



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME
ANABİLİM DALI

**SARISEKİ – DÖRTYOL YÖRESİ TOPRAKLARINDA AĞIR
METALLERİN YERSEL DAĞILIMININ JEOİSTATİSTİKSEL
YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ**

ENGİN ÖZDEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya/HATAY

KASIM-2010

**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SARISEKİ – DÖRTYOL YÖRESİ TOPRAKLARINDA AĞIR
METALLERİN YERSEL DAĞILIMININ JEOİSTATİSTİKSEL
YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ**

**ENGİN ÖZDEL
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

Prof. Dr. Necat AĞCA danışmanlığında hazırlanan bu tez 26 / 11 / 2010 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Necat AĞCA Yrd Doç. Dr. Sema KARANLIK Yrd. Doç. Dr. Gül ÖZYILMAZ
Başkan Üye Üye

Bu tez Enstitümüz Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Necat AĞCA
Enstitü Müdürü

Bu çalışma MKÜ. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir

Proje No: : **08 M 1102**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
ABSTRACT	II
ÇİZELGELER DİZİNİ	III
SEKİLLER DİZİNİ	V
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Ağır Metallerin Tanımı, Topraklardaki Dağılımı, Özellikleri ve Etkileri.....	3
2.2. Jeostatistik ve Jeostatistik Yöntemlerle Yapılan Ağır Metal Kirliliği Çalışmaları.....	10
2.3. Diğer Yöntemlerle Yapılan Ağır Metal Kirliliği Çalışmaları.....	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
3. 1. Materyal.....	26
3.1.1. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu.....	26
3.1.2. Çalışma Alanının Bitki Örtüsü.....	27
3.1.3. Çalışma Alanının İklimi.....	27
3.1.4. Çalışma Alanının Jeolojisi	27
3.2. Yöntem	30
3.2.1. Toprak Örneklerinin Alınması	30
3.2.2. Toprak Analizleri	30
3.2.3. Sonuçları Değerlendirme Yöntemleri.....	31
3.2.3.1. İstatistiksel ve Jeostatistiksel Analizler	31
3.2.3.2. Jeobirikim İndeksi ve Zenginleştirme Faktörü.....	32
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	34
4.1. Tanımlayıcı İstatistik Analiz Sonuçları.....	34
4.1.1. Toprakların Bazı Topografik, Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	34
4.1.2. Toprakların Ağır Metal İçerikleri.....	37
4.1.2.1. Toplam Ağır Metal İçerikleri	37
4.1.2.2. Bitkilerce Alınabilir Ağır Metal İçerikleri	41
4.2. Jeostatistik Analiz Sonuçları.....	44

4.2.1. Toplam Metal İçerikleri.....	44
4.2.1.1. Kadmiyum (Cd).....	44
4.2.1.2. Kobalt (Co).....	45
4.2.1.3. Krom (Cr).....	47
4.2.1.4. Bakır (Cu).....	49
4.2.1.5. Demir (Fe).....	51
4.2.1.6. Mangan (Mn).....	54
4.2.1.7. Nikel (Ni).....	55
4.2.1.8. Kurşun (Pb).....	57
4.2.1.9. Çinko (Zn).....	59
4.2.2. Bitkilerce Alınabilir Metal İçerikleri.....	61
4.2.2.1. Kadmiyum (Cd).....	61
4.2.2.2. Kobalt (Co).....	63
4.2.2.3. Krom (Cr).....	64
4.2.2.4. Bakır (Cu).....	66
4.2.2.5. Demir (Fe).....	68
4.2.2.6. Mangan (Mn).....	70
4.2.2.7. Nikel (Ni).....	72
4.2.2.8. Kurşun (Pb).....	74
4.2.2.9. Çinko (Zn).....	77
4.3. Metallerin Bitkilerce Alınabilirliği.....	78
4.4. Metallerin Jeobirikim İndeksi ve Zenginleştirme Faktörü Kriterlerine Göre Kirlilik Durumunun Değerlendirilmesi.....	79
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR.....	88
TEŞEKKÜR.....	98
ÖZGEÇMİŞ.....	99

ÖZET

SARISEKİ – DÖRTYOL YÖRESİ TOPRAKLARINDA AĞIR METALLERİN YERSEL DAĞILIMININ JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Bu çalışmada, fazla miktarda sanayi tesisleri ve yoğun bir trafik akışı olan Sariseki-Dört Yol arasında kalan bölgede yer alan topraklardaki toplam ve bitkilerce alınabilir ağır metal konsantrasyonları belirlenmiş ve bu metallerin yersel dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Çalışma alanında, değişken mesafeli (0.5, 1 ve 2 km) gridler oluşturulmuş ve gridlerin kesim noktalarından (51 nokta) ve iki farklı derinlikten (0-5 ve 5-20 cm) toplam 102 adet toprak örneği alınmıştır. Örnekleme noktalarının UTM sistemine göre coğrafi koordinatları GPS cihazı ile belirlenmiştir.

Alınan toprak örneklerinde pH, elektriksel iletkenlik (EC), organik madde (OM), bünye, toplam ve alınabilir ağır metal (Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Zn, Mn, Fe, Ni) analizleri yapılmıştır.

Araştırma konusu topraklara ait bütün tanımlayıcı istatistik analizleri (ortalama, en düşük ve en yüksek değerler, standart sapma, varyasyon katsayısı, çarpıklık, basıklık vb.), tüm toprak özellikleri ve ağır metaller için hesaplanmıştır. Araştırma alanı topraklarında ağır metal içeriklerinin yersel dağılımının belirlenmesinde ve haritalanmasında, Jeoistatistiksel yöntemler kullanılmıştır.

Toprakların pH değerleri 7.44-8.45, EC 105.1 - 2610.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, OM içerikleri % 1.47-19.06, kum içerikleri % 20.25 – 84.79, silt içerikleri % 6.30- 39.96, kil içerikleri ise % 4.34 - 53.56 arasında değişmiştir.

Toplam ve bitkilerce alınabilir ağır metal içeriklerinin büyük bir kısmı normal dağılım göstermemiştir. Normal dağılım göstermeyen veri setlerine, Jeoistatistik analizlerden önce, logaritmik veya karekök dönüşümler uygulanmıştır. Ağır metallerin toplam ve bitkilerce alınabilir içerikleri için en uygun variogram modellerinin küresel ve üssel olduğu belirlenmiştir. Noktaların ilişkili olabileceği maksimum uzaklığı gösteren etki aralığı değerleri ise toplam ağır metaller için 1890- 31100 m, bitkilerce alınabilir metaller için 830-47430 m arasında değişmiştir.

Hesaplanan ortalama jeobirikim ($I_{g_{eoac}}$) değerlerine göre; her iki katmandaki topraklar Cd ve Ni metallerince kısmen-yüksek derecede kirlenmiş (4. sınıf), Cr açısından ise kısmen kirlenmiş sınıfına (3. sınıf) girmiştir. Pb kısmen kirlenmiş-kirlenmemiş sınıfına (2. sınıf), ayrıca alt katmandaki toprakların Co ve üst katmandaki toprakların da Zn ile kısmen kirlenmiş-kirlenmemiş sınıfına (2. sınıf) girdiği belirlenmiştir. Her iki katmanda Cu, Fe ve Mn kirlenmemiş sınıfında (1. sınıf) yer almıştır.

Ağır metallerin alınabilirlik sıralaması büyükten küçüğe doğru $\text{Cd} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Co} > \text{Mn} > \text{Ni} > \text{Fe} = \text{Cr}$ şeklindedir. Ağır metaller toplam içeriklerine göre, çalışma alanındaki kirlenme düzeyi çoktan aza doğru $\text{Ni} > \text{Cd} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Co} > \text{Fe} > \text{Mn}$ şeklindedir.

2010, 99 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, toprak kirliliği, Jeoistatistik, kriging

ABSTRACT**DETERMINATION OF SPATIAL DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN THE SOIL OF SARISEKİ-DÖRTYOL DISTRICT USING GEOSTATISTICAL METHODS**

In this research, total and available heavy metal contents of the soil in Sariseki-Dörtüol district which has a lot of industrial establishing and heavy traffic were determined and spatial distribution maps of these metals were made.

In the research area, variable distance grids (0.5, 1.0 and 2.0 km) were established and a total of 102 soil samples were collected from two different soil depths (0–50 and 5–20 cm) at intersections of these grids (total of 51 point). The geographical coordinates of sampling points in Universal Transverse Mercator System were determined with the help of global positioning system receiver (GPS).

Soil samples were analyzed for pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM), texture, and total and available heavy metals (Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Zn, Mn, Fe, and Ni).

Conventional statistics analyses (mean, median, minimum, and maximum, coefficient of variation, skewness, and kurtosis) were performed for the soil properties and heavy metals. Geostatistical methods were used for the determination of spatial distribution and mapping of heavy metal contents of the soil in the research area.

pH, EC, organic matter, sand, silt and clay contents of the soil range between 7.44-8.45, 105.1 - 2610.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 1.47-19.06%, 20.25 – 84.79%, 6.30- 39.96%, % 4.34 - 53.56%, respectively.

Most of the total and available heavy metal contents did not present normal distribution. Therefore, logarithmic and square root transformations were used for these data prior to geostatistical analyses. It was defined that the most suitable variogram models for the contents of all total and available heavy metals are spherical and exponential. The ranges of semivariograms which indicate the maximum distance of spatial variability of points for total and available metals range between 1890-31100 m, and 830-47430 m, respectively.

According to calculated geoaccumulation (I_{geoac}) values, both soil depths were classified as partly- highly polluted (class 4) by Cd and Ni and partly polluted (class 3) by Cr and as partly polluted-not polluted (class 2) by Pb and not polluted (class 1) by Cu, Fe and Mn.

The availability of the heavy metals for the plants follows the order: Cd > Pb > Zn > Cu > Co > Mn > Ni > Fe = Cr. According to total contents, the levels of the pollution of heavy metals are in the following order: Ni > Cd > Cr > Pb > Zn > Cu > Co > Fe > Mn.

2010, 99 pages

Key Words: Heavy metal, soil pollution, geostatistics, kriging

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Bazı ülkelerde endüstriyel kaynaklarca kirlenmiş topraklarda bazı elementlerin rapor edilmiş en yüksek konsantrasyonları	3
Çizelge 2.2. Kirlenmemiş topraklarda bazı elementlerin konsantrasyonları	4
Çizelge 2.3. Atmosferik emisyonların doğal ve antropojenik kaynaklarından gelen ağır metal miktarları	4
Çizelge 3.1. İskenderun ilçesinde uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama iklim değerleri	28
Çizelge 3.2. Toprak kirliliğinin Jeobirikim (<i>Igeoac</i>) indeksine göre değerlendirilmesi	33
Çizelge 3.3. Zenginleştirme faktörüne göre oluşturulan kirlilik sınıfları	33
Çizelge 4.1. Örnekleme noktalarının denizden yükseklikleri	34
Çizelge 4.2. Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine ait tanımlayıcı istatistik analiz sonuçları.....	36
Çizelge 4.3. Toprakların toplam ağır metal içeriklerine ait tanımlayıcı istatistik analiz sonuçları.....	38
Çizelge 4.4. Tarımsal topraklarda bazı ağır metallerin maksimum izin verilebilir konsantrasyon aralıkları.....	40
Çizelge 4.5. Toprakların bitkilerce alınabilir ağır metal içeriklerine ait tanımlayıcı istatistik analiz sonuçları.....	42
Çizelge 4.6. DTPA yöntemi ile belirlenen bitkilerce alınabilir ağır metal içeriklerinin izin verilebilir limitleri.....	43
Çizelge 4.7. Toplam kadmiyum içeriklerine ait variogram parametreleri.....	45
Çizelge 4.8. Toplam kobalt içeriklerine ait variogram parametreleri.....	47
Çizelge 4.9. Toplam krom içeriklerine ait variogram parametreleri	49
Çizelge 4.10. Toplam bakır içeriklerine ait variogram parametreleri.....	51
Çizelge 4.11. Toplam demir içeriklerine ait variogram parametreleri	53
Çizelge 4.12. Toplam mangan içeriklerine ait variogram parametreleri	55
Çizelge 4.13. Toplam nikel içeriklerine ait variogram parametreleri.....	57
Çizelge 4.14. Toplam kurşun içeriklerine ait variogram parametreleri.....	58
Çizelge 4.15. Toplam çinko içeriklerine ait variogram parametreleri.....	60

Çizelge 4.16. Bitkilerce alınabilir kadmiyum içeriklerine ait variogram parametreleri.....	62
Çizelge 4.17. Bitkilerce alınabilir kobalt içeriklerine ait variogram parametreleri.....	64
Çizelge 4.18. Bitkilerce alınabilir krom içeriklerine ait variogram parametreleri	66
Çizelge 4.19. Bitkilerce alınabilir bakır içeriklerine ait variogram parametreleri.....	68
Çizelge 4.20. Bitkilerce alınabilir demir içeriklerine ait variogram parametreleri	70
Çizelge 4.21. Bitkilerce alınabilir mangan içeriklerine ait variogram parametreleri	72
Çizelge 4.22. Bitkilerce alınabilir nikel içeriklerine ait variogram parametreleri.....	74
Çizelge 4.23. Bitkilerce alınabilir kurşun içeriklerine ait variogram parametreleri.....	76
Çizelge 4.24. Bitkilerce alınabilir çinko içeriklerine ait variogram parametreleri.....	78
Çizelge 5.1. Çalışma alanındaki topraklarda metallerin jeobirikim (I_{geoac}) değerleri.....	80
Çizelge 5.2. Çalışma konusu topraklarda metallerin zenginleştirme faktörü (ZF) değerleri	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Örnek bir yarıvariogram ve bileşenleri.....	12
Şekil 3.1. Çalışma alanının coğrafi konumu ve örnekleme noktaları.....	26
Şekil 4.1. Çalışma alanındaki toprakların toplam Cd içeriklerine ait yarıvariogramlar	45
Şekil 4.2. Çalışma alanı topraklarının toplam Cd içeriklerinin dağılım haritası	46
Şekil 4.3. Çalışma alanındaki toprakların toplam Co içeriklerine ait yarıvariogramlar	47
Şekil 4.4. Çalışma alanı topraklarının toplam Co içeriklerinin dağılım haritası	48
Şekil 4.5. Çalışma alanındaki toprakların toplam Cr içeriklerine ait yarıvariogramlar	49
Şekil 4.6. Çalışma alanı topraklarının toplam Cr içeriklerinin dağılım haritası.....	50
Şekil 4.7. Çalışma alanındaki toprakların toplam Cu içeriklerine ait yarıvariogramlar	51
Şekil 4.8. Çalışma alanı topraklarının toplam Cu içeriklerinin dağılım haritası	52
Şekil 4.9. Çalışma alanındaki toprakların toplam Fe içeriklerine ait yarıvariogramlar	52
Şekil 4.10. Çalışma alanı topraklarının toplam Fe içeriklerinin dağılım haritası.....	53
Şekil 4.11. Çalışma alanındaki toprakların toplam Mn içeriklerine ait yarıvariogramlar	54
Şekil 4.12. Çalışma alanı topraklarının toplam Mn içeriklerinin dağılım haritası	55
Şekil 4.13. Çalışma alanındaki toprakların toplam Ni içeriklerine ait yarıvariogramlar	56
Şekil 4.14. Çalışma alanı topraklarının toplam Ni içeriklerinin dağılım haritası.....	57
Şekil 4.15. Çalışma alanındaki toprakların toplam Pb içeriklerine ait yarıvariogramlar	58
Şekil 4.16. Çalışma alanı topraklarının toplam Pb içeriklerinin dağılım haritası	59
Şekil 4.17. Çalışma alanındaki toprakların toplam Zn içeriklerine ait yarıvariogramlar	60
Şekil 4.18. Çalışma alanı topraklarının toplam Zn içeriklerinin dağılım haritası	61

Şekil 4.19. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Cd içeriklerine ait yarıvarioграмlar	62
Şekil 4.20. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Cd içeriklerinin dağılım haritası.....	63
Şekil 4.21. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Co içeriklerine ait yarıvarioграмlar	64
Şekil 4.22. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Co içeriklerinin dağılım haritası.....	65
Şekil 4.23. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Cr içeriklerine ait yarıvarioграмlar.....	66
Şekil 4.24. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Cr içeriklerinin dağılım haritası.....	67
Şekil 4.25. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Cu içeriklerine ait yarıvarioграмlar.....	68
Şekil 4.26. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Cu içeriklerinin dağılım haritası.....	69
Şekil 4.27. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Fe içeriklerine ait yarıvarioграмlar	70
Şekil 4.28. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Fe içeriklerinin dağılım haritası.....	71
Şekil 4.29. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Mn içeriklerine ait yarıvarioграмlar.....	72
Şekil 4.30. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Mn içeriklerinin dağılım haritası.....	73
Şekil 4.31. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Ni içeriklerine ait yarıvarioграмlar.....	74
Şekil 4.32. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Ni içeriklerinin dağılım haritası.....	75
Şekil 4.33. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Pb içeriklerine ait yarıvarioграмlar.....	75
Şekil 4.34. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Pb içeriklerinin dağılım haritası.....	76

Şekil 4.35. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Zn içeriklerine ait yarıvariogramlar	77
Şekil 4.36. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Zn içeriklerinin dağılım haritası.....	78
Şekil 4.37. Bitkilerce alınabilir metal içeriklerinin toplam metal içeriklerine % oranı	79

1. GİRİŞ

Topraklar hem bitkiler için bir beslenme ve yaşam ortamı, hem de çevrenin en önemli bileşenlerinden birisidir. Türkiye tarıma açılabilir toprak kaynakları tükenmiş 19 ülkeden biridir (Çepel, 2003). Bu kadar kısıtlı olan toprak kaynakları, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de her geçen gün çeşitli kaynaklardan gelen kirleticilere maruz kalmaktadır. Toprak kirliliği insan sağlığı ve çevre kalitesine artan bir şekilde tehlike oluşturmaktadır (Franssen ve ark., 1997). Ayrıca, toprak kirlenmesine bağlı olarak toprak kalitesinde meydana gelen değişim gerek doğal ve gerekse tarım ekosistemini önemli ölçüde etkilemektedir (Haktanır ve Arcak, 1998).

Toprak ve çevre kirleticileri arasında son zamanlarda ağır metaller önemli bir yer tutmaya başlamıştır. Bazı bölgelerde topraklardaki ağır metal konsantrasyonları, özellikle tarımsal alanlarda, bitkisel alım yoluyla gıda güvenliğini tehdit edecek düzeye ulaşmıştır (Franssen ve ark., 1997). Tarım, sanayi ve şehir yaşamı gibi antropojenik aktiviteler (insan etkileri) toprak ve suların ağır metal içeriğini sürekli arttırmaktadır (Kabata-Pendias ve Pendias, 2000; Gil ve ark., 2004). Evsel ve sanayi kökenli atıklarla kirlenmiş akarsularla yapılan sulamalar da toprakların metal içeriğini önemli ölçüde yükseltmektedir (Bergbäck ve ark., 1997). Benzer şekilde, karayollarındaki taşıt emisyonları da topraklar için önemli ölçüde ağır metal kirliliği yaratmaktadır (Manta ve ark., 2002). İnsan müdahalesi dışında, toprakların ağır metal içerikleri, büyük ölçüde ana materyalin mineralojik bileşimine ve toprak oluşum proseslerine bağlıdır (Tack ve ark., 1997).

Toprak özellikleri ve içerdikleri elementler; Jeolojik yapı, topografya, ana materyal ve bitki örtüsü gibi faktörlere bağlı olarak bölgeden bölgeye, hatta her bir bölge içinde bile değişiklik gösterebilmektedir. Ancak, toprak özelliklerinin her noktada belirlenmesi, uygulamada çok zor hatta olanaksızdır. Bu nedenle, çalışma alanının belirli noktalarından alınan örneklerin analiz sonuçları yorumlanarak, alanının tümü için genelleme yapılmaktadır.

Aslında bir toprak özelliğinin herhangi bir noktadaki ölçüm değeri, onun bulunduğu noktadaki uzaysal konumunun bir fonksiyonudur. Bu da toprak özelliklerinin arazide süreklilik gösterdiğini belirtmektedir. Diğer bir deyişle; bir toprak özelliğinin iki nokta arasındaki benzerliği, noktalar arası uzaklığa bağlıdır. Uzaklık azaldıkça benzerlik artmaktadır.

Su ve Yang (2008)'a göre, topraklarda ağır metallerin temel konsantrasyonlarının, bunların yersel dağılım özelliklerinin ve kaynaklarının bölgesel çapta belirlenmesi gerekir. Çünkü, kendine özgü bir toprak tipinde lokal element konsantrasyonları, başka bölgeler için belirlenmiş olan değerlerden daha az veya daha çok olabilir.

Çalışma alanı Türkiye'nin çok hızlı sanayileşen bölgelerinden biridir. Bölgede 1950-1980 yılları arasında hızlı bir sanayileşme olmuştur. Türkiye'deki ilk kimyasal gübre fabrikası (1953), yine ülkenin üçüncü büyük entegre çelik fabrikası (1975) olan İskenderun Demir ve Çelik (İSDEMİR) Fabrikası ve çimento fabrikası bölgedeki en önemli sanayi yatırımları arasında yer almaktadır. Yine çalışma alanında 1990 yılında kurulan organize sanayi bölgesinde 16 adet fabrika bulunmaktadır. Bugün, Akdeniz ile Amanos dağları arasındaki dar şeritte küçük veya orta büyüklükte kamu veya özel sektöre ait yaklaşık 50 adet fabrika bulunmaktadır (Doğun ve Alphan, 2006).

1975 yılında faaliyete geçen İSDEMİR şu anda Avrupa'nın en büyük 10 çelik fabrikasından biri olmuştur. İSDEMİR yılda yaklaşık 2.2 milyon ton ham çelik üretim kapasitesi ile Türkiye'nin ikinci en büyük tesisidir. Bölgede bulunan diğer önemli bir sanayi grubu ise İskenderun Organize Sanayi Bölgesinde bulunmaktadır. Bölge içinde genellikle haddehaneler bulunmaktadır. Bunun dışında, filtre, çivi-tel, propilen, çuval, plastik ve çelik boru, karton, makine ve çelik konstrüksiyon imalat fabrikaları yer almaktadır. Çalışma alanında ayrıca bir çimento ve bir adet de süper fosfat gübre fabrikası bulunmaktadır (Özyılmaz, 1999; Anonim, 2010a). Antakya-Adana Devlet Karayolu ile İskenderun-Toprakkale-Adana Otoyolu da çalışma alanından geçmektedir. Antakya-Adana Bölünmüş Devlet Yolundan günde 16225 araç, otoyoldan ise 12651 araç geçmektedir (Anonim, 2010b). Bu rakamlar, çalışma alanında günlük trafik yoğunluğunun oldukça yüksek olduğunu (28876 araç/gün) göstermektedir. Ayrıca, çalışma alanından demiryolu hattı da geçmektedir. Bu tezin yürütüldüğü alanda topraktaki ağır metallerin dağılımı konusunda detaylı bir araştırma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, fazla miktarda sanayi tesisleri ve yoğun bir trafik akışı olan Sariseki-Dörtyol arasında kalan bölgede yer alan topraklardaki toplam ve bitkilerce alınabilir ağır metal konsantrasyonları belirlenmiş ve bu metallerin yersel dağılım haritaları oluşturulmuştur. Ayrıca, metallerin kaynakları saptanmaya çalışılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Ağır Metallerin Tanımı, Topraklardaki Dağılımı, Özellikleri ve Etkileri

Topraklar hem ekosistemin bir parçası, hem de insan yaşamı için temel bir kaynaktır. Topraklar; filtreleme, tamponlama, depolama ve dönüştürme gibi sistem fonksiyonları ile iz element kirliliğinin etkilerini azaltır. Toprak, bitkiler için hem mikrobese elementleri, hem de kirlenici etkisi olan iz elementlerin kaynağıdır. Toprak farklı orijinli iz elementleri içerir:

- 1- Ana materyalden gelen (litojenik)
- 2- Ana materyalden gelen ancak toprak oluşum prosesleri nedeniyle formları değişen (pedojenik)
- 3- İnsan aktiviteleri sonucunda toprağa giren ve depo edilen (antropojenik)

Dünyanın çeşitli bölgelerinin toprakları mineral gübreleme, pestisit uygulaması, katı atık uygulaması ve endüstriyel faaliyetlerle kirlenmiş olup, gelecekte de kirlenmeye devam edecektir. Birçok ülkede sadece sanayi tesislerinden topraklara önemli miktarlarda ağır metal taşınmaktadır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Bazı ülkelerde endüstriyel kaynaklarca kirlenmiş topraklarda bazı elementlerin rapor edilmiş en yüksek konsantrasyonları (mg kg⁻¹) (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007)

Element	Kanada	Çin ^a	Japonya	Polonya	İngiltere	ABD
Cd	2000	2500	2470	2000	900	2000
Co	127	300	-	-	67	85
Cu	3700	> 2000	206	620	2000	-
Pb	12123	>10000	2100	8000	4563	13000
Ni	26000	8000	-	-	1150	-
Zn	1397	>10000	5400	13800	4500	80000

^a Çin toprakları ya ana materyalden ya da endüstri kaynaklarından kirlenmiştir

Bütün bu insan aktiviteleri, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini önemli ölçüde etkilemekte ve bu da topraklardaki iz element davranışlarını önemli ölçüde değiştirmektedir. Kirlenmemiş topraklarda bazı elementlerin konsantrasyonları Çizelge 2.2 de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Kirlenmemiş topraklarda bazı elementlerin konsantrasyonları (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007)

Elementler	Konsantrasyon (μgL^{-1})	Elementler	Konsantrasyon (μgL^{-1})
Cd	0.08-5	Mn	25-8000
Co	0.08-29	Ni	0.2-150
Cr	0.01-29	Pb	0.005-63
Cu	0.5-135	Zn	0.1-750

Birçok karasal ekosistemde ağır metallerin başlıca üç kaynağı vardır. Bunlar; altındaki ana materyal, atmosfer ve biyosfer olarak sıralanmaktadır. Metallerin biyotik kaynakları orijinal olarak diğer iki kaynağın birinden gelmektedir. Farklı sistemlerde, bu üç kaynağın her birinden gelen ağır metallerin oransal miktarı değişiktir. Doğal ve antropojenik kaynaklardan gelen yıllık atmosferik emisyonlar önemli miktarlara ulaşabilmektedir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Atmosferik emisyonların doğal ve antropojenik kaynaklarından gelen ağır metal miktarları (10^8 g/yıl) (Friedland, 1990)

Element	Toz akıntısı		Volkani k akıntılar	Endüstriyel parçacık emisyonları	Fosil yakıt akıntısı	Toplam emisyon	Antropojenik/ doğal oranı
	Karasal	volkanik					
Al	356500	132750	8.4	40000	32000	72000	0.15
Hg	0.3	0.1	0.001	50	60	110	0.44
Ni	200	83	0.0009	600	380	980	3.46
Cu	100	93	0.012	2200	430	2630	13.63
Cd	2.5	0.4	0.001	40	15	55	18.97
Zn	250	108	0.14	7000	1400	8400	23.46
Pb	50	8.7	0.012	16000	4300	20300	354.83

Ağır metaller yoğunluğu 5.0 g/cm^3 den daha büyük olan elementlerdir. Örneğin kadmiyum, kobalt, bakır, demir, kurşun, molibden, nikel ve çinko gibi elementler ağır metal olarak tanımlanmaktadır (Pais ve Jones, 1997).

Çevredeki ağır metaller, topraktaki reaktiflikleri, toksisiteleri ve hareketlilikleri nedenleriyle, bazı sorunların kaynağını oluşturmaktadır. Bakır ve çinko gibi bazı ağır metaller bitkiler ve hayvanlar için gereklidir. Ancak, bunların çevresel konsantrasyonları sürdürülebilir hayatın devamı için gerekli olanın üzerinde olduğunda, toksisite oluşabilmektedir (Selim ve Amacher, 2000).

Kadmiyum (Cd)

Atom numarası 48, atom kütlesi 112.4 olan bir metaldir. Periyodik sistemde II B grubunda yer alan Cd bir geçiş elementi olup, kararlı bileşiklerinde daima iki değerli kation şeklinde bulunur. Kadmiyumun yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonu 0.1-0.2 mgkg⁻¹ arasında değişmektedir. Kadmiyumun en önemli kullanım alanı Ni-Cd ve Ag-Cd pil üretimidir. Topraklardaki ortalama Cd konsantrasyonu 0.06-1.1 mgkg⁻¹ arasında değişmekte olup, ortalama 0.5 mgkg⁻¹'dir. Fosforlu gübrelerdeki Cd içeriği ise 0.11-47 mgkg⁻¹ arasında değişmekte olup, ortalama 13 mgkg⁻¹'dir (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007).

Kirlenmemiş topraklardaki toplam kadmiyum ana materyalden kaynaklanır ve konsantrasyonu 0.1-10 mgkg⁻¹ arasındadır. Toprak profilinde oldukça hareketli bir element olup, daima düzenli olarak dağılmıştır. Toprakta kadmiyum kirlenmesi, alt katmanlardaki Cd içeriğinin artmasına neden olur (Yaron ve ark., 1996). Topraklardaki Cd'un en önemli kaynakları atmosferik depozitler ve fosforlu gübrelerdir. Ayrıca, makine yağları, dizel motor yağları, araç lastikleri, kanalizasyon çamurları, insektisitler, elektro kaplamalar, boya maddeleri, piller, kömür ve petrol, demirsiz metal üretimi ve demir çelik üretimi de toprakta Cd kirliliğine neden olmaktadır (Sutherland, 2000).

Kobalt (Co)

Atom numarası 27, atom kütlesi 58.9 olan bir element olup, yer kabuğundaki konsantrasyonu bazik kayalarda 200 mgkg⁻¹'a kadar çıkmaktadır. Asit püskürük kayalardaki konsantrasyonu ise 1-15 mgkg⁻¹ arasında değişmektedir. Dünyadaki yüzey topraklarının ortalama Co içeriği 4.5-12 mgkg⁻¹ arasında değişmektedir. Topraklardaki Co içeriği esas olarak ana materyalden kaynaklanmaktadır. Kobaltın toprak profilindeki içeriği ve dağılımı, toprak oluşum proseslerine bağlıdır. Bu nedenle, farklı iklim bölgeleri topraklarının Co içeriği de farklıdır. Genellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde yüzey topraklarının Co miktarı daha yüksek bulunmuştur. Doğal koşullarda serpantin kayalar üzerinde oluşan topraklarda (10-520 mgkg⁻¹) ve maden cevheri civarındaki topraklarda (13-85 mgkg⁻¹) Co içeriği oldukça yüksektir (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007).

Krom (Cr)

Krom, periyodik cetvelde VI B grubunun bir üyesi olup, atom numarası 24, atom kütlesi 52 olan bir metaldir. Cr^{+3} formu çok yaygın olarak bulunmaktadır. Cr^{+6} , kromun bütün oksidasyon reaksiyonlarında en fazla toksik olan formudur. Yer kabuğundaki ortalama Cr konsantrasyonu 100 mgkg^{-1} olup, topraklardaki toplam Cr içeriği ise genellikle $5-1000 \text{ mgkg}^{-1}$ arasında değişmektedir. Dünya toprakları için ortalama Cr içeriği ise 50 mgkg^{-1} dir (Yaron ve ark., 1996).

Toprak pH'sı Cr'un özelliklerini etkilemektedir. Kirlenmemiş topraklardaki nötr pH koşullarında Cr çok az hareketlidir ve bitkiler tarafından zor alınır (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007).

Krom'un ana materyalin dışındaki kaynakları, endüstriyel atıklar (kağıt fabrikaları, petrokimya tesisleri, çelik ve kaplama sanayi), gübreler ve şehirsal atıklardır. Topraklardaki Cr'un diğer bir kaynağı da atmosferik parçacıkların çökmesidir (Yaron ve ark., 1996).

Bakır (Cu)

Bakır periyodik cetvelin IB gurubunda yer almakta olup, atom numarası 29, atom kütlesi 63.5 olan bir elementtir. Bakırın yer kabuğundaki konsantrasyonu $25-75 \text{ mgkg}^{-1}$ arasında değişmektedir. Topraklardaki ortalama Cu konsantrasyonu $20-30 \text{ mgkg}^{-1}$ arasında değişmektedir. Ancak 250 mgkg^{-1} kadar Cu içeren toprakların da olduğu bilinmektedir. Topraklardaki Cu konsantrasyonu toprak tekstürü ile ilişkili olup genellikle kumlu topraklarda en düşük, tınlı topraklarda en yüksek düzeydedir. Ayrıca toprak pH'sı ve organik madde içeriği de Cu'nun toprak dağılımını ve davranışlarını etkilemektedir. Bakırın çözünürlüğünü ve alınabilirliğini; pH oksidasyon ve redüksiyon potansiyeli, organik madde içeriği, tekstür, mineral bileşimi, sıcaklık ve su rejimi gibi bazı toprak özellikleri kontrol etmektedir (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007).

Bakır topraklara; endüstriyel atıklar, gıda atıkları, bitkiler ve hayvanlar için kullanılan tarımsal mücadele ilaçları ve gübrelerden bulaşır. Bakır aynı zamanda şehirsal ve endüstriyel kaynakların gaz atıklarının çökmesiyle ve atmosferik parçacıklar olarak da toprak yüzeyine ulaşır (Yaron ve ark., 1996). Ayrıca, beton ve asfalt, fren balatalarının aşınması, metal kaplama sanayi, kanalizasyon çamuru, hareketli

makine parçaları, bakır su tesisatlarının korozyonu ve çürüme önleyici maddeler topraktaki Cu'nun kaynakları arasında sayılabilir (Sutherland, 2000).

Demir (Fe)

Periyodik sistemin VIII B gurubunda yer alan demir'in atom numarası 26 ve atom kütlesi 55.8'dir. Demir çok önemli bir metal ve litosferin (kaya küre) başlıca bileşenlerinden biridir. Yer kabuğunun ortalama Fe içeriği yaklaşık % 5'dir. Demir milattan önce 3000 yılından beri insanlar tarafından kullanılmakta ve insanlığın gelişiminde çok önemli rol oynamaktadır. Demir bütün uygarlığın gelişiminde yaygın olarak kullanılan bir metal olup, topraktaki konsantrasyonu % 0.1 ile % 10 arasında değişmektedir. Demirin toprak profilindeki dağılımı değişkendir ve bazı toprak özellikleri tarafından kontrol edilmektedir. Toprak tekstürü ile Fe konsantrasyonu arasında iyi bir korelasyon vardır. Toprağın ince fraksiyonları arttıkça Fe içeriği de artmaktadır. Topraklarda Fe daha çok oksit ve hidroksit formunda bulunur (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007).

Mangan (Mn)

Periyodik sistemin VII B gurubu üyesi olan Mn'in atom numarası 25 ve atom kütlesi 54.9'dır. Litosferde en çok bulunan elementlerden biri olan Mn'in kayalardaki konsantrasyonu 350-2000 mgkg⁻¹, topraklardaki konsantrasyonu ise çok değişik oranlardadır (yaklaşık 10 - 9000 mgkg⁻¹). Dünya topraklarındaki ortalama Mn içeriği 437 mgkg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Mn'in en önemli kaynağı antropojenik atıklar, kanalizasyon atıkları ve metal işleme süreçleridir. Yakacakların yanmasının ise Mn içeriğine etkisi önemli değildir. Misisipi nehir deltası gibi bazı bölgelerdeki alüvyal sedimentlerin Mn konsantrasyonları yakıt emisyonlarına bağlı olarak 1000 mgkg⁻¹ üzerine çıkabilmektedir (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007).

Mangan doğal olarak metamorfik, sedimentler ve volkanik kayaların yapısında bulunur ve arazi üzerine insan aktivitesi sonucu ulaşabilir. Mn inorganik veya organik gübrede bulunur. Demir çelik sanayinden ve fosil yakıtların yakılmasından ortaya çıkan emisyon parçacıkları topraktaki Mn'in diğer ilave kaynaklarıdır. Mn toprakta; suda çözülebilir, değişebilir, adsorbe edilmiş, şelat şeklinde bağlanmış, ikincil kil mineralleri ve birincil minerallerin yapısında bulunan ve çözünmez metal oksitleri formlarında

bulunur. Toprakta organik madde bulunduğunda Mn, özellikle humik asit ile kompleks oluşturmaktadır. Mn bir mikro besin elementi olduğu gibi, yüksek konsantrasyonda bulunduğunda ise bitkiler için toksik bir elementtir. Topraklardaki Mn toksisitesini belirleyen en önemli faktörlerden biri toprak pH'sıdır. Topraktaki Mn'm yarayışlılığı-toksisitesi sadece toprak faktörlerine bağlı değil, toprak faktörleri ile kök salgılarının etkisine de bağlıdır (Yaron ve ark., 1996).

Nikel (Ni)

Periyodik sistemin VIII B gurubunda yer alan Ni; atom numarası 28, atom kütlesi 58.7 olan bir elementtir. Yer kabuğunda ortalama Ni konsantrasyonu 20 mgkg^{-1} iken, bazik kayalarda 140 ile 2000 mgkg^{-1} , asidik kayalarda ise $5-20 \text{ mgkg}^{-1}$ arasında değişmektedir. Görüldüğü gibi, kayaların asitliği arttıkça Ni konsantrasyonları azalmaktadır. Tortul kayalarda Ni konsantrasyonu $5-90 \text{ mgkg}^{-1}$ arasında değişmektedir. Topraklardaki Ni içeriği büyük ölçüde ana kayanın Ni içeriğine bağlıdır. Ancak, yüzey topraklarındaki Ni konsantrasyonu hem toprak oluşumundan hem de kirlilik nedeniyle gelen miktarı yansıtır. Dünya topraklarındaki Ni konsantrasyonu $0.2-450 \text{ mgkg}^{-1}$ gibi çok geniş sınırlar arasında değişir. Ortalama doğal (background) Ni konsantrasyonu genellikle $19-22 \text{ mgkg}^{-1}$ arasında değişmektedir. Doğal olarak yüksek Ni içeriği bazik ve volkanik kayalar üzerinde oluşan topraklarda ve özellikle serpantin kayaları üzerinde oluşan topraklarda bulunmaktadır. Serpantin kayaları üzerinde gelişen topraklardaki Ni içeriği $770-7375 \text{ mgkg}^{-1}$ arasında bulunmaktadır. Son zamanlarda ciddi bir kirlenici olarak görülen Ni (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007). Topraklara; dizel yakıtlardan, taşıt egzozlarından, motor yağlarından, metal kaplama sanayinden, asfalt malzemelerinden, fosforlu gübrelerden ve şarj edilebilir pillerden gelebilmektedir (Sutherland, 2000). Ayrıca, kömür ve petrol yanması ve bazı kanalizasyon atıkları (arıtma çamuru) da tarım topraklarındaki Ni kaynakları olabilir (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007). Topraktaki fazla Ni bitkilere, hayvanlara ve insan gelişimine yönelik toksik etkiye sahip olabilmektedir (Yaron ve ark., 1996).

Kurşun (Pb)

Kurşun periyodik çizelgenin IV A gurubunda yer almakta olup atomik kütlesi 207.2 'dir. En önemli çevre kirlenicilerinden olan Pb'un insanlara, hayvanlara ve

ekosisteme zararlı etkileri vardır. Buna rağmen çok kullanılan bir metaldir. Kurşun topraklarda genellikle Pb^{+2} formunda bulunur. Topraklardaki doğal kurşun ana kayadan gelmektedir. Kurşun'un sedimentlerdeki miktarı kil fraksiyonlarının bir fonksiyonu olup, killi sedimentler kum, kumtaşı ve kireçtaşlarına göre daha fazla Pb içerirler. Topraklarda ortalama Pb içeriği 25 mgkg^{-1} dır. En önemli antropojenik Pb kaynakları endüstriyel emisyonlar ve Pb içeren petrol ürünleridir (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007). Ayrıca, araç egzozları, araç lastikleri (aşınması), fosforlu gübreler, boya üretimi, fren balataları, insektisitler, pil üretim tesisleri, kanalizasyon çamurları da Pb'nin diğer potansiyel antropojenik kaynaklarıdır (Sutherland, 2000).

Kirlenmemiş doğal topraklarda toplam Pb konsantrasyonu $1-20 \text{ mgkg}^{-1}$ arasında değişmektedir. Organik toprakların ortalama Pb içerikleri mineral topraklarınkinden 3 kat daha fazladır. Toprak profilindeki Pb dağılımı derinlikle azalmaktadır. Bunun nedeni de organik maddenin toprak profilinin üst tabakasında daha fazla olması ve Pb'ü tutmasıdır (Yaron ve ark., 1996).

Çinko (Zn)

Çinko periyodik cetvelin II B grubunda yer alan atom numarası 30, atom kütlesi 64.4 olan bir elementtir. Yer kabuğundaki konsantrasyonu $52-80 \text{ mgkg}^{-1}$ arasında değişmektedir. Zn topraklarda $10-300 \text{ mgkg}^{-1}$ gibi geniş sınırlar arasında değişen miktarlarda olup, yaklaşık ortalama içeriği 50 mgkg^{-1} 'dir. En yüksek doğal (background) Zn konsantrasyonu, kireçli ve organik topraklarda saptanmıştır. Tarımsal uygulamalar yüzey topraklarının Zn içeriğini arttırmaktadır. Çinko bir çok toprakta hareketli olmasına rağmen; özellikle nötr ve bazik pH'lı topraklarda, kil fraksiyonu ve organik madde Zn'yu oldukça güçlü tutma yeteneğine sahiptir. Çinko'nun alınabilirliği ve topraktaki davranışı bazı toprak parametreleri tarafından kontrol edilmekte ve bunlar büyük oranda değişmektedir. Silikatlar, karbonatlar, fosfatlar, oksitler ve organik madde toplam metal tutulmasına katkıda bulunmaktadır. Toprak çözeltisinde Zn serbest ve kompleks iyonlar şeklinde bulunur. Katyon olarak Zn^{+2} , $ZnCl^+$, $ZnOH^+$, $Zn(OH)_3^{+1}$, anyon olarak ise ZnO_2^{-2} , $Zn(OH)_3^{-1}$ ve $ZnCl_3^{-1}$ şeklinde bulunur. Başlıca Zn kaynakları Fe içermeyen metal sanayi ve tarımsal uygulamalardır. Bazı gübreler özellikle süper fosfatlar topraklardaki Zn düzeyine önemli katkı sağlamaktadır (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007).

Toprağın toplam Zn içeriği; ana meteryalin yapısına, organik madde, tekstür ve pH'ya bağlıdır. Normal toprakların ortalama Zn içeriği 10-30 mgkg⁻¹ arasında değişmektedir. Topraklardaki Zn'nun antropojenik kaynakları; lastiklerin aşınması, motor yağları ve gres yağı, piller, galvanizleme ve kaplama sanayi, pestisidler, fosforlu gübreler, fren balatası, asfalt ve beton (Sutherland, 2000), çinkolu gübreler, kanalizasyon atıkları ve sanayi kökenli atmosferik tozlardır. Zn'nun topraktaki davranışları toprak pH'sından etkilenmektedir. Toprak pH'sı 7'nin üzerine çıktığında Zn'nun alınabilirliği düşmektedir. Sadece asidik koşullarda Zn çok çözülmektedir (Yaron ve ark., 1996).

Ağır metaller; toprak ortamını, tarımsal üretim veya ürün kalitesini ve yer altı suyu kalitesini etkileyebilmektedir (Bech ve ark., 2005). Şehir merkezlerinde ve endüstriyel alanlardaki birçok toprak Cd, Cu, Mn, Pb ve Zn gibi ağır metalleri, temel düzeydeki konsantrasyonlarından daha yüksek konsantrasyonlarda içermektedir. Bu durum da buralarda antropojenik etkilerin olduğunu göstermektedir (Pichtel ve ark., 1997). Ağır metaller topraklarda ve suda her tarafa dağılmaktadır. Bu nedenle, bu metaller besin zincirini (sebzeler, hayvanlar ve insanlar) etkilemekte (Gil ve ark., 2004) ve bu yolla insanlara ulaşarak ciddi sağlık sorunlarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir.

2.2. Geoistatistik ve Geoistatistik Yöntemlerle Yapılan Ağır Metal Kirliliği Çalışmaları

Geoistatistik, ölçülen herhangi bir özelliğin uzaysal yapısını ve uzaysal bağımlılığını inceleyen ve sayısallaştıran ve buradan elde edilen ilişkiyi kullanarak anılan özelliğin örneklenmemiş noktadaki değerlerini tahmin eden uygulamalı istatistiğin bir koludur (Isaaks ve Srivastava, 1989). Geoistatistiksel yöntemler iki aşamada uygulanmaktadır. İlk aşamada, incelemeye konu olan toprak özelliğinin ölçülen noktaları arasındaki otokorelasyon, yani doğal olarak bulunan uzaysal bağımlılığın derecesi belirlenmektedir. İkinci aşamada ise ileri bir interpolasyon tekniği yardımıyla incelenen özelliğin örneklenmeyen nokta ve alanlardaki değerleri tahmin edilerek dağılım deseni belirlenmeye çalışılmaktadır. Yarivariogramlar uzaysal bağımlılık derecesinin belirlenmesi ve kriging analizi ise interpolasyon aşamasında yaygın olarak kullanılan araçlardır (Öztaş, 1995).

Uzaysal bağımlılık genellikle deneysel yarivariogram kullanılarak tanımlanır. Herhangi bir yarivaryans veri çiftleri arasındaki farklılıktan,

$$\gamma(h) = 1/2N(h)\Sigma[Z_x - Z_{x+h}]^2 \text{ eşitliği ile belirlenmektedir (Lark, 2000).}$$

Yukarıdaki eşitlikte,

$$\gamma(h) = \text{yarivaryansı}$$

h: x ile x+h arasındaki uzaklığı (lag)

Z_x ile Z_{x+h} : x ve x+h noktalarında değişkenlerin ölçülmüş değerleri

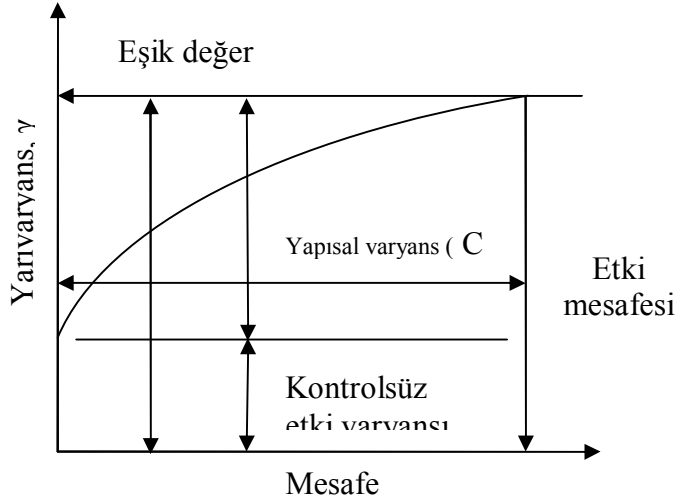
N(h): h ayırma uzaklığındaki veri çifti sayısını belirtmektedir.

Ayırma uzaklıkları, herhangi bir örnekleme desenindeki iki nokta arasındaki uzaklığı belirtmekte olup, jeostatistikte lag olarak adlandırılmaktadır. Belirli bir yöndeki yarivaryans değerleri ile h uzaklıkları arasında oluşturulan grafik yarivariogram veya deneysel variogramı oluşturmaktadır (Şekil 2.1). Genel olarak bir yarivariogramda örnekleme çiftleri arasındaki uzaklık arttıkça yarivaryans değerleri de artmakta ve belirli bir noktadan sonra az ya da çok sabit bir değere ulaşmaktadır. Bu noktadan sonra, yarivaryans örnek çiftleri arasındaki uzaklıktan etkilenmemektedir. İşte yarivaryansın sabit duruma geldiği bu noktadaki yarivaryansa sill varyansı ($C_0 + C$), bu noktadaki uzaklık değeri ise etki aralığını (range, A_0) vermektedir. Etki aralığı, incelenen toprak özelliğinin belirlenen değerlerinin uzaysal olarak bağımlı olabileceği maksimum uzaklığı belirtmektedir. Diğer bir deyişle, bu noktadan sonra incelenen toprak özelliğinin uzaysal bağımlılık göstermediği veya rastgele bir dağılım gösterdiğini belirtmektedir (Goovaerts, 1999).

Deneysel variogramlar belirli sayıdaki lag uzaklıkları için hesaplanır. Sonra bu küresel (spherical), üssel (exponential) ve gaussian modelleri gibi teorik modellerin birine uyar. Bu modeller krigleme enterpolasyonu için girdi parametreleri konusunda olduğu kadar, uzaysal yapı hakkında da bilgi verirler (Liu ve ark., 2006).

Yarivariogram örnek çiftleri arasında sadece uzaklık dikkate alınarak oluşturulduğunda izotropik yarivariogram, uzaklıkla birlikte yön de dikkate alındığında anizotropik yarivariogram olarak adlandırılır (Goovaerts, 2000).

Toprak biliminde jeostatistiğin ana uygulama alanı, örneklenmemiş alanlardaki toprak özelliklerinin tahmin edilmesi ve haritalanmasıdır (Goovaerts, 1999).



Şekil 2.1. Örnek bir yarıvariogram ve bileşenleri

Krigleme, herhangi bir özelliğin ölçüm yapılan noktalardaki uzaysal bağımlılığından yararlanılarak ölçüm yapılmayan noktaların değerinin tahmin edilmesinde objektif ölçüler kullanılan bir enterpolasyon yöntemidir (Liu ve ark., 2008).

Blok kriging ile elde edilen tahmin varyansının, noktasal kriginge göre daha düzgün olduğu ve bu nedenle de toprak özelliklerinin haritalanmasında blok kriging uygulamasının daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Burgess ve Webster, 1980).

Toprak özelliklerinin uzaysal değişiminin Jeostatistik kullanılarak incelenmesi konusundaki çalışmalar 1970' li yıllardan beri hızlı bir şekilde artmaktadır (Liu ve ark., 2008).

Topraklarda etkili yönetim önerileri geliştirmek için, kirleticilerin yersel dağılımının bilinmesi gerekmektedir. Ancak, pratikte karmaşık yersel dağılımlar ve yüksek varyasyon katsayıları nedeniyle ağır metallerle kirlenmiş alanları tanımlamak zordur (Franssen ve ark., 1997). Kirlenmiş alanların belirlenmesinde sıklıkla, örneklenmemiş alanlardaki ağır metal konsantrasyonlarını tahmin eden jeostatistiksel yöntemler kullanılır (Van Meirvenne ve Goovaerts, 2001). Bu yöntemler ya ağır metal konsantrasyonunun ortalama değerinin tahminini veya verilen bir sınır değerini geçme olasılığını değerlendirilmektedir (Cattle ve ark., 2002).

Su ve Yang (2008)'e göre, topraklarda ağır metallerin temel konsantrasyonlarının, bunların yersel dağılım özelliklerinin ve kaynaklarının bölgesel çapta belirlenmesi gerekir. Çünkü, kendine özgü bir toprak tipinde lokal element konsantrasyonları, başka bölgeler için belirlenmiş olan değerlerden daha az veya daha çok olabilir.

Imperato ve ark. (2003) tarafından Nepal’de (İtalya) yapılan bir çalışmada, topraklardaki ağır metallerin yersel dağılımı incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, toplam bakır içeriği toprakların sadece %15’inde, Pb içeriği ise önemli bir kısmında (% 76), İtalya Çevre Bakanlığı tarafından belirlenen sınır değerlerini geçmiştir. Elementlerin dağılım haritası incelendiğinde, yüksek konsantrasyonların daha çok şehrin doğusundaki ağır sanayi ve petrol rafinerilerinin olduğu bölgede bulunduğu görülmüştür. Yine, metallerin toplam konsantrasyonları toprak derinliğine bağlı olarak azalmıştır.

Li ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada; Honkok’un şehir topraklarında metal konsantrasyonları belirlenerek bunların yersel dağılım haritaları oluşturulmuştur. Araştırma sonuçlarına göre topraklardaki ortalama Cd, Co, Cr, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları sırasıyla 0.62, 3.33, 23.1, 23.3, 12.4, 94.6 ve 125 mgkg⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Acosta ve ark. (2006) tarafından İspanya’nın Güneydoğusunda yer alan Murcia şehrinde yapılan bir araştırmada; topraklardaki ağır metal içerikleri belirlenmiş ve metallerin yersel dağılım haritaları oluşturulmuştur. Bu amaçla çalışma alanında endüstriyel ve kentsel alanların dışında 1000 m x 1000 m’lik endüstriyel ve kentsel alanlarda ise 500 m x 500 m şeklinde gridler oluşturulmuştur. Bu gridlerden 221 adet yüzey (0-5 cm) toprak örneği alınmıştır. Böylece toplam 100 km² bir alanda çalışılmıştır.

Coşkun ve ark. (2006) tarafından Trakya bölgesinde yapılan bir çalışmada; birçok elementin konsantrasyonunun endüstriyel ve diğer antropojenik aktivitelerden az etkilendiği görülmüştür. Çalışmada ayrıca, coğrafi bilgi sistemi (GİS) teknolojisi kullanılarak bölgenin As, Cd, Cr, Ni, Pb ve Zn dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Yine, İspanyanın Güneydoğusunda Martinez-Martinez ve ark. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, volkanik tepelerin topraklarındaki ağır metallerin yersel dağılımı belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, en yüksek Pb, Mo ve Cd konsantrasyonları tepelerin doğu kısımlarında belirlenmiştir. Buna karşın en fazla Mn, Co, Ni ve Zn konsantrasyonlarına tepelerin güney kısımlarında rastlanılmıştır.

Güneydoğu Çin’in tarımsal alanlarında yapılan bir çalışmada, 224 yüzey toprak örneğinde Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Hg, As ve Co’nun toplam konsantrasyonlarının sırasıyla 15.3-78.4, 20.1-41.4, 55.0-224.4, 0.04-0.24, 54.9-197.1, 0.03-0.61, 3.44-15.28 ve 7.17-

19.0 mgkg⁻¹ arasında olduğu belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca bu elementlerin yersel dağılım özellikleri belirlenmiştir. Bu elementler için yarıvariogram değerleri Cu, Pb, Zn, Cd ve Cr için üssel; Hg, As ve Co için ise küresel olarak belirlenmiştir. Tüm elementler için etki aralığı değerleri ise 3270-60090 metre arasında değişmiştir. Bu elementler arasında istatistiksel açıdan 0.05 ve 0.01 düzeyinde önemli ilişkiler saptanmıştır (Wu ve Zhang, 2009).

Zhang ve ark. (2009) tarafından Çin'in Fuyang bölgesinde yapılan bir çalışmada, 286 noktadan alınan yüzey toprak örneklerinde toplam Cu, Zn, Pb ve Cd, Ni konsantrasyonları belirlenmiş ve jeostatistiksel yöntemlerle elementlerin dağılım haritaları oluşturulmuştur. Araştırma sonuçlarında, Cu Zn ve Pb elementlerinin çalışma alanında benzer dağılım gösterdiği, Cd ve Ni'in ise bu üç elementten farklı bir dağılımı sahip olduğu görülmüştür. Yine, yapılan istatistik analizleri, Cu, Zn, Pb ve Cd konsantrasyonlarının dış faktörlerce, Ni konsantrasyonunun ise doğal faktörlerce kontrol edildiğini göstermiştir.

Brezilya'da yapılan bir çalışmada São Paulo eyaletinin güney kıyı bölgesindeki 572 km²'lik alanda ağır metallerin dağılım haritalarını oluşturmak amacıyla rastgele seçilmiş 123 noktadan yüzey (0-20 cm) toprak örneği alınmıştır. Bu örneklerdeki ortalama toplam Ni içeriği 15.18 mgkg⁻¹, Zn içeriği 151.1 mgkg⁻¹, Pb içeriği 93.17 mgkg⁻¹ ve Cu içeriğinin 48.87 mgkg⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu elementlerin varyasyon katsayıları (VK) Ni, Zn, Pb ve Cu için sırasıyla % 50.3, % 55.3, % 18.1 ve % 65.2 olarak belirlenmiş ve bütün elementlerin istatistiksel yönden normal dağılım göstermediği saptanmıştır. Yine, her dört element içinde en uygun yarıvariogram modelinin üssel olduğu ve elementlerin etki aralığı değerlerinin ise 600-900 metre arasında değiştiği belirlenmiştir. Bütün elementlerin Nugget/Sill oranları 0.36'dan daha küçük, r² değerlerinin ise 0.3 ile 0.85 arasında olduğu belirlenmiştir (Lourenço ve ark., 2010).

Hırvatistan'da yapılan bir çalışmada, Istriyan yarımadası topraklarında ağır metallerin ana materyalden kaynaklanan içerikleri belirlenmiştir. Bu amaçla, 5 x 5 km boyutlarında oluşturulan gridlerin kesim noktalarından kireçtaşı ve dolomit üzerinde oluşmuş topraklardan 108, kireçli marn üzerinde oluşmuş topraklardan ise 27 olmak üzere toplam 135 noktadan ve 0-25 cm derinlikten toprak örnekleri alınarak analiz edilmiştir. Çalışma sonunda kireçtaşı ve dolomit üzerinde oluşmuş topraklarda ortalama

toplam Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn ve Fe içerikleri sırasıyla 19.03, 128.08, 30.58, 970.4, 80.67, 40.81, 97.10 mgkg⁻¹ ve % 4.10; kireçli marn üzerinde oluşmuş topraklarda ise bu değerler sırasıyla 15.85, 104.81, 34.78, 940.22, 81.22, 21.11, 42.89 mgkg⁻¹ ve % 2.99 olarak belirlenmiştir (Peh ve ark. 2010).

Kuzey Çin'in metropolitan bölgesinde yapılan bir çalışmada, topraklarda yedi ağır metalin (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb ve Zn) konsantrasyonları belirlenerek bunların bölgesel dağılım haritaları oluşturulmuş ve bu elementlerin sağlık açısından potansiyel riskleri Çin'in topraklar için çevresel kalite standartlarına göre değerlendirilmiştir. Bu amaçla çalışma alanındaki 458 noktadan yüzey (0-20 cm) toprak örnekleri alınmıştır. Harita yapımında kullanılmak üzere, GPS aleti ile bu noktaların koordinatları da belirlenmiştir. Araştırma sonucunda topraklardaki ortalama toplam As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb ve Zn içerikleri sırasıyla 7.9, 0.145, 52.3, 28.2, 0.092, 18.7 ve 71.0 mgkg⁻¹ olarak saptanmıştır. Topraklardaki As konsantrasyonu doğal, Hg konsantrasyonu ise antropojenik faktörler tarafından kontrol edilmektedir. Diğer metallerin (Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn) ise hem doğal hem de antropojenik orijinli olduğu saptanmıştır (Qiao ve ark., 2010).

Güneybatı Çin'de yapılan bir çalışmada, Yilong Gölü civarındaki tarım kültürü altında bulunan yaş topraklarda bazı ağır metallerin kirlilik düzeyi incelenmiştir. Çalışmada Yilong Gölü etrafında 4 farklı yönde ve 1 referans alanda rastgele seçilen 120 noktadan alınan toprak örneklerinde toplam As, Cr, Cu, Pb ve Zn içerikleri belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, ağır metallerin kuzey ve batı yönlerindeki konsantrasyonları referans alandaki topraklarınkinden istatistiksel yönden anlamlı olarak (P<0.01) daha büyük bulunmuştur. Yine, bu elementlerin genellikle kuzey ve doğu yönlerindeki konsantrasyonları, diğer yönlerinkinden daha düşük bulunmuştur. Kuzey yöndeki As ve Cr konsantrasyonları dışında bütün ağır metallerin ortalama konsantrasyonlarının, toprak kalitesi kriterlerinin biraz üzerinde olduğu belirlenmiştir. As, Cu, Pb ve Zn'nun kuzey ve batı yönlerindeki konsantrasyonları düşük kirlilik düzeyinde değerlendirilirken güney ve doğu yönlerindeki konsantrasyonları kirlilik düzeyinin altında kalmıştır (Bai ve ark., 2010).

Karanlık ve ark. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, Jeostatistik yöntemlerle Amik ovası topraklarında ağır metallerin yersel dağılımı belirlenmiştir. Çalışmada 132 farklı noktadan alınan yüzey (0-20 cm) ve yüzey altı (20-40 cm) toprak

örneklerinde toplam ve bitkilerce alınabilir Cd, Co, Ni ve Pb içerikleri belirlenmiş ve bunların dağılım haritaları oluşturulmuştur. Nikel dışındaki diğer ağır metallerin toplam konsantrasyonlarının izin verilebilir sınırlar içerisinde olduğu, Ni içeriğinin ise iki toprak katmanında da yüksek olduğu saptanmıştır. Bütün ağır metaller için en uygun yarıvarioqram modeli küresel olarak belirlenmiştir.

İslamad'da (Pakistan) yapılan bir çalışmada, üç farklı arazi kullanımında olan yüzey topraklarında, Fe, Cd, Co, Ni, Pb ve Zn'nin toplam konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca kentsel gelişme tarafından etkilenen üst topraklardaki olası kirlilik kaynakları belirlenmiştir. Yine GIS haritalama teknikleri kullanılarak ağır metallerin yersel dağılım deseni belirlenmiştir. Araştırma sonucunda, ortalama Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları sırasıyla; 0-8.4, 1.2-32.7, 1.1- 33.4, 24.40-74.78, 45.4-193.9, 81-338 ve 740-3255.9 mgkg⁻¹ arasında değişmiştir. Ayrıca, Fe, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonlarının antropojenik kaynaklı olduğu belirlenmiştir (Ali ve Malik, 2010).

Maas ve ark. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, şehir ve tarım topraklarında ağır metal konsantrasyonlarının yersel dağılımı araştırılmıştır. Çalışmada 1x1 km aralıklarla oluşturulan toplam 101 gridin kesim noktasından, 5-20 cm derinliğinden alınan toprak örneklerinde Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn analizleri yapılmış ve bu elementlerin çalışma alanındaki dağılım haritaları oluşturulmuştur. Analiz sonuçlarına göre, ortalama Cd içeriği 0.44, Cr 30.9, Cu 39.0, Pb 53.1 ve Zn 67.5 mgkg⁻¹ olarak bulunmuştur.

Shaanxi'de (Çin) yapılan bir çalışmada, altın madeni çıkartılan bir alanda Hg, Cu, Pb ve As metallerinin toplam konsantrasyonlarının yersel dağılımının ve metallerin ana kaynaklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışma alanındaki 133 nokta ve 0-15 cm derinlikten sistematik grid yöntemi ile toprak örnekleri alınarak analiz edilmiş ve elementlerin dağılım haritaları oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda, topraklardaki Hg ve Cu'nun çalışma alanının doğu kısmında yüksek, kuzeybatı kısmında düşük olduğu belirlenmiştir. Yine, toprakların tüm metallerce kirlendiği saptanmıştır (Wu ve ark. 2010).

2.3. Diğer Yöntemlerle Yapılan Ağır Metal Kirliliği Çalışmaları

Munzuroğlu ve Gür (2000) tarafından Elazığ'da yapılan bir çalışmada Hg, Zn, Ni, Co, Pb ve Cd'nin elmada polen çimlenmesi ve tüp büyümesi üzerine etkisi

incelenmiştir. Sonuçlara göre; ağır metallerin tamamı polen çimlenmesini ve tüp büyümesini önemli ölçüde azaltmıştır.

Kore'nin merkez bölgelerinde tarım topraklarının kirliliği üzerine yapılan bir çalışmada; ortalama Cd konsantrasyonu 0.118-0.146, Pb konsantrasyonu 4.932-6.078, Hg konsantrasyonu 0.045-0.110, Cu konsantrasyonu 2.823-3.501 ve Zn konsantrasyonu 4.694- 7.818 mgkg⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir (Kim ve Kim, 1999).

Antakya-Topboğazi arasındaki karayolu civarında yapılan bir çalışmada, karayolu çevresindeki topraklarda trafik kaynaklı ağır metal kirliliğinin boyutları araştırılmıştır. Çalışma sonunda topraklardaki toplam Cd, Pb ve Ni içeriklerinin sırası ile 1.64-3.95, 0.59-10.79 ve 19.5- 407.9 mgkg⁻¹ arasında, bitkilerce alınabilir Cd, Pb ve Ni içeriklerinin ise 0.09-0.28, 0.09-0.76 ve 0.13-1.64 mgkg⁻¹ arasında değiştiği belirlenmiştir (Ağca ve Doğan, 2000).

Manta ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada, Polermo'daki (İtalya) topraklarda ağır metal içerikleri ile bunların kaynakları belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, topraklardaki Pb, Zn ve Cu değerlerinin antropojenik etkiler nedeniyle yüksek olduğu, antropojenik etkilerden özellikle yoğun taşıt trafiğinin önemli bir kaynak olduğu belirlenmiştir.

Sponza ve Karaoğlu (2002) tarafından Aliğa Metal Sanayi bölgesinde yapılan bir çalışmada, metal konsantrasyonlarının sanayi tesislerinden uzaklaştıkça hızlı bir şekilde azaldığı görülmüştür. Yine, ağır metallerin içeriği toprak derinliğine bağlı olarak azalmıştır.

Antalya'da Güvenç ve ark. (2003) tarafından yapılan bir çalışmada; yerleşim yerleri ve endüstri alanlarında ağır metallerin dağılımı incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; şehrin çoğu yerinde ve etrafındaki kırsal bölgede toprakların bileşiminde önemli bir antropojenik etki görülmemiştir. Buna karşın, yerleşim yerlerine ve sanayi tesislerine yakın bölge topraklarının bileşimi önemli ölçüde değişmiştir. Bu topraklardaki Cd, Pb, Zn, Cu ve Cr gibi elementlerin konsantrasyonu, antropojenik etkilerle bozulmamış topraklarınkinden 20-50 kat fazla bulunmuştur.

Akçay ve ark. (2003) tarafından yapılan bir çalışmada Türkiye'nin ekonomik olarak en önemli nehirlerden ikisi olan Gediz ve Büyük Menderes Nehir sedimentlerinin kirlilik düzeyi araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre Gediz ve Büyük Menderes

Nehir sedimentlerinde Ni konsantrasyonu 101-129 mgkg⁻¹ ve 168-418 mgkg⁻¹, Cu konsantrasyonu 108-152 mgkg⁻¹ ve 130-150 mgkg⁻¹; Mn konsantrasyonu 480-550 mgkg⁻¹ ve 380-420 mgkg⁻¹; Co konsantrasyonu 32-40 mgkg⁻¹ ve 30-38 mgkg⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Çiçek ve Koparal (2004) tarafından Tunçbilek Termik Santrali (Tavşanlı) etrafında yapılan bir çalışmada, baca gazları ve küllerde bulunan ağır metallerin toprak ve bitkilerdeki birikimi araştırılmıştır. Araştırma sonucunda; toprakların çoğunda Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni ve Zn konsantrasyonları kritik değerlerin üzerinde bulunmuştur.

Martley ve ark. (2004) tarafından Kembla (Avustralya) limanındaki endüstriyel kompleksler ve bakır madeni civarındaki topraklarda metal konsantrasyonları araştırılmıştır. Bu amaçla yüzey (0-5 cm) ve yüzey altından (5-20 cm) toprak örnekleri alınarak As, Cr, Cu, Pb ve Zn analizleri yapılmıştır. Bu elementlerin 0-5 cm derinlikteki ortalama doğal (background) içerikleri sırasıyla 3.2, 12, 49, 20 ve 42 mgkg⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Topraklardaki Pb ve Zn dışında elementlerin konsantrasyonlarının derinlikler arasındaki farklılıkları istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Yine, 0-5 cm derinlikte Cu ve As dışındaki metallerin konsantrasyonları bölgenin jeolojisinden önemli ölçüde etkilenmediği belirlenmiştir.

Senwo ve Tazisong (2004) tarafından kuzey Albama'da (Amerika) yapılan bir çalışmada, topraklardaki toplam Cu, Fe, Mn, Ni, Zn, Cd, Cr ve Pb konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışma sonunda anılan elementlerin topraklarda bulunuş sırasının çoktan aza doğru Fe > Mn > Zn > Cr > Ni > Cu > Pb > Cd şeklinde olduğu belirlenmiştir.

Âmini ve ark. (2005) tarafından Isfahan'da (İran) yapılan bir çalışmada, 6800 km²'lik bir alandaki topraklarda ortalama Cd, Pb, Zn, Cu ve Co konsantrasyonları sırasıyla 25.6, 1.73, 4.58, 16.74 ve 11.81 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında endüstriyel aktivitelerin olduğu yerlerde Zn, Cu ve Co konsantrasyonları kritik değerlerin üzerinde bulunmuştur.

Şam'da yoğun olarak tarım yapılan topraklarda bazı ağır metallerin (Co, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn) konsantrasyonları, yersel dağılımları ve bunların topraklarda kirlilik durumları belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre üst topraklardaki (0-20 cm) Pb, Cu ve Zn konsantrasyonlarının antropojenik aktivitelere bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Ayrıca Şam'da, ağır metallerin en önemli kirlilik kaynağının taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar olduğu ve ağır metallerin şehir merkezlerindeki konsantrasyonunun kırsal

alanlarınkinden anlamlı miktarda arttığı belirlenmiştir. Yine yüzey topraklarındaki Pb, Cu ve Zn konsantrasyon artışının alt topraklarınkinden daha fazla olduğu belirlenmiştir (Möller ve ark., 2005).

Arslan ve Gizir (2006) tarafından Mersin’de yapılan bir çalışmada, şehir merkezindeki farklı alanların yol kenarlarından alınan toprak örneklerinde Pb, Ni, Cd, Zn, ve Cu konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışmada yol kenarındaki topraklarda Pb, Ni, Cd, Cu ve Zn konsantrasyon değerleri sırasıyla 183, 120, 3.4, 55 ve 20 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Ayrıca, yollardan geçen araç sayısı ile metal konsantrasyonu arasında önemli korelasyon bulunmuştur.

Tume ve ark. (2006) tarafından Sant Climent’deki (Katalonya, İspanya) doğal toprakların yüzey katmanlarında yapılan bir çalışmada, toprakların ağır metal konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışmada ağır metallerin bulunma sırasının fazladan aza doğru $\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Cu}$ şeklinde olduğu görülmüştür.

Nijerya’nın güneydoğusunda terk edilmiş bir maden alanı civarındaki toprakların Cd, Pb, Zn, Cd, Ni ve As içerikleri belirlenmiş ve bunlar için toprakların kirlilik indeksi oluşturulmuştur. Araştırma sonuçlarına göre; çalışma alanında Cu toksisitesi olmayıp tersine kirlilik indeksi 0.08 ile 0.12 arasında olan alanlarda Cu yetersizliği olduğu görülmüştür. Buna karşın maden alanı civarındaki toprakların çoğunda Pb, Zn ve Cd kirliliği saptanmıştır (Ezeh ve ark. 2008).

Yunanistan’da yapılan bir çalışmada; orman, tarımsal ve endüstriyel alanlardaki yüzey toprak örneklerinde bazı ağır metallerin kirlilik dereceleri belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; bitkilerce alınabilir Cd, Cr, Cu, Pb, Zn içeriklerinin endüstriyel topraklarda en yüksek, orman topraklarında ise en düşük olduğu belirlenmiştir (Golia ve ark., 2008).

Tecate Nehri’nin (Meksika) sedimentlerindeki ağır metallerin incelendiği bir çalışmada bu metallerin içeriği belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; iki örnekleme noktasında da Cr, Cd, Pb ve Ni’in kirlilik düzeyine ulaştığı ve dolayısıyla burada antropojenik aktivitelerin olduğu görülmüştür. Bu ağır metallerin Tecate Nehrinde kentsel ve endüstriyel kaynaklı olduğu saptanmıştır (Wakida ve ark., 2008).

Güneybatı İspanya’da terk edilmiş maden alanı civarından ve maden ocağına bitişik tarım kültürü altındaki bölgeden sırasıyla 26 ve 6 adet toprak örneği alınmış ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, maden ocağı civarındaki

toprakların ağır metal içeriğinin tarım topraklarında saptanandan 2 kat yüksek olduğu belirlenmiştir (Fernandez-Caliani ve ark. 2009).

Avustralya’da yapılan bir çalışmada, kurşun ve çinko sanayii etrafındaki, uzun yıllar kirlenmiş olan topraklarda, Cu, Zn, Cd ve Pb elementlerinin toplam ve bitkiler tarafından alınabilir konsantrasyonları belirlenmiştir. Çalışma alanından alınan birçok toprak örneğindeki ağır metal konsantrasyonları, Avustralya’da kullanılan sınır değerlerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu elementlerin alınabilirliğini organik madde etkilemezken, pH; Cd, Pb ve Zn alınabilirliğini en fazla kontrol eden faktör olmuştur. Diğer yandan, çalışılan bütün ağır metallerin alınabilirliği toprak pH’sı arttıkça azalmıştır. Çalışma alanında birincil kirletici olan Pb’un konsantrasyonunun örneklerin % 66’sında 300 mgkg^{-1} olan limit değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir (Kim ve ark., 2009a).

Khairiah ve ark. (2009) tarafından Malezya’nın iki farklı bölgesinde yapılan bir çalışmada, topraklardaki ağır metal kirliliğinin düzeyi, bitkilerce alınabilirliği ve metal birikimini etkileyen faktörler incelenmiştir. Çalışma alanında ağır metallerin toplam konsantrasyonunun çoktan aza doğru $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cd}$ şeklinde olduğu belirlenmiştir. Yine, çalışma alanındaki elementlerin konsantrasyonlarında geniş varyasyonların olduğu saptanmıştır.

Karadeniz Bölgesinde Sürmene, Çayeli, Tunca, Of ve Hopa’dan olmak üzere 5 farklı yerden, iki farklı dönemde alınan toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonları araştırılmıştır. Çalışmada topraklardaki en yüksek Cu ($995,9 \text{ mgkg}^{-1}$), Zn ($334,1 \text{ mgkg}^{-1}$), Pb ($101,1 \text{ mgkg}^{-1}$), As ($292,6 \text{ mgkg}^{-1}$) ve Co ($59,1 \text{ mgkg}^{-1}$) konsantrasyonu Sürmene bölgesinde görülmüştür. En yüksek Mn konsantrasyonu ($3,107 \text{ mgkg}^{-1}$) ise Hopa bölgesinde belirlenmiştir (Yaylalı-Abanuz ve Tüysüz, 2009).

Morton-Bermea ve ark. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, Meksika’nın kentsel alanlarındaki yüzey topraklarında antropojenik aktivitelerin önemli ölçüde etkili olduğu ve topraklardaki Pb, Cu ve Zn içeriklerine endüstriyel katkının araç emisyonlarından daha az olduğu saptanmıştır .

Makedonya’da çeltik alanlarının yüzey (0-20 cm) topraklarında yapılan bir çalışmada, potansiyel olarak toksik olan As, Cd, Cu, Pb ve Zn’nun toplam konsantrasyonları belirlenmiş ve bu değerler Slovenya Ulusal Çevre Koruma Ajansı tarafından adapte edilen ağır metallerin izin verilebilir değerleri ile Federal Almanya

Çevre Bakanlığı tarafından önerilen iz elementlerinin tarım alanlarında izin verilebilir maksimum değerleriyle kıyaslanmıştır. Çalışmada bu elementlerin kuvvetliden zayıfa doğru kirlilik sıralaması $Pb > As > Cd > Zn > Cu$ şeklinde belirlenmiştir. Ayrıca bu elementlerin çeltik topraklarında potansiyel hareketliliği $As < Cu < Pb < Zn < Cd$ şeklinde artmıştır. Çalışma konusu topraklarda As, Cd, Cu, Pb ve Zn'nin toplam konsantrasyonlarının sırasıyla 8.3-42, 0.2-5.6, 26-125, 24-400 ve 100-1134 $mgkg^{-1}$ arasında olduğu saptanmıştır (Rogan ve ark., 2009).

Yixing'de (Çin) yapılan bir çalışmada, topraklardaki Cd, Cu, Ni, Pb ve Zn'nin 1980-2006 yılları arasında yıllık birikimlerinin sırasıyla % 0.91, % 0.94 % 1.42, % 1.39, % 1.34 ve % 1.86 olduğu belirlenmiştir (Wu ve ark., 2009).

İran'ın Hamadan kentinde yapılan bir çalışmada, yüzey (0-20 cm) topraklarında ve bu topraklarda yetişen bitkilerdeki Fe, Mn, Zn ve Cu içerikleri belirlenmiştir. Topraklardaki ortalama toplam Fe içeriği 32466.4, Mn içeriği 459.5, Zn içeriği 1955.5 ve Cu içeriği 488.4 $\mu g g^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Nouri ve ark., 2009).

Kore'de yapılan bir çalışmada, Kumho nehir sedimentlerindeki ağır metallerin dağılımı ve kaynakları araştırılmıştır. Bu amaçla nehir boyunca 5-10 km aralıklarla alınan yüzey (0-10 cm) sediment örneklerinde toplam Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn'nin konsantrasyonları belirlenmiştir. Cr dışında bu ağır metallerin konsantrasyonları genellikle diğer nehir sedimentleri ve dünya ortalamasından daha yüksek bulunmuştur. Örneğin Cd konsantrasyonu diğer ağır metal konsantrasyonlarına göre oransal olarak düşük olmasına rağmen yine de dünya ortalamasından 3.5-17 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada belirlenen Cu, Pb ve Zn konsantrasyonları da dünya ortalamasından 1.5-7.25 kat daha yüksek bulunmuştur. Yine, araştırma sonuçlarına göre EPA'nın limit değerleri ile kıyaslandığında birçok sediment örneğinin kirlendiği belirlenmiştir. Sedimentlerdeki ortalama ağır metal konsantrasyonları büyükten küçüğe doğru $Zn > Pb > Cu > Ni > Cr > Co > Cd$ şeklinde sıralanmasına rağmen, bunların jeobirikim değerlerine göre kirlilik düzeyleri ise $Pb > Cd > Zn > Cu > Co = Cr > Ni$ şeklinde sıralanmıştır. Ortalama ağır metal konsantrasyonları temel alındığında Kumho nehrinin sedimentleri EPA kriterlerine göre çok kirlenmiş olarak sınıflandırılmıştır (Kim ve ark., 2009b).

Kuzey İtalya'da yapılan bir çalışmada, topraktaki bazı ağır metallerin alınabilirliği, hareketliliği, insanlara geçişi ve toprak özellikleri ile ilişkileri

incelenmiştir. Bu amaçla tarım alanlarından 25, yerleşim yerlerinden 31 adet toprak örneği alınarak, bunların bazı özellikleri ve bazı ağır metallerin (Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn) toplam, bitkilerce alınabilir, insanlara ulaşabilen ve kolayca hareket edebilen fraksiyonları belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; Cu, Pb ve Zn'nin tarım ve yerleşim alanlarındaki konsantrasyonları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur. Diğer yandan, Cr ve Ni konsantrasyonlarının arazi kullanımına bağlı olmadığı belirlenmiştir (Poggio ve ark., 2009).

Bejing'de (Çin) yapılan bir çalışmada, sanayi alanlarındaki topraklarda Cd, Cu ve Pb'un konsantrasyonları ve dağılımları incelenmiştir. Yüzey (0-10 cm) topraklarındaki ortalama Cd konsantrasyonu, bu elementin bölgedeki doğal konsantrasyonundan daha düşük bulunmuştur. Oysa, Cu ve Pb'un konsantrasyonu, bu elementlerin bölgedeki doğal konsantrasyonundan istatistiksel olarak anlamlı miktarda yüksek bulunmuştur. Yine, bütün toprak profillerinde Cd, Cu ve Pb'un konsantrasyonlarının toprak derinliğine bağlı olarak azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir (Luo ve ark., 2009).

Bangladeş'in Faridbur ve Dhamrai bölgelerinin taşkın ovalarının tarımsal alanlarında iz elementlerin (Cu, Ni, Zn, Cr, Cd, Pb, Co, Fe ve Mn) dağılımı araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre her iki bölgedeki toprakların ortalama Cu, Cr ve Co konsantrasyonları Almanya ve dünya standart değerlerinden daha yüksek bulunmuştur (Ahsan ve ark., 2009).

Hangzhou şehrinde (Doğu Çin) yapılan bir çalışmada, 4'ü kırsal 4'ü de kentsel kesimden olmak üzere 8 bölgede Cd, Cu, Cr, Pb ve Zn'nin konsantrasyonları araştırılmıştır. Topraklardaki bu ağır metallerin konsantrasyonlarının şehir merkezinden uzaklaştıkça azaldığı belirlenmiştir. Şehir merkezlerinde ağır metallerden özellikle, Cd ve Zn'nin antropojenik etkilerle arttığı belirlenmiştir (Lu ve ark., 2009).

Çin'in Sichuan şehrinde demiryolu etrafındaki farklı topografyaya sahip 3 alandaki topraklarda ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla demiryolunun doğu tarafında oluşturulan kesit üzerinde 2, 10, 25, 50, 100 ve 150 metre uzaklıklarda oluşturulan örnekleme noktalarından toplam 57 yüzey toprak örneği alınmıştır. Bazı topraklardaki Cu, Cd ve Zn konsantrasyonları Çin Çevre Koruma Ajansı tarafından kirlenmemiş topraklar için belirlenen kalite standart değerlerini geçmiştir. Yersel doğal değerlerle kıyaslandığında en yüksek zenginleştirme faktörü

(ZF) Cu, Mn, Zn, ve Cd için sırasıyla 2.7, 3.4, 3.7 ve 7.7 olarak hesaplanmıştır (Liu ve ark., 2009).

Yunanistan'ın Syros adasının kentsel ve kırsal alanlarında yapılan bir çalışmada, topraklarda Zn, Cu, Fe, Pb, Ni, Cr ve Sn'nin toplam ve bitkilerce alınabilir konsantrasyonları araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre kentsel toprakların toplam Zn, Pb ve Cu konsantrasyonları, kırsal alandaki topraklarınkinden daha yüksek bulunmuştur. Yine kentsel toprakların Zn, Pb ve Cu içerikleri dünyadaki kirlenmemiş topraklar için belirlenen referans değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Kentsel topraklarda Zn, Ni, Pb, Cu, Fe ve Cr'nin bitkilerce alınabilir konsantrasyonlarının toplam konsantrasyonlarına oranı sırasıyla % 3.8, % 2, % 12, % 11, % 4 ve % 5 olarak hesaplanmıştır (Massas ve ark., 2009).

Madrid'in (İspanya) kuzey batısında yapılan bir çalışmada, terk edilmiş maden ocakları etrafındaki topraklarda bazı ağır metallerin (Fe, Mn, Cu, Zn ve Cd) dağılımı ve hareketliliği incelenmiştir. Madencilik aktivitelerinden etkilenen topraklarda Cd, Cu ve Zn konsantrasyonları toksiklik sınırının üzerinde bulunmuştur. Bu elementlerin aynı zamanda madencilikten etkilenen ve etkilenmeyen topraklardaki içerikleri istatistiksel yönden anlamlı olarak ($P < 0.001$) farklı bulunmuştur (Moreno-Jiménez ve ark., 2009).

Guangzhou (Çin) şehrinde petro kimya tesislerinin yakınlarındaki topraklarda ağır metallerin dağılımı araştırılmıştır. Bu amaçla 2007 yılında çalışma alanındaki 50 farklı noktadan toplam 70 toprak örneği alınarak analiz edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; üst topraklardaki ortalama Zn, Cu, Pb, Cd ve Hg içerikleri daha yüksek As içeriği ise daha düşük bulunmuştur. Yine, Zn, Cu, Pb, Cd ve Hg'nin sırasıyla % 92, % 64, % 64, % 58 ve % 64'ünün konsantrasyonları, doğal değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, metallerin kendi aralarında yapılan korelasyon analizlerinde 0.05 ve 0.01 düzeyinde önemli ilişkiler belirlenmiştir. Petrokimya tesislerinden 1300 metreye kadar olan uzaklığında bu elementlerin konsantrasyonlarında önemli bir değişiklik saptanamamıştır. Diğer yandan, bu elementlerin profil içerisindeki konsantrasyonları toprak derinliğinin artışına bağlı olarak sistematik bir şekilde azalmıştır (Li ve ark., 2009).

Sırbistan'da yapılan bir çalışmada, üst topraklardaki bazı ağır metallerin konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu metallerin konsantrasyonları $Mn > Zn > Ni > Pb > Cu > Cd$ şeklinde azalan bir sıralama izlemiştir. Bu element konsantrasyonlarının

çarpıklık katsayılarına göre; kadmiyum ve çinko dışındaki elementler çalışma alanında normal dağılım göstermemiştir (Dragović ve Mihailović, 2009).

Atafar ve ark. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, gübrelemenin buğday kültürü altındaki topraklarda Cd, Pb ve As konsantrasyonuna etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla topraklara farklı bileşim ve miktarlarda azotlu, fosforlu ve mikro element gübrelere uygulanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; en fazla Cd konsantrasyonunun triple süperfosfat ve karışık gübre uygulaması yapılan parsellerde, en fazla Pb ve Pb konsantrasyonlarının ise çinko sülfat gübresinin uygulandığı parsellerde olduğu ve ayrıca tüm gübre uygulamalarının topraklardaki her üç metal konsantrasyonlarını da önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir.

Mısır'ın Maharashtra bölgesinde yapılan bir çalışmada, topraklardaki ağır metal konsantrasyonları belirlenmiş ve bu değerler İsveç'te kirlenmiş topraklar için verilen sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, As, Ni, Hg ve Cd konsantrasyonlarının sınır değerlerinin üzerinde, diğer metal konsantrasyonlarının ise sınır değerlerinin altında olduğu belirlenmiştir. Yine, yerleşim yerleri, ticari ve sanayi alanlarındaki topraklarda yoğun bir As, Cd, Hg ve Ni kirlenmesi olduğu görülmüştür (Bhagure ve Mirgane, 2010).

Cesar ve ark. (2010) tarafından Brezilya'nın Güney Minas Gerais eyaletinde yapılan bir çalışmada, eski bir altın üretim alanında yer alan topraklardaki Hg, Cu ve Zn metallerinin potansiyel hareketliliği ve bitkilerce alınabilirliği incelenmiştir. Araştırma sonucunda, her üç elementin de toplam konsantrasyonlarının Brezilya'da kullanılan referans değerlerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca, bu elementlerin bitkilerce alınabilir konsantrasyonlarının toplam konsantrasyonlarına göre oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Yine, Cu ve Zn metallerinin hareketliliğinin topraktaki Fe ve Al konsantrasyonları tarafından güçlü bir şekilde kontrol edildiği belirlenmiştir.

Çin'de yapılan bir çalışmada, Whuan'ın Yangtze nehrinin havzasındaki sedimentlerde bazı ağır metallerin (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ve Zn) birikimi ve dağılımı incelenmiş ve ayrıca bu ağır metallerin ekolojik açıdan potansiyel riskleri değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda, ağır metallerin çoğunun (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn) ortanca değeri, Whuan'daki toprakların doğal içeriklerinin ve ekolojik açıdan kirlilik sınırının üzerinde olduğu saptanmış ve bu nedenle de bu bölgede ağır metal kirliliği oluşturduğu belirtilmiştir (Wang ve ark., 2010).

Lakshadweep takımadalarından (Hindistan) altı tanesinde yapılan bir çalışmada, bu adalardaki sedimentlerde bazı ağır metallerin (Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn ve Fe) konsantrasyonlarının yersel dağılım karakteristikleri belirlenmiştir. Araştırma sonunda, Pb, Zn ve Cd'un konsantrasyonlarının kirlilik sınırlarının üzerinde olduğu belirlenmiştir. Kirliliğin insan aktiviteleri sonucu olduğu ve bu aktivitelerden de tarımın, özellikle de Hindistan cevizi yetiştiriciliğinde kullanılan gübrelerin, büyük oranda etkili olduğu saptanmıştır. Araştırma alanında fazla sayıda sanayi tesisi bulunmadığı için, sanayinin ağır metal kirliliğine etkisi en az düzeyde olmuştur. İnsan aktivitesinden kaynaklanan kirliliğin, bir ada dışında, nüfus artışına bağlı olarak arttığı da belirlenmiştir (Gopinath ve ark., 2010).

Doğu Çin'de yapılan bir çalışmada Nansihu Gölü sedimentlerinde metallerin yersel ve zamansal değişimi incelenmiş ve ayrıca metal kirliliğinde doğal katkıların yanı sıra, antropojenik kirliliğin etkisi de araştırılmıştır. Yüzey sedimentlerinde incelenen elementlerin kayalardan geldiği tam olarak saptanamamıştır. Yine, alttaki sedimentlerde metaller için tipik iki farklılık bulunmuştur. Toprakların 0-8 cm derinliğindeki Zn, Ni, Cu, Cr, Mg, K, Fe ve Al içerikleri, 8 cm altındaki derinliklere göre daha düşük bulunmuştur (Liu ve ark., 2010).

Pazi (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, Doğu Ege bölgesinde Çandarlı körfez sedimentlerinin Mn, Ni, Cu, Zn, Pb ve Cr konsantrasyonlarının sırasıyla 173-1423, 8-100, 3-46, 55-119, 16-138 ve 11-37 mgkg⁻¹ arasında olduğu belirlenmiştir.

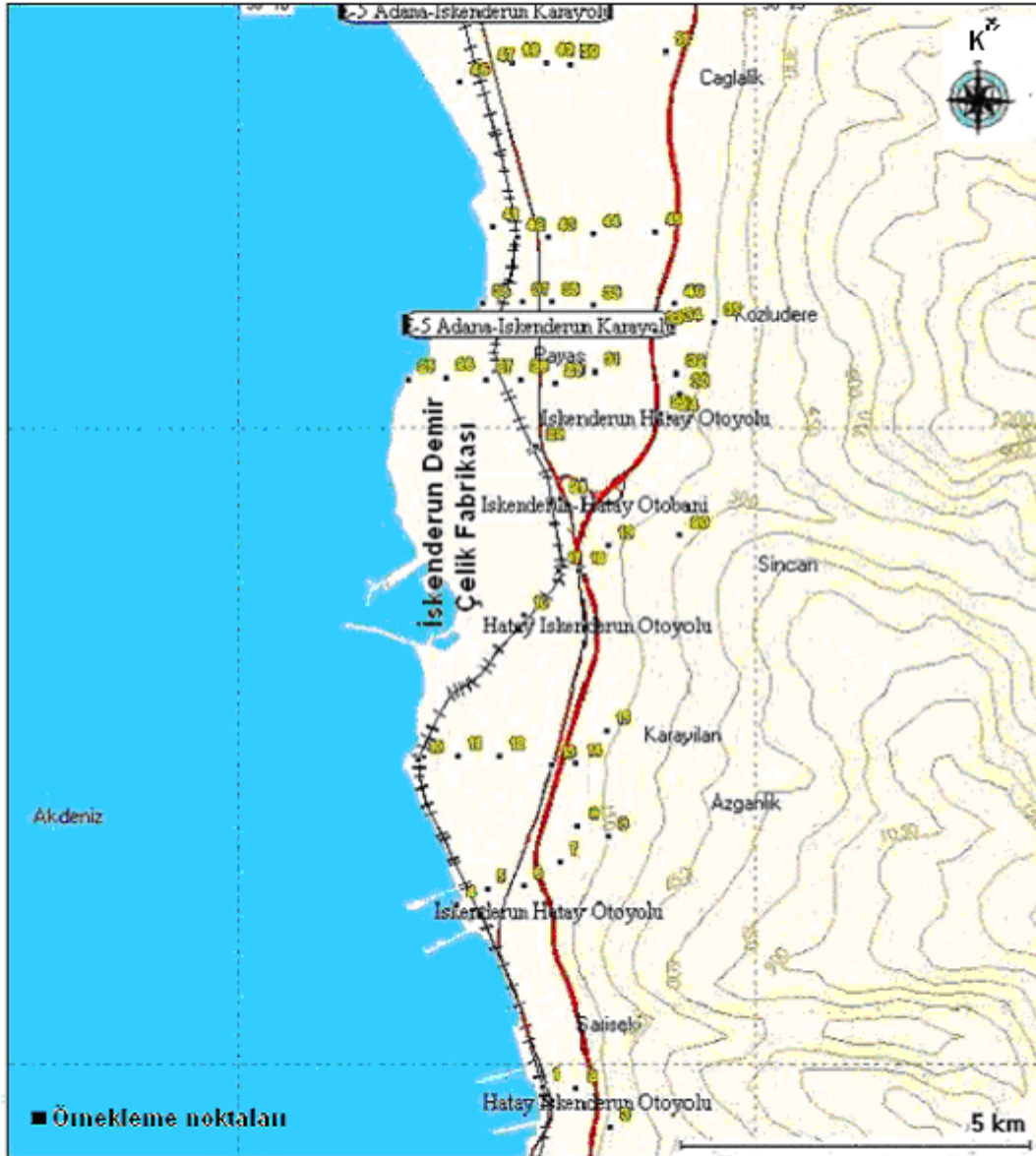
Nijerya'da otomobil tamir merkezleri içinde ve civarındaki topraklarda ağır metal kirliliğinin değerlendirildiği bir çalışmada, toprakların yüzey katmanında (0-20 cm) elementlerin bulunma sırası çoktan aza doğru Fe > Pb > Cu > Mn > Cd > Cr > Ni şeklinde olduğu saptanmıştır (Nwachukwu ve ark. 2010).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu

Hatay il sınırları içinde bulunan çalışma alanı $36^{\circ}40'12''$ - $36^{\circ}49'48''$ kuzey enlemleri ile $36^{\circ}09'36''$ - $36^{\circ}15'00''$ doğu boylamları arasında yer almaktadır. Çalışma alanının doğusunda Amanos Dağları, batısında Akdeniz, kuzeyinde Dört Yol, güneyinde ise İskenderun bulunmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışma alanının coğrafi konumu ve örnekleme noktaları

3.1.2. Çalışma Alanının Bitki Örtüsü

Çalışma alanı, Hatay'da % 48,9 oran ile en fazla orman ve fundalık alanına sahiptir (Anonim, 2004). Alanda doğal bitki örtüsünü makiler ve ormanlar oluşturur. Maki türleri; 4-5 metre boyunda, sert ve tüylü yapraklı bitkilerdir. Bunlar, 800 metre yükselti kuşağına kadar yayılır. Mersin, defne, kekik ve lavanta yörede en çok rastlanan maki türleridir.

Amanos Dağları'nın denize bakan yamaçlarında, makilik alanlardan sonra, 800 metreden 1200 metreye kadar ardıç gibi ibreli ağaçlarla; meşe, kayın, kızılıçık, kavak, çınar ve tespih gibi yapraklı ağaçlardan oluşan ormanlar bulunur. Bölgede 1200 metrenin üzerinde, ibreli ağaçlardan kızılçam, karaçam, sedir ve yer yer ardıçlardan oluşan geniş orman alanları vardır.

Tarım kültürü altındaki topraklarda ise en fazla tarla bitkileri, tarla bitkilerinden ise en fazla tahıllar üretilmektedir. Tahılları turunçgiller izlemektedir. Sebzelerden ise en fazla karnabahar, taze fasulye ve taze soğan üretilmektedir. Ayrıca, bölgede iklimin uygun olması nedeniyle, turfanda sebze üretimi de yapılmaktadır (Anonim, 2004).

3.1.3. Çalışma Alanının İklimi

Çalışma alanında Akdeniz iklimi görülür. Bazı iklim verileri, çalışma alanına en yakın olan İskenderun Meteoroloji İstasyonunun uzun yıllar aylık ortalama değerlerine göre düzenlenerek Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Bölgede kar yağışı ve don olayı çok ender görülür. En fazla yağış kış, en az yağış ise yaz aylarında düşer. Alanda yıllık yağış miktarı yükseltiye göre değişir. Yıllık ortalama yağış toplamı 716.4 mm, yıllık ortalama sıcaklık ise 19.9 °C'dir. Yağış rejimi düzensizdir. Ortalama en yüksek sıcaklık Ağustos ayında (31.3 °C), ortalama en düşük sıcaklık ise Ocak ayında (8.7 °C) belirlenmiştir.

3.1.4. Çalışma Alanının Jeolojisi

Çalışma alanının içinde bulunduğu Hatay ili esas olarak magmatik ve sedimenter kayalardan oluşmaktadır. Metamorfik kayalar çok az bulunmaktadır. Magmatik kayaların çoğunluğu fiyolitler ve volkanik kökenli artıklardır. Sedimenler

Çizelge 3.1. İskenderun ilçesinde uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama iklim değerleri (1975-2008) (Anonim, 2010c)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	11.6	12.2	14.8	18.3	21.9	25.3	27.8	28.4	26.5	22.4	17.1	13.1
Ortalama Toprak Sıcaklığı 5 cm (°C)	10.1	11.6	15.7	20.9	26.4	31.3	34.1	34.0	30.4	23.5	16.1	11.2
Ortalama Toprak Sıcaklığı 20 cm (°C)	11.2	12.1	15.7	20.4	25.4	29.9	32.4	32.7	30.3	24.5	17.6	12.7
Ortalama Nem (%)	61.3	62.3	65.8	68.8	71.3	72.5	74.0	73.6	68.4	63.8	59.4	61.2
Ortalama Yağış Miktarı (kg/m ²)	84.2	87.8	85.4	61.1	44.6	32.8	8.7	17.0	39.5	83.0	86.4	85.9

Alt Paleozoyikten Kuvartener'e kadar uzanmaktadır. Bölgede iki önemli yapı mevcuttur. Birincisi ofiyolitler, tektonik olarak Albiyen-Apsiyen yaşlı Alt Kretase kireçtaşlarının üzerine oturmuş kalın bir bindirme örtüsü şeklindedir. İkinci yapı ise Tersiyer yaşlı graben faylanmasıdır (Özkoçak, 1993).

Çalışma alanı Dört Yol Ovası'nın güney kısmındaki bir bölümü de kapsamaktadır. Bu alanda daha çok Pleyistosen-Holosen yaşlı kuarterner aluviyal materyaller yer almaktadır. Bu alanın doğusundaki dağlık kısımlardaki kayalar Ofiyolitli seri olarak tanımlanmıştır. Ofiyolitli serinin Amanos dağlarında değişik türlerde mafik ve ultramafik kayaları içermesine karşın, İskenderun Körfezinin kuzeydoğusunda genellikle serpantin kayalarının yaygın olduğu belirlenmiştir. Gri-yeşil, mavi, parlak yüzeyli ve kaygan görümlü olan serpantinler genellikle masif olup, yer yer yapraklı yapı göstermektedir. Masif serpantinler genellikle düzenli olmayan çatlaklar içermektedirler. Akarsular tarafından dik yamaçlı ve gömülü vadiler oluşturacak şekilde oyularak engebeli bir topografya oluşturulmuştur (Doyuran, 1982).

Çalışma alanının Payas'ın güneyinde kalan kısmında kuvarteneri temsil eden oluşuklar; geniş alanda yayılım gösteren bazaltlar, moloz örtüler ve alüvyonlardır. Bu alanda ayrıca, kireç taşları ve dolomitik kireç taşları, konglomeralar, serpantinleşmiş ultrabazik kayaç parçaları ve serpantin arenitleri de yer almaktadır (Koç ve Değer, 1991).

Çalışma alanı içinde bulunan Payas bölgesinde ise önemli miktarlarda demirli boksit ve boksitli demir cevherleşmeleri bulunmakta ve bu cevherleşmeler yaklaşık 100 yıldır çeşitli jeoloji çalışmalarına konu oluşturmaktadır. Bu alandaki cevherleşme üç ayrı bölgede saptanmıştır. Bunlardan birincisi, yan kayacı kireçtaşı olan Paşanın Eğreği Yaylası, Sarıyokuş Mağrabaşı Mevkii ve Kozludere oluşuklarıdır. Bu alandaki oluşuklarda demir içeriği yaklaşık % 24 civarındadır. İkincisi, yan kayacı kumtaşı olan Fındık Yaylası-I oluşukları olup, bu alanda ortalama demir içeriği % 32'dir. Üçüncüsü ise demirce zengin ve serpantinlerle dokanak ilişkisi olan Fındık Yaylası-II oluşuklarıdır. Bu alanda demir içeriği % 44'e kadar çıkmaktadır. Serpantin kayalarında Ni içeriği % 0.5'e kadar çıkmaktadır (Koç ve Değer, 1992).

3.2. Yöntem

3.2.1. Toprak Örneklerinin Alınması

Çalışma alanının kuzey-güney doğrultusu yaklaşık 16 km ve doğu-batı doğrultusu ise yaklaşık 1.5-5 km arasında değişen, değişken boyutlara sahiptir.

Çalışma alanında değişken mesafeli (0.5, 1 ve 2 km) gridler oluşturulmuş ve gridlerin kesim noktalarından (51 nokta) (Şekil 3.1) ve iki farklı derinlikten (0-5 ve 5-20 cm) toplam 102 adet toprak örneği alınmıştır. Ancak, bazı noktalarda arazi koşullarının engellemesi nedeniyle, örnekler gridlerin tam kesim noktalarından alınamamıştır. Örnek yerlerinin UTM sistemine göre coğrafi koordinatları (Magellan eXplorist 550 LE) GPS yön bulma konumlama cihazı ile belirlenmiştir. Koordinatlar GPS cihazı içinde bulunan haritalar üzerine aktarılarak örnek yerlerinin haritası oluşturulmuştur.

3.2.2. Toprak Analizleri

Toprak örnekleri toprak kurutma odasında, oda sıcaklığı koşullarında kurutulmuş ve 2 mm'lik elekten geçirilmiştir. Alınan toprak örneklerinde pH, organik madde, bünye, toplam ve alınabilir ağır metal (Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Zn, Mn, Fe, Ni) analizleri yapılmıştır.

Toprak pH'sı cam elektrotlu pH-metre ile 1:2.5'lük toprak-su karışımında belirlenmiştir (Jackson, 1964).

Organik madde içeriği modifiye edilmiş Lichterfelder yaş yakma yöntemine göre tayin edilmiştir (Schlichting ve Blume, 1966).

Bünye analizi hidrometre yöntemi ile yapılmıştır (Bouyoucos, 1962).

Topraklar; toplam ağır metal konsantrasyonları için 3050 B asit yakma yöntemi ile (Epa, 1996), bitkilerce alınabilir miktarları için ise DTPA çözeltisi ile ekstrakte edilmiştir (Lindsay ve Norwell, 1978). Bütün ağır metaller çift indüklenmiş atomik absorpsiyon spektrometresi (ICP-AES) ile belirlenmiştir. Ayrıca 3050 B yöntemi ile belirlenen ağır metal içeriklerinin doğruluğu, standart referans materyal (High-Purity Standards, Loam-C) kullanılarak kontrol edilmiştir. Ölçümlerde Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn için sırası ile 228.802, 238.892, 267.716, 324.754, 259.940, 257.610, 231.604, 220.353 ve 213.856 nm dalga boyları kullanılmıştır.

3.2.3. Sonuçları Değerlendirme Yöntemleri

3.2.3.1. İstatistiksel ve Jeostatistiksel Analizler

Araştırma konusu topraklara ait bütün tanımlayıcı istatistik analizleri (ortalama, endüşük ve enyüksek değerler, standart sapma, varyasyon katsayısı, çarpıklık, basıklık vb.) tüm toprak özellikleri ve ağır metaller için hesaplanmıştır. Ayrıca, toprak özellikleri ve ağır metal içeriği değerlerinin toprak katmanları arasındaki farklılığın istatistiksel açıdan önemli olup olmadığı t-testi ile araştırılmıştır. Yine, toprak özellikleri ve ağır metal içeriklerinin normal dağılım gösterip göstermediğinin belirlenmesi amacıyla Kolmogrov-Sminrov analizi yapılmıştır. Değişkenlerin normal dağılım gösterip göstermediği ayrıca çarpıklık (skewness) katsayılarının yorumlanması ile de değerlendirilmiştir (Paz-González ve ark., 2000). Tüm istatistik analizler Windows uyumlu SPSS 11.5 istatistik paket programı kullanılarak yapılmıştır.

Araştırma alanı topraklarında ağır metal içeriklerinin yersel dağılımının belirlenmesinde ve haritalanmasında, son yıllarda Toprak Biliminde de yaygın olarak kullanılmaya başlanan Jeostatistiksel yöntemlerden yararlanılmıştır (Mulla ve McBratney, 2000). Jeostatistik analizler Windows uyumlu GS⁺ 7 Jeostatistik paket programı ile yapılmıştır.

Normal dağılım göstermeyen veri setlerine logaritmik veya karakök dönüşümleri uygulandıktan sonra jeostatistiksel analizler yapılmıştır.

Jeostatistiksel analizlerde önce, ağır metallerin ölçüm noktaları arasındaki otokorelasyon, diğer bir deyişle aralarındaki uzaysal bağımlılığın derecesi belirlenmiş ve en uygun yarıvariogram modeli saptanmıştır. En uygun modelin seçiminde, modeller içerisinde en yüksek r^2 ve/veya en düşük kareler toplamını veren model seçilmiştir. En uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için bazı metallerde veri çiftlerinin bazıları değerlendirmeye alınmamıştır. Benzer uygulamalar, Yetgin (2004) ve Ongun (2008) tarafından da yapılmıştır. Sonra, her bir ağır metal için dağılım haritaları üretilmiştir. Ağır metal haritalarının üretilmesinde, blok kriging enterpolasyon yöntemi kullanılarak örneklenmeyen noktalardaki değerler tahmin edilmiş ve dağılım paterni belirlenmiştir. Daha sonra da her bir elementin iki boyutlu dağılım haritası oluşturulmuştur. Kriging enterpolasyon tekniğinin diğer enterpolasyon tekniklerine göre; tahmin işleminde, daha önceden belirlenmiş standart bir ağırlık alma işlemi yerine, yarıvaryans diyagramları ile

hesaplanan yapısal bağımlılığı kullanması ve hem tahmini hem de tahminden kaynaklanan hatayı belirtmesi gibi avantajları bulunmaktadır. Bu teknikte tahmin etmeden kaynaklanan varyans kullanılarak tahmin edilen özellik için güven sınırları da hesaplanabilmektedir (Mulla ve McBratney, 2000).

Toprakların ağır metal içeriklerinin uzaysal bağımlılıklarının yorumlanmasında nugget yarıvaryansın (C_0) toplam varyansa ($C_0 + C$) oranının yüzdesi kullanılmıştır. Bu oran % 25 veya daha düşük ise uzaysal bağımlılık kuvvetli, %25-75 arasında ise orta, % 75'den büyük ise uzaysal bağımlılık zayıf olarak değerlendirilmektedir (Mehrdadi ve ark., 2008).

3.2.3.2. Jeobirikim İndeksi ve Zenginleştirme Faktörü

Müler (1979) tarafından geliştirilen Jeobirikim İndeksi (I_{geoac}), aslında sedimentlerde kirlilik derecesinin sayısal olarak belirlemek için geliştirilmiş bir eşitliktir. Ancak topraktaki kontaminasyonun değerlendirmesinde de kullanılmaktadır (Loska ve ark., 2004). Jeobirikim İndeksi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$I_{geoac} = \log_2 C_n / 1.5B_n$$

Bu eşitlikte C_n , n metalinin ölçülen konsantrasyonu, B_n ise n elementinin doğal yer kabuğundaki konsantrasyonu, 1.5 ise back-ground matriks korelasyon faktörüdür. Bu faktör (1.5), litolojik değişimler nedeniyle background değerlerinde mümkün olabilecek değişimler nedeniyle uygulanmıştır (Dantu, 2009). Müler (1979) Jeobirikim (I_{geoac}) değerlerine göre 7 kirlilik sınıfı ve kirlilik düzeyi belirlemiştir (Sutherland, 2000) (Çizelge 3.2).

Zenginleştirme faktörü (Enrichment factor), analizi yapılan bir elementin bir referans elemente karşı standardizasyonunu temel almaktadır. Referans element olarak değişkenliği düşük olan elementler kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan referans elementler Sc, Mn, Ti, Al ve Fe'dir (Schiff ve Weisberg, 1999). Bu çalışmada referans element olarak Fe kullanılmıştır.

Zenginleştirme faktörü (ZF) değerleri, Buat-Menard ve Chesselet (1979) tarafından değiştirilen eşitlik ile hesaplanmıştır (Loska ve ark., 2004).

$$ZF = [(C_n(\text{örnek})/C_{ref}(\text{örnek}))] / [(C_n(\text{doğal})/C_{ref}(\text{doğal}))]$$

Çizelge 3.2. Toprak kirliliğinin Jeobirikim (*I*_{geoac}) indeksine göre değerlendirilmesi (Sutherland, 2000)

<i>I</i>_{geoac}	Kirlilik Sınıfı	Kirlilik düzeyi
<0	1	Kirlenmemiş
0 -1	2	Kirlenmemiş – Kısmen kirlenmiş
1 – 2	3	Kısmen kirlenmiş
2 – 3	4	Kısmen – Yüksek derecede kirlenmiş
3 – 4	5	Yüksek derecede kirlenmiş
4- 5	6	Yüksek - Çok yüksek düzeyde kirlenmiş
>5	7	Çok yüksek düzeyde kirlenmiş

Burada; C_n (örnek), analiz edilen elementin örnekteki konsantrasyonu; C_{ref} (örnek), referans elementin örnekteki konsantrasyonu; C_n (doğal), analiz edilen elementin doğal konsantrasyonu; C_{ref} (doğal) ise referans elementin doğal konsantrasyonuna karşılık gelmektedir. ZF değeri temel alınarak beş zenginleşme sınıfı ve düzeyi oluşturulmuştur (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Zenginleştirme faktörüne göre oluşturulan kirlilik sınıfları (Sutherland, 2000)

ZF	Sınıfı	Zenginleşme Düzeyi
<2	1	Yetersiz veya Minimum Zenginleşme
2-5	2	Orta Düzeyde Zenginleşme
5-20	3	Yüksek Düzeyde Zenginleşme
20-40	4	Çok Yüksek Düzeyde Zenginleşme
>40	5	Ekstrem Derecede Yüksek Zenginleşme

Analiz edilen ve referans olarak kullanılan elementlerin doğal konsantrasyonu olarak, bunların yer kabuğundaki konsantrasyonları kullanılmaktadır (Loska ve ark., 2004). Bu çalışmada hem jeobirikim indeksi hem de zenginleşme faktörü hesaplamalarında elementlerin yer kabuğundaki konsantrasyon değerleri Sposito (1989) dan alınmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Tanımlayıcı İstatistik Analiz Sonuçları

4.1.1. Toprakların Bazı Topografik, Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Çalışma alanının batı kısımları düz ve düze yakın, doğu kısımları ise eğimli olup örnekleme noktalarının denizden yükseklikleri 5 m (1 ve 41 nolu noktalar) ile 191 m (3 nolu nokta) arasında değişmektedir (Çizelge 4.1). Yüksek kesimlerde orman, düşük kesimlerde ise sanayi tesisleri ve tarım alanları yer almaktadır.

Çizelge 4.1. Örnekleme noktalarının denizden yükseklikleri

Nokta	Yükseklik (m)	Nokta	Yükseklik (m)	Nokta	Yükseklik (m)
1	05	18	45	35	96
2	28	19	116	36	15
3	191	20	290	37	22
4	13	21	32	38	34
5	13	22	71	39	32
6	22	23	84	40	89
7	49	24	145	41	05
8	86	25	21	42	13
9	141	26	70	43	20
10	30	27	97	44	30
11	53	28	148	45	50
12	67	29	06	46	19
13	65	30	11	47	29
14	107	31	18	48	38
15	156	32	26	49	46
16	27	33	30	50	58
17	27	34	94	51	90

Çalışma alanının bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine ait tanımlayıcı istatistik analiz sonuçları Çizelge 4.2’de sunulmuştur.

Toprak özelliklerine uygulanan t-testi sonuçlarına göre; Ortalama pH değeri üst toprakta (0-5 cm) alt topraktan (5-20 cm) daha düşük bulunmuştur. Ancak, pH değerleri arasındaki farklılık istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($P = 0.15$). Diğer yandan, toprak pH’ların en düşük ve en yüksek değerleri arasındaki farkın çok fazla

olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Bu durum varyasyon katsayısında da belirgin olarak görülmektedir. Toprak özellikleri içerisinde en düşük varyasyon katsayısı (VK) pH değerlerinde görülmüştür. Bu konuda, Babagil (2008) ve Karanlık ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar bulunmuştur.

Üst toprak örneklerine ait ortalama elektriksel iletkenlik (EC) değeri ($293.69 \mu s/cm$), alt toprak örneklerinkinden ($275.65 \mu s/cm$) daha yüksektir. Ancak toprak katmanları arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan önemli değildir ($P = 0.79$). Her iki katmanda da toprakların en küçük ve en yüksek EC değerleri arasındaki farklılığın oldukça fazla olduğu görülmektedir (Çizelge 4.2). Bu durum VK değerlerinden de görülmektedir. Toprak özellikleri içerisinde en yüksek varyasyon katsayısı (VK) değerleri EC içeriklerinde belirlenmiştir. Çalışma alanında EC değerleri üst toprakta $115.7-2610.0 \mu s/cm$, alt toprakta ise $105.1-2510.0 \mu s/cm$ arasında değişmesine rağmen, toprakların büyük kısmında EC değerlerinin $700 \mu s/cm$ 'den daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Yüzey toprağın ortalama organik madde içeriği (% 5.83), alt toprağinkinden (% 3.61) oldukça yüksek bulunmuştur. Organik madde içerikleri arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan 0.01 düzeyinde önemli bulunmuştur. Toprakların EC değerlerinden sonra en yüksek VK değerleri organik madde içeriklerinde saptanmıştır (Çizelge 4.2).

Üst toprağın ortalama kum içeriği (% 53.41), alt toprak katmanının ortalama kum içeriğinden (% 48.65) yüksek olup, katmanlar arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($P= 0.12$). Toprakların pH değerlerinden sonra en düşük VK değerleri kum ve silt içeriklerinde belirlenmiştir. Üst ve alt toprakların ortalama silt içerikleri birbirine çok yakındır. Toprakların ortalama kil içerikleri ise üst toprakta, alt topraktakinden düşük olup, katmanlar arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($P<0.05$).

Çizelge 4.2. Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine ait tanımlayıcı istatistik analiz sonuçları (n = 51)

Toprak özelliği	Derinlik (cm)	Min.	Max.	Ortalama	Ortanca	SS	VK (%)	Çarpıklık	Basıklık	t-Değeri P _t
pH	0-5	7.44	8.45	7.93	7.96	0.22	2.73	-0.18	-0.22	-1.45
	5-20	7.61	8.41	7.98	7.99	0.17	2.14	-0.23	0.09	0.15
EC (25 °C) (µS/cm)	0-5	115.71	2610.00	293.69	213.53	349.71	119.06	6.06	40.26	0.27
	5-20	105.10	2510.00	275.65	200.15	335.20	121.60	6.21	41.52	0.79
O. M (%)	0-5	2.10	19.06	5.83	4.84	3.68	63.12	1.51	2.31	3.86
	5-20	1.47	10.82	3.61	3.00	1.81	50.13	1.79	4.16	0.00**
S (%)	0-5	20.25	84.79	53.41	53.00	15.47	28.96	0.16	-0.05	1.56
	5-20	21.95	84.46	48.65	46.63	15.20	31.24	0.33	-0.40	0.12
Si (%)	0-5	6.30	36.32	22.98	24.47	6.91	30.06	-0.70	0.18	-0.10
	5-20	10.33	39.96	23.12	22.17	5.80	25.08	0.46	0.96	0.92
C (%)	0-5	5.80	51.08	23.60	22.42	11.21	47.50	0.71	0.13	-1.95
	5-20	4.34	53.56	28.22	26.79	12.68	44.93	0.16	-0.78	0.05*

Min.= en düşük, Max.= en yüksek, SS = standart sapma, VK = varyasyon katsayısı, *: 0.05 düzeyinde önemli, **: 0.01 düzeyinde önemli

4.1.2. Toprakların Ağır Metal İçerikleri

4.1.2.1. Toplam Ağır Metal İçerikleri

Toprakların toplam ağır metal içeriklerine ait tanımlayıcı istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.3’de özetlenmiştir. Topraklarda en yüksek varyasyon katsayısının (VK) Pb ve Cd değerlerinde olduğu görülmektedir. Liu ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar bulunmuştur. Diğer yandan, en düşük VK değerlerinin ise Fe konsantrasyonlarında olduğu görülmektedir (Çizelge 4.3). Akgül ve ark. (1995)’e göre varyasyon katsayısının yüksek olması, incelenen toprak özelliklerinin klasik istatistik yöntemleri ile yorumlanmasında hata payı yükselmektedir. Bu nedenle, jeoistatistiksel bir değerlendirmeye gereksinim duyulmaktadır.

Ağır metal içeriklerine uygulanan t-testi sonuçlarına göre; toprakların üst katmanlarındaki ortalama toplam Cd içeriği (1.38 mgkg^{-1}), alt katmanlardaki Cd içeriğinden (1.10 mgkg^{-1}) biraz yüksek olmasına rağmen, bu farklılık istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Diğer yandan, her iki katmanda da Cd içeriklerinin en düşük ve en yüksek değerleri arasında oldukça büyük farklılıklar olduğu görülmektedir (Çizelge 4.3). Bu durum, Cd’un çalışma alanında heterojen bir şekilde dağıldığını göstermektedir. Nitekim bu durum VK değerlerinden de anlaşılmaktadır.

Üst toprak örneklerine ait ortalama toplam Co içerikleri (23.38 mgkg^{-1}), alt topraklarınkinden (33.96 mgkg^{-1}) oldukça düşük bulunmuştur. Katmanlar arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan 0.001 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Toprakların üst katmanlarındaki ortalama toplam Cr içeriği (506.38 mgkg^{-1}), alt katmanların Cr içeriğinden (426.12 mgkg^{-1}) yüksek olup, katmanlar arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($P < 0.05$).

Üst topraklardaki ortalama toplam Cu içeriği (71.92 mgkg^{-1}), alt toprakların ortalama toplam Cu içeriğinden (53.30 mgkg^{-1}) yüksek olmasına rağmen, bu farklılık istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır.

Çalışma alanında üst toprağın ortalama toplam Fe içeriği ($55964.1 \text{ mgkg}^{-1}$), alt toprağın Fe içeriğinden ($49511.6 \text{ mgkg}^{-1}$) yüksek olup, katmanlar arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan 0.05 düzeyinde önemli bulunmuştur. Yine her iki katmanda da Fe’in en düşük ve en yüksek konsantrasyonları arasındaki fark diğer elementlere göre

Çizelge 4.3. Toprakların toplam ağır metal içeriklerine ait tanımlayıcı istatistik analiz sonuçları

Metal	Derinlik (cm)	Örnek sayısı (N)	Min.	Max.	Ortalama	Ortanca	SS	VK (%)	Çarpıklık	Basıklık	t-Değeri P _t
Cd (mgkg ⁻¹)	0-5	51	0.09	11.44	1.38	0.70	2.18	157.97	3.98	16.4	0.72
	5-20	51	0.26	9.12	1.10	0.71	1.68	152.73	4.16	17.19	0.47
Co (mgkg ⁻¹)	0-5	49	5.79	51.97	23.38	22.79	12.10	51.75	0.43	-0.69	-3.93
	5-20	51	4.60	71.04	33.96	34.35	14.66	43.17	0.40	-0.35	0.00**
Cr (mgkg ⁻¹)	0-5	51	132.01	944.56	506.38	557.59	193.92	38.30	-0.01	-0.23	2.21
	5-20	51	115.52	875.81	426.12	441.40	172.93	40.58	0.03	-0.28	0.03*
Cu (mgkg ⁻¹)	0-5	50	19.35	442.45	71.92	52.31	67.30	93.58	4.05	19.67	1.42
	5-20	51	16.24	344.45	53.30	35.68	64.11	120.28	3.67	13.19	0.16
Fe (mgkg ⁻¹)	0-5	49	30888.7	117507.7	55964.1	51451.5	15815.4	28.26	1.54	4.10	2.15
	5-20	51	27852.1	97979.1	49511.6	49250.5	14184.6	28.65	1.41	2.90	0.03*
Mn (mgkg ⁻¹)	0-5	51	345.54	4953.93	1252.68	1013.77	857.87	68.48	2.71	8.21	3.58
	5-20	48	350.50	1283.74	794.97	793.17	226.03	28.43	0.10	-0.50	0.00**
Ni (mgkg ⁻¹)	0-5	49	150.87	1892.52	945.20	888.87	451.92	47.81	0.26	-0.87	0.65
	5-20	51	136.15	1965.41	886.12	776.07	457.53	51.63	0.38	-0.71	0.52
Pb (mgkg ⁻¹)	0-5	51	3.17	1060.43	88.22	33.88	197.99	224.43	4.04	16.64	1.98
	5-20	48	9.50	87.57	31.47	27.70	17.24	54.80	1.44	1.89	0.05*
Zn (mgkg ⁻¹)	0-5	51	3.06	4553.56	437.09	195.33	894.27	204.60	4.07	16.67	2.69
	5-20	48	2.05	434.58	89.35	69.80	73.19	81.91	2.58	9.74	0.01**

Min.= en düşük, Max.= en yüksek, SS = standart sapma, VK = varyasyon katsayısı, *: 0.05 düzeyinde önemli, **: 0.01 düzeyinde önemli

oldukça düşüktür. Bu durum düşük VK değerlerinden de anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar Fe'in çalışma alanında oldukça homojen dağıldığını göstermektedir.

Toprak katmanlarının ortalama toplam Mn içerikleri arasında anlamlı miktarda farklılık olup, üst katmanın Mn içeriği ($1252.68 \text{ mgkg}^{-1}$), alt katmanından (794.97 mgkg^{-1}) belirgin olarak daha fazladır. Katmanların Mn içerikleri arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan oldukça önemli bulunmuştur ($P < 0.01$) (Çizelge 4.3).

Üst toprak katmanının ortalama toplam Ni içeriği (945.20 mgkg^{-1}) alt toprağınkinden (886.12 mgkg^{-1}) yüksek olmasına rağmen, katmanların Ni içeriklerinde bu farklılık istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır.

Toprakların üst katmanlarındaki ortalama toplam Pb içeriği (88.22 mgkg^{-1}), alt katmanların Pb içeriğinden (31.47 mgkg^{-1}) oldukça yüksek olup, katmanlar arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). Üst katmandaki en düşük ve en yüksek Pb içerikleri arasında büyük farklılık görülmektedir. Bu durum da Pb konsantrasyonunun çalışma alanında çok heterojen bir şekilde dağıldığını göstermektedir.

Toprak katmanlarının Zn içeriklerinde de önemli farklılıklar saptanmıştır. Üst toprağın ortalama toplam Zn içeriği (437.09 mgkg^{-1}) alt toprağınkinden (89.35 mgkg^{-1}) oldukça yüksek olup, katmanların Zn içerikleri arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan 0.01 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Alt ve üst toprakta saptanan toplam ağır metal içerikleri Kabata-Pendias ve Mukherje (2007) tarafından verilen tarım topraklarında maksimum izin verilebilir ağır metal konsantrasyonları (Çizelge 4.4) ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede; çalışma alanı topraklarının bünyesinin ince ve pH'sının 6 dan büyük olması nedeniyle büyük değerler dikkate alınmıştır.

Çalışma alanındaki toprakların ortalama toplam ağır metal değerlerine göre; her iki katmandaki Cd, Co, Cu ve Pb içeriği maksimum izin verilebilir konsantrasyonun altında; Cr ve Ni içeriği her iki katmanda da maksimum izin verilebilir sınır değerinin üzerinde; Zn içeriği üst katmanda maksimum izin verilebilir sınır değerinin üzerinde, alt katmanda ise altında bulunmuştur.

Üst toprağın (0-5 cm) toplam Cd içeriği; 2 örnekte (4 ve 5 nolu örnekler) izin verilebilir sınır değerinin (5 mgkg^{-1}) üzerinde, diğerlerinde ise altında bulunmuştur. Üst

Çizelge 4.4. Tarımsal topraklarda bazı ağır metallerin maksimum izin verilebilir konsantrasyon aralıkları (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007)

Element	* Maksimum izin verilebilir konsantrasyon aralığı (mgkg ⁻¹)
Kadmiyum (Cd)	1-5
Kobalt (Co)	20-50
Krom (Cr)	50-200
Bakır (Cu)	60-150
Nikel (Ni)	20-60
Kurşun (Pb)	20-300
Çinko (Zn)	100-300

*Çizelgedeki düşük konsantrasyonlar kumlu ve pH'sı 6'dan düşük olan topraklar için kullanılmaktadır.

topraktaki Co içeriği sadece bir örnekte (17 nolu örnek) izin verilebilir sınır değerin (50 mgkg⁻¹) üzerinde, diğer örneklerde ise bu değerin altındadır. Toprakların Cr konsantrasyonları 5 örnekte (3, 29, 30, 36 ve 41 nolu örneklerde) sınır değerin (200 mgkg⁻¹) altında, diğer tüm örneklerde ise sınır değerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Toprakların 3 örnekteki (4, 5 ve 18 nolu örnekler) Cu içeriği izin verilebilir sınır değerin (150 mgkg⁻¹) üzerinde, diğer örneklerdeki Cu konsantrasyonları ise bu değerin altındadır. Üst topraktaki tüm örneklerin toplam Ni içeriği, izin verilebilir maksimum konsantrasyonun (60 mgkg⁻¹) üzerinde olduğu belirlenmiştir. Toprakların toplam Pb içeriği 4 örnekte (4, 5, 6, ve 18 nolu örnekler) sınır değerin (300 mgkg⁻¹) üzerinde, diğerlerinde ise altında olduğu belirlenmiştir. Toprakların toplam Zn içeriğinin 15 örnekte (% 29.4) izin verilebilir maksimum sınırın (300 mgkg⁻¹) üzerinde olduğu, diğer örneklerde ise (% 70. 6) limitin aşılmadığı saptanmıştır.

Alt topraktaki toplam Cd içeriği, 2 örnekte (4 ve 5 nolu örnekler) sınır değerin üzerinde, diğerlerinde ise altındadır. Toprakların toplam Co içeriğinin 7 örnekte (% 13.7) izin verilebilir sınır değerin üzerinde, diğerlerinde (% 86.3) ise sınır değerin altında olduğu belirlenmiştir. Bu katmandaki toplam Cr konsantrasyonunun 7 örnekte (% 13.7) izin verilebilir sınır değerin altında, 44 örnekte (% 86.3) ise üzerinde olduğu belirlenmiştir. Alt topraktaki 3 örnekte (4, 5 ve 18 nolu örnekler) Cu içeriği izin verilebilir sınır değerin üzerinde, diğer örneklerdeki Cu konsantrasyonları ise bu değerin altındadır. Alt toprağın toplam Ni içeriğinde, tüm örneklerde izin verilebilir maksimum sınır değerin üzerinde olduğu saptanmıştır. Alt katmanın toplam Pb içeriği 3 örnekte (4, 5 ve 18 nolu örnekler) sınır değerinden yüksek, diğerlerinde ise bu değerden düşüktür.

Bu katmandaki toplam Zn içeriği ise 4 örnekte (4, 5, 6 ve 18 nolu örnekler) izin verilebilir maksimum sınırın üzerinde, diğer örneklerde ise altındadır.

4.1.2.2. Bitkilerce Alınabilir Ağır Metal İçerikleri

Bitkilerce alınabilir ağır metal içeriklerine ait tanımlayıcı istatistik analiz sonuçları Çizelge 4.5'de sunulmuştur. Topraklarda en düşük VK değeri Co içeriklerinde, en yüksek VK değeri ise Pb ve Zn içeriklerinde belirlenmiştir.

Bitkilerce alınabilir metal içeriklerinde yapılan t-testi sonuçlarına göre; üst katmanlarındaki ortalama bitkilerce alınabilir Cd içeriği (0.058 mgkg^{-1}), alt katmanların Cd içeriğinden (0.028 mgkg^{-1}) oldukça yüksek olup, katmanlar arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($P < 0.01$).

Çalışma alanında üst toprağın ortalama bitkilerce alınabilir Co içeriği (0.163 mg/kg), alt toprağın Co içeriğinden (0.147 mgkg^{-1}) biraz yüksek olmasına rağmen, katmanların Co içerikleri arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan 0.05 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Toprak katmanlarının ortalama bitkilerce alınabilir Cr içeriklerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, üst ve alt toprağın Cu içerikleri de birbirine oldukça yakındır (Çizelge 4.5). Üst ve alt toprak katmanlarının Fe içeriklerinde de önemli bir farklılık saptanamamıştır.

Toprakların üst katmanlarındaki ortalama bitkilerce alınabilir Mn içeriği (2.40 mgkg^{-1}), alt katmanların Mn içeriğinden (3.40 mgkg^{-1}) düşük olup, katmanların Mn içerikleri arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($P < 0.01$).

Üst toprak katmanının ortalama bitkilerce alınabilir Ni içeriği (1.73 mgkg^{-1}), alt toprağinkinden (2.33 mgkg^{-1}) biraz düşük olmasına rağmen, katmanların Ni içerikleri arasında istatistiksel açıdan önemli bir farklılık bulunmamıştır.

Çalışma alanında üst toprağın ortalama bitkilerce alınabilir Pb içeriği (3.38 mgkg^{-1}), alt toprağın Pb içeriğinden (1.22 mgkg^{-1}) oldukça yüksek olup, katmanların Pb içerikleri arasındaki bu farklılık istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($P < 0.05$).

Toprak katmanlarının ortalama bitkilerce alınabilir Zn içeriklerinin ise birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir (Çizelge 4.5)

Çizelge 4.5. Toprakların bitkilerce alınabilir ağır metal içeriklerine ait tanımlayıcı istatistik analiz sonuçları

Metal	Derinlik (cm)	Örnek sayısı (N)	Min.	Max.	Ortalama	Ortanca	SS	VK (%)	Çarpıklık	Basıklık	t-Değeri P _t
Cd (mgkg ⁻¹)	0-5	51	0.006	0.432	0.058	0.036	0.075	129.31	3.70	15.05	2.76
	5-20	49	0.010	0.064	0.028	0.024	0.010	35.71	1.23	1.22	0.01**
Co (mgkg ⁻¹)	0-5	48	0.072	0.241	0.163	0.171	0.042	25.77	-0.04	-0.44	1.87
	5-20	49	0.063	0.242	0.147	0.136	0.044	30.00	0.37	-0.563	0.05*
Cr (mgkg ⁻¹)	0-5	49	0.001	0.096	0.038	0.032	0.022	57.89	0.85	0.43	-0.38
	5-20	49	0.010	0.106	0.040	0.036	0.025	62.50	0.65	-0.28	0.70
Cu (mgkg ⁻¹)	0-5	50	0.230	8.410	1.130	0.660	1.61	142.48	3.71	14.37	0.90
	5-20	50	0.213	8.435	1.040	0.607	1.410	135.71	3.80	16.42	0.37
Fe (mgkg ⁻¹)	0-5	51	0.960	10.470	3.600	2.970	2.03	56.39	1.94	3.90	-0.14
	5-20	49	0.840	6.460	3.650	3.610	1.41	38.63	0.22	-0.76	0.89
Mn (mgkg ⁻¹)	0-5	51	0.530	4.710	2.400	2.500	0.73	30.42	0.30	1.54	-4.02
	5-20	51	0.960	8.490	3.400	3.110	1.63	47.94	0.73	0.32	0.00**
Ni (mgkg ⁻¹)	0-5	51	0.093	4.913	1.730	1.520	1.20	69.36	0.74	-0.212	-1.53
	5-20	51	0.240	15.120	2.330	1.760	2.54	109.01	3.43	14.20	0.13
Pb (mgkg ⁻¹)	0-5	51	0.390	41.350	3.380	0.938	6.85	202.49	4.20	20.06	2.13
	5-20	49	0.190	12.230	1.220	0.550	1.99	163.11	4.12	20.12	0.04*
Zn (mgkg ⁻¹)	0-5	49	0.020	27.360	4.940	2.170	6.72	136.03	1.84	2.53	0.22
	5-20	51	0.040	61.630	4.520	1.140	11.87	262.61	4.28	18.36	0.83

Min.= en düşük, Max.= en yüksek, SS = standart sapma, VK = varyasyon katsayısı *: 0.05 düzeyinde önemli, **: 0.01 düzeyinde önemli

Çalışma alanındaki üst (0-5 cm) ve alt (5-20 cm) topraktaki DTPA ile belirlenen bitkilerce alınabilir ağır metal içerikleri, Kaur ve Rani (2006) tarafından verilen sınır değerler (Çizelge 4.6) ile kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

Bu değerlendirmeye göre; üst topraktaki alınabilir ortalama Cd konsantrasyonunun 2 örnekte (25 ve 28 nolu örnekler) maksimum izin verilebilir limitlerden düşük, diğerleri ise limitler içerisinde olduğu belirlenmiştir. Krom içeriklerinin tamamı izin verilebilir sınırlardan daha düşük olduğu görülmüştür. Bakır içeriği 3 örnekte (4, 5 ve 31 nolu örneklerde) izin verilebilir sınırlardan daha yüksek, diğerlerinde ise sınırlar içindedir. Bitkilerce alınabilir Mn içeriklerinin bir tanesi (15 nolu örnek) maksimum izin verilebilir sınır değerlerin içinde, diğerleri ise altında kalmıştır. Toprakların Ni içerikleri; örneklerin 19 tanesinde (% 37.3) sınır değerlerin üstünde, 1 örnekte (% 2) altında, diğer örneklerde ise (% 60.7) sınır değerlerinin içinde kaldığı saptanmıştır. Topraklarda Pb içeriği, örneklerin 4 tanesinde (4, 5, 6 ve 18 nolu örnekler) sınır değerlerin üzerinde, 3 tanesinde (7, 8 ve 9 nolu örnekler) sınır değerleri içinde, diğerlerinde ise sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür. Toprakların Zn içerikleri ise 11 örnekte (% 21.6) limitlerin üzerinde, 6 örnekte (% 11.8) limit değerlerin altında, diğerlerinde (% 66.6) ise limit değerler arasında kalmıştır.

Çizelge 4.6. DTPA yöntemi ile belirlenen bitkilerce alınabilir ağır metal içeriklerinin izin verilebilir limitleri (Kaur ve Rani, 2006)

Element	Maksimum izin verilebilir Sınır Değer (mgkg ⁻¹)	Element	Maksimum izin verilebilir Sınır Değer (mgkg ⁻¹)
Cd	0.01-0.5	Mn	4-10
Cr	0.1-1	Ni	0.2-2
Cu	0.2-5	Pb	5.2-10
Fe	2.5-20	Zn	0.6-10

Alt topraktaki (5-20 cm) Cd konsantrasyonunun tüm örneklerde maksimum izin verilebilir sınır değerler arasında olduğu belirlenmiştir. Toprakların Cr içerikleri 3 örnekte (23, 27 ve 38 nolu örnekler) sınır değerler arasında, diğer örneklerde ise sınır değerlerin altında kalmıştır. Toprakların Cu içerikleri 2 örnekte (4 ve 5 nolu örnekler) sınır değerlerin üzerinde, diğerlerinde ise sınır değerler arasında olduğu belirlenmiştir. Topraklardaki Fe içeriklerinin toplam 10 örnekte (% 19.6) sınır değerlerin altında, diğerlerinde (%80.4) ise maksimum izin verilebilir değerler arasında olduğu

belirlenmiştir. Alt topraklardaki Mn konsantrasyonu 18 örnekte (% 35.3) maksimum izin verilebilir sınır değerler arasında, diğer örneklerde ise (% 64.7) bu değerlerin altında olduğu saptanmıştır. Alt toprağın Ni içeriği 21 örnekte (% 41.2) maksimum izin verilebilir sınırların üzerinde, diğer örneklerde (% 58.8) ise bu sınırlar arasında olduğu görülmüştür. Alt topraktaki Pb içerikleri 3 örnekte (4,5 ve 18 nolu örnekler) sınır değerlerin üzerinde, 1 örnekte (31 nolu örnek) sınır değerler arasında, diğer 47 örnekte ise sınır değerlerden daha düşük olduğu saptanmıştır. Alt toprak örneklerinin Zn içerikleri; 4 tanesinde (4, 5, 18 ve 35 nolu örnekler) sınır değerlerinden yüksek, 12 tanesinde, bu değerlerden düşük, 35 tanesinde ise bu değerler arasında bulunmuştur.

Ağır metallerin bitkilerce alınabilir ortalama değerlerine göre; her iki katmandaki Cd, Cu, Fe ve Zn içeriği maksimum izin verilebilir sınır değerler içinde; Cr, Mn ve Pb içeriği her iki katmanda da maksimum izin verilebilir sınır değerinin altında; Ni içeriği ise üst katmanda maksimum izin verilebilir sınır değerlerin içinde, alt katmanda ise maksimum izin verilebilir sınır değerinin üzerinde bulunmuştur.

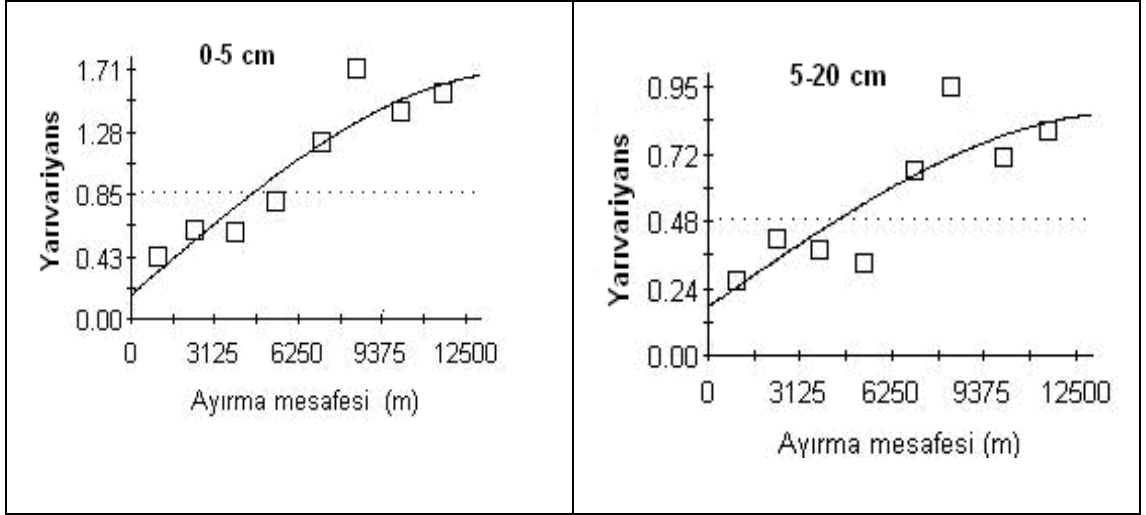
4.2. Jeostatistik Analiz Sonuçları

4.2.1. Toplam Metal İçerikleri

4.2.1.1. Kadmiyum (Cd)

Çalışma alanında her iki derinlikte de toplam Cd içeriği normal dağılım göstermemiştir. Çarpıklık katsayıları üst toprak (0-5 cm) için 3.98, alt toprak (5-20 cm) için ise 4.16'dır. Bu nedenle her iki derinlikteki veri seti, logaritmik dönüşüm (transformasyon) yapıldıktan sonra jeostatistiksel analizlerde kullanılmıştır.

Toprakların 0-5 cm derinliğinde toplam Cd için uygun yarıvariogram modelini belirlemek amacıyla, aktif ayırma mesafesi 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit (üniform) şekilde 1562 m olarak alınmıştır. 5-20 cm derinlik için aktif ayırma uzaklığı 12500 m, ayırma mesafesi ise eşit olarak 1534 m olarak belirlenmiştir. En uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için her iki derinlikte de tüm veriler değerlendirmeye alınmıştır. En uygun yarıvariogram modeli, her iki derinlik için de küresel olarak saptanmıştır (Şekil 4.1, Çizelge 4.7). Toplam Cd içeriği her iki derinlikte de kuvvetli uzaysal bağımlılık göstermiştir.



Şekil 4.1. Çalışma alanındaki toprakların toplam Cd içeriklerine ait yarıvariogramlar

Toplam Cd'nin ölçülen iki nokta arasında ilişkili olabileceği maksimum uzaklığı gösteren etki aralığı (A) değeri üst toprakta 14040 m, alt toprakta ise 14260 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.7).

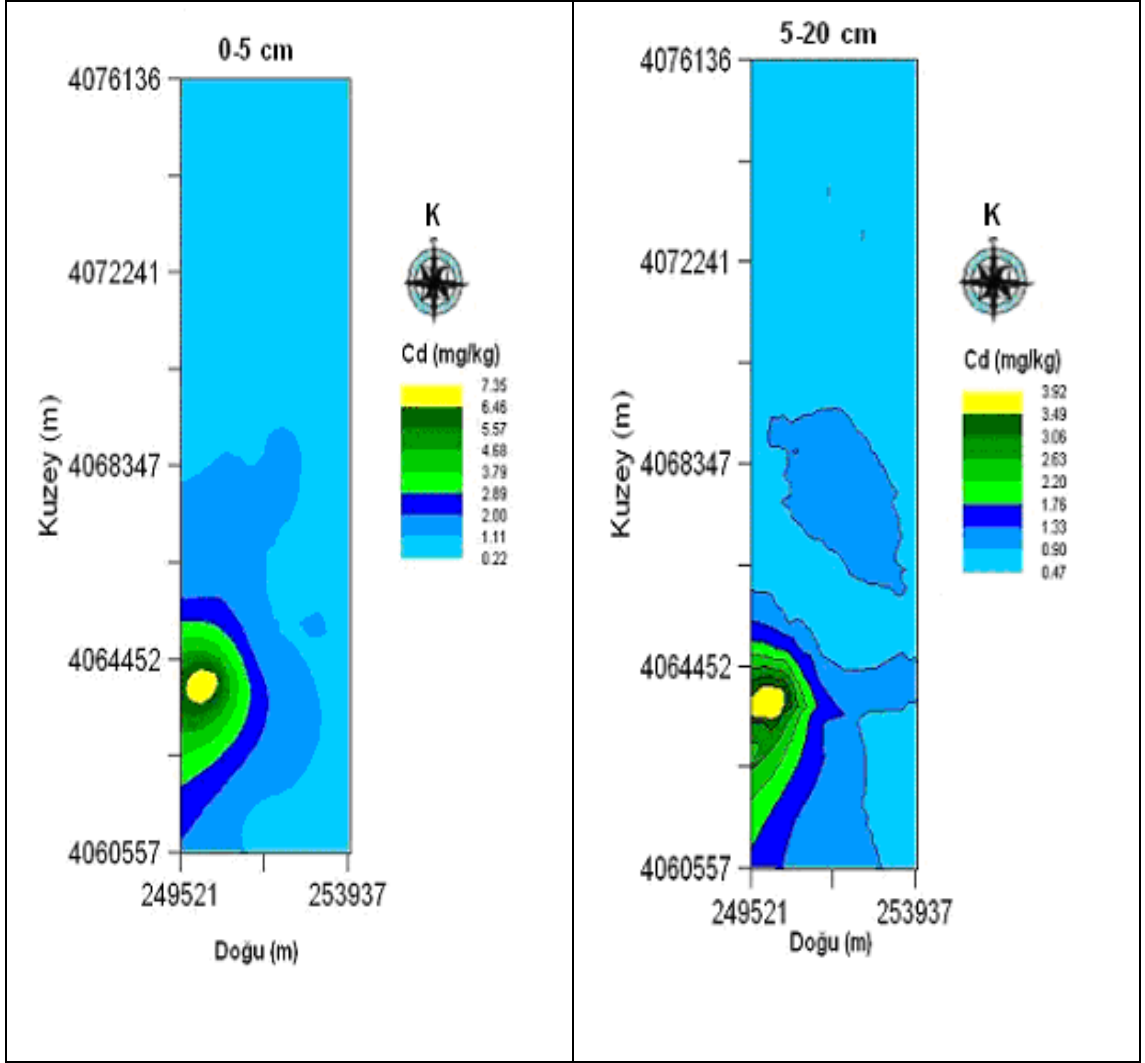
Çizelge 4.7. Toplam kadmiyum içeriklerine ait variogram parametreleri

Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C_0)	Sill (C_0+C)	$(C_0)/(C_0+C)*100$	r^2
Cd (mg/kg)	0-5	Küresel	14040	0.162	1.663	9.74	0.872
	5-20	Küresel	14260	0.172	0.864	19.91	0.718

Üst toprakta toplam Cd, çalışma alanının güneybatı bölümündeki küçük bir alanda en yüksek konsantrasyonda olup, doğu ve kuzey yönlerine doğru azalmaktadır. En düşük toplam Cd konsantrasyonunun ise çalışma alanının kuzeyinde, Payas beldesi ile Dört Yol ilçesi arasında bulunan tarım alanlarında olduğu belirlenmiştir. Alt topraktaki Cd konsantrasyonunun dağılımı da üst toprağının hemen hemen aynısıdır (Şekil 4.2).

4.2.1.2. Kobalt (Co)

Çalışma alanında her iki derinlikte de toplam Co içeriğinin çarpıklık katsayıları düşük olmasına rağmen, r^2 değerini yükseltmek için üst toprak veri setine logaritmik, alt toprak veri setine ise karekök dönüşümleri uygulanmıştır.

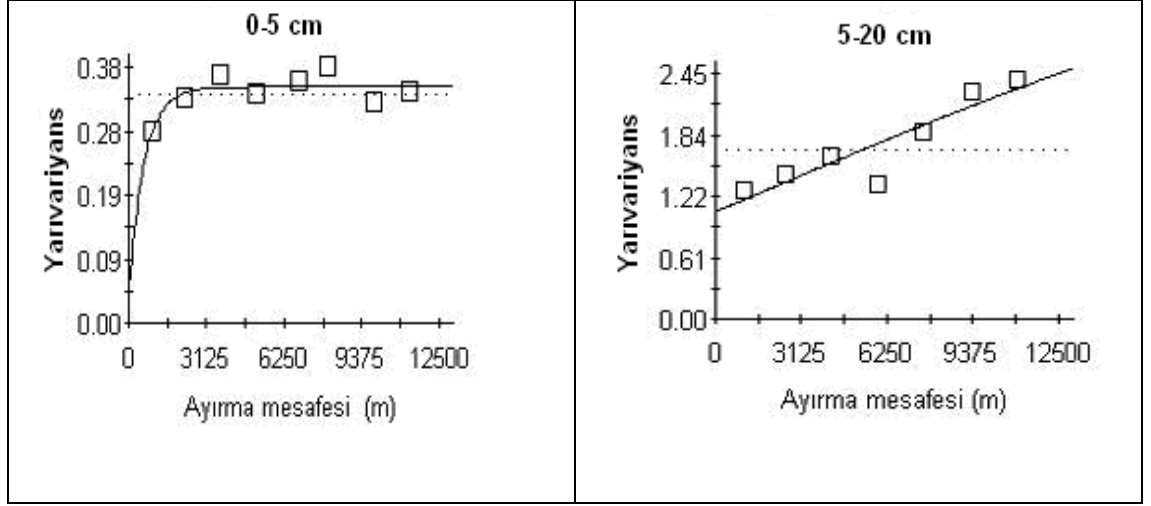


Şekil 4.2. Çalışma alanı topraklarının toplam Cd içeriklerinin dağılım haritası

Toprakların 0-5 cm derinliğinde toplam Co için uygun yarıvariogram modelini belirlemek amacıyla, aktif ayırma mesafesi 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit şekilde 1500 m olarak alınmıştır. En uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için bu derinlikte 21 ve 31 no'lu veriler değerlendirmeye alınmamıştır. 5-20 cm derinlik için aktif ayırma uzaklığı 12500 m, ayırma mesafesi ise eşit olarak 1700 m olarak belirlenmiştir. Bu derinlikte ise en uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için tüm veriler değerlendirmeye alınmıştır.

En uygun yarıvariogram modeli 0-5 cm derinlik için üssel, 5-20 cm derinlik için ise küresel olarak saptanmıştır (Şekil 4.3, Çizelge 4.8). Toplam Co içeriği üst toprakta kuvvetli, alt toprakta ise orta derecede uzaysal bağımlılık göstermektedir.

Topraklardaki toplam Co için etki aralığı (A) üst toprak için 1890 m, alt toprak için ise 31100 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.8).



Şekil 4.3. Çalışma alanındaki toprakların toplam Co içeriklerine ait yarıvariogramlar

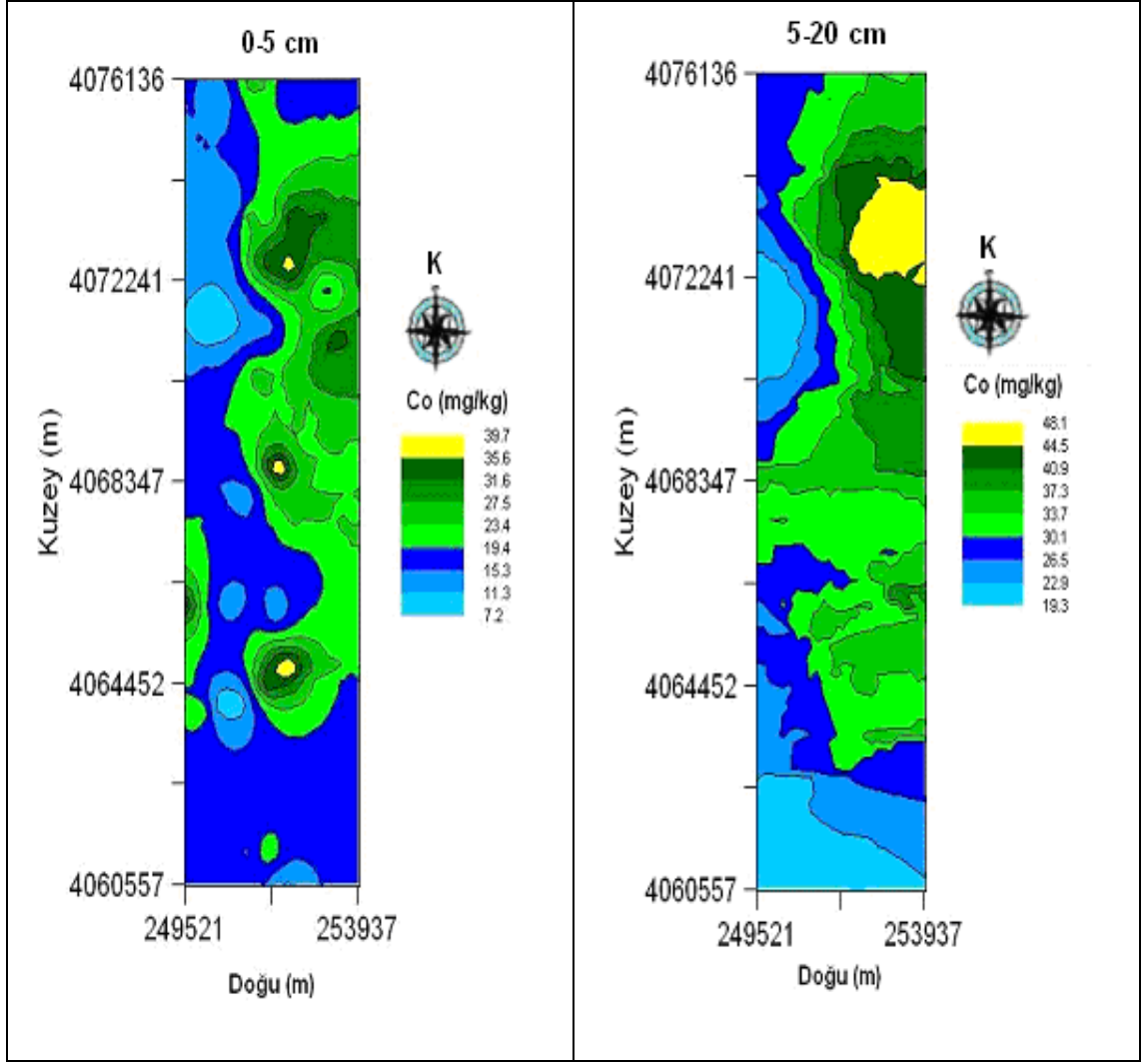
Üst topraktaki Co içeriğinin, çalışma alanının doğu kesiminde yer alan dağlık bölgede ve bunun eteklerindeki arazilerde yüksek, kuzey kısmındaki tarım alanlarında ve sanayi bölgesinde ise düşük olduğu görülmektedir. Ancak, batı kısımda büyük olasılıkla İSDEMİR civarındaki küçük bir alanda Co içeriğinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Alt toprakta ise alanın orta ve doğu kısımlarında yüksek, güneybatı ve kuzeybatı kesimlerinde ise düşüktür. Alt topraktaki en yüksek Co içeriğine, alanın kuzeydoğu kısmındaki dağlık kesimin bir bölümünde rastlanmıştır (Şekil 4.4).

Çizelge 4.8. Toplam kobalt içeriklerine ait varyogram parametreleri

Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C ₀)	Sill (C ₀ +C)	(C ₀)/(C ₀ +C)*100	r ²
Co (mg/kg)	0-5	Üssel	1890	0.050	0.350	14.29	0.638
	5-20	Küresel	31100	1.067	3.490	30.57	0.824

4.2.1.3. Krom (Cr)

Çalışma alanında toplam Cr içeriğine ait üst ve alt toprak verisinin çarpıklık katsayıları sırası ile -0.01 ve 0.03'dür. Bu değerlere göre Cr içeriği üst ve alt toprakta normal dağılım göstermektedir. Bu nedenle, verilere jeostatistiksel değerlendirmelerden önce herhangi bir dönüşüm uygulanmamıştır.

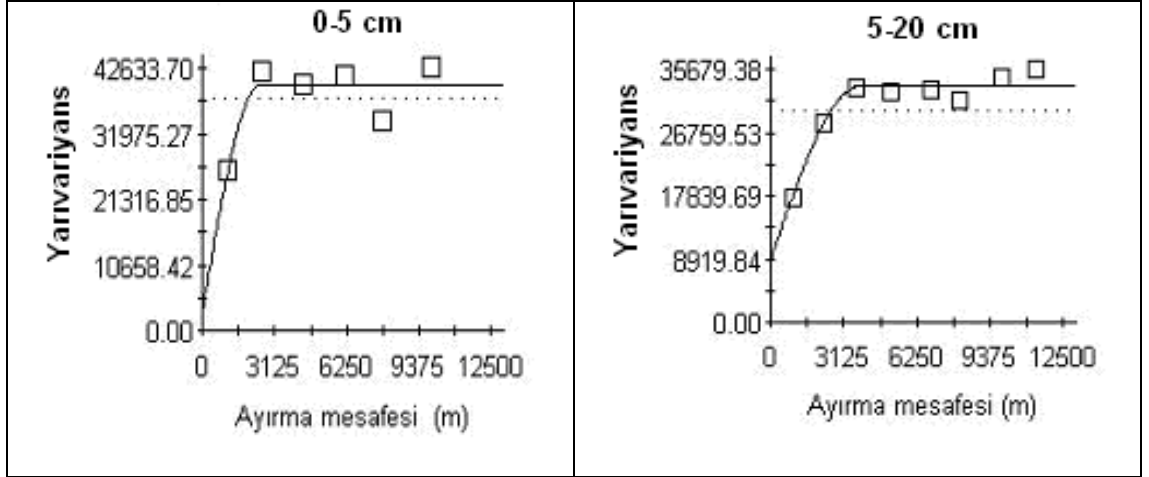


Şekil 4.4. Çalışma alanı topraklarının toplam Co içeriklerinin dağılım haritası

Toprakların 0-5 cm derinliğinde toplam Cr için uygun yarıvariogram modelinin belirlenmesi amacıyla, aktif ayırma mesafesi 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit şekilde 1787 m olarak alınmıştır. Toprakların 5-20 cm derinliğinde ise aktif ayırma uzaklığı 12500 m, ayırma mesafesi ise eşit olarak 1497 m olarak belirlenmiştir. En uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için her iki derinlikte de tüm veriler değerlendirmeye alınmıştır.

En uygun yarıvariogram modeli her iki derinlik için de küresel olarak saptanmıştır (Şekil 4.5, Çizelge 4.9). Toplam Cr içeriği üst toprakta kuvvetli, alt toprakta ise orta düzeyde uzaysal bağımlılık göstermiştir.

Toplam Cr için A, üst toprakta 2520 m, alt toprakta ise 3840 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.9).



Şekil 4.5. Çalışma alanındaki toprakların toplam Cr içeriklerine ait yarıvარიogramlar

Çalışma alanının üst ve alt topraklarında, kuzeybatı ve güney kesimlerindeki alanlardaki Cr içeriği, diğer yerlere göre daha düşük düzeydedir (Şekil 4.6).

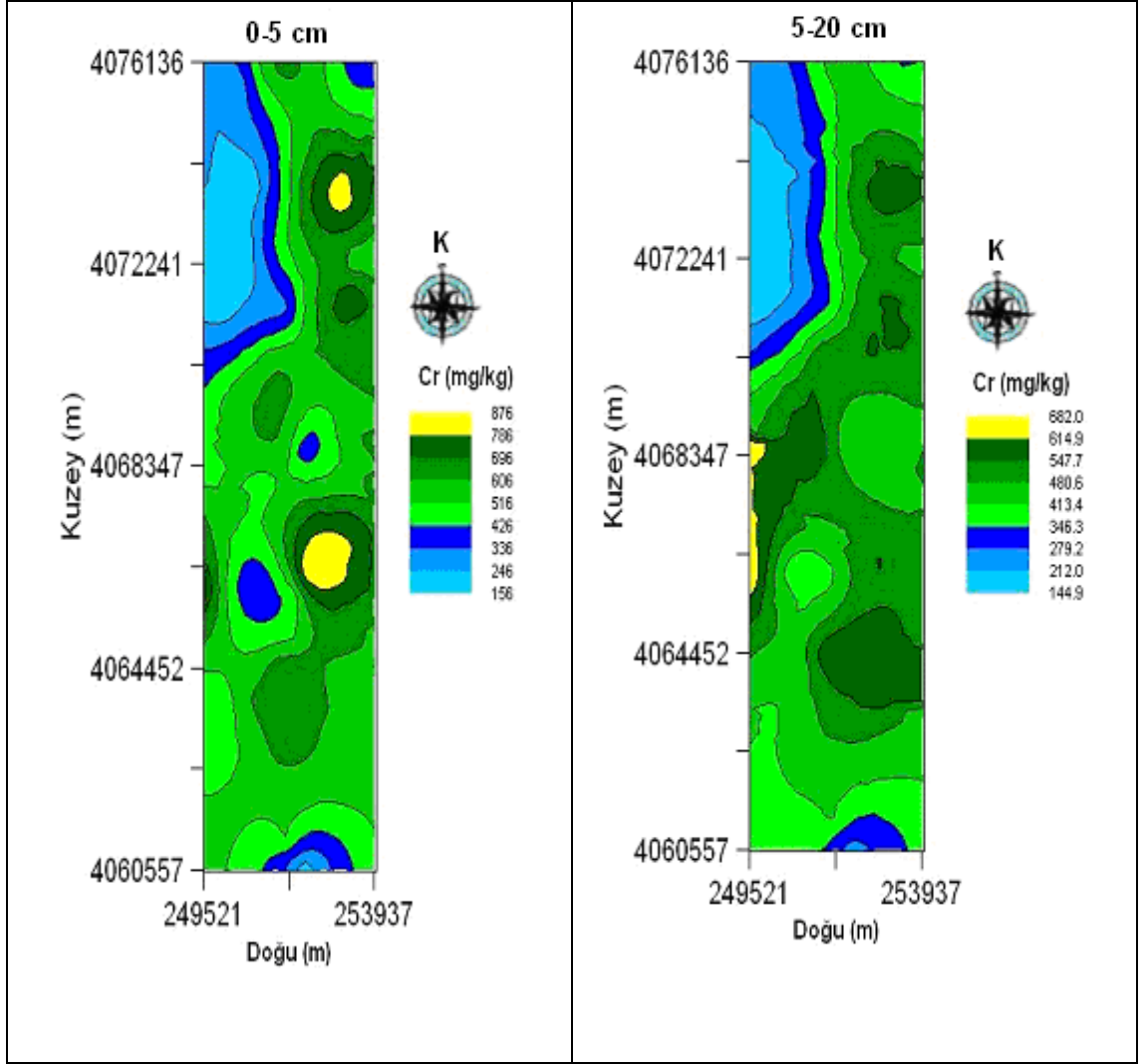
Çizelge 4.9. Toplam krom içeriklerine ait varyogram parametreleri

Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C_0)	Sill (C_0+C)	$(C_0)/(C_0+C)*100$	r^2
Cr (mg/kg)	0-5	Küresel	2520	3200	39930	8.01	0.767
	5-20	Küresel	3840	8760	33340	26.27	0.947

4.2.1.4. Bakır (Cu)

Çalışma alanındaki toplam Cu içeriklerinin üst ve alt topraktaki çarpıklık değerleri sırasıyla 4.05 ve 3.67'dir. Bu değerlerin oldukça yüksek olması nedeniyle, her iki katmanda da jeostatistiksel modellemeler, veri setine logaritmik dönüşüm uygulandıktan sonra yapılmıştır.

Toprakların 0-5 cm derinliğinde toplam Cu için uygun yarıvარიogram modelini belirlemek amacıyla, aktif ayırma mesafesi 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit şekilde 1763 m olarak alınmıştır. Bu derinlikte en uygun yarıvარიogram modelini oluşturmak için 4 nolu veri değerlendirmeye alınmamıştır. 5-20 cm derinlik için ise aktif ayırma uzaklığı 12500 m, ayırma mesafesi ise eşit olarak 1534 m olarak belirlenmiştir. Bu derinlikte ise en uygun yarıvარიogram modelini oluşturmak için tüm veriler değerlendirmeye alınmıştır.

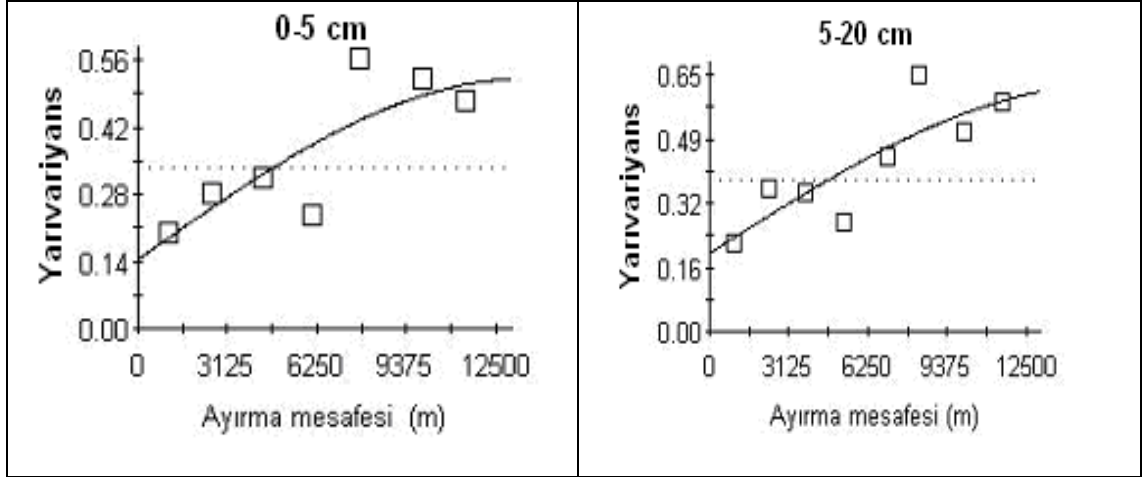


Şekil 4.6. Çalışma alanı topraklarının toplam Cr içeriklerinin dağılım haritası

En uygun yarıvariogram modeli her iki derinlik için de küresel olarak saptanmıştır (Şekil 4.7, Çizelge 4.10). Toplam Cu içeriğine ait nugget/sill oranları birbirine oldukça benzer olup, Cu içeriği çalışma alanında her iki derinlikte de orta düzeyde uzaysal bağımlılık göstermiştir (Çizelge 4.10).

Topraklarda toplam Cu için A değerleri üst toprakta 13350 m, alt toprakta ise 15950 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.10).

Çalışma alanında, her iki katmanda da Cu içeriği güneybatı kesiminde daha yüksek olup, kuzeydoğu yönüne doğru azalmaktadır (Şekil 4.8).



Şekil 4.7. Çalışma alanındaki toprakların toplam Cu içeriklerine ait yarıvariogramlar

Çizelge 4.10. Toplam bakır içeriklerine ait varyogram parametreleri

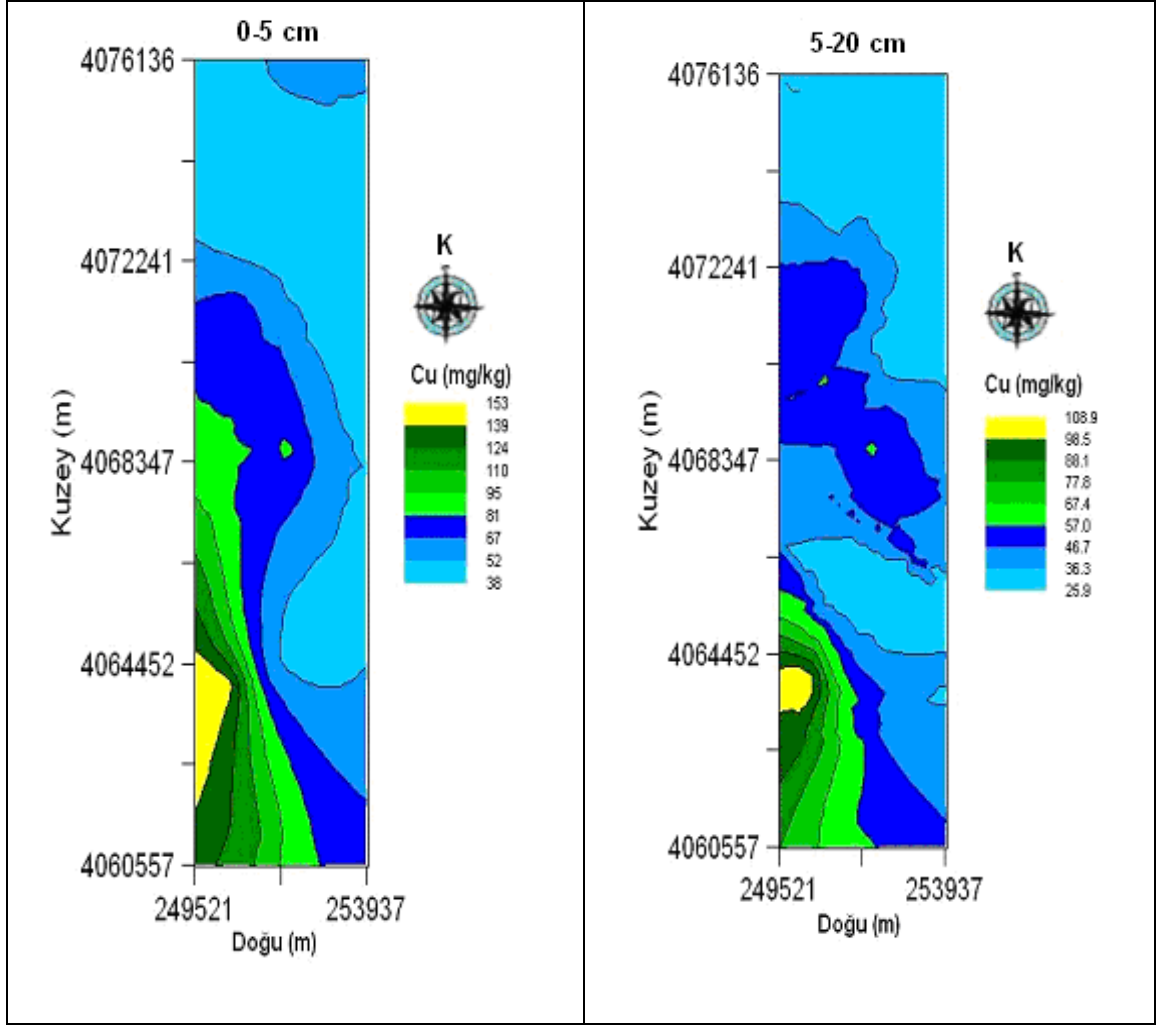
Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C_0)	Sill (C_0+C)	$(C_0)/(C_0+C)*100$	r^2
Cu (mg/kg)	0-5	Küresel	13350	0.145	0.523	27.72	0.682
	5-20	Küresel	15950	0.198	0.631	31.38	0.704

4.2.1.5. Demir (Fe)

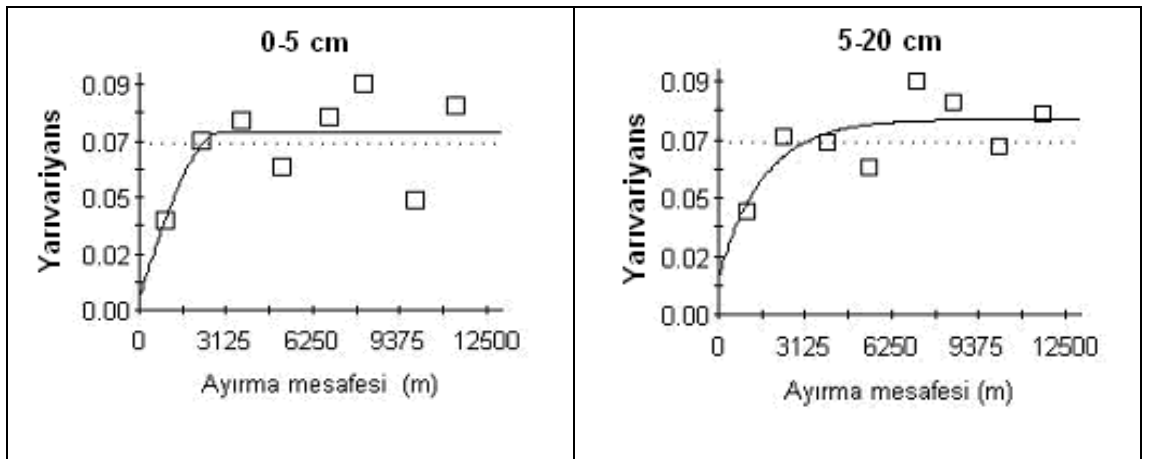
Çalışma alanındaki toplam Fe içeriğinin çarpıklık değeri üst toprak için 1.54, alt toprak için ise 1.41' dir. Bu değerlerin yüksek olması nedeniyle, her iki katmanda da jeostatistiksel modellemeler, veri setine logaritmik dönüşüm uygulandıktan sonra yapılmıştır.

Toprakların 0-5 cm derinliğinde toplam Fe için uygun yarıvariogram modelinin belirlenmesi amacıyla, aktif ayırma mesafesi 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit şekilde 1509 m olarak alınmıştır. Bu derinlikte en uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için 4 ve 41 no'lu veriler değerlendirmeye alınmamıştır. 5-20 cm derinlik için aktif ayırma uzaklığı 12500 m, ayırma mesafesi ise eşit olarak 1561 m olarak belirlenmiştir. Bu derinlikte ise en uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için tüm veriler değerlendirmeye alınmıştır.

En uygun yarıvariogram modeli 0-5 cm derinlik için küresel, 5-20 cm derinlik için ise üssel olarak saptanmıştır (Şekil 4.9, Çizelge 4.11). Toplam Fe içeriğine ait nugget/sill oranları da birbirine oldukça benzer olup, Fe içeriği çalışma alanındaki toprakların her iki derinliğinde de orta düzeyde uzaysal bağımlılık göstermiştir (Çizelge 4.11).



Şekil 4.8. Çalışma alanı topraklarının toplam Cu içeriklerinin dağılım haritası



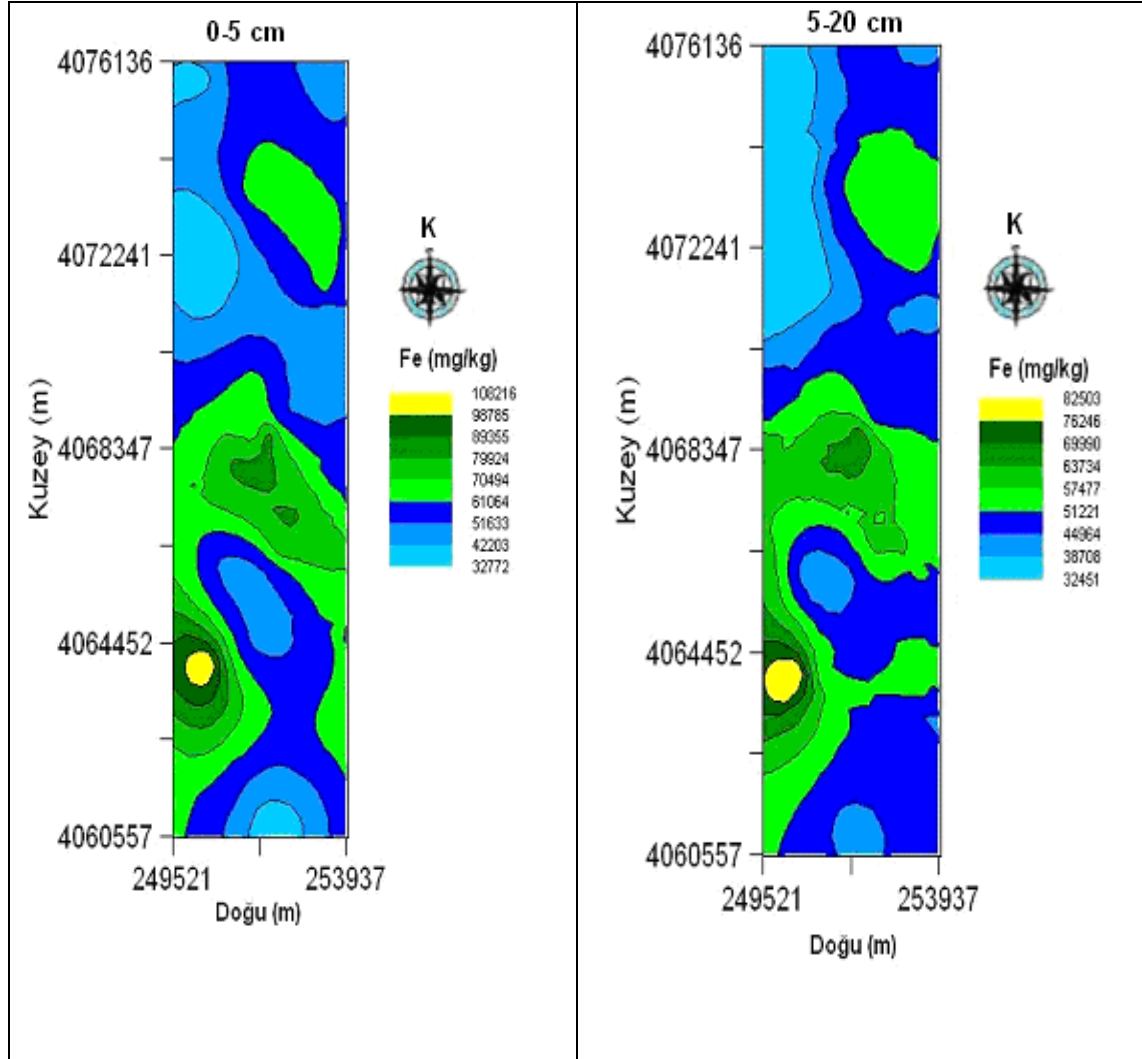
Şekil 4.9. Çalışma alanındaki toprakların toplam Fe içeriklerine ait yarıvarioграмmlar

Toplam Fe'in A değerleri; üst toprakta 13350 m, alt toprakta ise 15950 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Toplam demir içeriklerine ait varyogram parametreleri

Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C ₀)	Sill (C ₀ +C)	(C ₀)/(C ₀ +C)*100	r ²
Fe (mg/kg)	0-5	Küresel	13350	0.145	0.523	27.72	0.682
	5-20	Üssel	15950	0.198	0.631	31.38	0.704

Yüzey ve yüzey altı topraklarda Fe konsantrasyonu, çalışma alanının güneybatı kısmındaki lokal bir alanda en yüksek olduğu, ayrıca kuzeydoğu kesimindeki küçük bir alan ile orta kesimlerdeki alanlarda da yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.10).



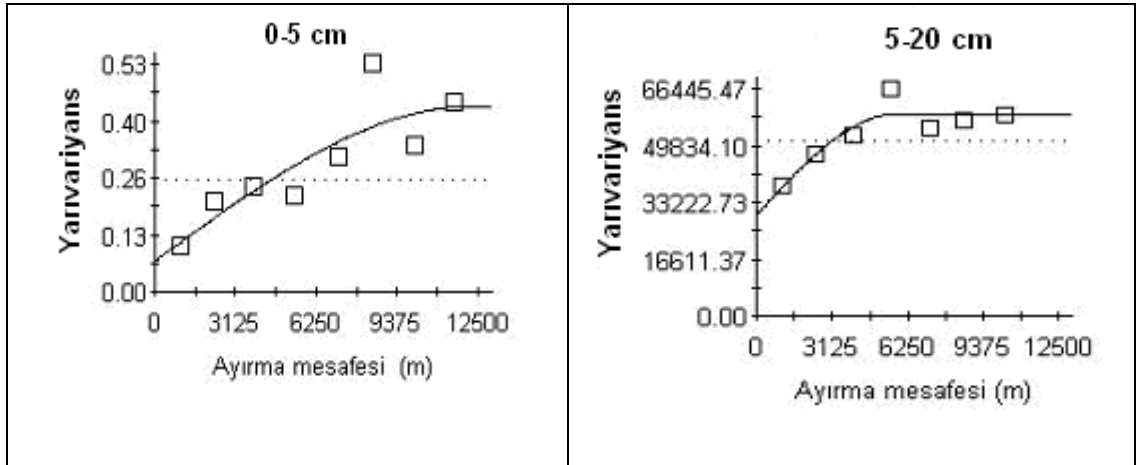
Şekil 4.10. Çalışma alanı topraklarının toplam Fe içeriklerinin dağılım haritası

4.2.1.6. Manganez (Mn)

Çalışma alanının toplam Mn içeriği üst toprakta normal dağılım göstermemiştir. Üst toprağın çarpıklık değeri 2.71 olduğu için logaritmik dönüşüm yapıldıktan sonra jeoistatistiksel analizlerde kullanılmıştır. Toplam Mn içeriği alt toprakta normal dağılım göstermiş ve çarpıklık değeri 0.10 olarak belirlenmiştir. Bu nedenle alt toprakta herhangi bir dönüşüm uygulanmamıştır.

Toprakların 0-5 cm derinliğinde toplam Mn için uygun yarıvariogram modelini belirlemek amacıyla, aktif ayırma mesafesi 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit şekilde 1559 m olarak alınmıştır. En uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için tüm veriler değerlendirmeye alınmıştır. 5-20 cm derinlik için aktif ayırma uzaklığı 12500 m, ayırma mesafesi ise eşit olarak 1588 m olarak belirlenmiştir. Bu derinlikte ise en uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için 4, 5 ve 18 nolu veriler değerlendirmeye alınmamıştır.

En uygun yarıvariogram modeli her iki derinlik için de Küresel olarak saptanmıştır (Şekil 4.11, Çizelge 4.12). Toplam Mn içeriğine ait nugget/sill oranları alt ve üst toprakta birbirinden oldukça farklı olup, Mn içeriği çalışma alanındaki üst toprakta kuvvetli, alt toprakta ise orta düzeyde uzaysal bağımlılık göstermektedir (Çizelge 4.12).



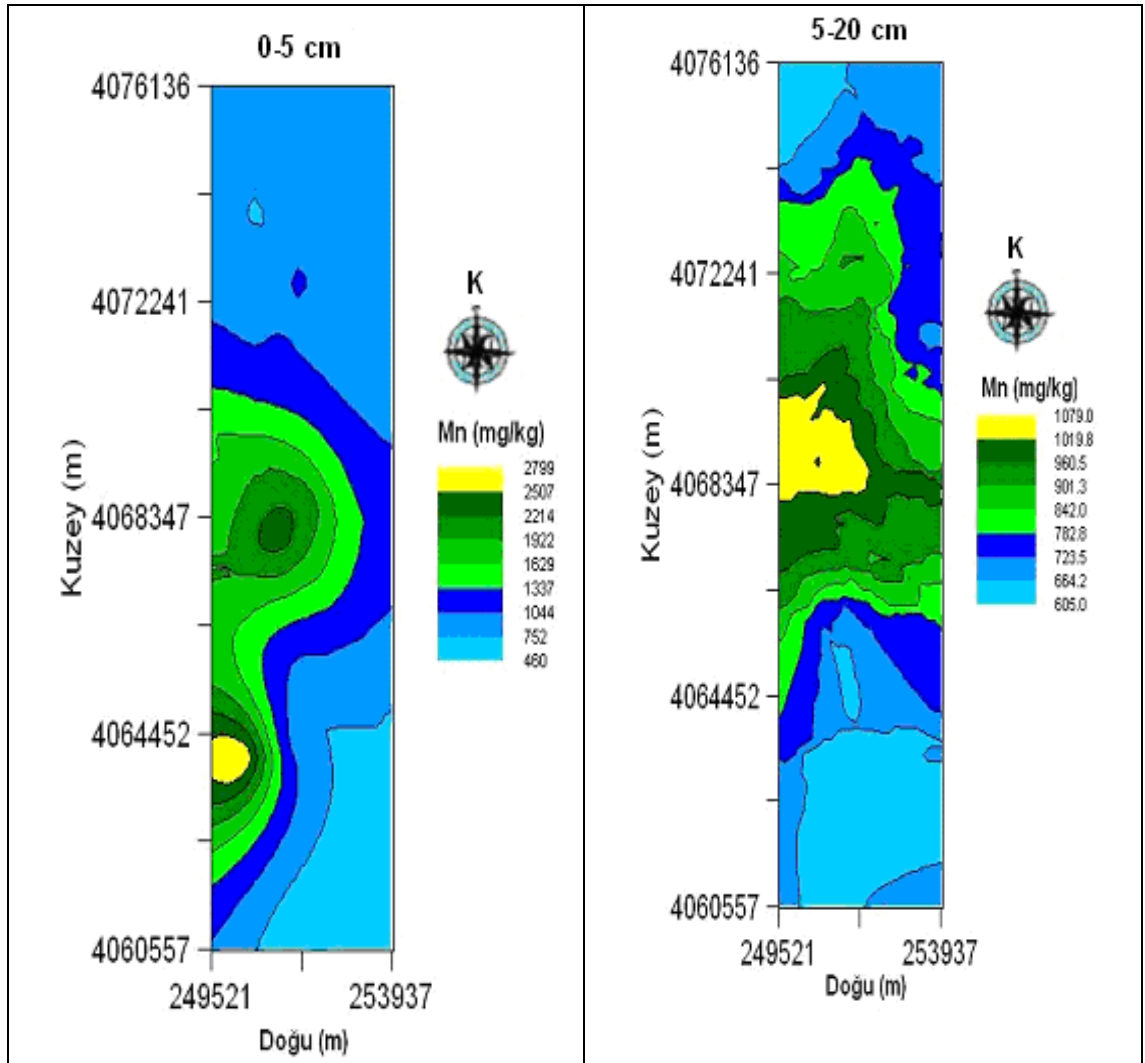
Şekil 4.11. Çalışma alanındaki toprakların toplam Mn içeriklerine ait yarıvariogramlar

Toplam Mn için A değerleri; üst toprakta 12280 m, alt toprakta ise 5760 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.12). Yüzey ve yüzey altı topraklarının toplam Mn

içeriklerinin; çalışma alanının orta kesimlerinde yüksek, kuzey ve güney kesimlerinde ise düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4.12).

Çizelge 4.12. Toplam mangan içeriklerine ait varyogram parametreleri

Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C ₀)	Sill (C ₀ +C)	(C ₀)/(C ₀ +C)*100	r ²
Mn (mg/kg)	0-5	Küresel	12280	0.071	0.430	16.51	0.728
	5-20	Küresel	5760	29520	59050	49.99	0.836



Şekil 4.12. Çalışma alanı topraklarının toplam Mn içeriklerinin dağılım haritası

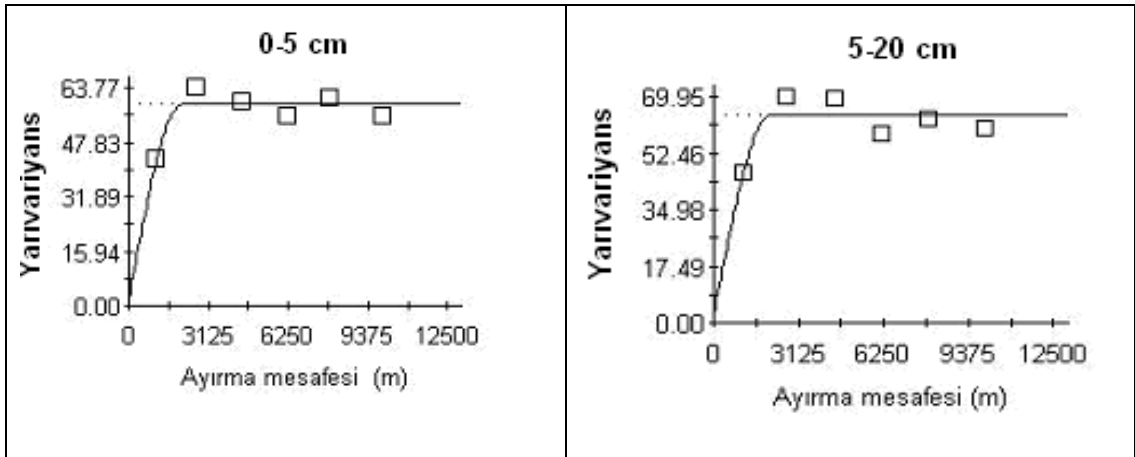
4.2.1.7. Nikel (Ni)

Toplam Ni içeriği her iki derinlikte de normal dağılım göstermiştir. Çarpıklık değeri üst toprak için 0.26, alt toprak için ise 0.38 gibi düşük değerler olmasına rağmen,

r^2 değerlerini yükseltmek için, her iki veri setinde de karekök dönüşüm uygulanmış ve jeostatistiksel analizlerde kullanılmıştır.

Toprakların 0-5 cm derinliğinde toplam Ni için uygun yarıvariogram modelinin belirlenmesi amacıyla, aktif ayırma mesafesi 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit şekilde 1800 m olarak alınmıştır. En uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için 41 ve 45 nolu veriler değerlendirmeye alınmamıştır. 5-20 cm derinlik için aktif ayırma uzaklığı 12500 m, ayırma mesafesi ise eşit olarak 1786 m olarak belirlenmiştir. Bu derinlikte ise en uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için tüm veriler değerlendirmeye alınmıştır.

En uygun yarıvariogram modeli her iki derinlik için de Küresel olarak saptanmıştır (Şekil 4.13, Çizelge 4.13). Toplam Ni içeriğinin nugget/sill oranları oldukça küçük ve birbirine oldukça benzer olup, Ni içeriğinin çalışma alanında her iki derinlikte de kuvvetli düzeyde uzaysal bağımlılık göstermektedir (Çizelge 4.13).



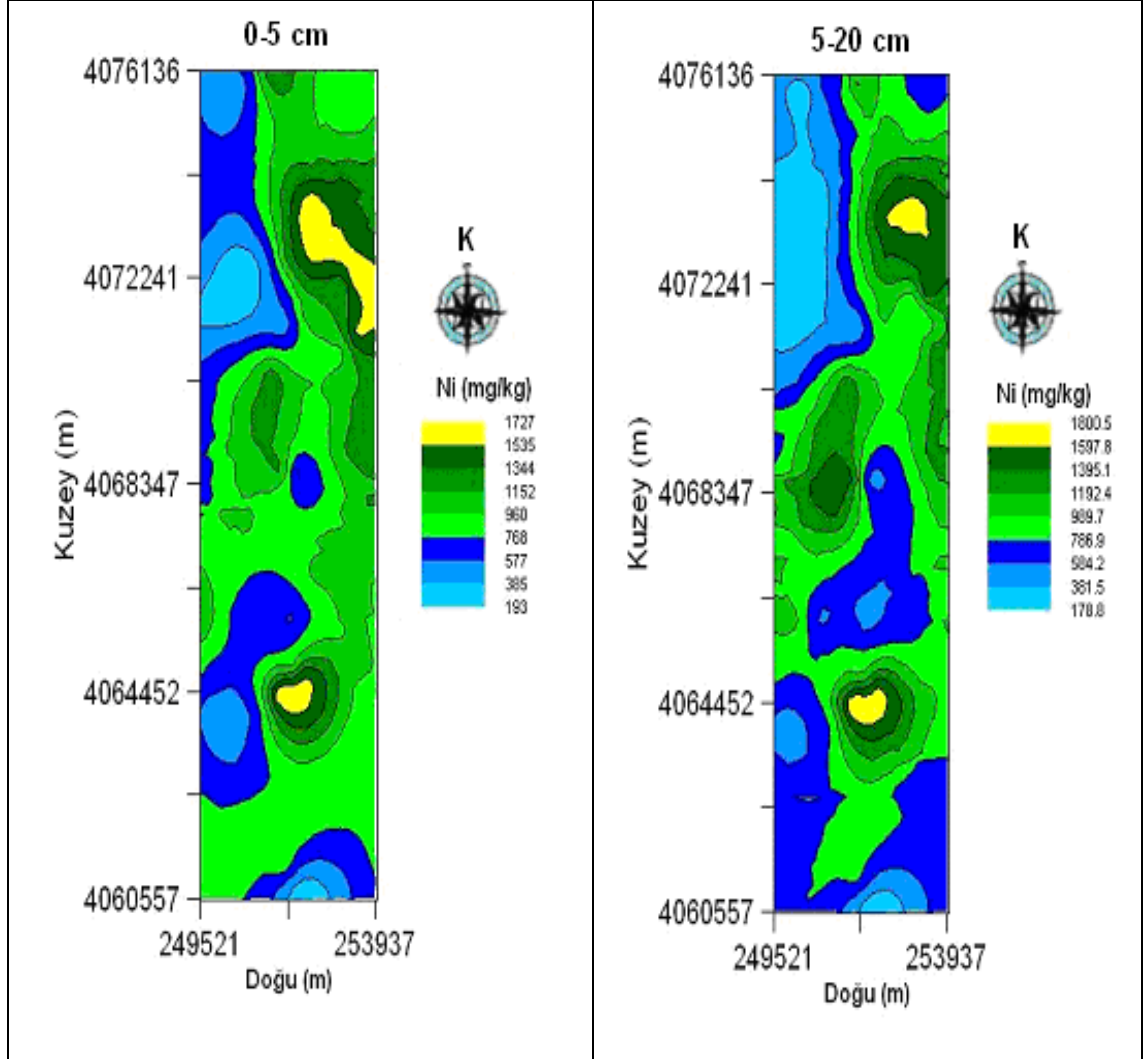
Şekil 4.13. Çalışma alanındaki toprakların toplam Ni içeriklerine ait yarıvariogramlar

Toplam Ni'in A değeri üst toprakta 2090 m, alt toprakta ise 2100 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.13).

Ni içeriği çalışma alanının orta ve doğu kesimlerinde yüksek, kuzeybatı ve güney kesimlerinde ise düşüktür. En yüksek Ni konsantrasyonunun ise alanın kuzeydoğu kesiminde yer alan dağlık arazi topraklarında olduğu görülmektedir (Şekil 4.14).

Çizelge 4.13. Toplam nikel içeriklerine ait variogram parametreleri

Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C ₀)	Sill (C ₀ +C)	(C ₀)/(C ₀ +C)*100	r ²
Ni (mg/kg)	0-5	Küresel	2090	1.80	58.98	3.05	0.804
	5-20	Küresel	2100	2.20	64.25	3.42	0.709



Şekil 4.14. Çalışma alanı topraklarının toplam Ni içeriklerinin dağılım haritası

4.2.1.8. Kurşun (Pb)

Her iki veri setinde de toplam Pb içeriği normal dağılım göstermemiş ve veriler logaritmik dönüşüm yapıldıktan sonra jeostatistiksel analizlerde kullanılmıştır.

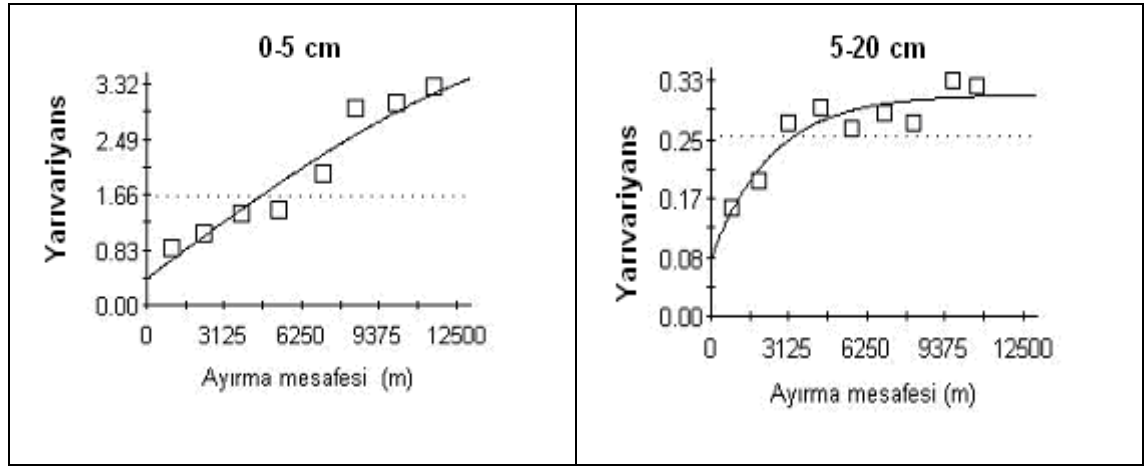
Toprakların 0-5 cm derinliğinde toplam Pb için uygun yarıvariogram modelini belirlemek amacıyla, aktif ayırma mesafesi 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit şekilde

1566 m olarak alınmıştır. Bu derinlikte en uygun yarivariogram modelini oluşturmak için tüm veriler değerlendirmeye alınmıştır. 5-20 cm derinlik için aktif ayırma uzaklığı 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit olarak 1265 m olarak belirlenmiştir. Bu derinlikte ise en uygun yarivariogram modelini oluşturmak için 4, 5 ve 18 nolu veriler değerlendirmeye alınmamıştır.

En uygun yarivariogram modeli 0-5 cm derinlik için küresel, 5-20 cm derinlik için ise üssel olarak saptanmıştır (Şekil 4.15, Çizelge 4.14).

Toplam Pb içeriğinin çalışma alanında her iki derinlikte de kuvvetli düzeyde uzaysal bağımlılık göstermektedir (Çizelge 4.14).

Toplam Pb'un A değeri üst toprakta 18620 m, alt toprakta ise 7230 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.14).

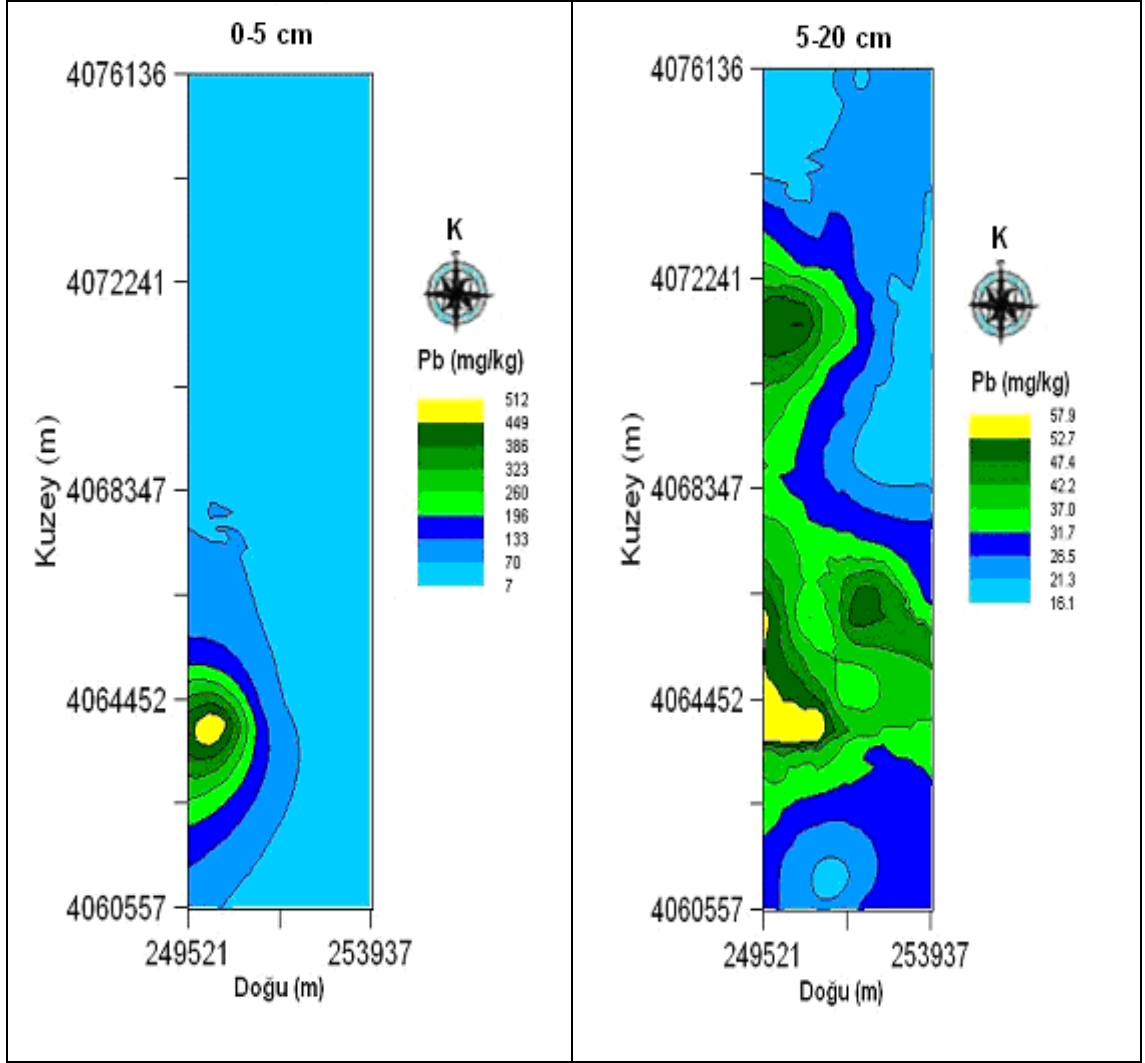


Şekil 4.15. Çalışma alanındaki toprakların toplam Pb içeriklerine ait yarivariogramlar

Çizelge 4.14. Toplam kurşun içeriklerine ait varyogram parametreleri

Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C_0)	Sill (C_0+C)	$(C_0)/(C_0+C)*100$	r^2
Pb (mg/kg)	0-5	Küresel	18620	0.400	3.81	10.50	0.927
	5-20	Üssel	7230	0.079	0.311	25.40	0.57

Üst topraktaki toplam Pb içeriği; alanın güneybatı kesiminde yer alan küçük bir kesimde yüksek, diğer kesimlerde ise oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Alt topraktaki toplam Pb konsantrasyonunun ise; üst toprağa göre alanın orta kesimini de içeren daha geniş bir alanda yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Çalışma alanı topraklarının toplam Pb içeriklerinin dağılım haritası

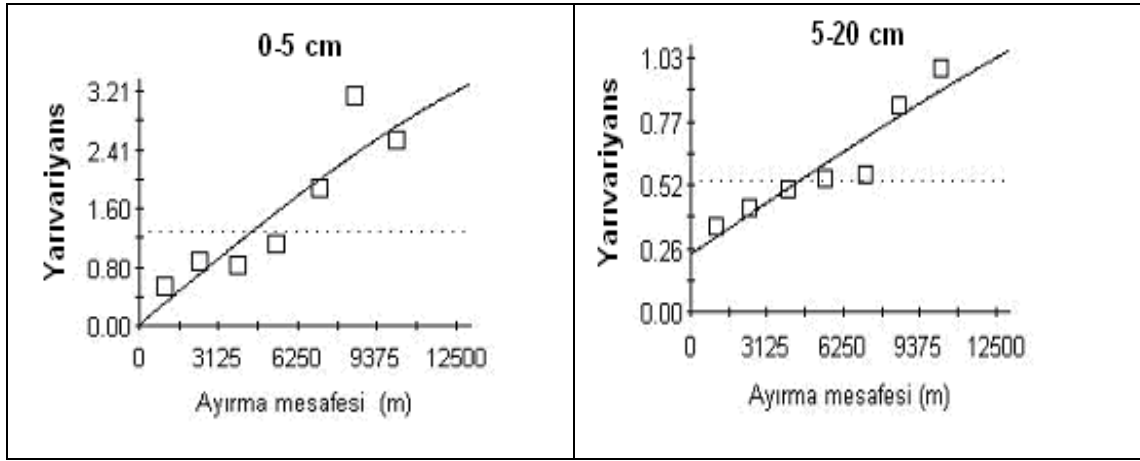
4.2.1.9. Çinko (Zn)

Üst ve alt toprak veri setlerinin çarpıklık katsayıları sırasıyla 4.07 ve 2.58'dir. Her iki veri seti de logaritmik dönüşüm yapıldıktan sonra jeostatistiksel analizlerde kullanılmıştır. Toplam Zn içeriği üst ve alt toprakta normal dağılım göstermemiştir.

Toprakların 0-5 cm derinliğinde toplam Zn için uygun yarıvariogram modelini belirlemek amacıyla, aktif ayırma mesafesi 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit şekilde 1578 m olarak alınmıştır. En uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için tüm veriler değerlendirmeye alınmıştır. 5-20 cm derinlik için aktif ayırma uzaklığı 12500 m, ayırma mesafesi ise eşit olarak 1583 m olarak belirlenmiştir. Bu derinlikte ise en uygun

yarıvარიogram modelini oluşturmak için 4, 5 ve 18 no'lu veriler değerlendirmeye alınmamıştır.

En uygun yarıvარიogram modeli her iki derinlik için de küresel olarak saptanmıştır (Şekil 4.17, Çizelge 4.15). Toplam Zn içeriğine ait nugget/sill oranları birbirinden oldukça farklı olmasına rağmen, Zn içeriği çalışma alanında her iki derinlikte de kuvvetli düzeyde uzaysal bağımlılık göstermiştir (Çizelge 4.15).



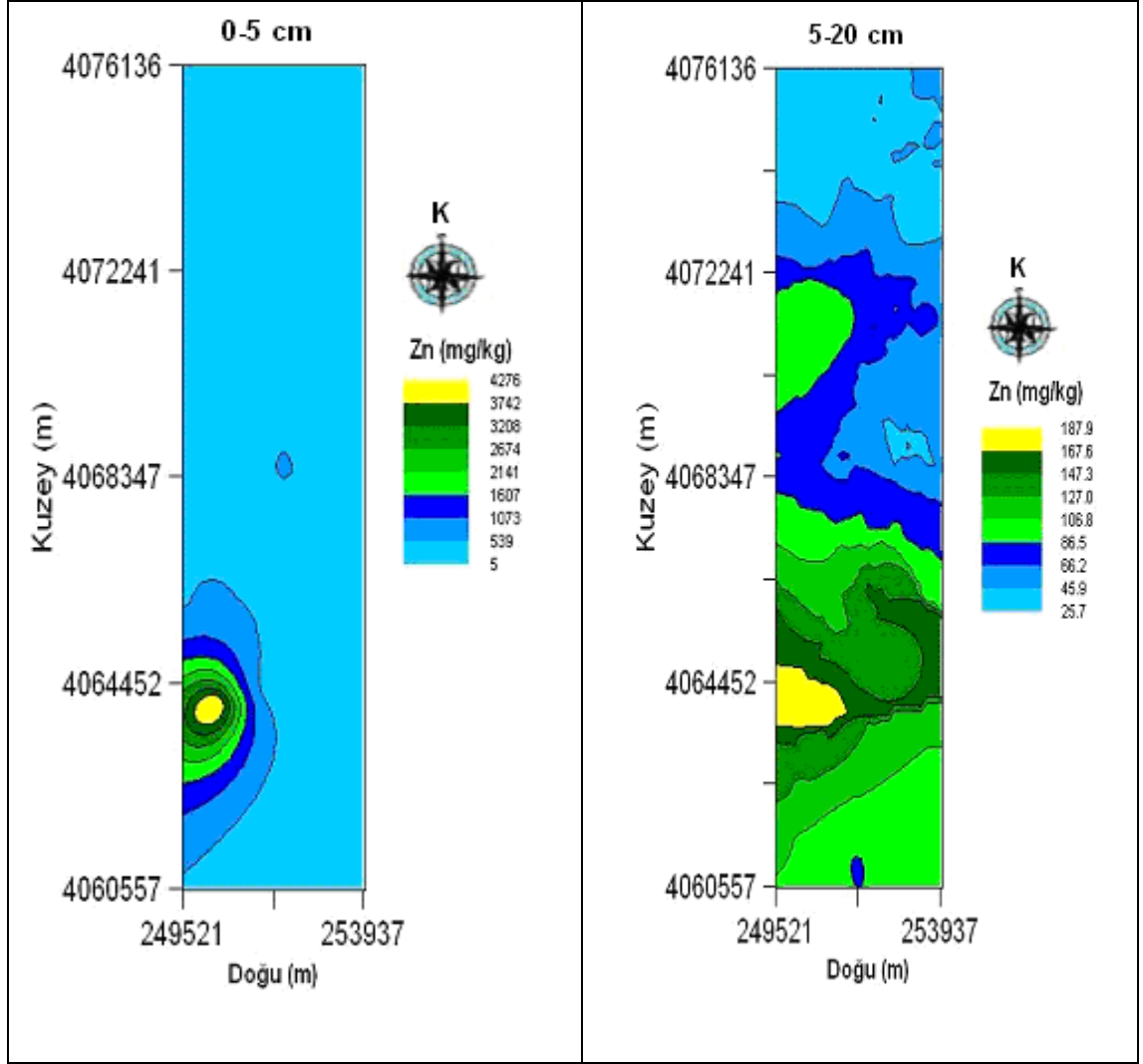
Şekil 4.17. Çalışma alanındaki toprakların toplam Zn içeriklerine ait yarıvარიogramlar

Toplam Zn için A değeri üst toprakta 20780 m, alt toprakta ise 31100 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Toplam çinko içeriklerine ait variogram parametreleri

Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C ₀)	Sill (C ₀ +C)	(C ₀)/(C ₀ +C)*100	r ²
Zn (mg/kg)	0-5	Küresel	20780	0.020	4.040	0.50	0.819
	5-20	Küresel	31100	0.234	1.630	14.36	0.884

Üst topraktaki toplam Zn içeriği; toplam Pb içeriğinde olduğu gibi, çalışma alanının güneybatı kesimindeki küçük bir bölgede yüksek olup, diğer kesimlerde oldukça düşüktür. Alt toprakta ise Zn'nun; alanın güney kesimlerinde yüksek, kuzey kesimlerinde düşük konsantrasyonda olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Çalışma alanı topraklarının toplam Zn içeriklerinin dağılım haritası

4.2.2. Bitkilerce Alınabilir Metal İçerikleri

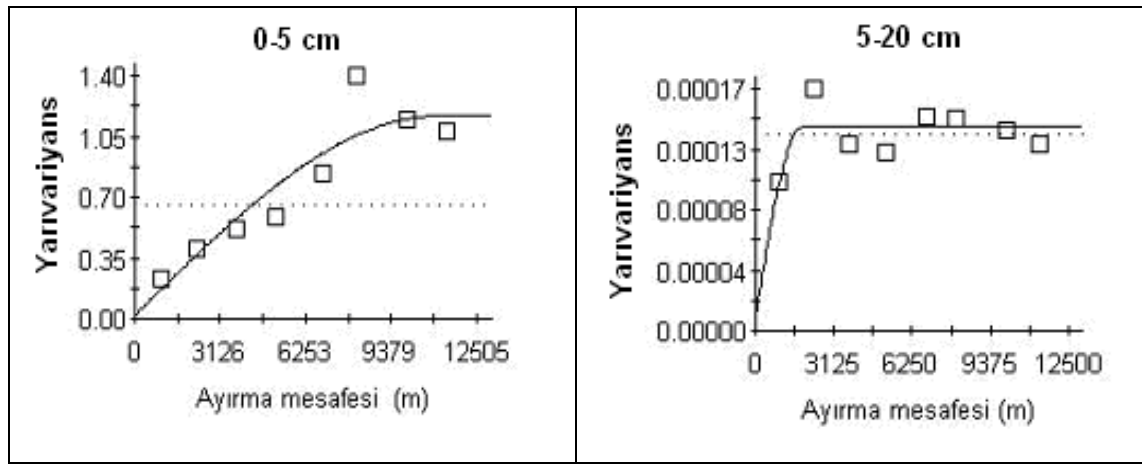
4.2.2.1. Kadmiyum (Cd)

Çalışma alanının alınabilir Cd içeriği üst toprakta normal dağılım göstermemiştir. Üst toprağın çarpıklık değerinin 3.70 olması nedeniyle, veri setine logaritmik dönüşüm yapıldıktan sonra jeostatistiksel analizlerde kullanılmıştır. Alınabilir Cd içeriği alt toprakta normal dağılım göstermemiş olmasına rağmen çarpıklık değerinin 1'e yakın (1.23) olması nedeniyle alt topraktaki veri setine herhangi bir dönüşüm uygulanmamıştır.

Toprakların 0-5 cm derinliğinde alınabilir Cd için uygun yarıvaryogram modelini belirlemek amacıyla, aktif ayırma mesafesi 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit şekilde

1506 m olarak alınmıştır. En uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için tüm veriler değerlendirmeye alınmıştır. 5-20 cm derinlik için aktif ayırma uzaklığı 12500 m, ayırma mesafesi ise eşit olarak 1504 m olarak belirlenmiştir. Bu derinlikte de en uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için 4 ve 5 nolu örneklere ait veriler değerlendirmeye alınmamıştır.

En uygun yarıvariogram modeli her iki derinlik için de küresel olarak saptanmıştır (Şekil 4.19, Çizelge 4.16). Bitkilerce alınabilir Cd içeriğinin çalışma alanında toprakların her iki derinliğinde de kuvvetli düzeyde uzaysal bağımlılık göstermektedir (Çizelge 4.16).



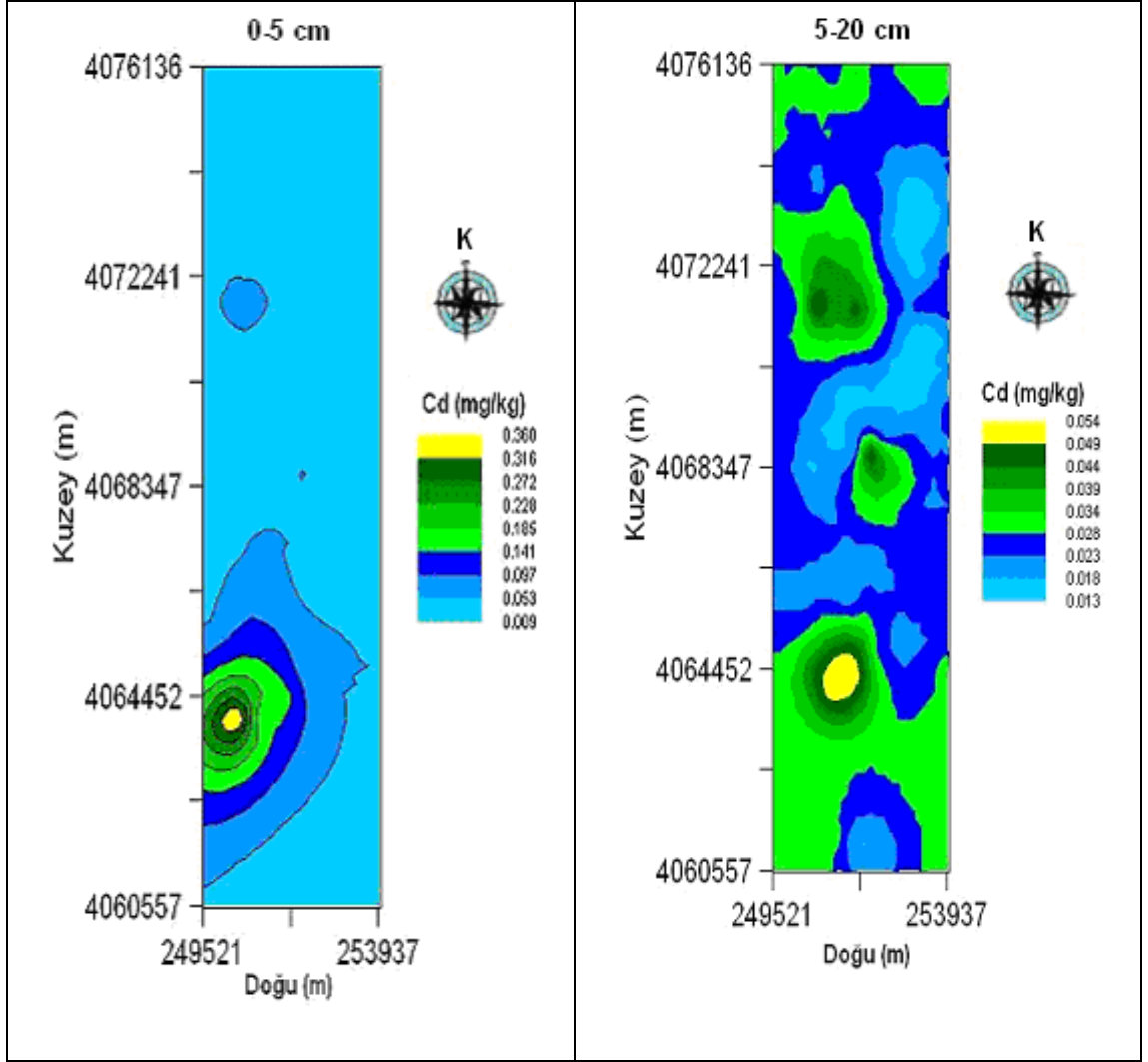
Şekil 4.19. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Cd içeriklerine ait yarıvariogramlar

Alınabilir Cd'nin A değeri; üst toprakta 11050 m, alt toprakta ise 1830 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.16).

Üst topraktaki bitkilerce alınabilir Cd içeriği; çalışma alanının güneybatı kesimindeki küçük bir bölgede yüksek olup, diğer kesimlerde oldukça düşüktür. Alt toprakta ise Cd'un genellikle alanın güney kesimlerinde yüksek, kuzey kesimlerinde ise düşük konsantrasyonda olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.20).

Çizelge 4.16. Bitkilerce alınabilir kadmiyum içeriklerine ait variogram parametreleri

Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C_0)	Sill (C_0+C)	$(C_0)/(C_0+C)*100$	r^2
Cd (mg/kg)	0-5	Küresel	11050	0.020	1.166	1.72	0.843
	5-20	Küresel	1830	9×10^{-6}	1.4×10^{-4}	6.43	0.478



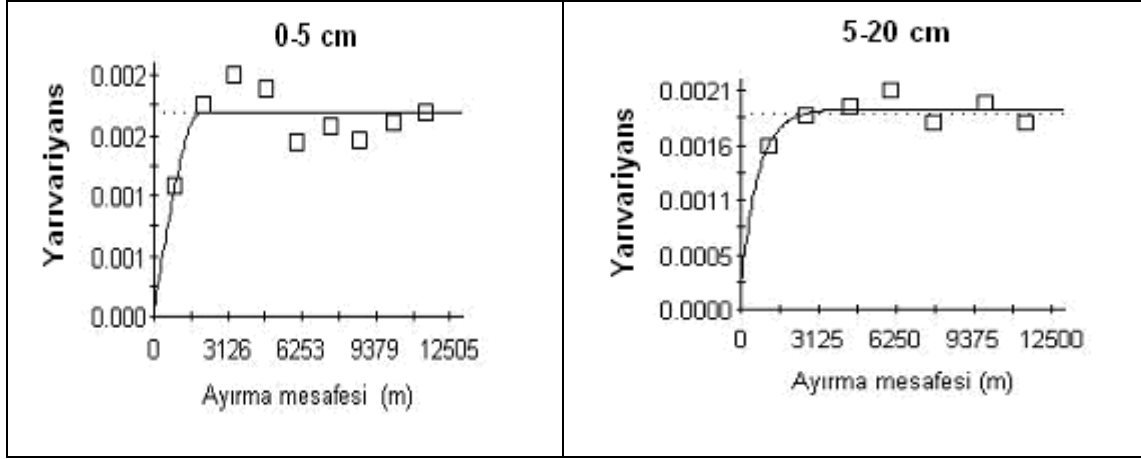
Şekil 4.20. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Cd içeriklerinin dağılım haritası

4.2.2.2. Kobalt (Co)

Alınabilir Co içeriği her iki veri setinde de normal dağılım göstermiştir. Çarpıklık katsayıları üst ve alt toprak için sırasıyla -0.04 ve 0.37 olarak bulunmuştur. Her iki veri setinde herhangi bir dönüşüm uygulanmamıştır.

Bitkilerce alınabilir Co içeriği için her iki derinlikte de aktif ayırma uzaklığı 12500 m olarak alınmıştır. Ayırma uzaklığı ise eşit olarak 0-5 cm için 1357 m, 5-20 cm için ise 1756 m olarak alınmıştır. Ayrıca en uygun yarıvარიogram modelini oluşturmak için 0-5 cm derinlikte 18, 23 ve 39 no'lu; 5-20 cm derinlikte ise 38 ve 48 no'lu örnekler veri setinden çıkartılmıştır.

Her iki derinlik için de en uygun yarıvariogram modeli küresel olarak belirlenmiştir (Şekil 4.21, Çizelge 4.17). Çalışma alanı topraklarında bitkilerce alınabilir Co içeriği her iki katmanda da kuvvetli düzeyde uzaysal bağımlılık göstermektedir (Çizelge 4.17).



Şekil 4.21. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Co içeriklerine ait yarıvariogramlar

Alınabilir Co için A değerleri; üst toprakta 1960 m, alt toprakta ise 2130 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.17).

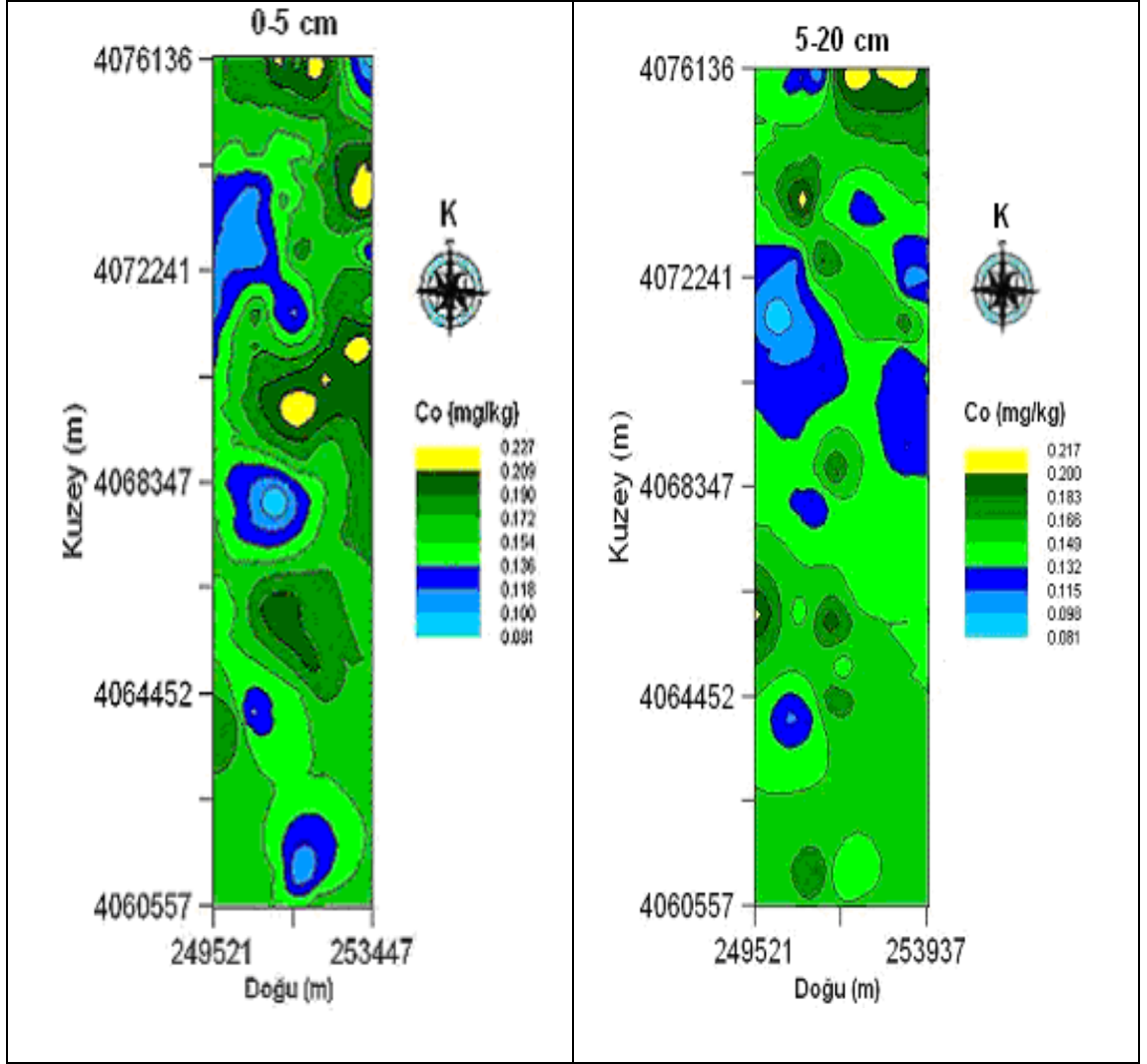
Çizelge 4.17. Bitkilerce alınabilir kobalt içeriklerine ait variogram parametreleri

Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C_0)	Sill (C_0+C)	$(C_0)/(C_0+C)*100$	r^2
Co (mg/kg)	0-5	Küresel	1960	0.00005	0.0018	2.78	0.541
	5-20	Üssel	2130	0.0002	0.002	10.0	0.605

Her iki toprak katmanında da Co konsantrasyonu; çalışma alanının kuzeybatı ve orta kesimlerindeki küçük alanlarda düşük, diğer kesimlerde ise yüksektir (Şekil 4.22).

4.2.2.3. Krom (Cr)

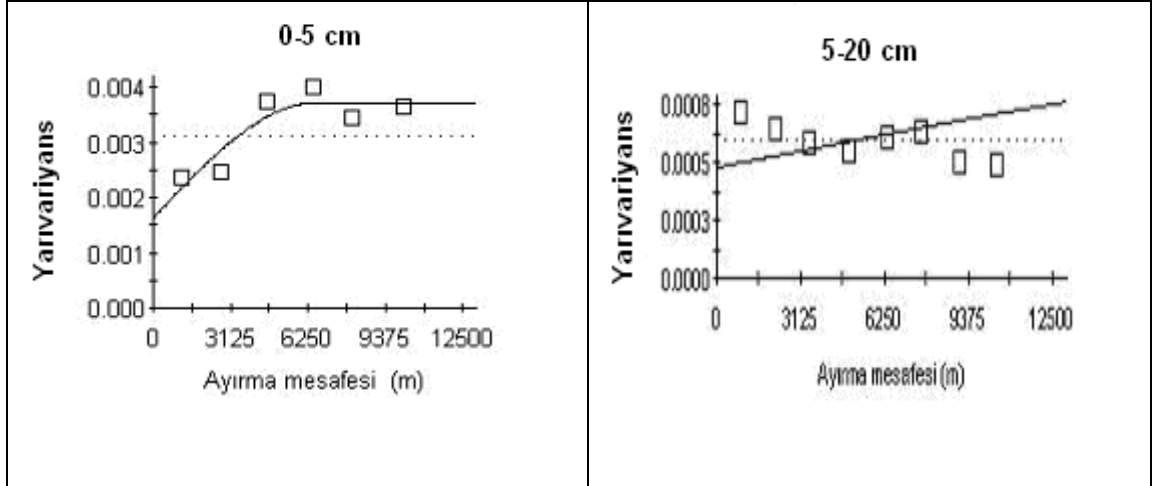
Çalışma alanındaki alınabilir Cr içeriğinin üst topraktaki çarpıklık katsayısı 0.85 olarak bulunmuş ve veri setine karekök dönüşüm uygulanmıştır. Alınabilir Cr içeriğinin, alt topraktaki çarpıklık katsayısı ise 0.65 olarak belirlenmiş ve jeostatistik değerlendirmelerden önce herhangi bir dönüşüm uygulanmamıştır.



Şekil 4.22. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Co içeriklerinin dağılım haritası

Toprakların her iki derinliği için de aktif ayırma mesafesi 12500 m, ayırma uzaklıkları ise eşit olarak 0-5 cm için 1850 m, 5-20 cm için ise 1406 m olarak belirlenmiştir. Ayrıca en uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için 0-5 cm derinlik için 39 ve 51, 5-20 cm derinlik için ise 23 ve 38 no'lu örnekler değerlendirmeye alınmamıştır.

En uygun yarıvariogram modeli her iki derinlik için de küresel olarak belirlenmiştir (Şekil 4.23, Çizelge 4.18). Çalışma alanı topraklarında bitkilerce alınabilir Cr içeriği her iki katmanda da orta düzeyde uzaysal bağımlılık göstermiştir (Çizelge 4.18).



Şekil 4.23. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Cr içeriklerine ait yarıvარიogramlar

Alınabilir Cr için A değeri; üst toprakta 6560 m, alt toprakta ise 31100 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. Bitkilerce alınabilir krom içeriklerine ait variogram parametreleri

Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C_0)	Sill (C_0+C)	$(C_0)/(C_0+C)*100$	r^2
Cr (mg/kg)	0-5	Küresel	6560	0.0002	0.0004	50.00	0.822
	5-20	Küresel	31100	0.0005	0.0011	45.45	0.630

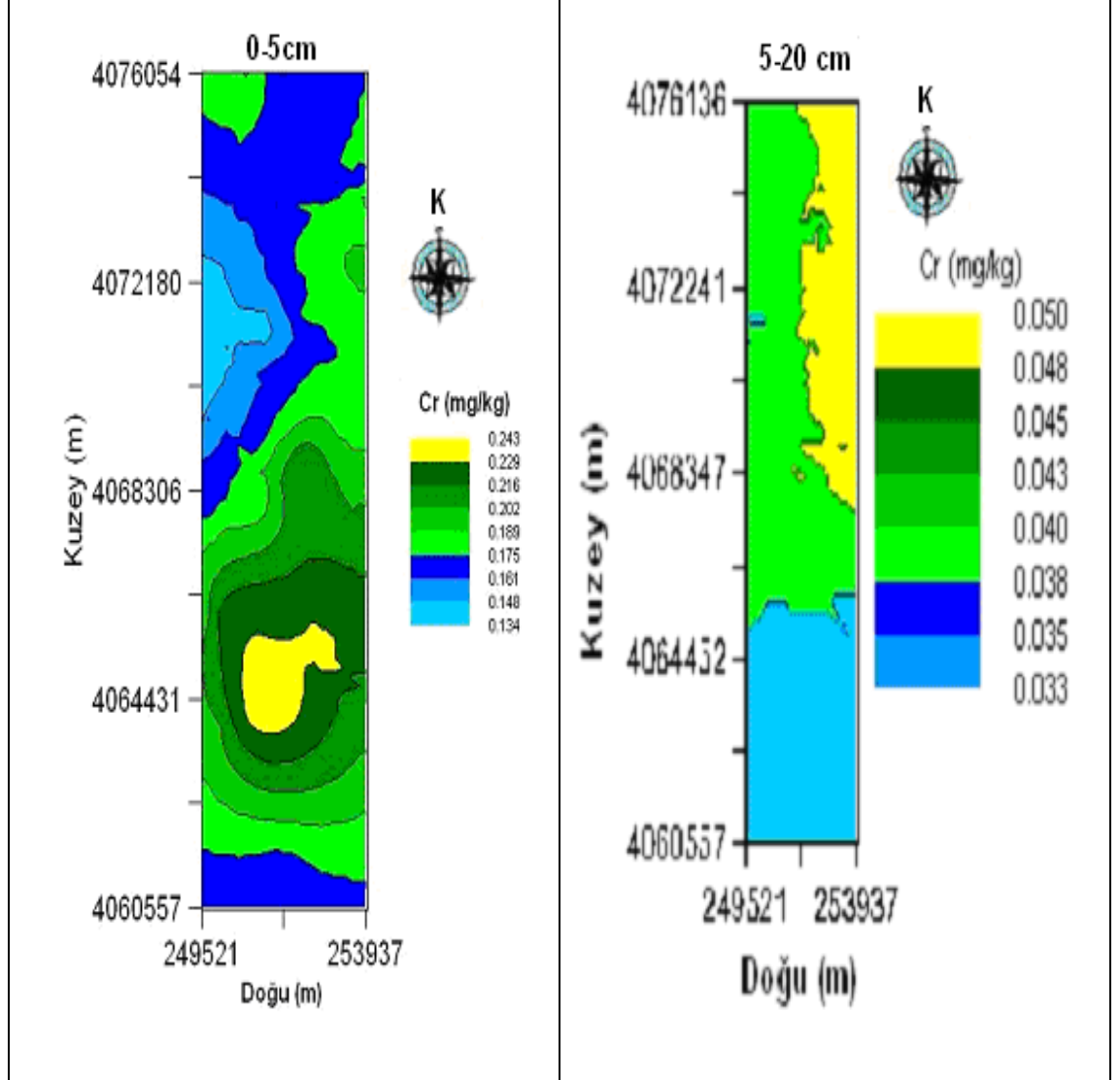
Üst toprakta bitkilerce alınabilir Cr içeriği; alanın kuzeybatı kesimi ile güney kesimindeki küçük bir alanda düşük, diğer yerlerde ise yüksektir. En yüksek Cr konsantrasyonu ise güneye yakın orta kesimlerde belirlenmiştir (Şekil 4.24). Alt topraktaki Cr içeriği ise alanın kuzey ve orta kısımlarında yüksek, güneyde ise düşüktür (Şekil 4.24).

4.2.2.4. Bakır (Cu)

Çalışma alanının alınabilir Cu içeriği, her iki toprak katmanındaki veri setinde de normal dağılım göstermemiştir. Çarpıklık katsayısı, üst toprak için 3.71 ve alt toprak için 3.80 olarak belirlenmiştir. Çarpıklık katsayılarının yüksek olması nedeniyle, her iki veri setine de logaritmik dönüşüm uygulanmıştır.

Tüm verilerin değerlendirmeye alındığı toprakların 0-5 cm derinliği için aktif ayırma uzaklığı 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit olarak 1620 m olarak belirlenmiş

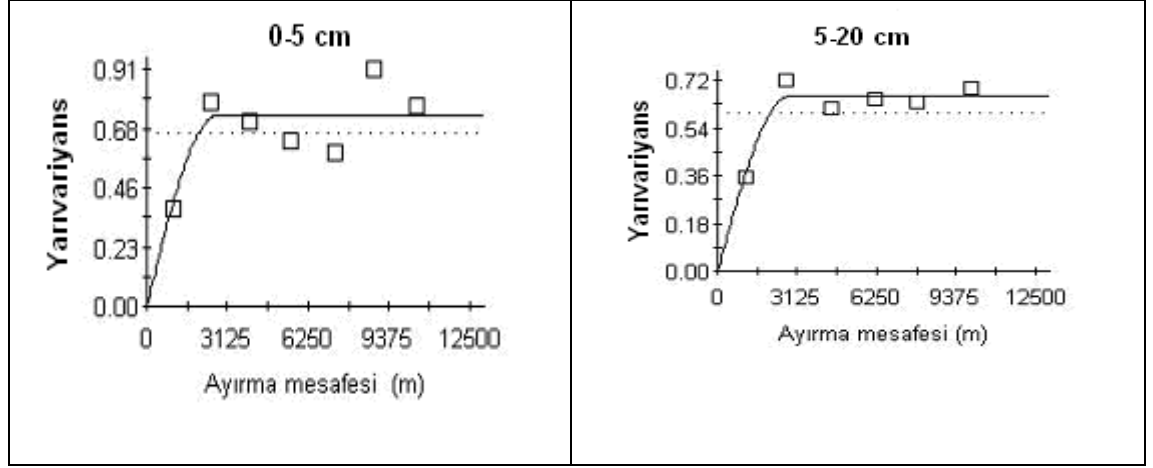
olup, 5 no'lu örneğe ait veri değerlendirmeye alınmamıştır. Yine, 5 no'lu örneğe ait verinin değerlendirmeye alınmadığı 5-20 cm'lik toprak katmanı için aktif ayırma uzaklığı yine 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit olarak 1793 m belirlenmiştir.



Şekil 4.24. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Cr içeriklerinin dağılım haritası

En uygun yarıvariogram modeli her iki derinlik için de küresel olarak saptanmıştır (Şekil 4.25, Çizelge 4.19). Bitkilerce alınabilir Cu içeriğine ait nugget/sill oranları oldukça düşük ve birbirlerine oldukça yakın olup, Cu içeriği çalışma alanındaki topraklarda her iki derinlikte de kuvvetli düzeyde uzaysal bağımlılık göstermiştir (Çizelge 4.19).

Alınabilir Cu için A değerleri; üst toprakta 2680 m, alt toprakta ise 2820 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.19).



Şekil 4.25. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Cu içeriklerine ait yarivariogramlar

Çizelge 4.19. Bitkilerce alınabilir bakır içeriklerine ait variogram parametreleri

Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C ₀)	Sill (C ₀ +C)	(C ₀)/(C ₀ +C)*100	r ²
Cu (mg/kg)	0-5	Küresel	2680	0.001	0.732	0.14	0.614
	5-20	Küresel	2820	0.001	0.656	0.15	0.910

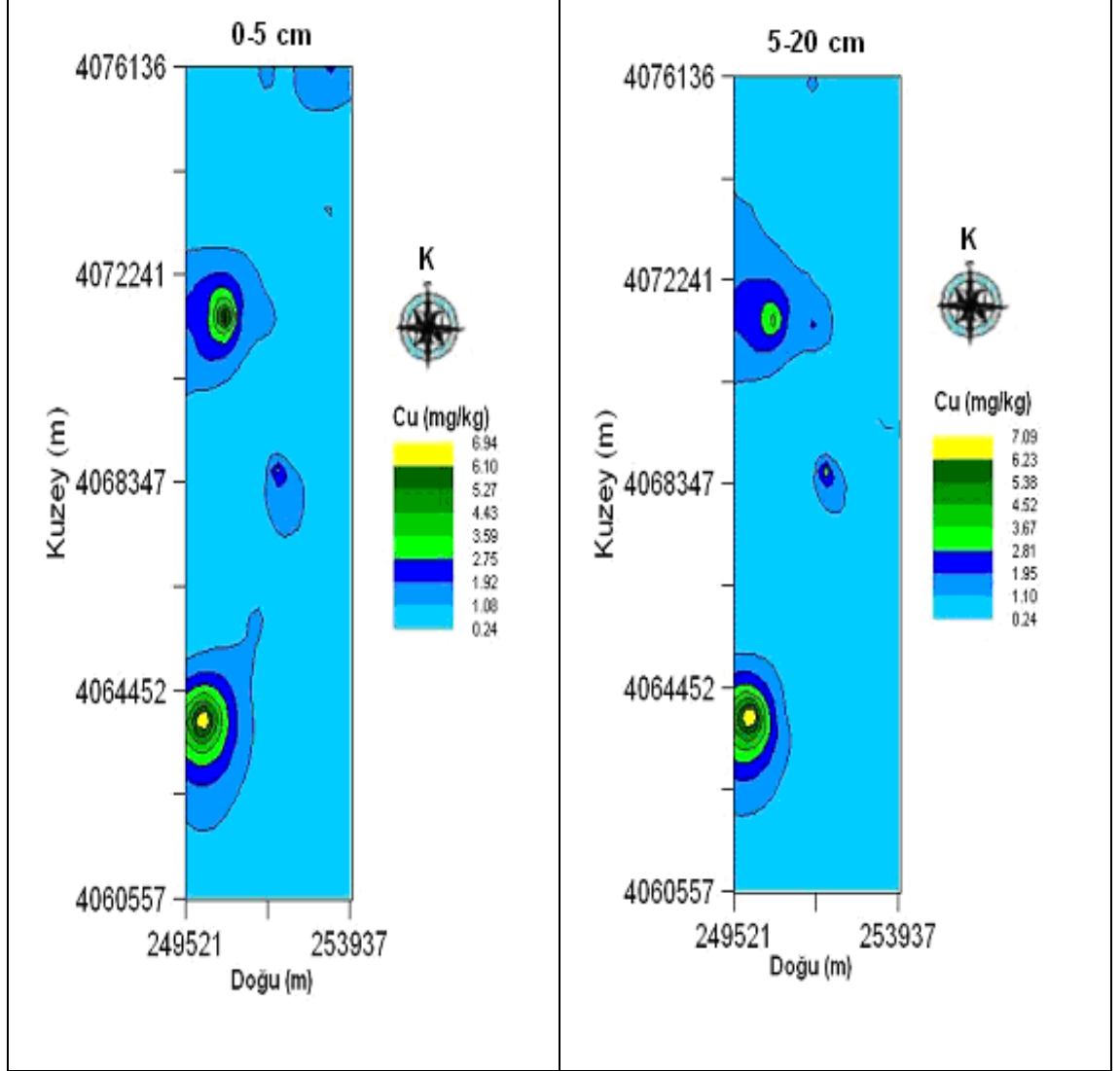
Her iki toprak katmanındaki bitkilerce alınabilir Cu içeriği de, çalışma alanının kuzeybatı ve güneybatı kesimindeki iki lokal alanda yüksek, diğer alanlarda ise düşüktür (Şekil 4.26).

4.2.2.5. Demir (Fe)

Çalışma alanındaki alınabilir Fe içeriği, üst toprakta normal dağılım göstermezken, alt toprakta normal dağılım göstermiştir. Çarpıklık katsayısı, üst toprak için 1.94 ve alt toprak içinde 0.22 olarak bulunmuştur. Üst toprak için logaritmik dönüşüm, alt toprağın çarpıklık katsayısı düşük olmasına rağmen r² değerlerini yükseltmek amacıyla karekök dönüşümü uygulanmıştır.

Toprakların 0-5 cm derinliğinde alınabilir Fe için uygun yarivariogram modelini belirlemek amacıyla, aktif ayırma mesafesi 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit şekilde 1250 m olarak alınmıştır. Bu derinlik için en uygun yarivariogram modelini oluşturmak

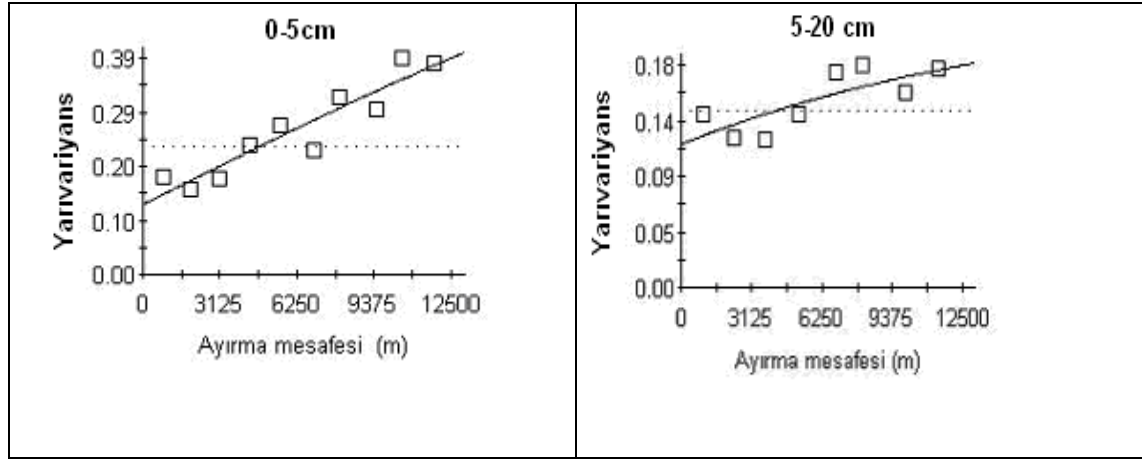
amacıyla tüm veriler değerlendirmeye alınmıştır. Toprakların 5-20 cm derinliği için aktif ayırma uzaklığı 12500 m, ayırma mesafesi ise eşit olarak 1510 m olarak belirlenmiştir. Bu derinlikte ise en uygun yarıvარიogram modelini oluşturmak için 5 ve 33 no'lu örneklere ait veriler değerlendirmeye alınmamıştır.



Şekil 4.26. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Cu içeriklerinin dağılım haritası

En uygun yarıvარიogram modeli 0-5 cm için küresel, 5-20 cm için ise üssel olarak belirlenmiştir (Şekil 4.27, Çizelge 4.20). Bitkilerce alınabilir Fe içeriğine ait nugget/sill oranları birbirinden oldukça farklı olup, Fe içeriği çalışma alanında yer alan toprakların üst katmanında kuvvetli, alt katmanında ise orta düzeyde uzaysal bağımlılık göstermiştir (Çizelge 4.20).

Alınabilir Fe için A değerleri; üst toprakta 31100 m, alt toprakta ise 47430 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.20).



Şekil 4.27. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Fe içeriklerine ait yarıvariogramlar

Çizelge 4.20. Bitkilerce alınabilir demir içeriklerine ait variogram parametreleri

Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C_0)	Sill (C_0+C)	$(C_0)/(C_0+C)*100$	r^2
Fe (mg/kg)	0-5	Küresel	31100	0.127	0.593	21.42	0.878
	5-20	Üssel	47430	0.118	0.237	49.79	0.604

Üst toprak katmanının bitkilerce alınabilir Fe içeriği; çalışma alanının kuzeybatı ve güneydoğu kesimlerinde diğer kesimlere göre daha düşüktür (Şekil 4.28). Alt toprak katmanında ise alanın kuzey kesimindeki bitkilerce alınabilir Fe içeriği güney kesime göre daha yüksektir (Şekil 4.28).

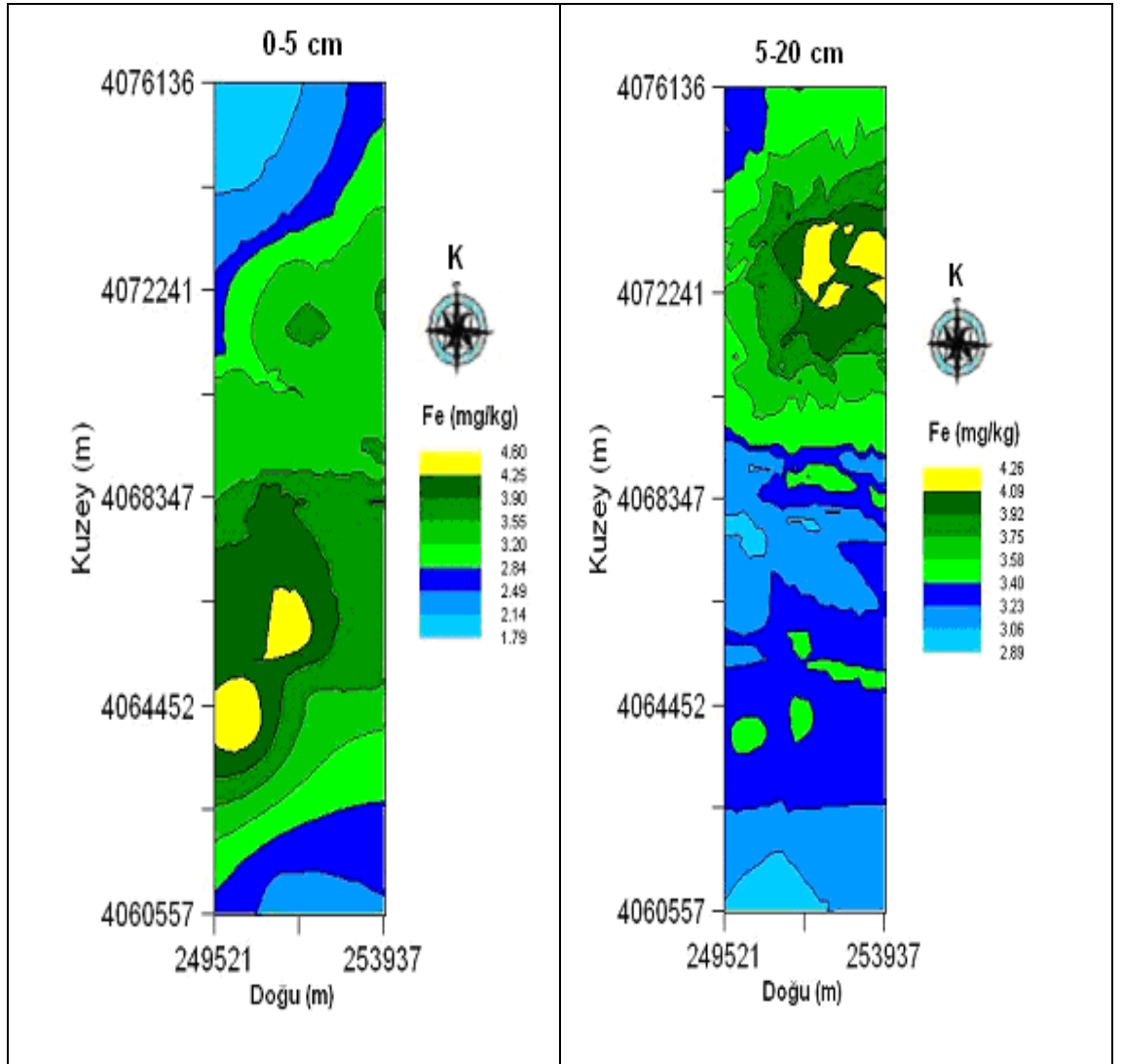
4.2.2.6. Mangan (Mn)

Çalışma alanında alınabilir Mn içeriğinin çarpıklık katsayısı üst toprak için 0.30, alt toprak için ise 0.73' dür. Bu verilere göre üst toprak için herhangi bir dönüşüm uygulanmamıştır. Ancak, alt toprak için logaritmik dönüşüm uygulanmıştır.

Toprakların 0-5 cm derinliğinde alınabilir Mn için uygun yarıvariogram modelini belirlemek amacıyla, aktif ayırma mesafesi 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit şekilde 1678 m olarak alınmıştır. 5-20 cm derinlik için aktif ayırma uzaklığı 12500 m, ayırma mesafesi ise eşit olarak 1507 m olarak belirlenmiştir. En uygun

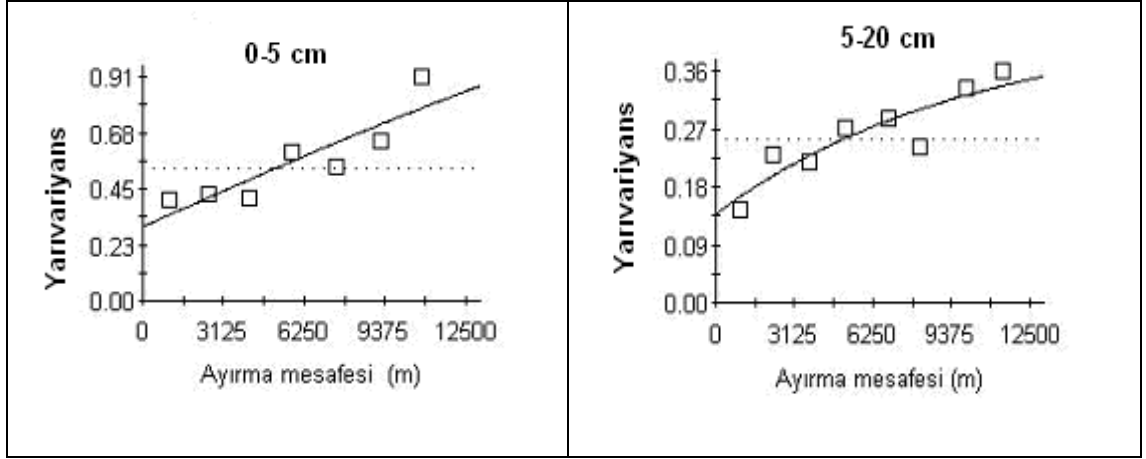
yarıvარიogram modelini oluşturmak için her iki derinlikte de tüm veriler değerlendirilmeye alınmıştır.

En uygun yarıvარიogram modeli 0-5 cm için küresel, 5-20 cm için ise üssel olarak belirlenmiştir (Şekil 4.29, Çizelge 4.21). Bitkilerce alınabilir Mn içeriği çalışma alanı topraklarının üst katmanında kuvvetli, alt katmanında ise orta düzeyde uzaysal bağımlılık göstermiştir (Çizelge 4.21).



Şekil 4.28. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Fe içeriklerinin dağılım haritası

Alınabilir Mn'nin A değeri; üst toprakta 31100 m, alt toprakta ise 35220 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.21).



Şekil 4.29. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Mn içeriklerine ait yarıvariogramlar

Çizelge 4.21. Bitkilerce alınabilir mangan içeriklerine ait variogram parametreleri

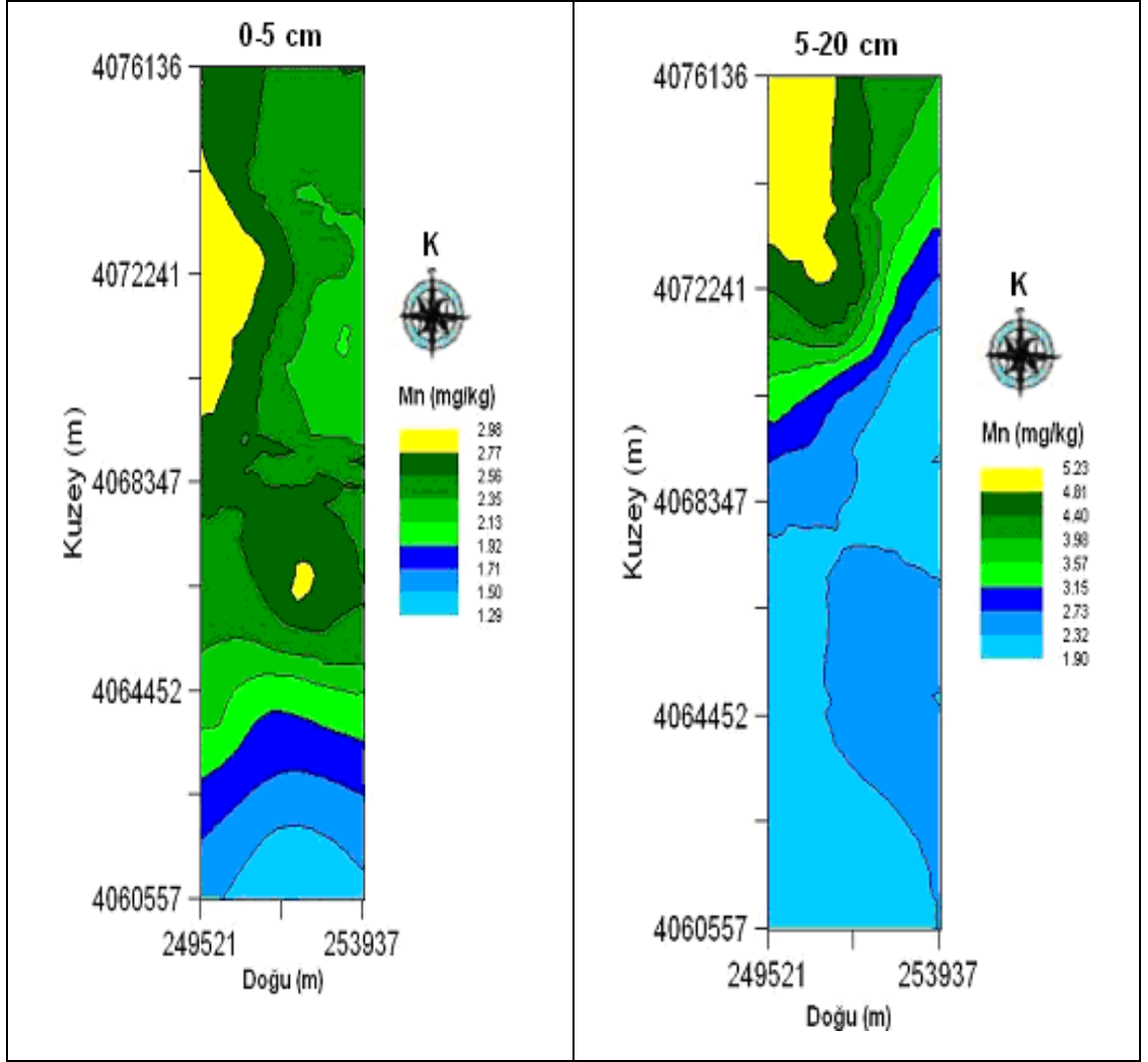
Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C ₀)	Sill (C ₀ +C)	(C ₀)/(C ₀ +C)*100	r ²
Mn (mg/kg)	0-5	Küresel	31100	0.300	1.260	23.80	0.793
	5-20	Üssel	35220	0.140	0.456	30.70	0.825

Üst topraktaki bitkilerce alınabilir Mn içeriği alanın kuzey ve orta kesimlerde, güney kesime göre daha yüksektir. En yüksek Mn içeriği ise kuzeybatıdaki lokal bir alandadır. Alt topraktaki Mn içeriği ise çalışma alanının kuzeybatısında, orta ve Güney kesimlerine göre daha yüksek bulunmuştur (Şekil 4.30).

4.2.2.7. Nikel (Ni)

Çalışma alanında alınabilir Ni içeriğinin üst topraktaki, çarpıklık katsayısı 0.74, alt toprakta ise 3.43 gibi yüksek bir değer almıştır. Üst toprak verileri için herhangi bir dönüşüm yapılmazken, alt toprak verileri için logaritmik dönüşüm uygulanmıştır.

Her iki derinlik için de tüm verilerin değerlendirmeye alındığı toprakların 0-5 cm derinliği için aktif ayırma uzaklığı 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit şekilde 1564 m olarak belirlenmiştir. Tüm örneklere ait verilerin değerlendirmeye alındığı 5-20 cm'lik toprak katmanı için aktif ayırma uzaklığı yine 12500 m, ayırma mesafeleri ise eşit şekilde 1692 m olarak belirlenmiştir.

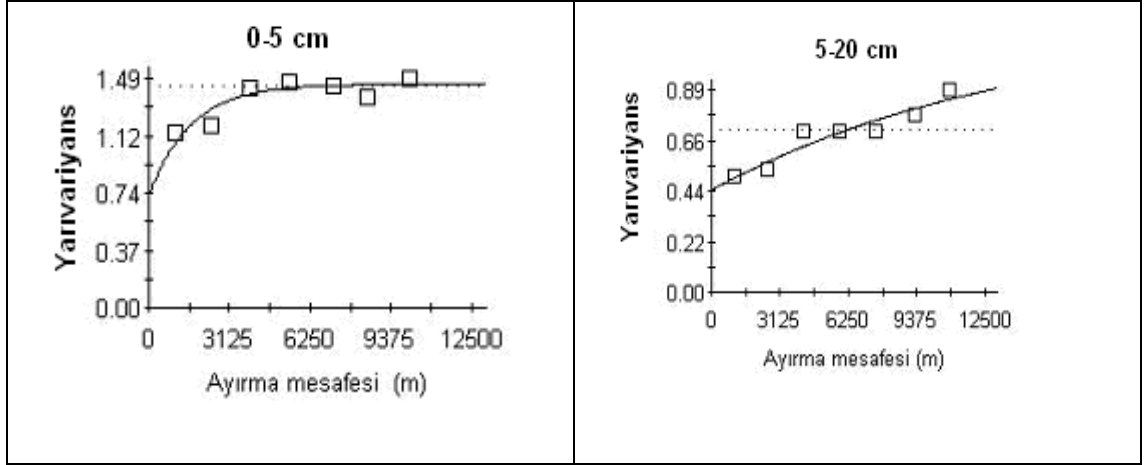


Şekil 4.30. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Mn içeriklerinin dağılım haritası

En uygun yarivariogram modeli her iki derinlik için de üssel olarak saptanmıştır (Şekil 4.31, Çizelge 4.22). Bitkilerce alınabilir Ni içeriği çalışma alanında yer alan toprakların her iki katmanında da orta düzeyde uzaysal bağımlılık göstermiştir (Çizelge 4.22).

Alınabilir Ni için A değeri; üst toprakta 4800 m, alt toprakta ise 41940 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.22).

Alt ve üst topraktaki bitkilerce alınabilir Ni içeriğinin; çalışma alanının kuzeydoğu kesiminde, diğer kesimlere göre daha yüksek olduğu saptanmıştır (Şekil 4.32).



Şekil 4.31. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Ni içeriklerine ait yarıvariogramlar

Çizelge 4.22. Bitkilerce alınabilir nikel içeriklerine ait variogram parametreleri

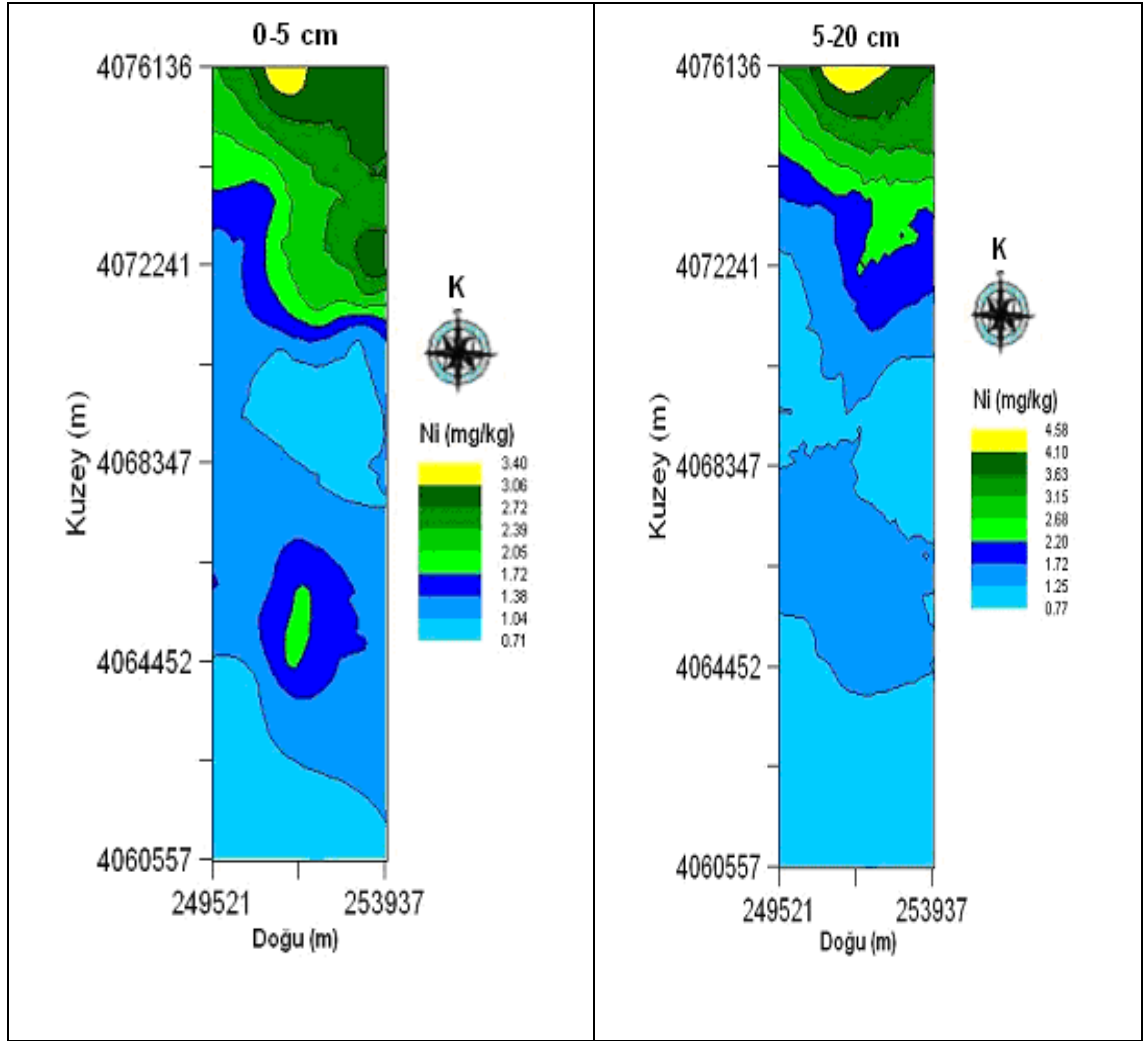
Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C_0)	Sill (C_0+C)	$(C_0)/(C_0+C)*100$	r^2
Ni (mg/kg)	0-5	Üssel	4800	0.725	1.451	49.97	0.793
	5-20	Üssel	41940	0.448	1.183	37.87	0.900

4.2.2.8. Kurşun (Pb)

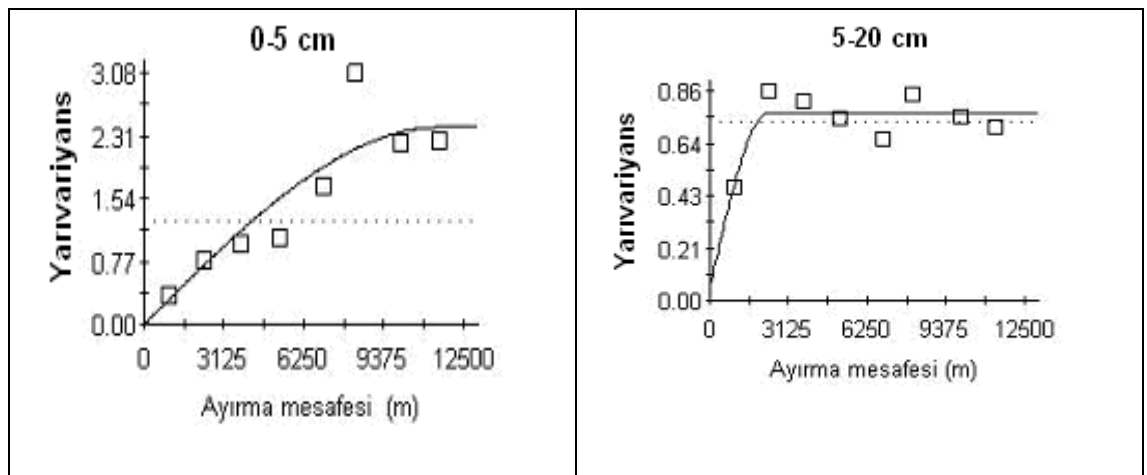
Her iki veri setinde, alınabilir Pb içeriği normal dağılım göstermemiştir ve çarpıklık katsayısı üst toprak için 4.20 ve alt toprak için 4.12 gibi yüksek değerler almıştır. Bu nedenle üst ve alt toprak verilerine, jeoistatistiksel değerlendirmeden önce logaritmik dönüşüm uygulanmıştır.

Toprakların her iki derinliği için de aktif ayırma mesafesi 12500 m, ayırma uzaklıkları ise eşit olarak 0-5 cm için 1535 m, 5-20 cm için ise 1504 m olarak belirlenmiştir. Ayrıca en uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için 0-5 cm derinlikteki tüm veriler değerlendirmeye alınmış, 5-20 cm derinlikte ise 4 ve 5 no'lu örnekler değerlendirmeye alınmamıştır.

En uygun yarıvariogram modeli her iki derinlik için de küresel olarak saptanmıştır (Şekil 4.33, Çizelge 4.23). Toprakların bitkilerce alınabilir Pb içeriği her iki katmanda da kuvvetli düzeyde uzaysal bağımlılık göstermiştir (Çizelge 4.23).



Şekil 4.32. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Ni içeriklerinin dağılım haritası



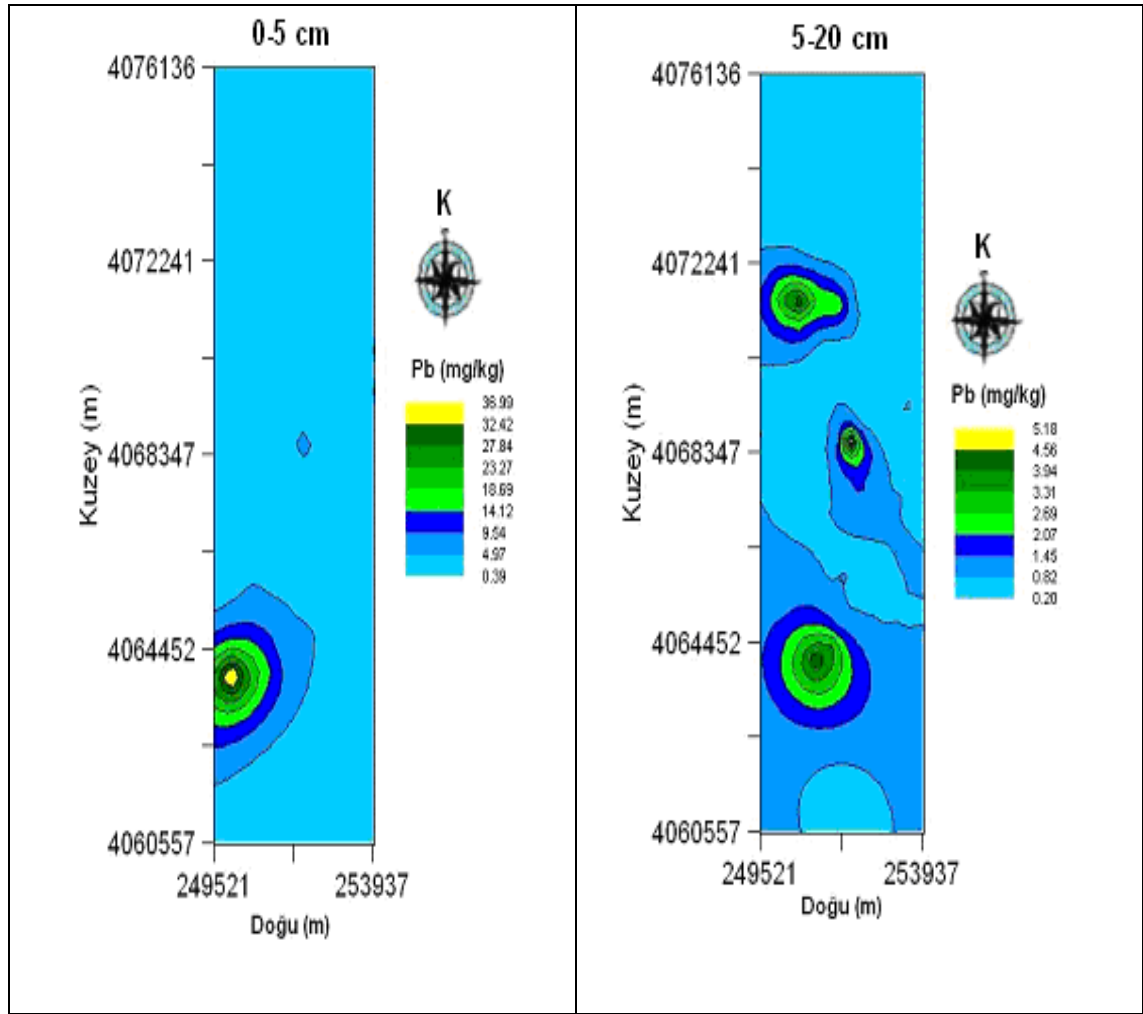
Şekil 4.33. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Pb içeriklerine ait yarivariogramlar

Alınabilir Pb'un A değeri; üst toprakta 11550 m, alt toprakta ise 2340 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.23).

Üst topraktaki bitkilerce alınabilir Pb içeriği, çalışma alanının güneybatısındaki küçük bir lokal alanda yüksek olup, diğer kesimlerde düşüktür. Alt topraktaki Pb içeriği ise; alanın kuzeybatı ve güneybatı ile orta kesimlerindeki üç lokal alanda yüksek, diğer yerlerde düşük bulunmuştur (Şekil 4.34).

Çizelge 4.23. Bitkilerce alınabilir kurşun içeriklerine ait variogram parametreleri

Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C ₀)	Sill (C ₀ +C)	(C ₀)/(C ₀ +C)*100	r ²
Pb (mg/kg)	0-5	Küresel	11550	0.001	2.415	0.04	0.795
	5-20	Küresel	2340	0.057	0.768	7.42	0.720



Şekil 4.34. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Pb içeriklerinin dağılım haritası

4.2.2.9. Çinko (Zn)

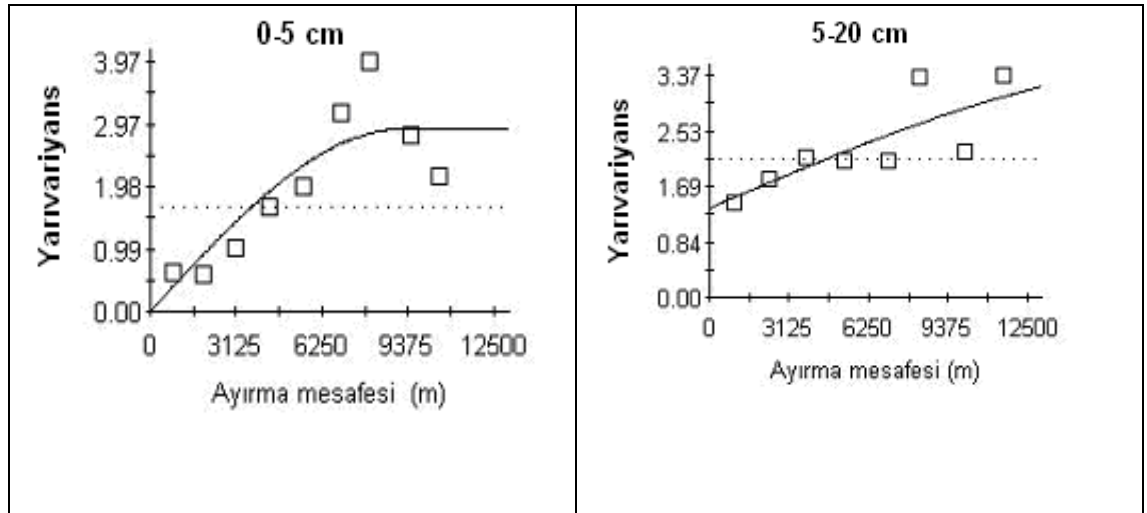
Çalışma alanında alınabilir Zn içeriği her iki veri setinde de normal dağılım göstermemiştir. Çarpıklık katsayıları üst toprak için 1.84, alt toprak için ise 4.28'dir. Üst toprak veri setine, istatistikî değerlendirmeler yapılmadan önce karekök dönüşüm, alt toprak veri setine ise logaritmik dönüşüm yapılmıştır.

Aktif ayırma mesafesi her iki derinlikten alınan veri seti için 12500 m, ayırma uzaklıkları ise eşit şekilde 0-5 cm için 1251 m, 5-20 cm için ise 1533 m olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en uygun yarıvariogram modelini oluşturmak için 0-5 cm derinlikten alınan 4 ve 5 no'lu örnekler değerlendirmeye alınmamış, 5-20 cm derinlikteki tüm veriler ise değerlendirmeye alınmıştır.

En uygun yarıvariogram modeli her iki derinlik için de küresel olarak saptanmıştır (Şekil 4.35, Çizelge 4.24). Toprakların bitkilerce alınabilir Zn içeriğine ait nugget/sill oranları birbirinden oldukça farklı olup, Zn içeriğinin üst toprakta kuvvetli, alt toprakta ise orta düzeyde uzaysal bağımlılık göstermiştir.

Alınabilir Zn için A değeri; üst toprakta 9120 m, alt toprakta ise 20280 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

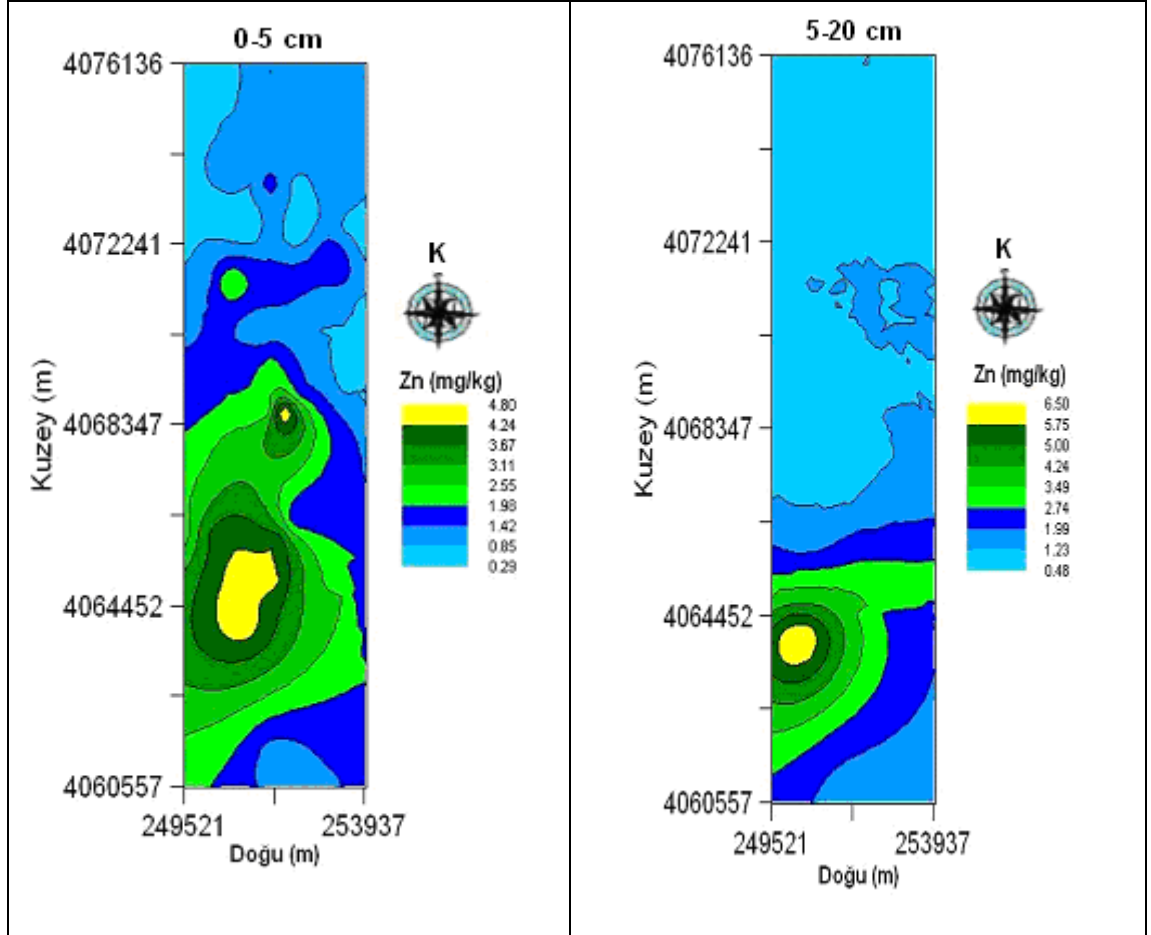
Alt ve üst topraktaki bitkilerce alınabilir Zn içerikleri; çalışma alanının güneybatısında, diğer alanlara göre daha yüksektir (Şekil 4.36).



Şekil 4.35. Çalışma alanındaki toprakların bitkilerce alınabilir Zn içeriklerine ait yarıvariogramlar

Çizelge 4.24. Bitkilerce alınabilir çinko içeriklerine ait varyiyogram parametreleri

Metal	Derinlik (cm)	Model	A (m)	Nugget (C ₀)	Sill (C ₀ +C)	(C ₀)/(C ₀ +C)*100	r ²
Zn (mg/kg)	0-5	Küresel	9120	0.001	2.894	0.03	0.765
	5-20	Küresel	20280	1.360	3.580	37.99	0.628



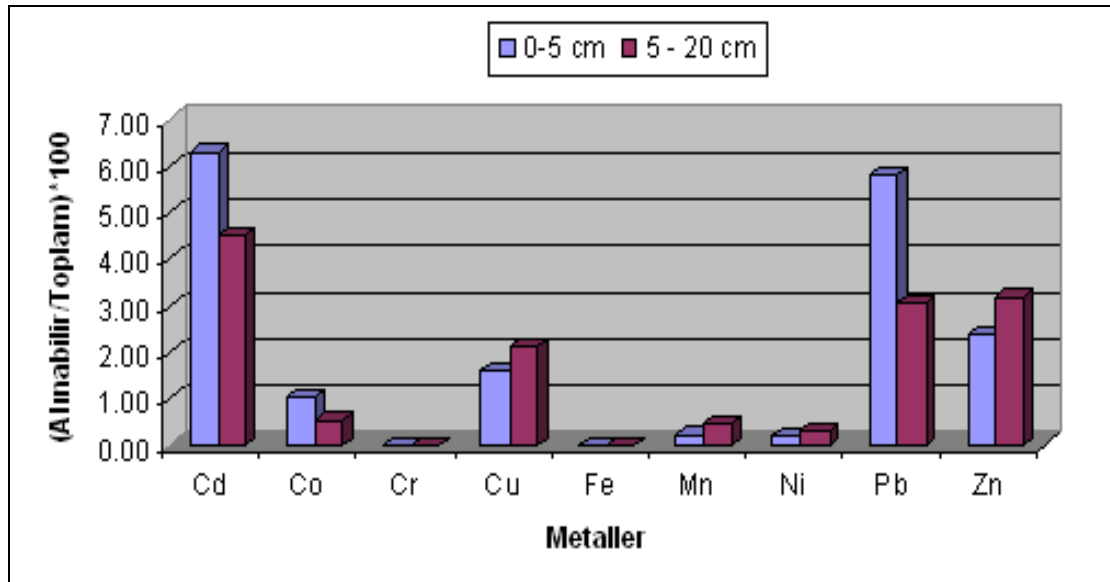
Şekil 4.36. Çalışma alanı topraklarının bitkilerce alınabilir Zn içeriklerinin dağılım haritası

4.3. Metallerin Bitkilerce Alınabilirliği

Ağır metallerin, bitkilere ve dolaylı olarak insan ve hayvanlara verebileceği zararın ölçüsünü, bu metallerin topraklardaki toplam konsantrasyonundan çok, onların bitkiler tarafından alınabilir formdaki konsantrasyonları belirlemektedir. Bu nedenle her bir toprak derinliğinde metallerin alınabilirliğinin belirlenmesi ve alınabilirliklerin derinlikler arasında karşılaştırılabilmesi amacıyla, her bir örnekleme noktası için

bitkilerce alınabilir metal konsantrasyonlarının, toplam metal konsantrasyonlarına oranları hesaplanmıştır. Bütün metaller için bu oranların ortalamaları Şekil 4.37’de sunulmuştur. Her iki toprak katmanında da Cd ve Pb’nin alınabilirliği diğer metallerinkinden oldukça yüksek bulunmuştur (Şekil 4.37). Karanlık ve ark. (2010) tarafından Amik ovasında yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar bulunmuştur.

Diğer yandan Cd, Co ve Pb’nin alınabilirliği üst toprakta, Cu ve Zn’nin alınabilirliği ise alt toprakta daha yüksektir. Yine, Cr, Fe, Mn ve Ni’nin her iki katmanda da alınabilirliklerinin çok düşük olduğu görülmektedir. Ağır metallerin alınabilirlik sıralaması büyükten küçüğe doğru $Cd > Pb > Zn > Cu > Co > Mn > Ni > Fe = Cr$ şeklindedir.



Şekil 4.37. Bitkilerce alınabilir metal içeriklerinin toplam metal içeriklerine % oranı

4.4. Metallerin Jeobirikim İndeksi ve Zenginleştirme Faktörü Kriterlerine Göre Kirlilik Durumunun Değerlendirilmesi

Araştırma konusu toprakların yüzey ve yüzey altı katmanlarındaki Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn’nun jeobirikim değerleri Çizelge 5.1’ de verilmiştir. Hesaplanan ortalama jeobirikim (I_{geoac}) değerlerine göre; her iki katmandaki topraklar Cd ve Ni metallerince kısmen-yüksek derecede kirlenmiş (4. sınıf), Cr açısından ise kısmen kirlenmiş sınıfına (3. sınıf) girmiştir. Pb kısmen kirlenmiş-kirlenmemiş sınıfına (2. sınıf), ayrıca alt katmandaki toprakların Co ve üst katmandaki toprakların da Zn ile

kısmen kirlenmiş-kirlenmemiş sınıfına (2. sınıf) girdiği belirlenmiştir. Her iki katmanda Cu, Fe ve Mn kirlenmemiş sınıfında (1. sınıf) yer almıştır. Ancak, en yüksek değerlere bakıldığında, toprak örneklerinde Cd, Pb ve Zn kirliliği yönünden çok yüksek derecede kirlenmiş örneklerin olduğu görülmektedir (Çizelge 5.1).

Bazı metallerin (I_{geoac}) değerlerinin negatif olduğu görülmektedir. Örneğin Cu, Fe ve Mn nin ortalama (I_{geoac}) değerleri negatiftir (Çizelge 5.1). Bu durum, toprakların bu elementlerce kirlenmediğini göstermektedir.

Toprakların yüzey ve yüzey altı katmanlarındaki elementlerin zenginleştirme faktörü (ZF) değerleri Çizelge 5.2’ de verilmiştir. Her iki toprak katmanında da Cd ve Ni’in ortalama ZF değerleri 5-20 arasında olduğundan, kirlilik yönünden 3. sınıfa (yüksek düzeyde zenginleşme) girmektedir. Yine her iki toprak katmanında da Cr, Pb ve Zn’nun ortalama ZF değerleri 2-5 arasında olduğundan, kirlilik yönünden 2. sınıfa

Çizelge 5.1. Çalışma alanındaki topraklarda metallerin jeobirikim (I_{geoac}) değerleri

Element	Derinlik (cm)	I_{geoac}		
		Ortalama	En Düşük	En Yüksek
Cd (mgkg ⁻¹)	0-5	2.31	-0.87	6.12
	5-20	2.18	0.66	5.79
Co (mgkg ⁻¹)	0-5	-0.67	-3.30	0.79
	5-20	0.02	-2.71	1.24
Cr (mgkg ⁻¹)	0-5	1.62	-0.18	2.65
	5-20	1.36	-0.38	2.55
Cu (mgkg ⁻¹)	0-5	-0.30	-1.95	2.86
	5-20	-0.90	-2.21	2.20
Fe (mgkg ⁻¹)	0-5	-0.19	-1.55	1.14
	5-20	-0.36	-1.14	0.67
Mn (mgkg ⁻¹)	0-5	-0.40	-2.04	1.80
	5-20	-0.79	-2.02	1.45
Ni (mgkg ⁻¹)	0-5	2.75	0.12	4.12
	5-20	2.65	0.18	4.03
Pb (mgkg ⁻¹)	0-5	0.64	-2.73	5.66
	5-20	0.66	-1.14	5.33
Zn (mgkg ⁻¹)	0-5	0.84	-5.20	5.34
	5-20	-0.45	-5.78	5.15

(orta düzeyde zenginleşme) girmiştir. Co, Cu ve Mn'in her iki toprak katmanındaki ortalama EF değerleri ise 2'den küçük olduğundan kirlilik yönünden 1. sınıfa (yetersiz zenginleşme) girmiştir. Diğer yandan yüzey toprağındaki Co ile yüzey altı katmanındaki Cu ve her iki katmandaki Mn değerlerinin ortalama ZF değerlerinin 1'den küçük olduğu görülmektedir (Çizelge 5.2). Bu durum kirliliğin tam tersine toprakta bu elementlerin azaldığını göstermektedir. Loska ve ark. (2004) tarafından sanayi tesislerince etkilenmiş topraklarda yapılan bir çalışmada da Cu içeriğinde azalma olduğu belirlenmiştir.

Zenginleştirme faktörü değerlerine göre ağır metallerin çalışma alanındaki kirlenme düzeyi çoktan aza doğru $Ni > Cd > Cr > Pb > Zn > Cu > Co > Fe > Mn$ şeklindedir. Fong ve ark. (2008) tarafından Malezya'da yapılan bir çalışmada, ağır metallerin kirlenme düzeylerinin ZF değerlerine göre $Pb > Cd > Zn > Cu > Fe$ şeklinde sıralandığı belirlenmiştir.

Çizelge 5.2. Çalışma konusu topraklarda metallerin zenginleştirme faktörü (ZF) değerleri (Fe meteline göre)

Element	Derinlik (cm)	ZF		
		Ortalama	En Düşük	En Yüksek
Cd (mg/kg)	0-5	8.12	0.85	35.34
	5-20	7.23	1.86	38.57
Co (mg/kg)	0-5	0.90	0.13	2.74
	5-20	1.52	0.11	3.64
Cr (mg/kg)	0-5	3.73	1.25	6.15
	5-20	3.54	1.13	6.11
Cu (mg/kg)	0-5	1.08	0.34	3.29
	5-20	0.81	0.30	2.88
Mn (mg/kg)	0-5	0.91	0.47	1.82
	5-20	0.77	0.43	1.71
Ni (mg/kg)	0-5	8.80	1.72	19.48
	5-20	9.21	1.66	20.18
Pb (mg/kg)	0-5	3.38	0.18	22.90
	5-20	3.11	0.79	28.10
Zn (mg/kg)	0-5	3.26	0.08	21.18
	5-20	2.04	0.03	23.89

Elementlerin en yüksek ZF değerleri incelendiğinde, Cd, Ni, Pb ve Zn'nin EF değerlerinin 20-40 arasında olduğu, dolayısıyla bu elementlerin çalışma alanındaki bazı

noktalarda kirlilik yönünden 4. sınıfa (çok yüksek düzeyde zenginleşme) girdiği görülmektedir.

Zenginleşme faktörü (ZF) metallerin doğal prosedür veya insan aktivitesinden kaynaklandığını ayırt etmede ve antropojenik etkinin de derecesini belirlemede kullanılabilir (Fong ve ark. 2008). ZF değerleri arttığında, antropojenik orjinli katkıda artmaktadır (Sutherland, 2000).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma alanı topraklarının pH değerleri 7.44-8.45, EC 105.1 - 2610.0, OM içerikleri % 1.47-19.06, kum içerikleri % 20.25 – 84.79, silt içerikleri % 6.30- 39.96, kil içerikleri ise % 4.34 - 53.56 arasında değişmiştir.

Topraklarda ağır metallerin toplam konsantrasyonları incelendiğinde, en yüksek varyasyon katsayısının (VK) Pb ve Cd değerlerinde olduğu görülmektedir. Bu durum, Cd ve Pb'un çalışma alanında çok fazla değişkenlik gösterdiğini belirtmektedir. Diğer yandan en düşük VK değerlerinin ise Fe konsantrasyonlarında olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ise Fe'in çalışma alanında oldukça homojen dağıldığını göstermektedir.

Elementlerin üst ve alt topraklardaki toplam konsantrasyonlarının birbirlerinden oldukça farklı olduğu belirlenmiştir. Ancak, katmanlar arasındaki bu farklılık Cd, Cu, ve Ni elementlerinde istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Diğer elementlerde ise bu farklılıkların 0.05 ve 0.01 düzeylerinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Bitkilerce alınabilir ağır metal içerikleri incelendiğinde ise topraklarda en düşük VK değeri Co, en yüksek VK değeri ise alt katmandaki Zn değerlerinde olduğu görülmüştür.

Ağır metallerin bitkilerce alınabilir konsantrasyonlarının da üst ve alt toprakta birbirlerinden farklı olduğu görülmektedir. Bu farklılıklar, Cd, Co, Mn ve Pb'da istatistiksel açıdan önemli, diğerlerinde ise önemsiz bulunmuştur.

Toplam ve bitkilerce alınabilir ağır metal içeriklerinin büyük bir kısmı normal dağılım göstermemiştir. Normal dağılım göstermeyen veri setlerine, Jeostatistik analizlerden önce, logaritmik veya karekök dönüşümler uygulanmıştır. Ağır metallerin toplam ve bitkilerce alınabilir içeriklerinin önemli bir kısmında en uygun variogram modelinin küresel olduğu belirlenmiştir. Noktaların ilişkili olabileceği maksimum uzaklığı gösteren etki aralığı (A) değerleri ise toplam ağır metaller için 1890- 31100 m, bitkilerce alınabilir metaller için 830-47430 m arasında değişmiştir. Çalışma alanında daha sonra yapılacak benzer çalışmalarda, örnekleme aralığı olarak ağır metallerin A değerleri kullanılabilir.

Üst toprakta toplam Cd, çalışma alanının güneybatı bölümündeki küçük bir alanda yüksek konsantrasyonda olup, doğu ve kuzey yönlerine doğru azalmaktadır. En

düşük toplam Cd konsantrasyonunun ise çalışma alanının güneyinde Payas Beldesi ile Dört Yol İlçesi arasında bulunan tarım alanlarında olduğu belirlenmiştir. Alt topraktaki Cd konsantrasyonunun dağılımı da üst toprağının hemen hemen aynıdır. Cd yüksek olduğu alanlarda fazla miktarda sanayi tesisi olması nedeniyle, buradaki Cd kirliliğinin daha çok sanayi kaynaklı olduğu, bir miktar da araçlardan kaynaklandığı söylenebilir.

Üst topraktaki Co içeriğinin, çalışma alanının doğu kesiminde yer alan dağlık bölgede ve bunun eteklerindeki arazilerde daha yüksek, batı kısmındaki tarım alanlarında ve sanayi bölgesinde ise düşük olduğu görülmektedir. Çalışma alanında Co kirliliği görülmemiştir. Topraklardaki Co daha çok ana materyalden kaynaklanmıştır. Alt toprak katmanının Co içeriğinin (33.96 mg/kg), üst toprak katmanının Co içeriğinden (23.38 mg/kg) yüksek olması da bu durumu doğrulamaktadır.

Topraklardaki Cr içeriğinin, alanın güneyindeki sanayi tesisleri ve yolların etrafında daha yüksek olduğu görülmektedir. Burada Cr kirliliği daha çok trafik ve sanayi kaynaklıdır. Alanın kuzeyinde ise Cr'un kaynağı büyük olasılıkla ana materyaldir.

Her iki toprak katmanındaki bitkilerce alınabilir Cu içeriği de, çalışma alanının kuzeybatı ve güneybatı kesimindeki iki lokal alanda yüksek, diğer alanlarda ise düşüktür.

Yüzey ve yüzey altı topraklarda Fe'nin çalışma alanının kuzeydoğu kesimindeki küçük bir alan ile orta kesimlerdeki konsantrasyonunun, diğer kısımlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Üst toprak katmanının bitkilerce alınabilir Fe içeriği; çalışma alanının kuzeybatı ve güneydoğu kesimlerinde diğer kesimlere göre daha düşüktür. Alt toprak katmanında ise alanın kuzey kesimindeki bitkilerce alınabilir Fe içeriği güney kesime göre daha yüksektir.

Yüzey ve yüzey altı topraklarının toplam Mn içerikleri; çalışma alanının orta kesimlerinde yüksek, kuzey ve güney kesimlerinde ise düşük olduğu görülmektedir. Topraklardaki Mn'in esas kaynağının antropjenik olduğu söylenebilir. Üst toprağın ortalama Mn içeriğinin (1252.68 mg/kg), alt toprağın ortalama Mn içeriğinden (794.97 mg/kg) anlamlı miktarda fazla olması da bu durumu doğrulamaktadır. Mn'in en önemli antropjenik kaynakları ise bölgedeki sanayi tesisleridir.

Çalışma alanının hemen hemen tamamında Ni konsantrasyonunun yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek Ni konsantrasyonunun alanın kuzeydoğu kesiminde

yer alan dağlık arazi topraklarında olduğu saptanmıştır. Bu alandaki Ni kirliliği daha çok ana materyalden kaynaklanmaktadır. Zira bu bölgede genellikle serpantin kayaçlarının yaygın olduğu ve Ni içeriğinin ise serpantin kayaçları üzerinde gelişen topraklarda fazla miktarda bulunduğu bilinmektedir. Alanın kuzey batısındaki tarım alanlarındaki topraklarda bulunan Ni daha çok fosforlu gübrelerden kaynaklanmış olabilir. Alanın güneyinde yer alan topraklardaki Ni kirliliği ise büyük olasılıkla araç ve sanayi tesislerinin emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Zira bu bölgede, demiryolu, devlet karayolu ve otoyol birbirine çok yakın görülmektedir. Ayrıca, önemli sanayi kuruluşları da bu bölgede yer almaktadır.

Üst topraktaki bitkilerce alınabilir Pb içeriği, çalışma alanının güneybatısındaki küçük bir lokal alanda yüksek olup, diğer kesimlerde düşüktür. Alt topraktaki Pb içeriği ise; alanın kuzeybatı ve güneybatı ile orta kesimlerindeki  lokal alanda yüksek, diğer yerlerde düşük bulunmuştur.

Üst topraktaki toplam Zn içeriği; toplam Pb içeriğinde olduğu gibi, çalışma alanının güneybatı kesimindeki küçük bir bölgede yüksek olup, diğer kesimlerde oldukça düşüktür. Alt toprakta ise Zn; alanın güney kesimlerinde yüksek, kuzey kesimlerinde ise düşük konsantrasyonda olduğu belirlenmiştir.

Her iki toprak katmanında da Cd ve Pb'nin alınabilirliği diğer metallerinkinden oldukça yüksek bulunmuştur. Diğer yandan Cd, Co ve Pb'nin alınabilirliği üst toprakta, Cu ve Zn'nin alınabilirliği ise alt toprakta daha yüksektir. Yine, Cr, Fe, Mn ve Ni'nin her iki katmanda da alınabilirliklerinin çok düşük olduğu görülmektedir. Ağır metallerin alınabilirlik sıralaması büyükten küçüğe doğru $Cd > Pb > Zn > Cu > Co > Mn > Ni > Fe = Cr$ şeklindedir. Bu durum, alanda toplam Ni ve Cr içeriklerinin oldukça fazla olmasına rağmen, alınabilirliklerinin düşük olması nedeniyle önemli bir sorun oluşturmayacağını göstermektedir. Ancak, Cd'un hem toplam konsantrasyonunun, hem de alınabilirliğinin yüksek olması ciddi bir sorun oluşturabilir. Pb ve Zn'nun alınabilirlikleri Ni'den daha düşük düzeydedirler. Bu metallerin toplam konsantrasyonu henüz çok yüksek düzeyde olmaması nedeniyle şu anda ciddi bir sorun olarak görülmemektedir. Ancak, ilerde bu elementlerin topraklardaki toplam konsantrasyonlarının artması durumunda çalışma alanında ciddi sorunlar ortaya çıkabilir.

Topraklardaki ağır metal kirliliği, endüstrinin ve madencilik aktivitelerinin gelişmesi ve yaygınlaşmasıyla global bir problem halini almaktadır. Ağır metallerle kirlenmiş toprakları temizleme çalışmaları günümüzün en zor ve en önemli konulardan biridir. Toprakta meydana gelen ağır metal kirliliği sadece tarımsal verim ve ürün kalitesi üzerinde değil, atmosferik ve sucul çevre kalitesi hatta besin zinciri yoluyla insan sağlığını tehdit etmektedir. Bu nedenle, insan sağlığı için ciddi tehditler oluşturan ağır metal atıklarının temizlenmesi için, etkin ve uygulanabilir bir teknolojik çözüme ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, alanda önemli ölçüde ağır metal kirliliği sorunu olduğu belirlenmiştir. Bu kirliliğin daha da yükselmemesi için mutlak surette bölgedeki sanayi tesislerinin bacalarına etkili filtre sistemleri taktırılmalı, katı atıkları için de arıtma sistemleri kurulmalı ve atıklar burada arıtıldıktan sonra alıcı ortama verilmelidir.

Diğer yandan, kirliliğin olduğu alanlar ise hiperakümülatör bitkiler denilen, ağır metalleri diğer bitkilere göre çok daha fazla miktarda alan bitkiler kullanılarak temizlenebilir.

Günümüzde, kirlenmiş topraklar, çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler ile ıslah edilebilmektedir. Biyolojik temizleme yöntemleri içinde yer alan fitoremediasyon, diğer yöntemlere göre en ucuz ve en uygun toprak arıtım teknolojisidir. Bitki kullanılarak toprağın temizlenmesi teknolojisi, fitoremediasyon olarak tanımlanmaktadır. Fitoremediasyon teknolojisini fitostabilizasyon, rizofiltrasyon ve fitoekstraksiyon olmak üzere üç sınıfta incelemek mümkündür. Fitoekstraksiyonda kullanılacak bitkinin; hasat edilebilir aksamında yüksek oranda metal biriktirebilmesi (hiperakümülatör), biriken ağır metale toleranslı olması, hızlı büyüebilmesi, derin köklü, kolayca hasat edilebilir ve yüksek biyomas üretiyor olması gerekmektedir. Ancak, hiperakümülatör bitkilerin fitoekstraksiyon amacıyla kullanılmasını sınırlayan bazı özel durumlar söz konusudur. Bunlar: yavaş büyümeye bağlı olarak az yeşil aksam üretme ve iklim koşullarına bağımlılıktır. Ayrıca, bu tip bitkiler çok sayıda elementi biriktirme yeteneğinde değil, yalnızca belirli bir elementi biriktirebilme özelliğindedirler. Fakat son yıllarda gen mühendisliğindeki gelişmelerle; fazla yeşil aksam üretebilen, çok sayıda ağır metali aynı anda absorbe edebilen, absorbe ettikleri ağır metalleri biriktirebilen ve biriken ağır metali tolere edebilen transgenik bitkiler

geliştirilerek bu sorun ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır. Bu nedenlerle, kirlilik görülen alanlar bu yöntemle temizlenebilir.

Bu çalışmada sadece toprak kirliliği incelenmiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, bölgede yetişen bitki türlerindeki ağır metal düzeyleri de mutlaka belirlenmelidir. Zira, eğer bitkilerde de önemli miktarda birikimin olması durumunda, bu metaller gıda zinciri yoluyla insanlara kadar ulaşp geri dönüşümsüz sağlık sorunlarına neden olabilir. Yine, kirliliğin olduğu alanlarda ise en uygun hiperakümülatör bitkilerin belirlenmesi konusunda yapılacak çalışmalar da büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Acosta, J.A., Faz, A., Martinez-Martinez, S., 2006. Application of geographical information systems and contamination indexes to delimitate polluted sites: study case Murcia (SE, Spain). **18. International Soil Meeting (ISM) on "Soil Sustaining Life on Earth, Managing Soil and Technology" proceedings**, 22-26 May. Ş. Urfa-Turkey.
- Ağca, N. ve Doğan, K., 2000. **Antakya-Topboğazı karayolu çevresindeki topraklarda trafik kaynaklı ağır metal kirliliği**. 2000 GAP Çevre Kongresi (16-18 Ekim 2000 Şanlıurfa) Bildiriler Kitabı 1. Cilt. S.187-196.
- Ahsan, D.A., DeIValls, T.A., Blasco, J., 2009. Distribution of arsenic and trace metals in the floodplain agricultural soil of Bangladesh. **Bull Environ Contam Toxicol**, 82: 11-15.
- Akçay, H., Oğuz, A., Karapire, C., 2003. Study of heavy metal pollution and speciation in Büyük Menderes and Gediz river sediments. **Water Research**, 37: 813-822.
- Akgül, M., Öztaş, T., Canbolat, M.Y., 1995. Atatürk üniversitesi çiftliği topraklarında tekstürel değişimin jeostatistiksel yöntemlerle belirlenmesi. **İlhan Akalan Toprak ve Çevre Sempozyumu** Bildiriler Kitabı, Cilt I, 82-92, Ankara.
- Ali, S.M., Malik, R.N., 2010. Spatial distribution of metals in top soils of Islamabad city, Pakistan. **Environ Monit Assess**. DOI 10.1007/s10661-010-1314-x (Published online: 06 February 2010).
- Amini, M., Afyuni, M., Fathianpour, N., Khademi, H., Flühler, H. 2005. Continuous soil pollution mapping using fuzzy logic and spatial interpolation. **Geoderma**, 124: 223-233.
- Anonim, 2010a. Hatay'da sanayinin genel yapısı. <http://www.paylaskazan.net/forum/showthread.php/hatayda-sanayinin-genel-yapisi-1191.html>.
- Anonim, 2010b. Karayolları genel müdürlüğü 2009 yılı otoyollar ve devlet yolları yıllık ortalama günlük trafik yoğunluğu haritası (<http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionImages/Trafik/HacimHaritası/trafikharita2009.jpg>)
- Anonim, 2010c. Devlet meteoroloji işleri genel müdürlüğü il ve ilçelerimize ait istatistiki veriler (1975 - 2008). (<http://www.meteor.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ISKENDERUN>)
- Anonim, 2004. Hatay ili kanıl master planı. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Araştırma Planlama ve Koordinasyon Kurulu Başkanlığı Hatay Tarım İl Müdürlüğü. Hatay. 232 s.

- Arslan, H. and Gizir, A.M., 2006. Heavy metal content of roadside soil in Mersin, Turkey. **Fresenius Environmental Bulletin**, No 1.- 15.
- Atafar, Z., Mesdaghinia, A., Nouri, J., Homae, M., Yunesian, M., Mehdi Ahmadimoghaddam, M., Mahvi, A. H. 2010. Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. **Environ Monit Assess**, 160:83–89.
- Babagil, G.E., 2008. **Toprak özelliklerindeki yersel değişkenliğin buğday verim paterni üzerine etkisinin jeoistatistiksel yöntemlerle belirlenmesi**. Doktora Tezi (Basılmamış). Atatürk Üniversitesi, 134 s, Erzurum.
- Bai, J., Cui, B., Yang, Z., Xu, X., Ding, Q., Gao, H., 2010. Heavy metal contamination of cultivated wetland soils along a typical plateau lake from southwest China. **Environ. Earth Sci**, 59: 1781-1788.
- Bech, J., Tume, P., Logan, L., Reverter, F. 2005. Baseline concentrations of trace elements in surface soils of the torrelles and sant climent municipal districts (Catalonia, Spain). **Environmental Monitoring and Assessment**, 108: 309-322.
- Bergbäck, B., Eklund, M., Lohm, U., Svidén, J. 1997. Duration of soil cadmium and lead pollution from shale-based alum production. **Journal of Geochemical Exploration**, 58: 309-317.
- Bhagure, G.R. and Mirgane, S.R. 2010. Heavy metal concentrations in groundwaters and soils of thane region of Maharashtra, India. **Environmental Monitoring and Assessment**, DOI 10.1007/s10661-010-1412-9 (Published online: 19 March 2010).
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. **Agronomy Journal**, 54 (5): 464-465.
- Burgess, T.M. and Webster, R., 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: II. Block kriging. **Journal of Soil Science**, 31: 333-341.
- Cattle, A.J., McBartney, A.B., Minasny, B., 2002. Kriging methods evaluation for assessing the spatial distribution of urban soil lead contamination. **J. Environ. Qual.** 31 : 1576-1588.
- Cesar, R., Egler, S., Polivanov, H., Castilhos, Z., Ana Paula Rodrigues, A. P. 2010. Mercury, copper and zinc contamination in soils and fluvial sediments from an abandoned gold mining area in southern Minas Gerais State, Brazil. **Environ Earth Sci**, DOI 10.1007/s12665-010-0840-8 (Published online: 17 November 2010).
- Coşkun, M., Steinnes, E., Frontasyeva, V. M., Sjobakk, T. E., Demkina, S., 2006. Heavy metal pollution of surface soil in the Thrace region, Turkey. **Environmental Monitoring and Assessment**, 119: 545-556.

- Çepel, N., 2003. Ekolojik sorunlar ve çözümleri. **Tübitak Populer Bilim Kitapları**, 183 s, Ankara.
- Çicek, A., Koparal, A.S., 2004. Accumulation of sulfur and heavy metals in soil and tree leaves sampled from the surroundings of Tunçbilek Thermal Power Plant. **Chemosphere**, 57: 1031-1036.
- Dantu, S., 2009. Heavy metals concentration in Soils of Southeastern part Ranga Reddy district, Andhra Pradesh, India. **Environ Monit Assess**, 149: 213-222.
- Dragović, S., Mihailović, N. 2009. Analysis of mosses and topsoils for detecting sources of heavy metal pollution: multivariate and enrichment factor analysis. **Environ Monit Assess**, 157: 383-390.
- Doygun, H., Alphan, H., 2006. Monitoring urbanization of İskenderun, Turkey, and its negative implications. **Environmental Monitoring and Assessment**, 114: 145-155.
- Doyuran, V., 1982. Erzin ve Dörtüol ovalarının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri. **Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni**, 25 : 151-160.
- Epa 1996. Method 3050B. Acid digestion of sediments, sludges and soils. <http://www.epa.gov/sw-846/pdfs/3050b.pdf>.
- Ezeh, H.N., Anika, O.L., Egboka, B.C.E., 2008. Evaluation of heavy metals pollution of soils around the derelict enyigba mines and their sources. **International Journal of Applied Environmental Sciences**. 3 (1) : 1-10.
- Fernandez-Caliani, J.C., Barba-Brioso, C., Gonzalez, I., Galan, E., 2009. Heavy metal pollution in soils around the abandoned mine sites of the Iberian pyrite belt (Southwest Spain). **Water Air Soil Pollut**, 200: 211-226.
- Fong, F.T., Chee, P.S., Mahmood, A.A., Tahir, N.M. 2008. Possible source and pattern distribution of heavy metals content in urban soil at Kuala Terengganu town center. **The Malaysian Journal of Analytical Sciences**, 12 (2): 458-467.
- Franssen, H.j.W.M.H., Van Eijnsbergen, A.C., Stein, A., 1997. Use of spatial prediction techniques and fuzzy classification for mapping soil pollutants. **Geoderma**, 77: 243-262.
- Friedland, A. J., 1990. The movement of metals through soils and ecosystems. “**Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects**” (eds. A. J. Shaw). CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 355 p.
- Gil, C., Boluda, R., Ramos, J., 2004. Determination and evaluation of cadmium, lead and nickel in greenhouse soils of Almería (Spain). **Chemosphere**, 55: 1027-1034.

- Golia, E.E., Dimirkou, A., Mitsios, I.K., 2008. Levels of heavy metals pollution in different types of soil of central Greece. **Bull Environ Contam Toxicol**, 80: 206-210.
- Goovaerts, P., 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. **Journal of Hydrology**, 228: 113-129.
- Goovaerts, P., 1999. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. **Geoderma**, 89: 1-45.
- Gopinath, A., Nair, S .M., Kumar, N.C., Jayalakshmi, K.V., Pamalal, D., 2010. Abaseline study of trace metals in a coral reef sedimentary environment, Lakshadweep Archipelago. **Environ. Earth Sci**, 59: 1245-1266.
- Güvenç, N., Alagha, O., Tuncel, G., 2003. Investigation of soil multi-element composition in Antalya, Turkey. **Environmental International**, 29: 631-640.
- Haktanır, K., Arcak, S., 1998. **Çevre kirliliği**. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayın No: 1503, Ders Kitabı: 457. 323 S.
- Imperato, M., Adamo, P., Naimo, D., Arienzo, M., Stanzione, D., Violante, P., 2003. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). **Environmental Pollution**, 124: 247-256.
- Isaaks, H.E., Srivastava, R.M., 1989. **Applied geostatistics**. Oxford University press, Inc. 561 p.
- Jackson, M.L., 1964. **Soil chemical analyiss**. Pentice Hall. Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. USA.
- Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A.B., 2007. **Trace elements from soil to human**, 550 s. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 2000. **Trace elements in soils and plants**. CRC Press, 413 p. ISBN 0849315751, 9780849315756.
- Karanlık, S., Ağca, N., Yalçın, M., 2010. Spatial distribution of heavy metals content in soils of Amik Plain (Hatay, Turkey). **Environ Monit Assess**, DOI 10.1007/s10661-010-1380-0. (Published online: 11 March 2010).
- Kaur, R., Rani, R. 2006. Spatial characterization and prioritization of heavy metal contaminated soil-water resources in peri-urban areas of national capital territory (NTC), Delhi. **Environmental Monitoring and Assessment**, 123: 233-247.
- Khairiah, J., Habibah, H.J., Anizan, I., Maimon, A., Aminah, A. And Ismail, B.S. 2009. Content of heavy metals in soil collected from selected paddy cultivation areas in Kedah and Perlis, Malaysia. **Journal of Applied Sciences Research**, 5(12): 2179-2188.

- Kim, K.R., Owens, G., Naidu, R., 2009a. Heavy metal distribution, bioaccessibility, and phytoavailability in long-term contaminated soils from lake Macquarie, Australia. **Australian Journal of Soil Research**, 47: 166-176.
- Kim, Y., Kim, B.K., Kim, K., 2009b. Distribution and speciation of heavy metals and their sources in Kumho river sediment, Korea. **Environ. Earth Sci.** DOI 10.1007/s12665-009-0230-2 (Published online: 14 July 2009).
- Kim, K.H., Kim, S.H., 1999. Heavy metal pollution of agricultural soils in central regions of Korea. **Water, Air and Soil Pollution**, 111: 109-122.
- Koç, Ş., Değer, M.A. 1992. Karstik Payas (Hatay) cevherleşmesinin kaynağına yönelik jeokimyasal veriler. **MTA Dergisi**, 114: 95-110.
- Koç, Ş., Değer, M.A., 1991. Payas (Hatay) bölgesi boksitli demir cevherleşmesinin oluşumu. **MTA Dergisi**, 113: 113-126.
- Lark, R. M., 2000. Estimating variograms of soil properties by the method-of-moments and maximum likelihood. **European Journal of Soil Science**, 51: 717-728.
- Li, J., Lu, Y., Yin, W., Gan, H., Zhang, C., Deng, X., Lian, J., 2009. Distribution of heavy metals in agricultural soils near a petrochemical complex in Guangzhou, China. **Environ Monit Assess**, 153: 365-375.
- Li, X., Lee, S.L., Wong, S.C., Shi, W., Thornton, I., 2004. The study of metal contamination in urban of Hong Kong using a GIS-based approach. **Environmental Pollution**, 129: 113-124.
- Lindsay, W.L., Norwell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society Amer. Journal**, 42: 421-428.
- Liu, E., Shen, J., Yang, L., Zhang, E., Meng, X., Wang, J., 2010. Assessment of heavy metal contamination in the sediments of Nansihu Lake Catchment, China. **Environ Monit Assess**, 161: 217-227.
- Liu, H., Chen, L.P., Ai, Y.W., Yang, X., Yu, Y.H., Zuo, Y.B., Fu, G.Y., 2009. Heavy metal contamination in soil alongside mountain railway in Sichuan, China. **Environ Monit Assess**, 152: 25-33.
- Liu, X., Zhao, K., Xu, J., Zhang, M., Si, B., Wang, F., 2008. Spatial variability of soil organic matter and nutrients in paddy fields at various scales in southeast China. **Environ. Geol.**, 53: 1139-1147.
- Liu, D., Wang, Z., Zhang, B., Song, K., Li, X., Li, J., Li, F., Duan, H., 2006. Spatial distribution of soil organic carbon and analysis of related factors in croplands of the black soil region, northeast China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 113:73-81.

- Loska, K., Wiechula, D., Korus, I., 2004. Metal contamination of farming soils affected by industry. **Environment International**, 30: 159-165.
- Lourenço, R.W., Barbosa Landim, P.M., Rosa, A.H., Roveda, J.A.F., Martins, A.C.G., Fraceto, L.F., 2010. Mapping soil pollution by spatial analysis and fuzzy classification. **Environ. Earth Sci**, 60: 495-504.
- Lu, S., Wang, H., Bai, S., 2009. Heavy metal contents and magnetic susceptibility of soils along an urban-rural gradient in rapidly growing city of eastern China. **Environ Monit Assess**, 155: 91-101.
- Luo, W., Lu, Y., Tong, X., Wang, B., Wang, G., Shi, Y., Wang, T., Naile, J., Giesy, J.P., 2009. Distribution of Copper, Cadmium, and lead in soils from former industrialized urban areas of Beijing, China. **Bull Environ Contam Toxicol**, 82: 378-383.
- Maas, S., Scheifler, R., Benslama, M., Crini, N., Lucot, E., Brahmia, Z., Benyacoub, S., Giraudoux, P., 2010. Spatial distribution of heavy metal concentrations in urban, suburban and agricultural soils in a Mediterranean city of Algeria. **Environmental Pollution**, Doi: 10.1016/j.envpol.2010.02.001.
- Manta, D.S., Angelone, M., Bellanca, A., Neri, R., Sprovieri, M., 2002. Heavy metals in urban Soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. **The Science of the Total Environment**, 300: 229-243.
- Martinez-Martinez, S., Faz, A., Acosta, J.A., 2006. Spatial distribution of heavy metals in a volcanic hill developed of dacitic rocks in Mazarron, SE Spain. **18. International Soil Meeting (ISM) on "Soil Sustaining Life on Earth, Managing Soil and Technology" proceedings**. 22-26 May. Ş. Urfa-Turkey.
- Martley, E., Gulson, B.L., Pfeifer, H.-R., 2004. Metal concentrations in soils around the copper smelter and surrounding industrial complex of Port Kembla, NSW, Australia. **Science of the Total Environment**, 325: 113-127.
- Massas, I., Ehaliotis, C., Gerontidis, S., Sarris, E., 2009. Elevated heavy metal concentrations in soils of an Aegean island town (Greece): total and available forms, origin and distribution. **Environ Monit Assess**, 151: 105-116.
- Mehrjardi, R. T., Jahromi, M. Z., Mahmodi, S., Heidari, A., 2008. Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (Case Study: Yazd-Ardakan plain). **World Applied Sciences Journal**, 4(1): 09-17.
- Munzuroğlu, Ö., Gür, N., 2000. Ağır metallerin elma (*malus sylvestris* Miller Cv. Golden) 'da polen çimlenmesi ve polen tüpü gelişimi üzerine etkileri. **Turk. J. Biol.**, 24: 677-684.

- Moreno-Jiménez, E., Penalosa, J.M., Manzano, R., Carpena-Ruiz, R.O., Gamarra, R., Esteban, E., 2009. Heavy metals distribution in soils surrounding an abandoned mine in NW Madrid (Spain) and their transference to wild flora. **Journal of Hazardous Materials**, 162: 854-859.
- Morton- Bermea, O., Hernandez, E., Martinez-Pichardo, E., Soler-Arechalde, A.M., Santa-Cruz, R.L., Gonzalez-Hernandez, G., Beramendi-Orosco, L., Urrutia-Fucugauchi, J., 2009. Mexico city top soils: Heavy metals vs. magnetic susceptibility. **Geoderma**, 151: 121-125.
- Möller, A., Müller, H.W., Abdullah, A., Abdelgawad, G., Utermann, J., 2005. Urban soil pollution in Damascus, Syria: concentrations and patterns of heavy metals in the soils of the Damascus Ghouta. **Geoderma**, 124: 63-71.
- Mulla, D., J., McBratney, A.B., 2000. Soil spatial variability. In: **Handbook of Soil Science**. Malcom E. Summer (ed. in chief) CRS Pres. A321-A351.
- Nouri, J., Khorasani, N., Lorestani, B., Karami, M., Hassani, A.H., Yousefi, N., 2009. Accumulation of heavy metals in soil and uptake by plant species with phytoremediation potential. **Environ. Earth Sci**, DOI 10.1007/s12665-009-0028-2 (Published online: 17 March 2009).
- Nwachukwu, M.A., Feng, H., Alinnor, J., 2010. Assessment of heavy metal pollution in soil and their implications within and around mechanic villages. **Environ. Sci. Tech.**, 7 (2): 347-358.
- Ongun, A.R., 2008. **Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin jeostatistiksel yöntemlerle uzaysal değişkenliğinin saptanması**. Doktora Tezi (Basılmamış). Ege Üniversitesi, 141 s, İzmir.
- Özkoçak, M.O., 1993. Hatay horst ve graben yapısının Amanos dağları altın yatak ve zuhurları. **Jeoloji Mühendisliği Dergisi**, 42: 52-59.
- Öztaş, T., 1995. **Jeostatistiğin toprak bilimindeki önemi ve uygulaması**. İ. Akalan Toprak ve Çevre Sempozyumu Bildiriler kitabı. I:271-280, Ankara.
- Özyılmaz, G., 1999. **İskenderun Körfezin'de endüstri kuruluşlarının neden olduğu hava ve toprak kirliliği**. MKÜ. Fen Bil. Ens. Kimya ABD Yüksek Lisans Tezi. 126 s. Hatay.
- Pais, I., Jones, J.B. 1997. **The handbook of trace elements**. CRC Pres. 223 p.
- Paz-González, A., Vieira, S.R., Castro, M.T.T., 2000. The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. **Geoderma**, 97: 273-292.

- Pazi, I., 2010. Assessment of heavy metal contamination in Candarli Gulf sediment, Eastern Aegean Sea. **Environ Monit Assess**, DOI 10.1007/s10661-010-1450-3 (Published online: 28 April 2010).
- Peh, Z., Miko, S., Hasan, O., 2010. Geochemical background in soils: a linear process domain? An example from Istria (Croatia). **Environ Earth Sci**, 59: 1367-1383.
- Pichtel, J., Sawyerr, H.T., Czarnowska, K., 1997. Spatial and temporal distribution of metals in soils in Warsaw, Poland. **Environmental Pollution**, 98: 169-174.
- Poggio, L., Vrscaj, B., Schulin, Rainer., Hepperle, E., Marsan, F.A., 2009. Metals pollution and human bioaccessibility of topsoils in Grugliasco (Italy). **Environmental Pollution**, 157: 680-689.
- Rogan, N., Dolenc, T., Serafimovski, T., Tasev, G., Dolenc, M., 2009. Distribution and mobility of heavy metals in paddy soils of the Kocani Field in Macedonia. **Environ. Earth Sci**, DOI 10.1007/s12665-009-0405-x (Published online: 16 December 2009).
- Schiff, K.C. and Weisberg, S.B. 1999. Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments. **Marine Environmental Research**, 48: 161-176.
- Schlichting, E., Blume, H., 1966. **Bodenkundliches Praktikum**. Parey Verlag, Hamburg, Berlin.
- Selim, H.M., Amacher, M.C., 2000. **Reactivity and transport of heavy metals in soils**. 210 p. Lewis Publishers, New York, London, Tokyo.
- Senwo, Z.N. and Tazisong, I.A. 2004. Metal Contents in Soils of Ablama. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 35: 2837-2848.
- Sponza, D., Karaoğlu, N., 2002. Environmental geochemistry and pollution studies of Aliğa Metal Industry district. **Environmental International**, 27: 541-553.
- Sposito, G. 1989. **The chemistry of the soils**. 277 s. Oxford University Press, Inc.
- Su, Y.Z, Yang, R., 2008. Background concentrations of elements in surface soils and their changes as affected by agriculture use in the Desert-Oasis Ecotone in the middle of Heihe River Basin, Northwest China. **Journal of Geochemical Exploration**, 98: 57-64.
- Sutherland, R.A., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. **Environmental Geology**, 39 (6): 611-627.

- Tack, F.M.G., Verloo, M.G., Vanmechelen, L., Ranst, V.E., 1997. Baseline concentration levels of trace elements as a function of clay and organic carbon contents in soils in Flanders (Belgium). **The Science of the Total Environment**, 201: 113-123.
- Tume, P., Bech, J., Longan, L., Tume, L., Reverter, F., Sepulveda, B., 2006. Trace elements in natural surface soils in Sant Climent (Catalonia, Spain). **Ecological Engineering**, 27: 145-152.
- Van Meirvenne, M., Goovaerts, P., 2001, Evaluating probability of exceeding a site-specific soil the cadmium contamination threshold. **Geoderma**, 102: 75-100.
- Wakida, F.T., Lara-Ruiz, D., Temores-Pena, J., Rodriguez-Ventura, J.G., Diaz, C., Garcia-Flores, E., 2008. Heavy metals in sediments of the Tecate River, Mexico. **Environ Geol**, 54: 637-642.
- Wang, Y., Yang, Z., Shen, Z., Tang, Z., Niu, J., Gao, F., 2010. Assessment of heavy metals in sediment from a typical catchment of the Yangtze River, China. **Environmental Monitoring and Assessment**, DOI 10.1007/s10661-010-1343-5 (Published online: 06 February 2010).
- Wu, Y., Xu, Y., Zhang, J. 2010. Heavy metals pollution and the identification of their sources in soil over Xiaoqinling gold-mining region, Shaanxi, China. **Environ Earth Sci**, DOI 10.1007/s12665-010-0833-7 (Published online: 17 November 2010)
- Wu, C., Zhang, L., 2009. Heavy metal concentrations and their possible sources in paddy soils of a modern agricultural zone, southeastern China. **Environ. Earth Sci**, DOI 10.1007/s12665-009-0168-4 (Published online: 25 April 2009). (6 şubat 2010).
- Wu, S., Zhou, S., Li, X., Johnson, W.C., Zhang, H., Shi, J., 2009. Heavy-metal accumulation trends in Yixing, China: an area of rapid economic development. **Environ. Earth Sci**, DOI 10.1007/s12665-009-0321-0 (Published online: 30 October 2009).
- Qiao, M., Cai, C., Huang, Y., Liu, Y., Lin, A., Zheng, Y., 2010. Characterization of soil heavy metal contamination and potential health risk in metropolitan region of northern China. **Environmental Monitoring and Assessment**, DOI 10.1007/s10661-010-1339-1 (Published online: 05 February 2010).
- Yaron, B., Calvet, R., Prost, R. 1996. **Soil Pollution. Processes and Dynamics**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Printed in Germany. 313 p.
- Yaylalı-Abanuz, G., Tüysüz, N., 2009. Heavy metal contamination of soils and tea plants in the eastern Black Sea region, NE Turkey. **Environ. Earth Sci**, 59: 131-144.

- Yetgin, B., 2004. **Toprak fiziksel özelliklerinin uzaysal değişkenliğinin jeoistatistiksel yöntemlerle analizi**. Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış) Gaziosmanpaşa Üniversitesi, 94 s, Tokat.
- Zhang, X., Y., Lin, F.F., Wong, M.T.F., Feng, X.L., Wang, K., (2009). Identification of soil heavy metal sources from anthropogenic activities and pollution assesment of Fuyang County, China. **Environ Monit Asses**, 154: 439-449

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında büyük bir titizlik, sabır ve özveriyle bana destek olan, yol gösteren ve iyi bir bilimsel çalışma ortamı sağlayan danışman hocam sayın Prof. Dr. Necat AĞCA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimi yazarken eksiklerimi ve hatalarımı düzeltmemde ciddi katkıları olan değerli jüri üyeleri Yrd. Doç. Dr. Sema KARANLIK ile Yrd. Doç. Dr. Gül ÖZYILMAZ' a çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Kemal DOĞAN ve Arş. Gör. Mehmet YALÇIN'a teşekkürlerimi belirtmek isterim.

Ayrıca tez çalışmamda emeği geçen Veysi SARUHAN, Mehmet Ali AKTİMUR ve Sadık YAŞAR'a da teşekkürü bir borç bilirim.

Sadece bu çalışmada değil her zaman bana destek olan değerli annem, babam ve abime, ayrıca master çalışmam esnasında her zaman yanımda olan, büyük anlayış ve sabırla beni destekleyen değerli eşim Irmak ÖZDEL'e de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Diyarbakır'da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Diyarbakır'da tamamladım. 2002 yılında kazandığım Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitkisel Üretim Programından, 2007 yılında Ziraat Mühendisi olarak mezun oldum. Aynı yıl Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladım. 2009 Yılında Mardin İlinin Yeşilli İlçe Tarım Müdürlüğünde Ziraat Mühendisi olarak göreve başladım. Halen Yeşilli İlçe Tarım Müdürlüğünde Ziraat Mühendisi olarak görev yapmaktayım.