3.22a	88.31	10.13	36.33	1.14	14548
1.0	2.23	89.33	10a	3.47ab	93.15	9.91	37.11	0.89	23152
2.0	2.43	85.03	10.18a	3.59b	92.03	10.16	36.73	0.95	15696

a,b: farklı harflerle gösterilen ortalamalar kendi sütununda önemlidir.

Van OSB'ne farklı uzaklıklardan alınan toprak örneklerinden elde edilen Pb içerikleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. En yüksek Pb konsantrasyonu 2.0 km mesafede 3.59 ppm olarak elde edilirken en düşük konsantrasyon 3.22 ppm olarak 0.2 km mesafede elde edilmiştir. OSB'ne üç ayrı mesafeden alınan toprak örneklerindeki Cu, Fe, Zn, Mo ve Ni konsantrasyonlarının kendi aralarında önemli fark oluşturmadığı belirlenmiştir. Araştırmada elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; Organize Sanayi Bölgesi'ne olan mesafe arttıkça genel olarak ağır metal içeriklerinin azaldığı belirlenmiştir. Bazı ağır metal içeriklerinde OSB'ne olan mesafenin artışı ile birlikte seyreden artışların jeolojik kaynaklı olduğu, arazinin litojenik özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Ağır metallerin artışına sebep olan temel faktörlerin ana materyal, tarımsal aktiviteler, endüstriyel aktiviteler ve madencilik olduğu belirlenmiştir (Hu ve ark. 2018; Sun ve ark. 2019). Antoniadis ve ark. (2017), tarımsal ve endüstriyel aktivitelerin ağır metal kirliliğine

en yüksek düzeyde sebep olduğunu bildirmişlerdir. Bu araştırmada elde edilen sonuçlar topraklarda endüstriden kaynaklanan ağır metal kirliliği ile ilgili yapılan çalışmaların sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Tok ve ark. (2005) ve Adiloğlu ve Sağlam (2015), sanayinin yoğun olduğu bölgelerde ve karayollarının yakın olduğu tarım arazilerinde yapmış oldukları çalışmalarda Tekirdağ ilinde Ni kirliliğinin yüksek düzeyde olduğunu belirlemişlerdir. Özkul (2008), İzmit ve civarında endüstrileşmenin yoğun olduğu alanlarda Cu, Zn, Ni ve Co içeriğini yüksek düzeyde belirlemiştir. Dökmeci ve ark. (2017), sanayinin yoğun olduğu Tekirdağ'ın Çorlu ilçesinin farklı bölgelerinden aldıkları toprak örneklerinde Zn, Cr, Cd ve Ni içeriğinin kabul edilebilir sınır değerlerin üzerinde belirlemişlerdir. Araştırmacıların çalışmalarını yürüttükleri alanda tekstil sanayi, gıda sanayi, kimya sanayi, tuğla sanayi alanlarının bulunması bizim araştırma alanımız Organize Sanayi Bölgesinin faaliyet alanı ile de benzerlik göstermektedir.

Van Organize Sanayi Bölgesi'nde tekstil, plastik, gıda, seramik, fayans, mobilya, kolonya üretimi gibi sanayi kollarının olduğu bilinmektedir. Çalışmamızda inceleme konusu olan Co, As, Ni, Cr, Cd, Cu, Zn, Mo, Fe, Se ve Pb gibi ağır metallerin tekstil, boya pigmenti, plastik endüstrisi, metal endüstrisi, kozmetik sanayi gibi endüstri kollarının faaliyetleri sırasında açığa çıktığı bildirilmiştir (Haktanır ve Arcak, 1998). Ayrıca Kahvecioğlu ve ark. (2018), ağır metallerin ekosisteme dağılmasında rol oynayan en önemli endüstriyel faaliyetleri; madencilik, çimento, demir-çelik, boya sanayi, plastik, cam üretimi, termik santral olarak bildirmişlerdir. Bu araştırmada Organize Sanayi Bölgesi'ne yakın olan örnekleme noktasında (0.2 km) alınan toprak örneklerinde sınır değerlere yakın ve üzerinde belirlenen Fe, Ni ve Mo içerikleri, toprak ve çevre kirliliği bakımından tehdit edici bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Folkeson ve ark. (2009), sanayileşmenin insanların yaşam alanlarında toksik ağır metal düzeylerinde artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Ağır metallerin çevre koşullarına dayanıklı olmaları dolayısı ile besin zincirine küçük canlılardan daha büyük canlılara doğru gittikçe katlanarak biriktiğini belirtmişlerdir. Tarıma elverişli toprakların ağır metal kirliliği ile azalması toprak sağlığı ve kalitesinin bozulması güvenilir gıda üretimini de olumsuz etkilemektedir (Clay 2011; Yu ve ark., 2012). Ahmad ve Gülser (2019) Kuzey Irak (Erbil, Süleymaniye Koyia, Dhok) topraklarında petrol ve metal endüstrisinden kaynaklanan ağır metal kirliliğini araştırmışlardır. Sonuç olarak Ni, Hg, Cd ve Zn konsantrasyonlarının kaynağa en yakın olan 0.2 km örnekleme pozisyonunda sınır değerlerden yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Zhou ve Wang (2019) kirlenici endüstriyel kaynaklardan uzaklaştıkça ağır metal kirliliğinin azaldığını, kaynaktan 5 km uzaklığa kadar alandan alınan toprak örneklerinde Hg kirliliğinin Cd ve Pb kirliliğinden daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Cao ve ark. (2020), petro kimya endüstrisinin çevredeki tarım topraklarında iz element birikimi üzerine etkisini araştırmışlar ve Cd, Cu, Zn ve Pb elementlerinin toprak kirliliği için potansiyel tehdit oluşturduğunu belirlemişlerdir. Nagarajan ve ark. (2020), geniş miktarlarda çevreye salınan ağır metallerin antropojenik olarak ve endüstriyel kaynaklardan yüksek miktarda salınan ağır metallerin gıda zincirine ve diğer kaynaklara dahil olarak insan sağlığı için tehlike oluşturduğunu bildirmişlerdir. Kim ve ark. (2020), endüstriyel faaliyetlerin olduğu alanlarda, 0-20 cm toprak derinliğindeki Cd ve Pb konsantrasyonlarının, kaynaktan 0-500m mesafede alınan örneklerde, 500-100 m mesafede alınanlara kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Su ve ark., (2022) endüstriyel alanlarda topraklardaki Cd birikiminin insan sağlığını tehlikeye sokacak boyutlara ulaştığını bildirmişlerdir.

Sonuç

Kaynak bilgileri ile uyumlu olarak Van Organize Sanayi Bölgesi çevresindeki topraklarda ağır metal konsantrasyonunun, kirlenici kaynağa olan mesafe, yön, hakim rüzgar yönü ve litojenik etkenlere bağlı olarak değişmekle birlikte organize Sanayi Bölgesine yakın mesafedeki örnekleme noktasında daha yüksek düzeyde bulunduğu, kaynaktan uzaklaştıkça konsantrasyonun azaldığı belirlenmiştir. Bu araştırmada, Van Organize Sanayi Bölgesi çevresindeki topraklarda ağır metal birikiminin belirlenmiş olmasının gelecekte bu alanda ortaya çıkabilecek daha yüksek birikimlerin önlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması için farkındalık oluşturabileceği düşünülmüştür. Ayrıca araştırma alanındaki sanayi kollarının çevre kirliliğine engel olabilecek katı atık yönetmeliğine uygun çerçevede faaliyet göstermesi için bu araştırmanın sonuçları uyarıcı ve yol gösterici olarak değerlendirilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FYL-2019-8429 No'lu proje olarak desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Adiloğlu A, Sağlam T. 2015. Karayolu Kenarlarındaki Tarım Arazilerindeki Topraklarda Ekstrakte Edilebilir Kobalt (Co) İçerikleri. *AKU J. Sci.Eng.*, 15 (2015) 035403: 24-29.
- Ahmed AN, Gülser F. 2019. Industry Caused Heavy Metal Pollution in The Soils of North-Iraq. *Fresenius Environmental Bulletin*, vol.28, pp.1057-1064.
- Alloway BG. 1999. Land contamination and reclamation. In *Understanding our Environment*, pp. 199–236 [RM Harrison, editor]. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Anonim 2005. Resmi Gazete. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. 31/05/2005 tarihli, 25831sayılı.
- Antoniadis V, Levizou E, Shaheen SM, Ok YS, Sebastian A, Baum C, Prasad MNV, Wenzel WW, Rinklebe J. 2017. Trace elements in the soil-plant interface: phytoavailability, translocation, and phytoremediation—a review. *Earth Sci Rev* 171:621–645.
- Cao L, Lin C, Gao Y, Sun C, Xu L, Zheng L, Zhang Z. 2020. Health risk assessment of trace elements exposure through the soilplant (maize)-human contamination pathway near a petrochemical industry complex, Northeast China. *Environmental Pollution* 263(2020)114414 www.elsevier.com/locate/envpol
- Clay J. 2011. “Freeze the footprint of food”. *Nature*, 475 (7356), 287-289.
- Dökmeci AH, Çelik SÖ, Kaykıoğlu G, Öngen A. 2017. Tekirdağ’da Çorlu ilinde endüstriyel alanlardaki toprakta ağır metal kirliliğinin çevresel ve insan sağlığı açısından etkileri. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), pp.256-263.
- Folkson L, Bækken T, Brencic M, Dawson A, Francois D, Kurimska P, Leitao T, Licbinsky R, Vojtesek M. 2009. Sources and Fate of Water Contaminants in Roads. Editors: Dawson A. *Water in Road Structures*, 107-146, Netherlands, Springer Press.
- Golui D, Datta SP, Dwivedi BS, Meena MC, Varghese E, Sanyal SK, Ray P, Shukla AK, Trivedi VK. 2019. Assessing Soil Degradation in Relation to Metal Pollution—A Multivariate Approach. *Soil and Sediment Contamination*, 28: 630-649.
- Güler Ç, Çobanoğlu Z. 1997. Kimyasallar ve Çevre. Sağlık Bakanlığı, Ankara.
- Gülser F, Erdogan E, 2008. The effects of heavy metal pollution on enzyme activities and basal soil respiration of roadside soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol.145, pp.127-133.
- Gülser F, Sönmez F, Çiğ A, 2013. Comparing heavy metal contents of roadside soils with coastal area soils. *Journal of International Environmental Application & Science*, vol.8, no.4, pp.714-718.
- Haktanır K, Arcak S. 1998. Çevre Kirliliği. Ankara Üni. Ziraat Fak. Toprak Bölümü, Ankara Üni. Yayın No: 1503, Ders Kitabı: 457, Ankara.
- Hu W, Wang H, Dong L, Huang B, Borggaard OK, Bruun Hansen HC, He Y, Holm PE. 2018. Source identification of heavy metals in peri-urban agricultural soils of southeast China: an integrated approach. *Environ. Pollut.* 237, 650e661. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.070>.
- Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A, Timur S. 2003. Metallerin Çevresel Etkileri-1, İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Metalurji Dergisi, 136, 47-53.
- Karaca S, Gülser F, Tekeli A. 2018. Determination of Some Soil Properties and Heavy Metal Contents at Different Soil Depth of Forage Fields on the Roadside of Van, Turkey. The International Soil Science Congress on “Environment and Soil Resources Conservation”, Almaty, KAZAKISTAN, 17-19 Ekim 2018, vol.1, no.1, pp.1-1.
- Karaca A, Turgay OC. 2012. Toprak Kirliliği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 1 (1), s. 13-19.
- Kim H, Lee M, Lee JH, Kim KH, Owens G, Kim KR. 2020. Distribution and extent of heavy metal (loid) contamination in agricultural soils as affected by industrial activity. *Applied Biological Chemistry*, 63, 1-8.
- Lindsay WL, Doxtader KG. 1981. Environmental Chemistry of the Elements. *Journal of Environmental Quality*, 10: 249-249.
- Nagarajan D, Lee DJ, Chen CY, Chang JS. 2020. Resource recovery from wastewaters using microalgae-based approaches: A circular bioeconomy perspective. *Bioresour. Technol.*, 302, 122817.
- Özkul C. 2008. İzmit (Kocaeli) Civarında Endüstrileşmenin Toprak Ağır Metal Derişimine Etkisi. *Uygulamalı Yer Bilimleri*, 2:1-9.
- Sönmez O, Kılıç FN. 2021. Toprakta Ağır Metal Kirliliği ve Giderim Yöntemleri. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 2(2), 493-507.
- Su C, Meng J, Zhou Y, Bi R, Chen Z, Diao J, Wang T. 2022. Heavy metals in soils from intense industrial areas in south China: spatial distribution, source apportionment, and risk assessment. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 820536.

- Sun CY, Zhang ZX, Cao HN, Xu M, Xu L. 2019. Concentrations, speciation, and ecological risk of heavy metals in the sediment of the Songhua River in an urban area with petrochemical industries. *Chemosphere* 219, 538e545. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.040>.
- Tok HH, Adiloğlu A, Öner N, Gönülsüz E, Adiloğlu S. 2005. Heavy Metal Concentrations in Irrigation Waters and Rice Crops in the Central Trakya Region. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 6 (3), 550-562, Thessaloniki, Greece.
- Tuğrul D. 2004, Kerpe Araştırma Ormanı Radiata Çamı (*Pinus radiata* D. Don) İbrelerinde Bazı Ağır Elementlerin Tespiti, Çevre ve Orman Bakanlığı Yayın No: 214, Müdürlük Yayın No: 241.
- Türkoğlu B. 2006. Toprak Kirlenmesi ve Kirlenmiş Toprakların Islahı (yüksek lisans, tezi). Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Yadav GC. 2021. Presence of heavy metal in soil near the industrial sites in Firozabad.
- Yu Q, Wu W, Yang P, Li Z, Xiong W, Tang H. 2012. Proposing an Interdisciplinary and Cross-scale Framework for Global Change and Food Security Researches. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 156, 57-71.
- Zengin FK, Munzurođlu Ö. 2006. Ayçiçeđi (*Helianthus annuus* L.) Fidelerinin Toplam Çözünebilir Protein, Prolin ve Klorofil Miktarları Üzerine Civa Klorürün ($HgCl_2$) Etkileri. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (1), 25-30.
- Zhou XY, Wang XR. 2019. Impact of industrial activities on heavy metal contamination in soils in three major urban agglomerations of China. *Journal of Cleaner Production*, 230, 1-10.