

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSTANBUL-ANKARA OTOYOLUNA YAKIN
TARIM ARAZİLERİNDEKİ
AĞIR METAL KİRLİLİK DÜZEYLERİNİN BELİRLENEREK
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) YARDIMIYLA
MEKÂNSAL OLARAK HARİTALANMASI**

**Tezi Hazırlayan
Abdurrahman Yusuf PEKACAR**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. M. Cüneyt BAĞDATLI**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2021
NEVŞEHİR**

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerimi benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan, aynı zamanda kişilik olarak da bana çok şey katan Sayın Hocam Doç. Dr. M. Cüneyt BAĞDATLI' ya,

Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında mekansal haritaların yapılmasına katkılar sağlayan Esra CAN'a ve laboratuvar aşamalarının bir kısmında yardımlarını esirgemeyen Eda Nur ARIKAN ve Oğuzhan ARSLAN'a,

Arazi çalışmaları boyunca maddi ve manevi açıdan büyük yardımları dokunan, kıymetli vakitlerinden feragatle yardımlarını esirgemeyen, bütün noktaları benimle birlikte karış karış gezerek tezin önemli bir bölümünü bitirmeme yardımcı olan aziz babam Prof. Dr. Çetin PEKACAR' a,

Toprak numunelerinin analiz işlemlerinin gerçekleştirilmesi kapsamında yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Cevahir ALTINKAYNAK' a,

Muhterem annem Gönül PEKACAR' a,

Bir hayat yoldaşı olarak desteğini mütemadiyen hissettiren eşim Gamze'ye teşekkürlerimi sunarım.

Abdurrahman Yusuf PEKACAR

**İSTANBUL-ANKARA OTOYOLUNA YAKIN TARIM ARAZİLERİNDEKİ
AĞIR METAL KİRLİLİK DÜZEYLERİNİN BELİRLENEREK
COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) YARDIMIYLA
MEKÂNSAL OLARAK HARİTALANMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Abdurrahman Yusuf PEKACAR

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2021

ÖZET

Bu çalışma İstanbul-Ankara Otoyolunun Ankara il merkezinden yaklaşık 40 km uzaklığında bulunan Ayaş, Kızılcahamam ve Kahramankazan ilçe sınırları dâhilinde yer alan otoyolun kuzey ve güney kısımlarındaki tarım topraklarındaki ağır metal kirlilik seviyesinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla mekânsal olarak değerlendirilmesi kapsamında yürütülmüştür. Araştırmada çalışma sahasında homojen olarak yayılım gösterecek şekilde 51 farklı noktadan 15-30 cm derinlikten toprak numuneleri alınmıştır. Toprak örneklerinde pH değerleri belirlenmiş ve bazı ağır metal içerikleri (Al, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Ag, Cd, Hg, Pb) ICP-MS MS yardımıyla laboratuvar ortamında tespit edilmiştir. Araştırma sahası topraklarının pH değerleri 6,20-8,20, Al: 724,081; Cr: 0,700; Co: 0,180; Ni: 0,581; Cu: 0,231; Zn: 0,268; As: 0,110; Se: 0,032; Ag: 0,004; Cd: 0,016; Hg: 0,007; Pb: 0,872 ppm arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Elde edilen veriler CBS yazılımlarından Arc GIS 10.3.1 yazılımı kullanılarak Spline With Barrier Enterpolasyon model yaklaşımıyla mekânsal olarak analiz edilmiştir. Ayrıca çalışma sahasının 1/25.000 ölçekli sayısal toprak haritaları kullanılarak büyük toprak grupları, arazi kullanım kabiliyetleri, toprak derinlik sınıfları ve erozyon dereceleri mekânsal olarak incelenmiştir. Söz konusu çalışmada araştırmaya konu edinen tarım topraklarının ağır metal kirlilik dağılım haritaları oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda araştırma sahası topraklarının Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Gıda Tarım Örgütü (FAO) ve Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği kriterlerine göre ağır metal kirlilik düzeyleri açısından toprakta izin verilebilir değerlerin altında olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağır Metal Kirliliği, Tarım Toprakları, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Mekansal Haritalama, İstanbul-Ankara Otoyolu

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. M. Cüneyt BAĞDATLI
Sayfa Adedi: 87**

**DETERMINING HEAVY METAL POLLUTION LEVELS ON
AGRICULTURAL LANDS CLOSE TO ISTANBUL-ANKARA HIGHWAY AND
SPATIAL MAPPING WITH USE OF
GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS (GIS)
(Master Thesis)**

Abdurrahman Yusuf PEKACAR

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

June 2021

ABSTRACT

This study was carried out within the scope of spatial evaluation of the level of heavy metal pollution in agricultural lands in the northern and southern parts of the highway with the help of Geographical Information Systems (GIS) in the part of the Istanbul-Ankara highway located within the borders of Ayaş, Kızılcahamam and Kahramankazan districts, located about 40 km from the provincial center of Ankara. In the study, soil samples were taken from 51 different points at a depth of 15-30 cm to show uniform distribution in the study area. pH values were determined in soil samples and some heavy metal content (Al, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Ag, Cd, Hg, Pb) was determined in laboratory environment with ICP-MS MS. The pH values of the research area fronds varied between 6,20-8,20, Al: 724,081; Cr: 0,700; Co: 0,180; Ni: 0,581; Cu: 0,231; Zn: 0,268; As: 0,110; Se: 0,032; Ag: 0,004; Cd: 0,016; Hg: 0,007; Pb: 0,872 ppm. The data obtained were analyzed spatially using the Spline with Barrier interpolation model approach using Arc GIS 10.3.1 software from GIS software. In addition, large soil groups, land use capabilities, soil depth classes and erosion degrees were spatially studied using 1/25.000 scale numerical soil maps of the study site. In this study, heavy metal pollution distribution maps of agricultural soils were created. As a result of the study, it was concluded that the soils of the research site were below permissible values in the soil in terms of heavy metal pollution levels according to the criteria of the World Health Organization (WHO), Food and Agriculture Organization (FAO) and the regulation on Soil Pollution Control.

Keywords: Heavy Metal Pollution, Agricultural Soils, Geographical Information Systems (GIS), Spatial Mapping, İstanbul-Ankara Highway

**Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. M. Cüneyt BAĞDATLI
Page Number: 87**

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

KABUL VE ONAY	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
RESİMLER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xi
1. BÖLÜM	1
GİRİŞ	1
2. BÖLÜM	5
KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Toprakta Ağır Metal Kirliliği	5
2.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri Mekânsal Analiz Çalışmaları	14
3. BÖLÜM	26
MATERYAL	26
3.1. Çalışma Alanının Yeri ve Konumu	26
3.2. İklim Özellikleri	27
3.3. Tarımsal Yapı	29
3.4. Trafik Yoğunluğu	33
3.5. Nüfus Dağılımı	34
4. BÖLÜM	36
METOD	36
4.1. Toprak Örneklerinin Alınması	36
4.2. Laboratuvar Analizleri.....	37
4.2.1. pH analizleri.....	37
4.2.2. Ağır metal analizleri	38
4.3. CBS Ortamında Mekânsal Analizler	39
4.3.1. pH ve ağır metal içeriklerinin mekansal analizleri	39
4.3.2. Bazı toprak özelliklerinin mekansal analizleri.....	40

5. BÖLÜM	44
ARAŞTIRMA BULGULARI	44
5.1. Araştırma Alanının Toprak Özelliklerinin Mekansal Dağılımları	44
5.1.1. Büyük toprak gruplarının dağılımı	44
5.1.2. Arazi kullanım kabiliyetleri	45
5.1.3. Eğim dağılımları	46
5.1.4. Derinlik dağılımı.....	47
5.2. Toprak Kimyasal Analiz Sonuçlarının Mekansal Analizleri.....	47
5.2.1. pH değerlerinin mekansal analizleri	48
5.2.2. Alüminyum (Al) değerlerinin mekansal analizleri	49
5.2.3. Krom (Cr) değerlerinin mekansal analizleri	51
5.2.4. Kobalt (Co) değerlerinin mekansal analizleri.....	52
5.2.5. Nikel (Ni) değerlerinin mekansal analizleri.....	54
5.2.6. Bakır (Cu) değerlerinin mekansal analizleri.....	55
5.2.7. Çinko (Zn) değerlerinin mekansal analizleri	57
5.2.8. Arsenik (As) değerlerinin mekansal analizleri	58
5.2.9. Selenyum (Se) değerlerinin mekansal analizleri	60
5.2.10. Gümüş (Ag) değerlerinin mekansal analizleri	61
5.2.11. Kadmiyum (Cd) değerlerinin mekansal analizleri.....	62
5.2.12. Cıva (Hg) değerlerinin mekansal analizleri	63
5.2.13. Kurşun (Pb) değerlerinin mekansal analizleri	65
6. BÖLÜM	67
SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	87

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Ankara İli uzun yıllık bazı iklim verileri (1927-2018).	29
Tablo 3.2. Kızılcahamam ilçesi tarım alanlarının dağılımı.....	31
Tablo 3.3. Kahramankazan ilçesi bazı tarla bitkilerinin ekiliş miktarları	32
Tablo 3.4. İstanbul-Ankara otoyolu yıllık ortalama günlük trafik yoğunluğu.....	34
Tablo 3.5. Ankara ilçelerinin nüfus dağılımı.....	34
Tablo 4.1. Toprakların pH değerlendirme sınır ölçütleri.....	36
Tablo 4.2. Toprakların ağır metal sınır değerleri.....	38
Tablo 4.3. Büyük toprak grupları katmanları.....	41
Tablo 4.4. Arazi eğim sınıflandırması.....	42
Tablo 4.5. Toprak derinliklerinin sınıflandırılması.....	42

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Araştırma alanının yeri ve coğrafi konumu.....	26
Şekil 3.2. Ayaş ilçesi tarım ürünlerinin ekilişine göre dağılımı.....	30
Şekil 3.3. Ayaş ilçesi tarım alanlarının dağılışı oranı.....	30
Şekil 3.4. Kızılcahamam ilçesi tarım alanlarının dağılımı.....	31
Şekil 3.5. Kahramankazan ilçesi tarım alanlarının dağılımı.....	32
Şekil 3.6. Noktalara göre motorlu taşıt sayısını gösteren harita.....	33
Şekil 5.1. Ankara ili ve çalışma sahasına ait büyük toprak gruplarının mekânsal dağılımı	44
Şekil 5.2. Ankara ili ve çalışma sahasına ait arazi kullanım kabiliyeti sınıfları.....	45
Şekil 5.3. Ankara ili ve çalışma sahasına ait eğim haritası.....	46
Şekil 5.4. Ankara ili ve çalışma sahası toprak derinlikleri dağılımı	47
Şekil 5.5. pH değerlerinin mekânsal dağılımları	48
Şekil 5.6. Alüminyum (Al) değerlerinin mekânsal dağılımları	50
Şekil 5.7. Krom (Cr) değerlerinin mekânsal dağılımları	51
Şekil 5.8. Kobalt (Co) değerlerinin mekânsal dağılımları	53
Şekil 5.9. Nikel (Ni) değerlerinin mekânsal dağılımları	54
Şekil 5.10. Bakır (Cu) değerlerinin mekânsal dağılımları	56
Şekil 5.11. Çinko (Zn) değerlerinin mekânsal dağılımları	57
Şekil 5.12. Arsenik (As) değerlerinin mekânsal dağılımları	59
Şekil 5.13. Selenyum (Se) değerlerinin mekânsal dağılımları	60
Şekil 5.14. Gümüş (Ag) değerlerinin mekânsal dağılımları	61
Şekil 5.15. Kadmiyum (Cd) değerlerinin mekânsal dağılımları	62
Şekil 5.16. Civa (Hg) değerlerinin mekânsal dağılımları	64
Şekil 5.17. Kurşun (Pb) değerlerinin mekânsal dağılımları	65

RESİMLER LİSTESİ

- Resim 4.1. Toprak örneklerinin toplanmasına ilişkin arazi görüntüleri..... 37
Resim 4.2. Laboratuvarında yapılan pH ölçümlerine ilişkin görüntüler..... 38



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
Ag	: Gümüş
Au	: Altın
B	: Bor
Ba	: Baryum
Cr	: Krom
Co	: Kobalt
Cu	: Bakır
Cd	: Kadmiyum
Cs	: Sezyum
Ca	: Kalsiyum
Dy	: Disprozyum
Eu	: Evropiyum
Fe	: Demir
Ga	: Galyum
Hg	: Cıva
Hf	: Hafniyum
K	: Potasyum
La	: Lantan
Lu	: Lutesyum
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
Mg	: Magnezyum
Na	: Sodyum
P	: Fosfor

Pb	: Kurşun
Rb	: Rubidyum
S	: Kükürt
Sb	: Antimon
Se	: Selenyum
Si	: Silisyum
Sc	: Skandiyum
Sm	: Samaryum
Sr	: Stronsiyum
Ta	: Tantal
Tb	: Terbiyum
Th	: Toryum
Ti	: Titanyum
U	: Uranyum
V	: Vanadyum
Yb	: İterbiyum
Zn	: Çinko
°C	: Santigrat Derece
kg	: Kilogram
g	: Gram
m	: Metre
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
µm	: Mikrometre (mikron)
cm ³	: Santimetreküp
ha	: Hektar
da	: Dekar
km	: Kilometre

km ²	: Kilometrekare
yy	: Yüzyıl
%	: Yüzde
<	: Küçüktür
>	: Büyüktür
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
SO ₂	: Kükürtdioksit
HCO ₃	: Bikarbonat
SO ₄ ⁻²	: Sülfat
HC	: Hidrokarbonlar
PM	: Partiküler madde
NO _x	: Azot oksit
ppm	: Milyonda bir birim
ppb	: Milyarda bir birim
pH	: Asitlik ve baziklik ölçüsü
dS/m	: Suyun elektriksel iletkenlik değeri
EF	: Zenginleşme katsayısı
CF	: Kirlilik faktörü
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
SO ₂	: Kükürtdioksit
HCO ₃	: Bikarbonat
SO ₄ ⁻²	: Sülfat
HC	: Hidrokarbonlar
PM	: Partiküler madde
NO _x	: Azot oksit
ppm	: Milyonda bir birim

ppb	: Milyarda bir birim
pH	: Asitlik ve baziklik ölçüsü
dS/m	: Suyun elektriksel iletkenlik değeri
EF	: Zenginleşme katsayısı
CF	: Kirlilik faktörü
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
FAO	: Gıda Tarım Örgütü
US EPA	: Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı
TKKY	: Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TOK	: Toplam Organik Karbon
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
GIS	: Geographical Information Systems
IDW	: Inverse Distance Weighting
EDXRF	: Energy Dispersive X-Ray Fluorescence
ICP-OES	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi
ICP-MS	: İndüktif Eşleşmeli Plazma – Kütle Spektrometresi
HR-ICP-MS	:Yüksek Çözünürlüklü İndüktif Eşleşmeli Plazma-Kütle Spektrometresi
FAAS	: Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
GFAAS	: Grafit Fırınlı Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi
TEM	: Transit Avrupa Otoyolu
YSA	: Yapay Sinir Ağları

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Hayatın ve yaşamın temel taşlarından biri olan toprak üzerinde yaşayan tüm varlıklara ev sahipliği yapmaktadır. Toprak organik maddesi; taze ya da farklı düzeylerde çürümüş bitki, hayvan, mikrobiyal kalıntı ve artıklar ile göreceli olarak dayanıklı toprak humusunu içeren toprağın organik fraksiyonu şeklinde tanımlanmaktadır [1].

Çevre kirliliği bünyesinde hava, gürültü, su kirliliği gibi diğer çevre kirliliklerine nazaran toprak kirliliği ekosistemde çok önemli bir aşamada yer almaktadır. Plansız kentleşme, tarımda aşırı miktarda ilacın kullanımı, hayvancılık, sanayi ve madencilik atıkları, bertaraf edilmemiş kirli suların tarım arazilerinde sulama suyu olarak kullanımı, araçların egzozlarından çıkan kurşun, cıva gibi ağır metaller toprak kirliliğinin başlıca sebepleri arasındadır. Dünyadaki nüfus artışıyla beraber tarım ve sanayi faaliyetleri de hızla artış göstermiştir. Ekolojik sistemin temelini oluşturan ve yaşantımızda bu derece önemli bir konuma sahip olan toprak gelişen teknolojiyle beraber günden güne endüstriyel faaliyetlerin de etkisiyle vahşi depolama alanı haline gelerek kirlenmeye maruz kalmaktadır. 20. yy başlarından itibaren modern tarıma geçilmesiyle sanayileşmenin gelişimi de hızlanmış, bununla beraber dünya nüfusu da artış göstermiştir. Böylelikle doğal kaynaklar, ekosistemler büyük oranda tahribata uğramış, kirlenmiş ve toprak kirliliği kritik bir çevre sorunu olarak karşımıza çıkmıştır [2]. Toprak, çeşitli antropojenik faaliyetler sonucu organik ve inorganik kirlleticilerle kirlenebilmektedir [3]. Ağır metaller özgül ağırlığı 5 gr/cm^3 ten yüksek metaller olarak tabir edilmekle beraber periyodik cetvelde yaklaşık 70 adet ağır metal bulunmaktadır [4].

Bu elementlerden başlıca toprak kirliliğinde en zararlıları kurşun (Pb), cıva (Hg), arsenik (As), kadmiyum (Cd) ve çinko (Zn) ağır metalleridir [3]. Genel itibariyle toprakta ağır metal kirliliği endüstriyel faaliyetlerin de etkisiyle katı atık depolama alanlarının sızıntı sularının tarım topraklarına geçmesiyle, gübre ve arıtma çamurlarının kullanımının artmasıyla önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. Öte yandan özellikle otoyol kenarlarına yakın toprakların trafikten kaynaklı ağır metal elementlerinin artması da önemli bir sorundur [5].

Tarım arazilerinin trafik açısından yoğun olan otoyollara yakın olması, toprağın ağır metal kirliliğine maruz kalmasını daha da kaçınılmaz hale getirmektedir. Araçların egzozlarından çıkan kirleticiler toprağa tutunarak içine işlemektedir. 1972 yılında ABD’de yapılan bir araştırmaya göre her yıl 200 milyon tondan fazla insan yapısı kirleticinin havaya bırakılarak motorlu araçların bu kirlenmenin % 50 sine dâhil olduğu tespit edilmiş ve Pb, Cr, Ni, Cu, Zn, Cd gibi ağır metallerin motorlu taşıtlardan kaynaklı ortaya çıktığı görülmüştür [6].

Topraklarda ağır metal kirliliği; gerek karayollarında taşıtların egzozlarından gerek endüstri kuruluşlarından kaynaklanan emisyonlar, gerekse yanlış tarımsal uygulamalar (gübre, pestisit vd.) nedeniyle oluşmaktadır [7]. Tarım arazilerinin yoğun trafik akışının bulunduğu bölgelerde oluşu, otoyolların ağır metallerce zengin çeşitli araçlarla devamlı olarak kirletilmesine neden olmakta, toprak kalitesini ve verimini düşürmekte, tarımsal faaliyeti olumsuz etkilemektedir. Topraklarda ağır metal birikimi daha çok yüzeyde veya yüzeye yakın bölgelerde meydana gelmektedir [8]. Dolayısıyla tarım arazilerine yakın karayolları ve otoyollar bu birikimi daha kolay hale getirmektedir. Toprak kirliliğine neden olan bileşenlerin başında karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO₂), partikül madde (PM), azot oksitleri (NO_x), kükürt oksitler (SO₂) ve hidrokarbonlar (HC) olarak bilinen uçucu organik bileşikler gelmektedir [9].

Yapılmış olan araştırmalar otoyol kenarlarında bulunan arazilerde ağır metal seviyelerindeki artışın toprak kirliliği, tarımsal üretim ve dolaylı yoldan birçok özellikleri etkilediğini ortaya koymaktadır. Günümüzde, hızlı şehirleşmeye bağlı motorlu taşıt sayısı da artmakta, trafik kaynaklı ağır metal kirliliği de bununla birlikte etkilenmektedir. Yapısında ağır metal taşıyan gübreler bir kısmı doğru kullanılırken bir kısmı da yanlış kullanım ve meteorolojik faktörler sonucu toprağa ve uzak ortamlara taşınmaktadır. Toprağa taşınan ağır metal elementleri besin zinciri yolu ile taşınabilmektedir [5]. Söz konusu ağır metallerin toprakta yetişen bitkilere olan etkisi insanoğluna da yansımaktadır.

Otoyollarda araç geçişleri, trafik yoğunluğu, yanlış sürüş tekniği gibi nedenler yol yapısını bozabilmektedir. Dolayısıyla yol kenarına yakın bölgelerdeki topraklara çeşitli kirleticiler dağılabilir. Otoyol ve trafik kaynaklı kirleticiler, belirli derinliklerden toprak yüzeyine çıkan asfalt/beton malzemesi, ağır metaller, hidrokarbonlar, besin maddeleri, tozlar, partikül maddeler ve buz çözücü tuzlardır [5].

Otoyol ağı dünyada ve ülkemizde sistemsel açıdan oldukça gelişmiş ve geniş bir alana yayılım göstermiştir. Bununla birlikte yerleşim alanlarının otoyollarının yakınında yapılması bir çevresel kirlenmeyi kaçınılmaz kılmaktadır. Özellikle ağır metal içeren araç emisyonlarından kaynaklı elementler toprakların yapısını bozmaktadır. Bu metaller başlıca motor yağı, lastik aşınması, yakıttan çıkan emisyonlar, fren aşınmasından ve taşıt egzoz katalizörlerinden kaynaklanmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda otoyol kenarına yakın toprakların incelenmesi neticesinde toprakta ağırlıklı olarak Cr, Cd, Cu, Zn, Pb ve Ni gibi ağır metal konsantrasyonlarının yüksek seviyelere ulaştığı görülmüştür [5].

Toprağın içindeki ağır metal konsantrasyonunun belirlenmesi ve analizinin gerçekleştirilmesi, toprak kalitesinin belirlenen standartlarla belirlenmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanması son derece önemlidir. Daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda, çalışma sahasına yakın bölgelerde ağır metal miktarlarının ölçümü yapılmış fakat ayrıntılı olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak haritası çıkartılmamıştır.

Özellikle teknolojinin gelişmesi ile birlikte bilimsel anlamda yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) ortaya çıkmasıyla Toprak Bilgi Sistemleri gibi uygulamalar hayatımıza dâhil olmuştur. Toprak Bilgi Sistemleri, toprak özelliklerinin haritalar halinde sayısal ortamda depolanıp analizlerini konu edinmektedir [10].

Coğrafi bilgi sistemleri sayesinde toprak özellikleri hakkında yazılan veriler havza karakteristiklerinde net bir şekilde belirlenmesinde rol oynamaktadır. Toprak potansiyellerinin korunmasında mevcut durum tespiti ve ileride oluşabilecek durumlar hakkında tahmin edebilme imkânına sahip olmakla birlikte alınabilecek önlemlerinde ortaya konulmasında etkili olabilmektedir [11].

Gerçekleştirilen bu tez çalışması kapsamında Ankara ili, Kızılcahamam, Kazan ve Ayaş ilçe sınırlarından geçen Ankara merkezine 40 km mesafede olan İstanbul-Ankara otoyolunun kuzey ve güney kısımlarındaki tarım arazilerinden alınan toprak örneklerin de motorlu taşıtlardan veya tarımsal uygulamalardan kaynaklı ağır metal kirliliğinin olup olmadığı araştırılmıştır.

Alınan toprak numunelerinin geçtiği karayolu üzerinde bulunan yerleşim alanları, tarımsal amaçlı kullanılan araziler ve büyükbaş ve küçükbaş hayvancılık yapılan arazilerin mevcut olması nedeniyle bu çalışma mekansal bazda toprak kirliliğinin tespit edilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Elde edilen sayısal veriler CBS yazılımına aktarılıp uygun enterpolasyon tekniği kullanılarak bölgenin mekânsal olarak ağır metal kirlilik haritası çıkartılmıştır.

Bulgulardan yola çıkılarak çalışma sahasında bölgesel trafik kaynaklı ve tarımsal uygulamalar nedeniyle ağır metal kirliliğinin söz konusu olup olmadığı araştırılmıştır. Otoyol kenarlarına yakın tarım arazilerinde araç-trafik yoğunluğuna bağlı olarak ağır metal birikimlerinin toprakta zamana bağlı olarak tarımsal üretimde bitki gelişimine ve buna bağlı olarak insan sağlığına ve yaşamına olan olumsuz etkileri ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

Bu çalışma Kahramankazan, Kızılcahamam ve Ayaş ilçe sınırları arasında kalan İstanbul-Ankara Otoyolunun kuzey ve güney kısımlarındaki tarım alanlarından alınan toprak örneklerinde ağır metal kirlilik düzeylerinin araştırılması kapsamında yürütülmüştür. Elde edilen veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında mekansal olarak değerlendirilmiş ve çalışama alanına ilişkin ağır metal kirlilik dağılım haritaları oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında ağır metal kirlilik düzeylerinin alansal analizleri gerçekleştirilerek kirliliğin boyutları tartışılmış ve kirlilik kaynaklarına ilişkin alınabilecek önlemler irdelenmiştir.

2. BÖLÜM

KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Toprakta Ağır Metal Kirliliği

Gübre ve pestisitlerin aşırı kullanımı, madencilik faaliyetleri, hızlı nüfus artışı ve buna bağlı olarak artan kentleşme, kontrolsüz atık su deşarjı, atmosferik birikim, trafik yoğunluğu ve artan endüstriyel faaliyetler tarım topraklarındaki antropojenik kirliliğin ana kaynaklarını oluşturmaktadır. Tarım arazilerinin trafiğin yoğun olduğu bölgelere yakın bulunuşu da motorlu taşıtlardan kaynaklanan ağır metal kirliliğinin başka bir habercisidir. Araç trafiğinin yoğun olduğu yol kenarlarında ve refüjlerde bitkilerde bazı ağır metallerin konsantrasyonları yüksek değerlerde seyredilmekte ve bitkinin bünyesinde dahil olabilmektedir [4].

Ankara merkez ilçe sınırları dahilinde ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi üzerine yürütülen bir çalışmada; sanayi, yol kenarı, şehir içi ve kontrol bölgelerinden toplanan toprak örneklerinde Al, Cr, Cd, Cu, Fe, Zn, Mn, Pb, Ni ağır metallerinin konsantrasyonları belirlenmiştir. Analizler ICP-OES yardımıyla gerçekleştirilerek çalışma neticesinde, topraktaki metal konsantrasyonlarının sanayi ve yol kenarlarında yoğun olarak gözlemlendiği, bitki kısımlarındaki metal içeriklerinin sanayi bölgesinden toplanan bitki kabuklarında çalışılan bütün ağır metallerin konsantrasyonundan daha yüksek bir değerde olduğu sonucuna varılmıştır [12].

Sinop ve merkez ilçelerinde ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla ortaya koyulan bir çalışmada 88 farklı istasyondan toplanan toprak örnekleri EDXRF Spektrometresi ile Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As ve Pb ölçümüne tabii tutulmuştur. Elde edilen verilerden hareketle metallerin ortalama konsantrasyon değerleri Cr ve Ni hariç, Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nün belirlemiş olduğu izin verilebilir limit değerlerin altında olduğu ortaya koyulmuştur [13].

Özbek Ovası topraklarında yapılan çalışmada ağır metal fraksiyonlanması, mobilitesi ve olası kaynakları bir ardışık ekstraksiyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla 12 noktadan alınan toprak numunelerinde Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn elementleri ölçülmüştür. [14].

Ölçümlerin sonucunda Cd ve Cu'nun genel tarımsal toprak değerlerinin üzerinde ve Cd ve Pb elementlerinin yüksek oranda mobil fazlara sahip olduğunu ve bunun antropojenik kaynaklardan beslendiği sonucuna varılmıştır [14].

Adana ilinde yapılmış olan bir araştırmada 52 adet noktadan alınan toprak örnekleri Atomik Absorbsiyon Spektrometre cihazı ile Fe, Mn, Al, Cu, Zn, Ni, Hg, Cr, Pb, Cd, Co, As analizine tabi tutulmuştur. Analize göre ise Fe, Mn, Pb elementlerinin standartların altında, Cu, Hg, Cd, Co elementlerinin ise standartların üzerinde çıktığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kirliliğe neden olan elementlerin genellikle çevresel faktörlere bağlı, Cr ve Ni elementlerinin ise bölgedeki jeolojik yapının sebep olduğu düşünülmektedir [15].

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Ziraat Fakültesi buğday tarlalarında bazı ağır metal kirleticilerinin etkileri üzerine bir çalışma yapılmıştır. Deneme ve kontrol tarlalarında farklı noktalardan toprak ve yetiştirilen buğday bitkisinde Cu, Fe, Ni, Pb, Cd, Mg, Mn, Na, Zn ve As element analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde deneme tarlasının kontrol ekiminin yapıldığı tarlaya nazaran çevresel kirleticilerin etkisinde kaldığı ve buğday gelişimini de etkilediği görülmüştür [16].

Hatay iline bağlı Antakya-Cilvegözü karayolu çevresinde gerçekleştirilen çalışmada trafik yoğunluğuna göre karayolunun sağ ve sol tarafından belirli uzaklıklarla belirlenmiş 8 adet noktadan alınan toprak numuneleri ağır metallerin analizine tabii tutulmuştur. ICP-OES cihazı yardımıyla gerçekleştirilen çalışmada topraktaki Fe, bitkideki Fe, Cu, Mn ve Zn varlığının tarımsal faaliyetlerden ve geri kalan Pb, Cd, Ni gibi ağır metallerin ise karayolu trafiğinden ileri geldiği saptanmıştır. Bunlara ek olarak mesafeye bağlı karayolundan uzaklaştıkça bitki ve topraktaki ağır metal seviyelerinin de azaldığını tespit edilmiştir [17].

Tekirdağ'ın Çorlu ilçesinde bulunan sanayi tesislerinin oluşturduğu kirliliği tespit etmek amacıyla yürütülen bir çalışmada 3 aylık periyotlar halinde 3 farklı lokasyondan toprak numuneleri alınarak Pb, Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Co, Cd, Cr miktarları ölçülmüştür. Alevli Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (FAAS) cihazıyla ölçülen bu toprak numunelerin sonucunda Zn, Cr, Cd, Ni içeriklerinin yönetmelikte belirtilen değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir [18].

Tespit edilen ağır metallerin varlığının tarımsal üretime, yer altı suyu kalitesine ve dolaylı yoldan insan sağlığına olumsuz etkide bulunabileceğini düşünülmektedir [18].

Şanlıurfa ve Viranşehir karayolu arasında yürütülen bir çalışmada karayol kenarındaki topraklarda trafikten kaynaklı ağır metal birikiminin mesafeye bağlı olarak değişebilirliği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda belirlenen Cu, Ni, Cr, Zn, Cd, Pb ağır metallerinin içerikleri toprak örneklerinde sınır değerleri aşmadıkları ve Zn hariç diğer ağır metallerin mesafeye bağlı olarak karayolundan yaklaştıkça ağır metal içeriklerinin arttığı tespit edilmiştir [8].

İstanbul Avrupa Yakası Hadımköy ve Tekirdağ İl sınırları içerisinde kalan TEM Otoyolunun kenarlarında yer alan tarım arazilerinde ağır metal kirliliğinin belirlenmesi üzerine yürütülen bir çalışmada 40 farklı noktadan alınan toprak örneklerinde Cd, Ni ve Pb miktarlarının ‘İzin Verilebilir’, kobalt kirliliğinin %25 ve krom kirliliğinin ise %5 olduğu tespit edilmiştir [4].

Tekirdağ İli otoban kenarlarında ekstrakte edilebilir kobalt kirliliği araştırılması amacıyla çalışma yapılmıştır. Buna göre otoban kenarlarının sağ ve sol taraflardan olmak üzere belirlenen noktalardan 50 adet toprak örneği alınmıştır. Sonuçlara göre topraktaki kobalt kirlilikleri 0,08-0,587 mg/kg değerleri arasında tespit edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre arazi topraklarında kobaltın giderimi için fitoremediasyon yöntemi kullanılması gerektiği öne sürülmüştür [19].

İstanbul ili'nin Ataşehir, Beykoz, Kadıköy, Kartal, Maltepe ile Pendik, Sancaktepe, Sultanbeyli, Ümraniye ve Üsküdar ilçelerinde yapılan bir çalışmada, pasif yeşil alanlar olarak tanımlanan şehir içi kavşak ve refüjlerden toprak ve bitki örneği alınarak ağır metal kirliliğinin boyutu ve dağılımı araştırılmıştır. Bu kapsamda, 42 farklı lokasyondan 0-20 cm ve 20-40 cm olmak üzere 2 farklı derinlikten toplamda 260 adet toprak ve çeşitli bitkilerden 98 adet yaprak numuneleri toplanarak kirliliğe neden olan Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Bakır (Cu), Nikel (Ni), Kurşun (Pb) ve Çinko (Zn) ağır metallerinin ICP-OES cihazı ile yoğunlukları ölçülmüştür [20].

Yapılan çalışmalar neticesinde ağır metal içeriklerinin (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) ortalamasının, Toprak Kirliliği Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik ile belirtilen, insanlar tarafından toprağın yutulması ve deri teması yoluyla emilimi gerçekleştiğinde insan sağlığına zarar veren kirlenici değerlerinin çok altında olduğu, US EPA tarafından belirlenen topraklardaki ağır metallerin müsaade edilen değerleri aşmadığı görülmüş, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından açıklanan sınır değerler ile kıyaslandığında ise canlılar için son derece toksik etkili olan Cd ve Ni içeriklerinin de çoğu noktada sınır değerleri aştığı tespit edilmiştir [20].

Meriç-Ergene Havzası'nda yürütülen proje kapsamında, kirlenici özelliklerine göre ayrılmış farklı noktalardan alınan toprak örneklerinde bazı ağır metaller ve TOK seviyelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Alınan toprak örneklerinde ağır metallerin birikimleri kirlenici kaynak gruplarına bağlı olarak ve taşınım vb. kaynaklar dışında başka bir kaynaktan etkilenmeyeceği düşünülerek, 4 bölgede, 3'er örnekleme noktasında 2014 yılının mayıs, temmuz, ekim ve ocak aylarında her bir periyotta 12 adet toprak olmak üzere toplam 48 numunede, Çinko (Zn), Kurşun (Pb), Demir (Fe), Bakır (Cu), Krom (Cr), Kadmiyum (Cd), Arsenik (As), Kobalt (Co), Mangan (Mn) analizleri yapılmıştır. Aynı zamanda pH, nem, organik madde ve Toplam Organik Karbon (TOK) tespitleri de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerle ağır metal seviyeleri, örnekleme noktası ve zamanına göre mevsimsel olarak değerlendirilmiş ve literatür sonuçları ile karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, havza genelinde yoğun endüstrileşme aktivitelerinin bulunduğu alanlarda, ağır metal kirliliğinin yüksek seviyelerde olduğunu ve özellikle Cd, Cr ve Pb metal türleri için toprakta belirlenen seviyelerde en temiz ve en kirli bölge arasındaki farkın 10 kata ulaştığı görülmüştür [21].

Gürbulak Hudut Kapısı – Erzurum arasında kalan E-80 karayolunun 15 farklı örnekleme noktasından alınan toprak numuneleri ICP – MS cihazı yardımıyla B, Al, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Sb, Ba, Au, Hg ve Pb analizine tabii tutulmuştur. Bu çalışma sonucunda Cu, Cd, Hg değerlerinin fazla olmadığı, Ni, Fe, Mn, B değerlerinin bazı yerlerde az bazı yerlerde sınırı aşmayacak değerde olduğu ve Cr, Mo, Pb değerlerinin araç muayene istasyonuna yakın noktalarda sınır değerlerinden fazla olduğu gözlemlenmiştir. Tatar bu çalışmada değeri fazla çıkan elementlerin tarım arazilerini kirlenme potansiyelinden dolayı önlem alınması gerektiğini savunmuştur [22].

Balıkesir iline bağlı Bandırma ilçesinde yürütölen bir çalışmada tarım yapılan topraklarda ağır metal konsantrasyon değerleri öölçölmüştür. Rüzgârın taşınma olan etkisini belirleyebilmek için depolama sahası çevresinden azami 15 km mesafede olacak şekilde 30 adet toprak numunesi alınmıştır. Alınan toprak numunelerindeki Fe, Mn, Ca, Cr, Na, Mg, Al, P, K, V, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Sb, Pb konsantrasyonları ICP-MS cihazı ile belirlenmiştir. Cr: 395 mg/kg; Cd: 152 mg/kg; Ni: 181 mg/kg; Cu: 215 mg/kg; Zn: 263 mg/kg olarak öölçölmüştür. Elde edilen değerler şahit numune ile karşılaştırılmış ve Cr, Ni ve Zn gibi ağır metal değerlerinin dünya topraklarında bulunan ortalama konsantrasyonlarının çok üzerinde oldukları tespit edilmiştir [23].

Viranşehir-Kızıltepe karayolu kenarındaki topraklarda yapılan çalışmada Pb, Cd, Ni, Cr, Cu ağır metallerinin konsantrasyonları toprakta izin verilen sınır değerlerine yakın olmamalarına rağmen, mesafeye bağlı karayolundan uzaklaştıka değerlerin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Topraklarda gözlenen ağır metal birikiminin trafikselle kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır [24].

İstanbul'un Anadolu Yakası'nda toprak kirliliğini belirlemek amacıyla sahil boyunca belirlenmiş 202 ayrı noktadan alınan toprak örneğinde Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda ağır metal içeriklerinin tehlikeli boyutta olmadığını tespit edilmiştir. Bunun nedenini ise sahil şeridinin ağık alan olması nedeniyle trafikten kaynaklanabilecek ağır metal kirliliğinin rüzgâr etkisi ile azalması, meteorolojik faaliyetler neticesinde toprakta yıkanmanın fazla oluşundan kaynaklı ağır metal birikiminin az olduğu fikri savunulmuştur [25].

Kocaeli'nde yürütölen bir tez çalışmasında 7 köyden alınan toprak örneklelerinin nem, organik madde, pH değerleri ve elementel analizleri yapılarak, toprak nemi ile organik madde ilişkisi ve toprak içerisindeki element miktarları belirlenmiştir. HR-ICP-MS cihazı yardımıyla Arsenik, Kadmiyum, Krom, Kobalt, Cıva, Molibden, Nikel, Kurşun, Kalay, Çinko, Alüminyum, Kalsiyum, Sodyum, Magnezyum, Mangan ve Demir miktarları belirlenerek "Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik", "Evselle ve Kentselle Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik" ve 278/86 AB direktifinde de verilen sınır değerler dikkate alınarak incelenmiştir [26].

Çalışma bölgesindeki kirlilik kaynaklarını tahmin edebilmek için elde edilen verilere faktör analizi tekniği uygulanmıştır. Arsenik, kadmiyum, cıva ve kurşunun önemli derecede ağır metal kirliliği meydana getirdiği ortaya koyulmuştur [26].

Kırklareli'nin Lüleburgaz ve Babaeski ilçelerinde bulunan tarım arazilerinden alınan 50 farklı toprak örneklerinde ağır metal kirliliği ölçülmesi amacıyla araştırma yapılmıştır. Bu araştırma neticesinde topraklarda henüz Cd, Co, Cr, Ni kirliliğinin olmadığı ancak Pb kirliliğinin olduğu saptanmıştır [27].

Muğla'da Yatağan Termik Santrali'nden kaynaklanan emisyonların santral çevresindeki tarım ve orman topraklarına olan ağır metal kirliliğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla hâkim rüzgâr yönü baz alınarak santrale 721 m ile 15 km uzaklıkta bulunan noktalardan 27 adet toprak ve 41 adet bitki örneği toplanmıştır. Analiz sonucunda ağır metal ve kükürt içeriklerinin santrale olan mesafeyle ilişkisi olmadığı, hâkim rüzgâr yönünün ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Toprak örneklerinin ağır metal içeriklerinin toprak pH'sı ile ilişkili olduğu, toplam kadmiyum ve kükürt değerlerinin normal değerlerden oldukça yüksek seviyede olduğu, toprakların ekstrakte edilebilir metal kapsamının genelde santralin güney ve güneybatı yönlerinde yüksek olduğu belirlenerek bitkilerde bulunan ağır metal miktarlarının da yüksek düzeyde olduğu saptanmıştır [28].

Edirne ve çevresinde gerçekleştirilen çalışmada 56 farklı lokasyondan alınan toprak örneklerinin P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Cr, Ni, Co, Pb içerikleri belirlenmiştir. Elde edilen verilerden yola çıkılarak toprakların organik madde miktarının “yetersiz” düzeyde olduğu, toprakların yararlı P, değişebilir K, Ca ve Mg miktarının ise “yeterli” düzeyde olduğu; toprakların bitkilere yararlı Fe ve Cu miktarının “yeterli”, ancak Zn ve Mn bakımından “yetersiz” düzeyde olduğu ortaya koyulmuştur. Toprakta Co ve önemli boyutlarda da Pb kirliliğine saptanmış ancak herhangi bir Cd, Cr ve Ni kirliliğine rastlanmamıştır. Bu durumun TEM otoyolunu kullanan araçlardan kaynaklandığı değerlendirilmektedir [29].

Ankara'da bulunan Çayırhan Termik Santrali'nin baca gazı emisyonlarının çevre toprakları üzerine olan etkileri üzerine yürütülen çalışmada, hakim rüzgar yönü baz alınarak, bölgedeki tarım arazilerinden 0-20 cm derinlikten olacak şekilde toplam 30 adet toprak numunesi alınmıştır. Toprak numunelerinin pH, organik madde ve toplam Pb, Cd, Ni ve S içerikleri belirlenmiş, kuzey doğu yönüne ait toprakların pH değerlerinin diğer bölgelerdeki pH değerlerinden daha düşük olduğu; pH ile toplam kükürt, Cd ve Pb içerikleri arasında $P < 0,001$ düzeyinde önemli negatif ilişkinin var olduğu belirlenmiştir. Her üç bölgeden alınan toprak numunelerinin toplam Pb ve Ni içeriklerinin Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği sınır değerlerinin altında olduğu ve herhangi bir ağır metal kirliliğinin söz konusu olmadığı görülmüştür. Buna karşın, hâkim rüzgâr yönünden alınan toprakların toplam Cd içeriğinin, aksi hâkim rüzgâr yönünden alınan toprak numunelerine nazaran oldukça yüksek olduğu ve Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği sınır değerlerinin üzerinde olduğu ortaya koyulmuştur. Benzer şekilde, kuzey doğu yönüne ait topraklarda ve güney doğu yönüne ait toprakların genelinde kükürt kirlenmesi görülmüştür [30].

Sakarya Bölgesi topraklarındaki topraktaki inorganik kirleticileri (As, Cr, Cu, Cd, Zn, Pb, Ni) belirlemek amacıyla tarım yapılan alanlardan 0-10 cm toprak derinliğinden alınan 33 toprak örneği ICP-OES yöntemi ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda As, Cd, Pb birikiminin olmadığı ve çalışma alanı etrafında yer alan bazı endüstrilerden (petrokimya, metal ve metal kaplama, alaşım, akü, selüloz, kimya, kâğıt ve karton) kaynaklı Cr, N, Cu, Zn kirliliğinin bulunulduğu düşünülmektedir [31].

Konya şehir merkezinde yer alan 6 farklı şehirlerarası yol güzergâhı (Aksaray yolu, Ankara yolu, Antalya yolu, Beyşehir yolu, Karaman yolu, İstanbul yolu) üzerindeki çam ağaçları ve toprak örnekleri bünyesindeki ağır metal kirliliğinin (Pb, Zn, Cu, Co, Ni) ölçülmesi üzerine bir araştırma yapılmıştır. Atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile ölçümü yapılan 40 adet toprak örneğinin ve 40 adet bitki örneğinin şehir trafiğinin yoğun olduğu, kavşak noktalarının ve trafik lambalarının bulunduğu yerlerde değerlerinin yüksek çıktığı tespit edilmiştir [32].

Çorlu ve civarında yapılmış olan bir çalışmada farklı aylarda ve belirlemiş olduğu lokasyonlardan alınan toprak örneklerini ağır metal açısından analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar yapay sinir ağları (YSA) ile değerlendirilmiştir [33].

Analizler sonucunda Cd, Pb, Cr elementlerinin sınır değerlerini aşmadığı fakat ortamda mevcut olduğu, bu sebeple bölgede yapılan tarımın trafiğe yakın tarımsal araziler yerine daha uzak bölgelerinde yapılması gerektiği öne sürölmüştür [33].

İstanbul Pendik-Levent güzergâhı E-5 otoyolu boyunca yapılan bir çalışmada yol tozlarındaki ağır metal kirliliğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda belirlenen noktalardan 4 aylık periyotlar halinde 50 adet toprak numunesi toplanmıştır. Numunelerin Grafit Fırınlı Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (GFAAS) ile Pb, Cd, Cu, Ni, Mn, Zn ağır metal konsantrasyonları ölçölmüştür. Yapılan ölçümler neticesinde canlı ve çevre sağlığı bakımından toksik etki gösterebilecek eser elementlerden Pb, Cu, Mn ve Zn konsantrasyonlarının kirlilik oluşturabilecek seviyede, Cd konsantrasyonunun ise kirlilik oluşturacak düzeyde olmadığı, Ni konsantrasyonunu ise belirli bölgelerde kirlilik oluşturduğu tespit edilmiştir [34].

Toprakta ağır metal birikimlerinin incelenmesine dair bir çalışma Niğde Kayseri illeri arasındaki bağlantıyı sağlayan D765 numaralı devlet karayolunda geręekleřtirilmiř olup ağır metal birikimleri Spectro-Xepos Benchtop X-Ray Fluorescence Spectrometer ile ölçölmüştür. Toprak örneklerindeki ağır metal analiz oranları önemli ölçüde kirlenmenin olduğunu göstermiştir. Ağır metal içeriklerinden As, Cd, Co, Cr, Mo, Ni ve Pb toksik olarak düşünölmektedir. Topraktaki ağır metal birikiminin trafik kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Toprak örneklerinde yapılan analiz sonuçlarına göre, metaller arasındaki korelasyon ilişkisine göre Ni ile As; Fe ile Cr arasında orta düzeyde pozitif bir bağlantı tespit edilmiştir. Aynı şekilde metaller arasındaki korelasyon ilişkisine göre orta düzeyde pozitif bir ilişkisi olan metallerin olası kirlenme kaynaklarının aynı kökenli olduğu düşünölmüştür. Güzergâh boyunca benzer özellik taşıyan istasyonlar arasında aynı oranlarda element içeriği bulunduğu açıkça görölmüş farklı bir değişiklik oluşmadığı, trafik kaynaklı kirlenmenin söz konusu olduğu ispatlanmıştır [35].

Samsun'un Tekkeköy ilçesinde yer alan sahada sanayiden kaynaklanan toprak kirliliğinin belirlenmesi üzerine bir çalışma yürütölmüştür. Araştırma için seçilen bölgelerden, karelej yöntemiyle 10 km²'lik alandan 0-20 cm derinlikten olacak şekilde toplam 24 adet toprak numunesi alınarak kimyasal analizlere tabii tutulmuştur [36].

Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, Ti, U, V, Yb, Zn, As, Ba, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Eu, Fe, Ga, Hf, Hg, K, La, Lu, Mn, Na, Ni eser elementleri XRF metodu ile ölçülmüş, toprak kalitesinin ve kirlilik durumunun tespiti için bazı analizler yapılmıştır. Sonuç olarak, sanayi tesisi yakınında yer alan toprakların hem asidik özellikte hem de N ve SO₄²⁻ konsantrasyonlarının yüksek, uzağında yer alan toprakların ise hem alkali hem de P ve K konsantrasyonlarının düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir [36].

Bursa'da yer alan Uludağ Üniversitesi'nde gerçekleştirilen bir çalışmada Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi topraklarının ağır metal içeriklerinin ve verimlilik ile ilgili bazı özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda tarla bitkileri yetiştirilen bölgelerden 0-30 cm derinlikten toplam 30 adet toprak numunesi alınmıştır. Yürütülen bu tez çalışmasında araştırma sonucunda elde edilen bulgular; herhangi bir bakır, kobalt, kadmiyum, çinko ve kurşun birikiminin söz konusu olmadığını, toprakların % 30'unda demir, % 10'unda mangan, % 86'sında krom ve tamamında nikel kirliliğinin oluştuğunu göstermiştir [37].

İzmit ve çevresinde yapılan bir çalışmada sanayinin yoğun olduğu bölgelerden belirlenen 15 farklı noktadan toprak örneği alınarak Cu, Pb, Zn, Ni, Co, As, Cd, Cr, Hg, Se ağır metalleri ICP-MS cihazı yardımıyla kirlilik analizi yapılmıştır. Analiz kapsamında Cu, Ni, Zn ve Co standart değerlerin üstünde çıktığını görülmüştür. Yüksek değerlerde bulunması bölgede bulunan petrokimya, metal, akü, selüloz, kâğıt ve karton sanayisine ait fabrikalardan kaynaklanabileceğini savunulmuştur [38].

Sapanca TEM Otoyolu civarında bir yıl süren periyot halinde bir çalışma yapılmıştır. Söz konusu çalışma iki ayda bir olmak üzere düzenli aralıklarla otoyola belirli mesafelerden alınan toprak numunelerinin bazı ağır metal seviyeleri ölçülerek neticelendirilmiştir. Çevre kirliliğine neden olan ağır metallerin (Pb, Cu, Zn, Ni, Cr, Cd) miktarları Atomik Absorpsiyon Spektrometre Cihazı (FAAS) ile ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar ışığında kurşun ve bakır birikimlerinin kabul edilebilir sınır değerlerinin üzerinde bir kirliliği meydana getirdiği ortaya konulmuş; çinko, nikel ve krom için ise dünya standartlarının altında bir sonuç gözlemlendiği anlaşılmıştır [6].

Erzurum’da taşıtlardan kaynaklı ağır metal kirliliğinin boyutlarını ortaya çıkarmak adına gerçekleştirilen çalışmada şehir merkezinden ve şehir dışından olacak şekilde yol kenarlarından belirlenen noktalardan toprak numuneleri alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda kurşun ve kadmiyum seviyesinin normalin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan Erzurum’daki kurşun ve kadmiyum kirliliğinin motorlu araç yoğunluğunun kaynaklandığı, bu kirliliğin Türkiye’deki diğer bölgelerle ve Avrupa ülkeleriyle kıyaslandığında epey yüksek olduğu ortaya çıkarılmıştır [39].

2.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri Mekânsal Analiz Çalışmaları

Bursa’nın güneyindeki Orhaneli ve Büyük Orhan ilçelerinde madencilik faaliyetlerinin topraktaki ağır metal kirliliği üzerine olan etkileri adı altında bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla çalışma alanı 8 km² büyüklükteki gridlere bölünmüş ve bu gridler içerisinde sistematik rastgele yöntemle 19 adet toprak numunesi alınmıştır. Toprak numunelerinin analizi sonucunda koordinat değerleri ve bu koordinatlardaki ağır metal oranlarının işlendiği veri tabanı oluşturulmuştur. Araştırma alanındaki her bir ağır metalin mekânsal dağılışı jeostatistiksel yöntemlerden Ordinary Kriging Yöntemi ile analiz edilmiştir. Ağır metallerin risk değerlendirmesi de Lindsay tarafından topraktaki ağır metaller için kritik bulunması gereken değerlere bağlı olarak Indicator Kriging Yöntemi ile belirlenmiştir. Ayrıca ağır metaller ile maden ocakları arasındaki ilişkiyi tespit etmek için de mesafe analizinden faydalanılmıştır. Ağır metal oranlarının olduğu harita üzerinde rastgele 100 adet nokta belirlenerek her bir noktanın ağır metal oranları ile maden ocaklarına olan mesafeleri değerleri yorumlanmıştır. Araştırma alanında belirlenen ağır metal değerlerinin maden ocaklarına yaklaştıkça ya da uzaklaştıkça nasıl değiştiği Pearson Bivariate Korelasyon Analizi ile tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, neredeyse tüm ağır metallerin, çalışma alanının kuzey kesimlerinde ağır metal birikiminin daha yüksek olduğunu açığa çıkarmıştır. Ayrıca yapılan incelemelerde, yalnızca demir elementi için belirtilen sınır değerlerin altında seviyeler tespit edilirken arsenik, kadmiyum, kobalt ve nikel için sınır değerlerinin de üstünde seviyeler görülmüştür. Çalışma kapsamında araştırılan ağır metaller ile maden ocakları arasındaki ilişki sonucunda anlamlı bir ilişkinin söz konusu olduğu ispatlanmıştır [40].

Çin'in güneyindeki en büyük polimetallik maden civarında bulunan Hengshi Nehri'nde, yüksek toksisitesi ve madencilik ana kirlilik kaynaklarından biri olarak bilinen As, Cd, Pb ve Zn ağır metallerinin Hengshi Nehri'ne olan etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda ağır metallerin fizikokimyasal özelliklerini, toksisite risklerini ve davranışlarını belirlemek amacıyla jeokimyasal analizler (ağır metal konsantrasyonu, tane büyüklüğü, X-ışını kırınımı, toplam organik karbon ve kükürt içerikleri), ardından jeokimyasal modellemeler yapılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde atık göletinin yakınındaki yüzey sularında ağır metal konsantrasyonlarının, tarımsal açıdan Çin yüzey suyu standartlarından 2-100 kat daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Ağır metallerin potansiyel ekolojik riski tortularda $Cd > As > Cu > Pb > Zn$ ve topraklarda $CD > Cu > Pb > As > Zn$ olarak sıralandı. Sonuçlar ağır metal miktarının toksisitesini açıkça göstermiştir [41].

Nijerya'da yer alan Gateway Trailer Parkı civarındaki topraklarda potansiyel olarak toksik metallerin (Cd, Cu, Pb ve Zn) ekolojik ve sağlık risklerini incelemiştir. Römork Parkı ve Orman (kontrol) çevresindeki 6 ayrı yerden 0-15 cm derinlikten olacak şekilde 72 adet kompozit toprak numunesi toplanarak Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi cihazı kullanılarak metal konsantrasyonları belirlenmiştir. Bunlara ek olarak kontaminasyon faktörü, kontaminasyon derecesi, jeo-birikim indeksi ve potansiyel ekolojik riskler değerlendirildi. Ayrıca standart yöntemler kullanılarak tehlike indeksi, toplam tehlike indeksi ve kanser riski ile sağlık riski değerlendirmesi hesaplandı. Trailer Parkı çevresindeki topraklarda ağır metal miktarları Kadmiyum için 0,17–2,35 mg/kg, Bakır için 17,90–57,60 mg/kg, Kurşun için 14,39–23,36 mg/kg, Zn için 50,41–113,0 mg/kg, olarak ölçülmüş ve ağır metal konsantrasyonlarının birbirleri arasındaki sıralama büyükten küçüğe doğru Zn, Cu, Pb, Cd olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kadmiyum ve kurşunun ortalama değerlerinin Nijerya'daki düzenleyici kurum tarafından toprak için önerilen sınırlardan daha yüksek olduğu ispatlandı. Trailer parkındaki topraklarda bulunan potansiyel ekolojik riske bağlı toplam tehlike indeksinin ve kanserojen riskinin çocuklar açısından ciddi sağlık problemlerine yol açabileceği ortaya konulmuştur [42].

Çin'in başkenti Pekin'de gerçekleştirilen bir çalışmada metropol ortamında çocuk oyun alanlarındaki ağır metal kaynakları değerlendirilmiştir. Bu amaçla Pekin'deki 71 oyun alanından toprak ve ekipman toz örnekleri toplanarak 11 farklı ağır metal bazında analiz edilmiştir. Ağır metal değişkenliğini kontrol eden ve potansiyel kaynakları yansıtan gizli yapıları tanımlamak için temel bileşen analizi kullanılarak küme analizi yapılmıştır. Temel bileşen analizinden çıkarılan ana faktörler daha sonra jeostatistik analize tabi tutulmuştur. CBS'nin çok değişkenli istatistiksel analiz sonuçları oyun alanlarındaki ağır metal kaynaklarının daha kapsamlı yansıtmıştır. Oyun alanlarındaki ağır metallerin esas olarak hem doğal hem de antropojenik kaynaklı hava kirliliğinin atmosferik birikmesi sonucu ortaya çıkabileceği değerlendirilmektedir [43].

İncesu-Kayseri arasında kalan bölgede yürütülen çalışmada, topraklardaki ağır metal kirliliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Belirli noktalardan alınan toprak örnekleri ICP-MS yöntemi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla alansal dağılımları belirlenmiştir. Çalışma alanının bazı kesimlerinde, toprak örneklerindeki Cd, Pb, Zn, As ve Sb konsantrasyonlarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda Cd, Pb, Zn elementlerinin bölgede çinko üretim tesisinden kaynaklandığı düşünülmektedir [3].

Adana'nın Yumurtalık ve Karataş ilçeleri sınırları içerisinde yürütülen bir tez çalışmasında, iki bölge arasındaki sahil kumlarında canlı sağlığını olumsuz yönde etkileyen ağır metal kirliliği araştırılmıştır. Bu amaçla 24 farklı lokasyondan alınan sahil kumu örneklerine Atomik Absorbsiyon Spektrometre (AAS) cihazıyla Fe, Mn, Cu, Zn, Hg, Ni, Cr, As ve Cd elementlerinin ağır metal analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve beş farklı ülkeye (Türkiye, Fransa, Almanya, İngiltere ve Finlandiya) ait topraklardaki ağır metal konsantrasyon sınır değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda As, Zn, Cu, Mn ve Hg değerleri standartların altında kaldığından çalışma alanı içerisinde kirliliğe rastlanmamıştır. Yumurtalık bölgesinde Cu-Zn ve Cd-Mn arasında; Karataş bölgesinde ise Fe-Mn, Fe-Zn, Cr-Mn, Mn-Zn ve Cr-Zn arasındaki ilişkide istatistiksel anlamda yüksek bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir [44].

Büyükçekmece Havzası'nın yüzey topraklarına yönelik yürütülen bir çalışmada bakır, nikel, kadmiyum ve çinko ağır metallerinin mekânsal dağılımı incelenmiş ve kirlilik kaynakları tespit edilmiştir. Çalışma alanından, 2016 yılının şubat ayında koordinatları rastgele karalej yöntemiyle belirlenen 40 ayrı noktadan toprak örneği alınmıştır. Çalışma sonucunda sahanın genelinde bakır, nikel, kadmiyum ve çinko konsantrasyonlarının yüksek seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir. Büyükçekmece Havzası topraklarında tespit edilen Cu, Ni, Cd ve Zn kirliliğinin sanayi kuruluşları ve yerleşmelerden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır [45].

Bursa Nilüfer Çayı ana kollarında gerçekleştirilen bir çalışmada, Nilüfer Çayı ile sulanan tarım alanlarının toprak özelliklerinin ve ağır metal içeriklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Farklı çalışma alanları oluşturularak kirlenici faktörlerin (bazı endüstriyel arıtma tesislerinin deşarj noktaları) ve sulamanın yoğun yapıldığı yöreler belirlenmiştir. Bu bölgelerden sulama yapılan ve sulama yapılmayan dönemleri temsil eden iki farklı zaman diliminde toprak örnekleri toplanarak ağır metal içerikleri belirlenmiştir. Sonuçlar uluslararası kirlilik sınır değerler ile karşılaştırılmış, kirlilik faktörü (CF) değerleri 0,31 ve 6,31 arasında; zenginleşme katsayısı (EF) değerleri 0,19 ve 5,54 arasında değişim göstermiştir [46].

Erzurum'da yürütülen bir tez çalışmasında bölgede yayılış gösteren yaprak örnekleri kullanılarak kent mekânındaki *Elaeagnus angustifolia L.* bitkisindeki ağır metallerin (Pb, Cd, Ni, Fe, Cu, Zn, Mn) yoğunluklarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu elementlerin kent dokusundaki mekânsal dağılımlarına yönelik sayısal haritalar üretilerek değerlendirilmiş elde edilen bilgilerin ışığında *Elaeagnus angustifolia L.* bitkisinin elementler bazında biyomonitör olarak kullanılıp kullanılmayacağı tartışılmıştır. Bu kapsamda kent genelinde özellikle trafik yoğunluğunun fazla olduğu ana ulaşım yolları, orta refüjler ve yola yakın olan alanlarda, kent dokusunu temsil eden 4 istasyondan yaprak örnekleri toplanarak ölçüm değerlerinin istatistiksel farklılıkları belirlenmiştir. Sonuçta *Elaeagnus angustifolia L.*'nin yapraklarında biriken ağır metal elementlerinin mekânsal dağılımında Dadaşkent'de en yoğun dağılımın hakim olduğu saptanmıştır [47].

Kütahya Altıntaş ovasında gerçekleştirilen bir çalışmada tarım topraklarındaki ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmayla farklı türde ürün yetiştirilen tarım arazilerinden 15 ayrı noktadan toprak numuneleri alınmıştır. Alınan toprak örnekleri ICP-MS cihazı ile analiz edilerek As, Hg ve Ni ağır metallerince yüksek; Cu, Pb, Sb ve Zn ağır metallerince düşük olduğu gözlemlenmiş, yüksek olan ağır metallerin trafik yoğunluğu, evsel atıklar, gübreleme ve pestisit kullanımı gibi antropojenik aktivitelerden ileri geldiği değerlendirilmiştir [48].

Muson öncesi ve sonrası mevsimlerde Subarnarekha Nehri havzasında (SRB) 100 yeraltı suyu örneği alınarak ağır metal kirliliği endeksleri, önerilen yeni indeksleme sistemi kullanılarak hesaplanmıştır. Muson öncesi ve sonrası SRB yeraltı suları için çizilen yeni endekslerin Muson öncesi ve sonrası dönemlerde elli yerden toplanan yeraltı suyu örneklerinde on ağır metal iyonunun konsantrasyonları CBS ortamında haritalandırılmıştır. Muson öncesi ve sonrası mevsimlerde ağır metal konsantrasyonunun seçilmiş tanımlayıcı istatistikleri DSÖ içme suyu standartları ile karşılaştırılmıştır. Muson öncesi ve sonrası mevsimlerde bireysel metallerin ortalamasının karşılaştırılması, bazı metallerin muson sonrası yoğunlaştığı ve bazılarının seyreltiği gerçeğini açıkça ortaya koymaktadır [49].

Hindistan'ın Assam şehrinde gerçekleştirilen çalışmada toplam yirmi idari bölgede As ve diğer ağır metaller tarafından yeraltı suyu kontaminasyonunun şiddetini belirlemek için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve jeokimyasal yaklaşımların bir kombinasyonu kullanılarak içilebilir yeraltı suyu rezervlerinin kapsamlı bir nitel analizi yapılmıştır. Bulgular, Assam'daki Brahmaputra Nehri Vadisi'nin bu bölgelerinde bulunan yeraltı suyu akiferlerinin, Nagaon bölgesinde gözlemlenen yaklaşık olarak 352,56 ppb'deki en yüksek konsantrasyonda olduğu gibi ciddi şekilde kirlendiğini göstermiştir. Ayrıca Tinsukia, Dibrugarh, Sivasagar, Dhemaji, Lakhimpur, Nasıl, Golaghat, Sonitpur, Everglades yüzde, Morigaon, Darrang, Udalguri, Kamrup, Nalbari, ve Baksa mahallelerinden DSÖ'nün milyar başına 10 parça izin verilen sınırını ve Hint Standartları Bürosu'nun milyar başına 50 parça sınırını aşan yüksek çözünmüş seviyelerin varlığını göstermiştir [50].

Buna ek olarak, yeraltı suyunun, bu içme suyu rezervlerinin güvenliği, estetiği ve lezzeti konusunda ciddi kısıtlamalar getiren HCO_3 , Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi yüksek iyon konsantrasyonlarına sahip olduğu bulunmuştur. Sonuçlar çözünmüş arsenik içeriğinin, demir ve manganez gibi temel kirleticilerle anlamlı bir korelasyon gösterdiği, demir oksihidroksitlerin indirgeyici çözünmesinin, bu yeraltı suyu rezervlerinin zenginleştirilmesi için altta yatan mekanizma olarak hizmet edebileceğini düşündürmektedir [50].

Tekirdağ'ın Çorlu ilçesinde gerçekleştirilen bir çalışmada Çorlu düzensiz depolama alanının yakınındaki toprak ve bitki örnekleri alınarak ağır metal kirliliği incelenmiştir. Bu çalışmada, 22 farklı noktadan alınan 66 adet toprak örneği ve bitki (buğday) ekimi yapılmış olan noktalardan alınan 14 bitki örneğinde toplam ağır metal analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde toprakların ağır metal içeriklerinin çöp alanına olan mesafeden daha çok toprakların kil içerikleri ile ilişkili olduğu görülmüş ve bazı noktalar arasında önemli farklılıklar bulunmuştur. Ancak bu önemli farklılıkların daha çok o noktaların kil içeriğinin yüksekliğinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Toprakların tekstürleri ile ağır metal içeriği arasında yapılan korelasyon analizinde bazı noktalarda önemli ve pozitif bir ilişki bulunmuştur. Bu sonuç kil içeriği yüksek olan topraklarda ağır metal içeriklerinin de yüksek olduğunu göstermektedir [51].

Adana ili Tarsus (Mersin) güneyinde yer alan topraklarda ağır metal kirliliğinin saptanması amacıyla bir çalışma yürütülmüştür. Bu amaç doğrultusunda, Doğan kent, Tuzla ve Karataş mahalleleri ve civarından toplam 134 toprak numunesi alınarak laboratuvar ortamında çeşitli işlemlerden geçirilmiş ve bu işlemler sonucunda elde edilen çözeltilerin ağır metal içerikleri A.A.S. cihazı ile saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar, seçilen beş ülke standardı ile karşılaştırılmış ve bu sayede çalışma alanı içerisinde ağır metal kaynaklı bir kirliliğin olup olmadığı irdelenmeye çalışılmıştır. Ayrıca elde edilen tüm veriler bir CBS veritabanına aktarılmış ve bu sayede çeşitli haritalar oluşturulmuştur. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre, çalışma alanı ve civarında yüksek miktarlarda Cd, Ni, Pb ve Cr elementlerine rastlanılmıştır. Analizi yapılan diğer elementlerden Al, Fe, Zn, Hg, As, Cu, Co ve Mn elementleri, lokal düzeyde bazı noktalarda standartları aşmış olsa da genel olarak bakıldığında, çalışma alanında bu elementlerden kaynaklanan bir kirliliğin mevcut olmadığı saptanmıştır [52].

Değerleri yüksek çıkan elementlerden Pb, trafiğin yoğun olduğu anayol civarlarında en yüksek değerlerine ulaşmıştır. Bölge civarında yapılan çalışmalarda standartların çok üzerinde çıkan Ni değerlerinin, çalışma alanının yakınında yer alan ofiyolitik kayalardan kaynaklandığı, bunun yanında çalışma alanı ve civarındaki atölye, tamirhane ve sanayi kuruluşlarının da etkisi olduğu tahmin edilmektedir. Suni gübrelemenin Cr değerlerini yükselttiği de çalışmanın bir başka sonucu olarak saptanmıştır [52].

Tunus kuzeyinde yer alan Ichkeul Gölü'nde gerçekleştirilen çalışmada Ichkeul Gölü'nden yüzey suyu örneklerinde ağır metallerin (Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) seviyelerinin değerlendirilmesi ve Ichkeul Gölü vadi ve kaplıcaları arasındaki kimyasal etkileşimlerinin vurgulanması hedeflenmiştir. Yüzey suyu örnekleri, Temmuz 2014'te polietilen şişeler içerisinde toplanarak Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) cihazı yardımıyla ağır metal içerikleri ölçülmüştür. Sonuçlar en yüksek konsantrasyonların kirli suyun Bizerte Lagünü'nden Tinja Vadisi ve Mateur şehrindeki Joumine Vadisi yoluyla geldiğini, gölün doğu ve güneydoğu kesimlerinde bulunduğunu göstermiştir. Kirlilik ve ağır metal değerlendirme endeksi evsel ve endüstriyel atık suyun kontrolsüz salınımlarının bir sonucu olarak, özellikle vadilerin ağızlarında ağır metal konsantrasyonlarında bir artış olduğunu göstermektedir [53].

Kızıldeniz'de Cidde kıyısı boyunca uzanan kıyı sedimanlarındaki ağır metal birikimine yönelik bir araştırma yapılmıştır. Çalışmada Suudi Arabistan'ın Cidde şehrine yakın noktalarda belirlenen 4 farklı bölgeden alınan numunelerde krom, manganez, demir, bakır, çinko ve kurşun metal konsantrasyonları ICP-MS yardımıyla analiz edilmiştir. Dört alanın ortalama konsantrasyonları sırasıyla 245,96 mg/kg, 478,45 mg/kg, 8506,13 mg/kg, 251,82 mg/kg, 623,09 mg/kg ve 362,75 mg/kg olarak bulunmuştur. Sonuçlar, diğer derinlik alt örneklerine kıyaslandığında toprak profilinin üstü 15 cm'sinde en yüksek Mn, Cu ve Pb konsantrasyonlarının var olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre ağır metal konsantrasyonları Cidde'nin merkezine yakın bir yerde artış göstermiştir. Bu çalışma Suudi Arabistan'ın Cidde yakınlarındaki Kızıldeniz kıyılarındaki ağır metallerin izlenmesi için bir temel olarak düşünülmesi gerektiği değerlendirilmektedir [54].

Van, Erciş ilçesi sınırları içerisinde yer alan Van Gölü'ne yakın sahada yürütülen çalışmada toprak özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. IDW enterpolasyon modülü kullanılarak alansal değerlendirme ve haritalamayı yapmak amacıyla gridler oluşturularak 40,668 ha alanda, 0-30 cm derinliklerden 40 adet toprak örneği alınmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre pH; 7,44 -8,18, EC; 0,12-0,34 dS/m, kireç % 5,83 ile % 46,80, organik madde % 1,31 ile % 2,97 olarak tespit edilmiştir. Toprak örneklerinin kum, kil ve silt içeriklerinin ortalamaları sırasıyla; % 76,54, % 7,28 ve % 16 olduğu gözlemlenmiştir [55].

Tekirdağ İli'nin Çorlu ve Çerkezköy civarında yer alan tarım toprakları ve bu topraklarda yetiştirilen buğday bitkisinde bazı ağır metal ve iz elementlerden ileri gelen çevre kirliliği araştırılmıştır. Bu amaçla sanayi kuruluşlarına yakın mesafelerdeki tarım alanlarından 0-20 cm derinlikte olmak üzere 20 adet toprak ve buğday bitki örnekleri alınmıştır. Topraklarda yapılan ağır metal analiz sonuçları değerlendirildiğinde ortalama As (6,85); B (1,82); Cd (6,38); Co (0,15); Cr (4,92); Cu (12,05); F (0,48), Fe (8,61); Mn (22,33); Mo (1,22); Ni (1,95), Pb (14,24); Se (1,55); Si (1,45) ve Zn (10,18) konsantrasyonlarında mg/kg olarak bulunmuştur. Bitkilerde yapılan ağır metal analiz sonuçları değerlendirildiğinde ortalama As (17,97); B (30,28); Cd (77,48); Co (0,78) Cr (24,50); Cu (47,69); F (13,62); Fe (208,47); Mn (71,09); Mo (12,51); Ni (26,46); Pb (48,15); Se (4,83); Si (698,84) ve Zn (86,07) konsantrasyonlarında mg/kg olarak tespit edilmiştir. Elde edilen çıktılar Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında Arc GIS 10.3.1 yazılımı kullanılarak mekânsal olarak irdelenmiş ve bu bağlamda ağır metal kirlilik düzeylerini gösteren dağılım haritaları üretilmiştir. Çalışma sonucunda alınan toprak örneklerinde Cd, Co, Pb, Cr değerlerinin fazla, Zn ve Fe değerlerinin çok fazla seviyede olduğu bitki örneklerinde ise sadece Zn değerinin izin verilen sınırların üzerinde olduğu görülmüştür [56].

Mısır'ın kuzey deltasındaki en önemli göllerden biri olan ve büyük oranda ciddi kirleticilere, özellikle ağır metallere maruz kalan Burullus Gölü'nde ağır metallerin mekânsal dağılımını değerlendirmek ve haritalandırmak amacıyla bir çalışma yürütülmüştür. Çalışmalar süresince göl içerisinde 37 farklı noktalardan tortu örnekleri alınarak Fe, Cu, Zn, Cr, Co, Cd ve Pb analizleri yapılmıştır [57].

Üzerinde çalışılan ağır metallerin göl içerisindeki mekânsal dağılımı enterpolasyon yapılarak Kriging yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, göle boşaltılan endüstriyel ve tarımsal atıklar nedeniyle göl çökellerinde kadmiyumun fazla miktarda bulunduğunu göstermiştir [57].

Isparta'da bulunan Kovada Gölü'nde çevresel kirleticilerden olumsuz etkilenen dip sedimanlarının ağır metal içerikleri ve kirlilik durumunun belirlenmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla, Mayıs ve Ekim aylarında, toplam 11 bölgeden toplanan dip sediman örneklerinde kimyasal analizler yapılarak her bir ağır metalin göl genelindeki dağılımı izlenmiştir. Göl genelindeki ağır metal ortalama birikim düzeyleri Mn>Ni>Zn>Cu>Pb>As>Co>Fe şeklinde sıralandığı tespit edilmiştir. Göl dip sedimanlarında Fe, Co ve Pb değerleri genel olarak ortalama şeyl değerinin altında iken Cu, Zn, Ni, Mn ve As değerlerinin ortalama şeyl değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir [58].

Sakarya ili Erenler ilçesi sınırlarında kirliliklerin ölçülmesi amacıyla D 100 karayolunun her iki tarafından 4,5 km²'lik alanda belirli mesafeler ile toplamda 160 toprak örneği alınarak fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. ICP-OES cihazı kullanılarak Pb ve Cd miktarları ölçülmüş, ArcGIS 10.1 yazılımında Geostatistical Analyst modülü yardımıyla uygun enterpolasyonlar yapılarak mekânsal kirliliğin dağılım haritası çıkartılmıştır. Analizler sonucunda karayoluna yakın yerleşim yerlerinin, tarım arazilerinin ve küçük çapta sanayi kuruluşlarının varlığının Pb ve Cd kirliliğine sebep olduğu savunulmuştur [7].

Tekirdağ ilinin Çorlu, Çerkezköy ve Saray ilçelerini kapsayan alanda araç trafiğine bağlı olarak yoğunluğun fazla olduğu otoban kenarlarındaki Cr ve Ni ağır metallerinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Otobanın her iki tarafındaki tarım topraklarından toplamda 50 farklı noktadan toprak örneği alınmış ve ağır metal içerikleri analiz edilmiştir. Bu analizlere göre en yüksek ve en düşük ekstrakte edilebilir Cr içerikleri 0,390-0,034 mg/kg, Ni içerikleri 7,140-1,623 mg/kg olarak bulunmuştur [59].

Rio de Janeiro’da bulunan Cunha Kanalı havzasında gerçekleştirilen çalışmada Canal do Cunha ve Guanabara Körfezi kirliliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda ICP-OES cihazı ile Cd, Pb, Cu, Ni ve Zn ağır metallerinin analizleri gerçekleştirilerek CBS ortamına aktarılarak haritalandırılmıştır. Sonuçlar Cunha Kanalı havzasının ve Guanabara Körfezi'nin batı tarafının sularının değiştiğini ve bozulduğunu göstermiştir. Sudaki ağır metal konsantrasyonunun, tortulardaki konsantrasyondan daha düşük çıktığı görülmüştür. İncelenen metallerin davranışlarının yağışlı ve kurak dönemlerde farklılık gösterdiği ortaya konulmuştur [60].

Hızlı ekonomik kalkınma ve nüfus artışına maruz kalan Doğu Çin'in temsili ekosistemlerinde ağır metal kirlilik üzerine kapsamlı bir analizi yapılmıştır. Bu kapsamda yüzey çökelleri (0-10 cm) Ağustos-Ekim 2013 tarihleri arasında seksen altı örnekleme istasyonundan, her istasyondan beş paralel örnek olacak şekilde, bir Peterson Grab örnekleme cihazı kullanılarak toplanmıştır. Sonuçlar, çalışma alanının güney kesiminde, özellikle Güneydoğu kıyı nehirleri ve Zhu Nehri havzalarında daha yüksek değerler gözlenmiştir. Yüzey çökellerindeki altı ağır metalin hepsi antropojenik kökenlere sahiptir. Ek olarak, özellikle çalışma alanının güneyindeki ekosistemlerin, özellikle Cd olmak üzere ağır metaller tarafından kirlendiği bulunmuştur. Genel olarak, Doğu Çin'in ekosistemlerinde, biri ağır kirlilik bölgelerinden ve diğeri Cd kirliliğinden oluşan iki ağır metal kirliliği noktası bulunmuştur. Bu sonuçlar, özellikle yukarıda belirtilen iki havzada, Doğu Çin'in ekosistemlerinde su ortamını korumak için yönetim stratejilerinin geliştirilmesi sırasında ağır metal kontaminasyonunun, özellikle kadmiyumun dikkate alınması gerektiğini göstermektedir [61].

Çanakkale İli Karamenderes havzası tarım alanlarında bazı ağır metallerin kirliliklerini belirlenmesi üzerine bir çalışma yürütülmüştür. Bu amaçla 80 farklı noktadan toprak örneği alınmış ve ekstrakte edilebilir Cr, Ni, Pb analizleri yapılmıştır. Analiz sonucuna göre Havza topraklarında Pb kirliliğinin söz konusu olduğu ve Cr ve Ni içeriklerinin sınır değerinin altında olduğu tespit edilmiştir [62].

Gümüşhane şehir merkezinden geçen karayolu üzerindeki bölge trafik yoğunluğu ve şehirleşmeye bağlı olarak artan ağır metal kirliliği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında 22 adet noktadan toprak örneği alınıp Cr, Co, Ni, Cu, Zn ve Pb elementlerinin kirlilik derecesinin tespitinde kullanılan zenginleşme faktörü (EF) ve jeo-birikim indeksi incelenmiştir. Analizler sonucunda yerleşimin yoğun olduğu, kavşak ve araçların daha sık park edildiği bölgelerde Pb ve Zn miktarının fazla olduğu görülmüştür [63].

İtalya'nın güneyinde yer alan Cosenza-Rende kent topraklarında Pb konsantrasyonunun risk değerlendirmesi ve mekânsal yapısını belirlemek amacıyla bir çalışmada, belirlenen 149 adet noktadan 0-20 cm derinlikten toprak örnekleri alınmıştır. Mekânsal dağılım jeostatistiksel yöntemlerle belirlenerek kirlenmiş alanların oldukça geniş olduğu ve bu kirliliğin yakın gelecekte insan ve bitkiler üzerinde yapacağı sağlık problemlerine dikkat çekilmiştir [64].

Hong Kong'un son derece kentleşmiş ve ticarileştirilmiş Hong Kong Adası bölgesinde (80,3 km²), kentsel alanlarda km² başına beş toprak örneği ve banliyö ve ülke park alanlarında (0-15 cm) km² başına iki örnek içeren sistematik bir örnekleme stratejisi kullanılarak kapsamlı bir anket yapılmıştır. Analitik sonuçlar, kentsel ve banliyö bölgelerindeki yüzey topraklarının Cu, Pb ve Zn gibi metallerle zenginleştirildiğini göstermiştir. Kentsel topraklardaki Pb konsantrasyonunun Hollanda hedef değerini aştığı bulunmuştur. Temel bileşen analizi ve küme analizi kullanılarak yapılan istatistiksel analizler, kentsel, banliyö ve ülke parklarındaki iz metalleri ve ana elementler (Al, Ca, Fe, Mg, Mn) arasında belirgin şekilde farklı ilişkiler göstermiştir. Yüzey topraklarındaki iz metallerin (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn) toprak kirliliği haritaları Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) teknolojisi ile üretilmiştir. Metal kirliliğinin sıcak nokta alanları esas olarak Hong Kong adasının Kuzey ve Batı bölgelerinde yoğunlaşmış ve yüksek trafik koşullarıyla yakından ilişkilidir. Kentsel, banliyö ve ülke Parkı topraklarının Pb izotopik bileşimi, araç emisyonlarının Pb için ana antropojenik kaynaklar olduğunu göstermiştir [65].

Çin'in Zhejiang şehrindeki bir ovada Cu, Zn, Pb, Cr ve Cd ağır metallerinin mekânsal değişkenliğini karakterize etmek için bir çalışma yürütülmüştür. Bu amaçla söz konusu ovadanın üst toprağında dört yüz elli toprak örneği seçilerek Arc GIS yardımıyla Kriging ve Lognormal Kriging metodları uygulanarak mekânsal haritalama yapılmıştır [66].

Elde edilen sonuçlara göre eltik tarlasındaki toprak ağır metallerinin mekansal değişkenliği belirgin bir şekilde görülmüştür [66].

İstanbul'un Anadolu Yakası'nda trafik kaynaklı ortaya çıkan ağır metal kirliliğini belirlemek maksadıyla yapılan çalışmada, şehir bölgesinde yer alan ana arter ve otoyol kenarlarından 20 farklı noktadan, 0-20 cm derinlikten ve yol kenarı tozlarından örnekler alınmıştır. Alınan rnekler ağır metallerin düzeyleri "EPA 3050 Toprak Yakma Metodu" ve Atomik Absorpsiyon Spektrofotometri (AAS) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) programına işlenerek alansal kirlilik dağılımını gösteren haritalar çıkartılmıştır [67].



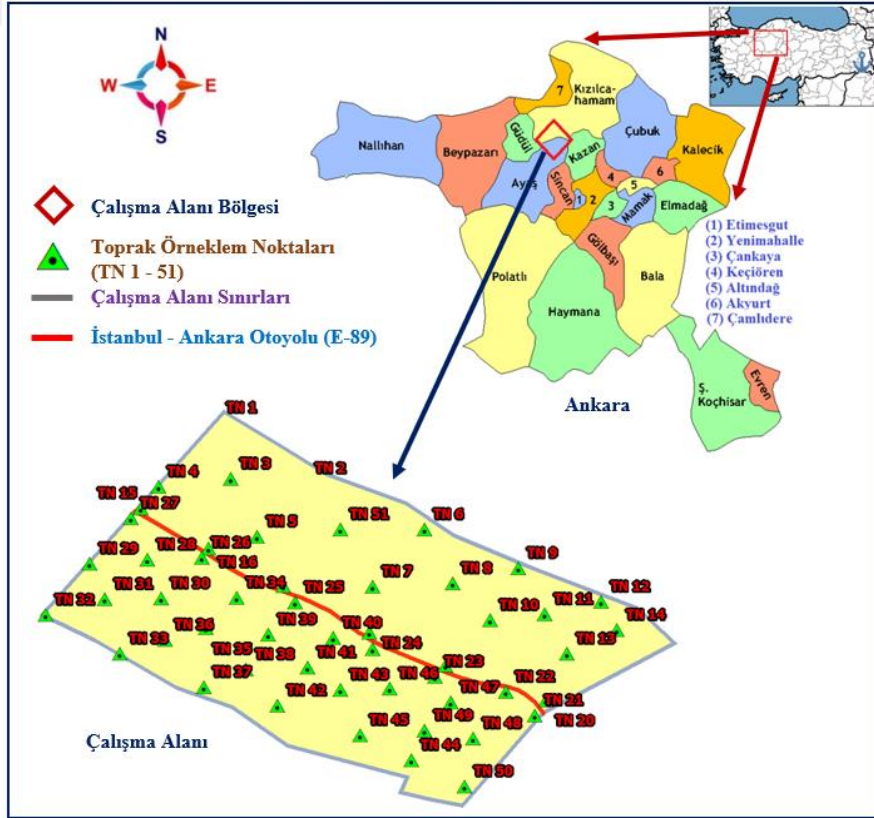
3. BÖLÜM

MATERYAL

Bu kısımda Ankara, Kızılcahamam, Kazan ilçelerine ait iklim özellikleri, tarımsal yapı, trafik yoğunluğu ve nüfus dağılımı gibi genel bilgilere yer verilmiştir. Çalışma sahasına ilişkin araştırma bulgularının ortaya konulmasına yönelik kullanılan metotlara ise yöntem başlığı altında detaylı olarak yer verilmiştir.

3.1. Çalışma Alanının Yeri ve Konumu

Araştırma alanı Ankara ilinin kuzey-batısında Ankara iline yaklaşık 40 km uzaklıktaki Ayaş, Kızılcahamam, Kahramankazan ilçe sınırlarından geçen İstanbul-Ankara Otoyolunun kuzey ve güney kısımlarındaki tarım arazileridir. Çalışma sahası 25 km²'lik bir alanı kapsamakta ve 40° 16' ve 40° 15' kuzey enlemleri ile 32° 28' ve 32° 34' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Araştırma alanının yeri ve coğrafi konumu Türkiye haritası üzerinde Şekil 3.1' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Araştırma alanının yeri ve coğrafi konumu

Ankara ili yüzölçümü olarak Türkiye'nin % 3'ünü, İç Anadolu Bölgesinin ise % 15'ini kapsayan Ankara ili, Bolu, Çankırı, Kırıkkale, Kırşehir, Aksaray, Konya ve Eskişehir illeri ile çevrili olmakla birlikte komşu olduğu illerden Bolu'ya 187 km, Eskişehir'e 234 km, Konya'ya 262 km mesafede yer almaktadır.

Bu çalışmada, İstanbul-Ankara Otoyolunun Ankara il merkezinden yaklaşık 40 km uzaklığında bulunan Ayaş, Kızılcahamam ve Kahramanzan ilçe sınırları dâhilindeki tarım topraklarında motorlu taşıtlardan veya tarımsal uygulamalardan kaynaklı ağır metal kirliliğinin söz konusu olup olmadığı araştırılmıştır. Bu kapsamda İstanbul-Ankara Otoyolunun 2 km sağ ve sol kısımlarından olacak şekilde 51 ayrı noktadan toprak örnekleri alınarak pH ve ağır metal analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.2. İklim Özellikleri

Araştırma sahası, Ankara'nın Ayaş, Kızılcahamam, Kahramankazan ilçe sınırları dahilinde yer almakta olup İç Anadolu Bölgesinin iklim ve bitki örtüsü bakımından pek çok karakteristiğini bünyesinde barındırmaktadır. Bu bağlamda, Ankara ili sahip olduğu geniş arazisinin de vermiş olduğu çeşitlilik sebebiyle yer yer farklı iklim türleri göstermektedir. Güneyinde, İç Anadolu ikliminin belirgin özellikleri olan step iklimi, kuzeyinde ise Karadeniz ikliminin ılıman ve yağışlı halleri görülmektedir. Genel olarak kara ikliminin hüküm sürdüğü bu bölgede kış aylarında mevsimsel sıcaklıkları düşük seviyede, yaz aylarında ise yüksektir [68].

Ankara'nın kuzeybatısında bulunan Ayaş; Sincan, Kahramankazan, Beypazarı, Güdül, Kızılcahamam ve Polatlı ilçeleri ile çevrili 1158 km²'lik yüz ölçümüne sahiptir. İlçe merkezinden geçmekte olan Kocabey Deresi şehri ikiye ayırmaktadır. Ayrıca batıdan doğuya doğru yüksekliği artan engebeli bir arazi yapısına sahiptir. Ayaş ilçesinde kışlar soğuk, yazları ise sıcak ve kuraktır. Bölgede karasal iklim hâkimdir. Yıllık ortalama yağış miktarı 374 mm'dir. Yağışın büyük kısmı ilkbahar ve kış aylarında görülmektedir [69].

Araştırma alanının içinde yer alan diğer ilçe ise Ankara'nın kuzeybatısında bulunan Kızılcahamam ilçesidir. Doğudan Çubuk batıdan Çamlıdere, kuzeyden Çerkeş ve Gerede, güneyden Ayaş ve Kazan, güneybatıdan Güdül ilçeleri ile çevrilidir.

İlçenin yüzölçümü 1158 km²'dir. Kızılcahamam ilçesinin arazi yapısı oldukça engebelidir. Kızılcahamam maden suyu ve şifalı kaplıcalarıyla ünlü olup 109 Mahalleye ev sahipliği yapmaktadır. Kızılcahamam ilçesinde kışlar soğuk ve karlı, yazlar ise sıcak ve kurak geçmektedir. Bölgede karasal iklim hakimdir. Ormanlarla çevrili olan bölge hemen hemen her mevsim yağış almaktadır. Yıllık ortalama yağış miktarı 490 mm ve ortalama nem % 66'dır [70].

Ankara ilinin en büyük ovalarından biri olan Akıncı Ovası'nı sınırları içerisinde bulunduran Kahramankazan yüzölçümü bakımından 600 km²'lik yer kaplamakta olup; doğudan Keçiören ve Çubuk, batıdan Ayaş, güneyden Sincan ve Yenimahalle, kuzeyden ise Kızılcahamam ilçeleri ile çevrilidir. İlçenin iklimi yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk geçmektedir. Yağışlar genelde kış ve bahar aylarında yaşanmakta olup yıllık yağış oranı 350-450 mm'dir. Nisbi nem % 60 civarında olmakla birlikte yıl içerisinde en yüksek ısı ile en düşük ısı arasındaki fark 44,1 °C'dir. İl merkezi ve istasyonların rüzgâr durumuna genel olarak bakıldığında hâkim rüzgâr arazi yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Buna göre hâkim rüzgâr Ankara (merkez), Esenboğa, Çubuk, Ayaş ve Yenimahalle ilçelerinde kuzeydoğu (poyraz); Haymana (İkizce), Sincan, Nallıhan ilçelerinde ve Dikmen semtinde batı (günbatısı); Polatlı ve Şereflikoçhisar ilçelerinde kuzey (yıldız), Etimesgut ve Elmadağ ilçelerinde güneybatı (lodos), Kızılcahamam ilçesinde güneydoğu (keşişleme) ve Beypazarı ilçesinde kuzeydoğu (poyraz) yönünden eser. Kuvvetli rüzgârlar mart ve nisan aylarında görülmektedir [68]. Ankara ilinin bazı iklim parametrelerinin uzun yıllık (1927-2018) ortalama değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 0.1. Ankara ili uzun yıllık bazı iklim verileri (1927-2018) [71].

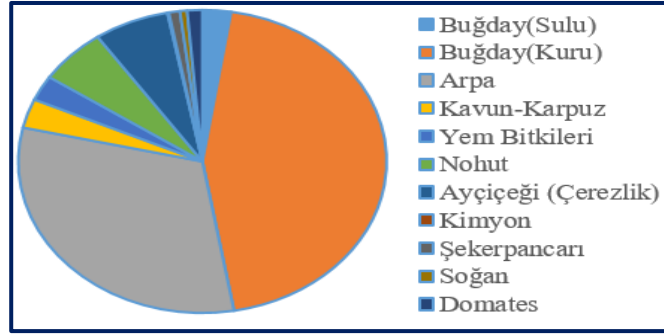
Ay	Ort. Sıcaklık (°C)	Mak. Sıcaklık (°C)	Min. Sıcaklık (°C)	Ort. Güneşlenme Süresi (saat)	Ort. Yağışlı Gün Sayısı (gün)	Ort. Aylık Toplam Yağış (mm)
1	0,2	4,2	- 3,3	2,7	12,2	39,7
2	1,7	6,4	- 2,4	3,9	11,3	35,1
3	5,8	11,5	0,6	5,2	10,7	39,1
4	11,3	17,4	5,3	6,6	11,1	41,9
5	16,1	22,4	9,6	8,5	12,3	51,8
6	20,1	26,6	12,9	10,2	8,6	34,3
7	23,5	30,3	15,8	11,4	3,5	13,5
8	23,4	30,4	15,9	10,8	2,7	11,4
9	18,8	26	11,8	9,2	4	17,6
10	13	19,9	7	6,7	6,9	27,9
11	7,1	13	2,5	4,6	8,2	31,7
12	2,5	6,4	- 0,9	2,6	11,7	44,1
Yıllık	12	17,9	6,2	82,4	103,2	388,1

Uzun yıllar boyunca ölçülen değerlere göre Ankara ilinin uzun yıllık ortalama güneşlenme süresi 82,4 saattir. Ortalama yağışlı gün sayısı 103,2, aylık toplam yağış miktarı 388,1 mm, en yüksek sıcaklık 17,9 °C, en düşük sıcaklık ise 6,2 °C olduğu görülmüştür.

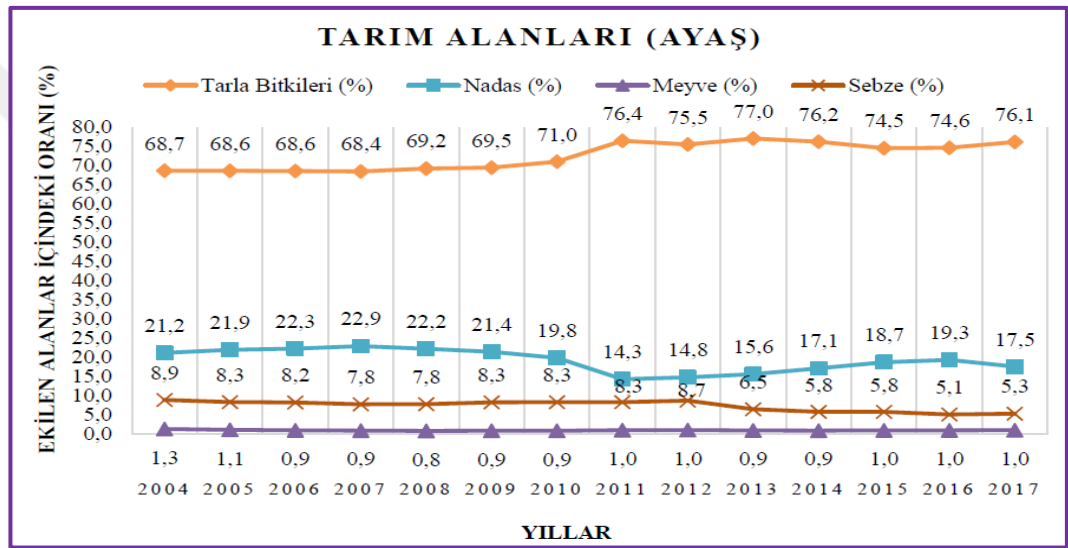
3.3. Tarımsal Yapı

Ankara ili, çok değerli tarımsal alanları ve korunması gereken doğal yaşam ortamlarını bünyesinde barındırmaktadır. Ayaş ilçesi, tarımsal yapısı ve üretimi ile ön plana çıkmaktadır. Bahçecilik ve sebze üretimi ile kent ve bölge için önemli bir merkez olan Ayaş doğal kaynaklar açısından zengindir. Ankara ili tarım alanlarının % 4'üne sahip olan Ayaş, tarım alanı büyüklüğü açısından dokuzuncu sırada yer almaktadır. Tarım alanlarının oranını gösterir grafik Şekil 3.3' te yer almakta olup tahıl ve sebze üretiminin % 5' ini karşılayan Ayaş, Ankara'nın en fazla domates üreten ilçesi konumundadır [72].

Ayaş gerek bulunduğu konum gerekse mevcut iklim şartları göz önünde bulduğunda birçok tarım ürününü yetiştirilebilmektedir. Ayaş ilçesine ait tarım alanlarının oranını gösterir grafik Şekil 3.3'te, tarım ürünlerinin ekilişine göre dağılımını gösteren grafik Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Ayaş ilçesi tarım ürünlerinin ekilişine göre dağılımı [73].



Şekil 3.3. Ayaş ilçesi tarım alanlarının dağılım oranı [72].

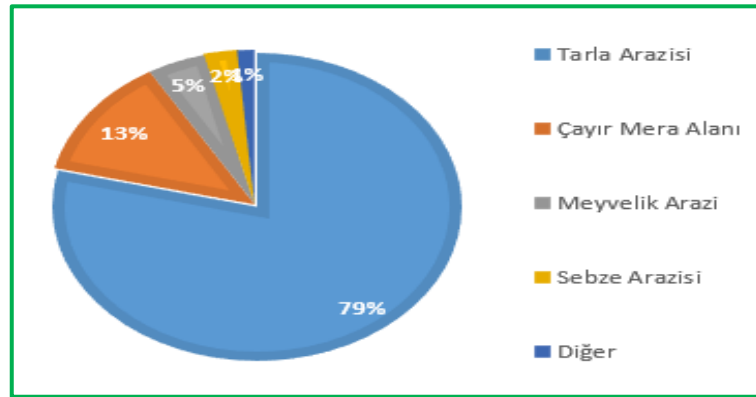
Bitkisel üretimde özellikle sebze ve meyvede Ankara'nın önemli ilçelerinden biri olan Ayaş toplam tarım alanı ile 25 ilçe arasında 9. sırada yer almaktadır. Yüzölçümü bakımından 1.158 km²'lik bir alana sahip olan ilçede toprakların dağılımı % 44'ü tarım, % 56'sı ise tarım dışı alanlardan oluşmaktadır [69].

Kızılcahamam'da ilçesinde ise arazilerin % 84'ü tarım arazisi, % 4'ü meyve, % 0,8'i sebze ve % 0,3'ü bağ arazisi olarak kullanılmaktadır. Geriye kalan topraklar ise % 10,8'i kısmı oluşturmakta ve bu alanlarda ise tarımsal üretim yapılmamaktadır [74]. Kızılcahamam ilçesi tarım alanlarının dağılımı Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Kızılcahamam ilçesi tarım alanlarının dağılımı [74].

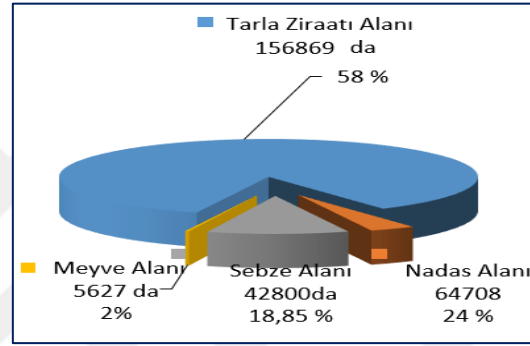
Kullanılış Şekli		Alan (da)	Tarım Alanları İçindeki Oranı (%)
Tarla Arazisi	Ekilen	114.900	84,09
	Nadas	45.000	
Bağ Arazisi		650	0,34
Sebze Arazisi		1.490	0,78
Meyvelik Arazi		7.535	3,97
Diğer (Kullanılmayan)		20.580	10,82
Toplam		190.155	100

Kızılcahamam'da sulu arazilerin toplam tarım arazileri içindeki oranı % 5,4 olup tarım arazilerinin 10.250 dekarı sulanmaktadır. İlçenin kuzey bölgesinde Karadeniz ile karasal iklim beraber görülmektedir. Bu ilişkiye bağlı olarak yağış miktarının da etkisiyle kurak arazilerde ürün miktarının verimsel açıdan daha yüksek seviyededir. Genellikle buğday, arpa, nohut, patates, kuru fasulye, yeşil mercimek gibi tarım ürünleri yetiştirilmektedir. Söz konusu ürünler arasında buğday 74.200 da alan ile ilk sırada yer almakta ve 35.000 da ile arpa, 1.500 da ile fiğ ve 1.000 da'lık alanla yonca takip etmektedir. Ürünler ortalama verimlerine göre buğday; 250 kg/da, arpa; 300 kg/da, patates; 2.000 kg/da ve kuru soğan; 4.000 kg/da şeklinde olup tarım alanlarının dağılımını gösteren grafik Şekil 3.4'teki gibidir [74].



Şekil 3.4. Kızılcahamam ilçesi tarım alanlarının dağılımı (%) [75]

Kahramankazan'da halkın geçim kaynağı sanayi ve ticarete nazaran tarım ve hayvancılığa dayalıdır. Özellikle köylerde oturan halk çiftçilikle geçimini sağlamakta olup ilçe topraklarının tarıma elverişli olması nedeniyle, şeker pancarı, kuru fasulye, kavun, karpuz, buğday, arpa, nohut gibi ürünler yetiştirilir. Kahramankazan, Türkiye genelinde meşhur ova kavunuyla da bilinmektedir. İlçede tarıma elverişli alan 21.727 hektar, sulu tarıma elverişli alan 3.800 hektar, ekilen arazi 11.412 hektardır. Yılda ortalama 53.000 ton sebze, 50.000 ton kavun, 27.000 ton tahıl yetiştirilmektedir [76]. Kahramankazan ilçesi tarım alanlarının dağılımı Şekil 3.5'te, tarla bitkilerinin ekiliş miktarları ise Tablo 3.3' te detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 3.5. Kahramankazan ilçesi tarım alanlarının dağılımı [77]

Tablo 3.3. Kahramankazan ilçesi bazı tarla bitkilerinin ekiliş miktarları [77].

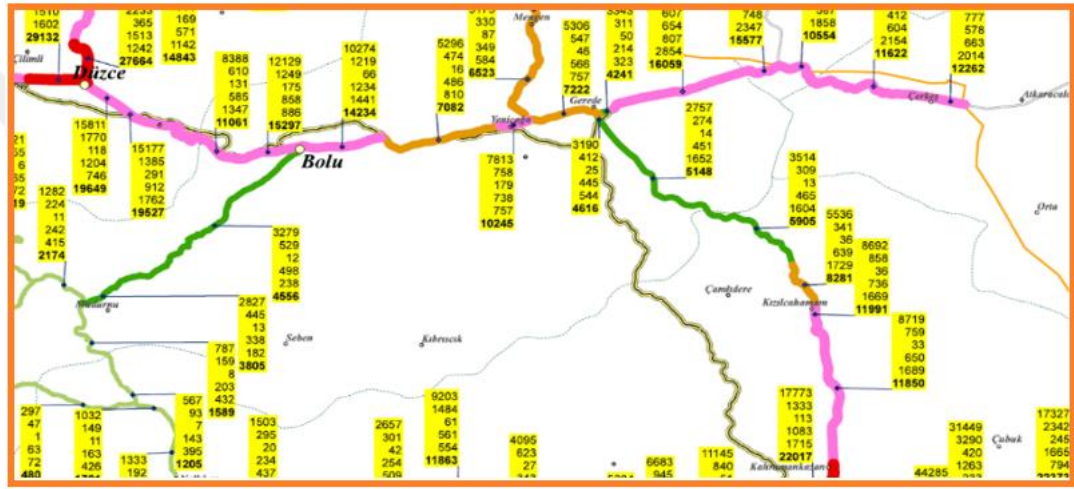
Ürün Adı	Üretim Miktarı (da)
Arpa	29500
Buğday	101215
Şeker Pancarı	5000
Nohut	9500
Fasulye	2500
Fiğ (Yeşil Ot)	4800
Fiğ (Adi-dane)	500
Yonca (Yeşil Ot)	400
Silaj Mısır (I. Ürün)	2500
Korunga	140
Ayçiçeği (Çerezlik)	450
Patates	500
Soğan(kuru)	500

Kahramankazan tarım arazileri bakımından Şekil 3.5' e bakıldığında 156.869 dekarlık alan ile % 58, 5627 dekarlık alan ile % 2, 42800 dekar alan ile % 18 ve 64708 dekarlık alan ile % 24'lük yer kaplamaktadır.

3.4. Trafik Yoğunluğu

Araştırma alanından geçen İstanbul-Anadolu Otoyolu uluslararası bir karayolu olmakla birlikte trafik yoğunluğu açısından oldukça sık kullanıma maruz kalmaktadır.

Noktalara göre motorlu taşıt sayısını gösteren harita Şekil 3.6'da paylaşılmıştır.



Şekil 3.6. Noktalara göre motorlu taşıt sayısını gösteren harita [78]

Şekil 3.6'dan da görüldüğü üzere; toplam taşıt sayısı 8281 iken, bu taşıtların % 66,85'ini otomobil, % 4,11'ini orta yüklü ticari taşıt, % 0,43'ünü otobüs, % 7,71'ini kamyon, % 20,87'sini ise kamyon, römork ve çekici oluşturmuştur.

2018 yılı içerisinde Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yapılan sayımlar neticesinde çalışma sahasının ortasından geçen İstanbul-Ankara Otoyolunu kullanan motorlu taşıtların analizi Tablo 3.4' te verilmiştir.

Tablo 3.4. İstanbul-Ankara otoyolu yıllık ortalama günlük trafik yoğunluğu [78]

Araç Türü	Araç Sayısı
Otomobil	5536
Orta Yüklü Ticari Taşıt	341
Otobüs	36
Kamyon	639
Kamyon+Römork, Çekici+Yarı Römork	1729
Toplam	8281

3.5. Nüfus Dağılımı

Ankara coğrafi olarak Türkiye'nin merkezine yakın bir konumda bulunmakta ve 2019 yılı verilerine göre 5.639.076 kişilik nüfusa sahiptir [79]. Ankara ilinin ve çalışma sahası içerisinde yer alan Ankara ilçelerinin 2014-2018 yılları arası nüfus dağılımı Tablo 3.5' de verilmiştir.

Tablo 3.5. Ankara ilçelerinin nüfus dağılımı [80]

Bölge	2014 yılı (kişi)	2015 yılı (kişi)	2016 yılı (kişi)	2017 yılı (kişi)	2018 yılı (kişi)
Ankara	5.150.072	5.270.575	5.346.518	5.445.026	5.503.985
Ayaş	13.018	12.678	12.276	12.289	15.540
Kızılcahamam	25.767	25.179	25.021	24.947	32.647
Kahramankazan	47.224	51.764	13.251	12.897	13.450

Ankara ilinin 2014 yılında nüfusu 5.150.072 iken 2018 yılında 5.503.985'e yükselmiştir. Ayaş ilçesinin 2014 yılında 13.018 olan nüfusu 2018 yılında 15.540'a artış göstermiştir. Kızılcahamam ilçesinin ise 25.767 olan nüfusu 2018 yılında 32.647 olarak gözlenmiştir. Kahramankazan ilçesi ise 2014 yılı içerisinde nüfusu 47.224 iken 2018 yılında 13.450'ye çıkmıştır. Söz konusu 3 ilçe nüfus miktarı açısından kıyaslandığında 32.647 kişi ile Kızılcahamam ilçesi ilk sırada yer almaktadır.

2012 yılında yapılan adrese dayalı nüfus sistemi sonuçlarına göre, Ayaş İlçe Merkez Nüfusu 8.295 kişi, erkek nüfusu 4.331 kişi, kadın nüfus ise 3.964 kişiden oluşmaktadır [73].

Kızılcahamam ilçe nüfusu 25.288 olup, 16.655'i ilçe merkezinde, 8.633'ü ise ilçe mahallelerinde yaşamaktadır. İlçenin Ankara'ya yakın bir lokasyonda bulunması nedeniyle genç nüfusun Ankara'ya göç etmesinin önüne geçilememiştir. Sonuç olarak tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olmuştur [75].



4. BÖLÜM

METOD

Araştırmaya konu olan çalışma alanı Ankara ilinin, Kızılcahamam, Kahramanhan ve Ayaş ilçe sınırlarının kesim noktasında yer almakta ve Marmara ve İç Anadolu Bölgelerini birbirine bağlayan İstanbul-Ankara otoyolunu (E-89) içinde barındırmaktadır. İstanbul-Ankara otoyolunu kullanan araçlardan kaynaklanan ağır metal kirliliğinin saptanabilmesi amacıyla, yaklaşık olarak 25 km²lik alanı kapsayacak şekilde otoyolun kuzey ve güney kısımlarından 2 km'lik bir genişlik içerisinde tarım arazilerinden 51 farklı noktadan toprak örnekleri alınmıştır. Alınan toprak örneklerinde pH değerleri belirlenmiş ayrıca toprak örnekleri kimyasal analizlere tabii tutulmuştur. Elde edilen veriler CBS yazılımı olan Arc GIS 10.3.1 yazılımına aktarılarak Geostatistical Analyst modülü kullanılarak Spline With Barrier yöntemi yardımıyla çalışma sahasının ağır metal kirlilik haritası mekansal olarak çıkartılmıştır. Çalışmada uygulanan yöntemler aşağıda başlıklar halinde detaylı olarak sunulmuştur.

4.1. Toprak Örneklerinin Alınması

Ankara ilinin Kızılcahamam, Ayaş, Kazan ilçe sınırları dâhilinde yer alan İstanbul-Ankara otoyoluna yakın tarım arazilerini kapsayan bölgeden 51 farklı lokasyondan toprak örnekleri toprak yüzeyinin 15-30 cm derinliğinden; uygun bir kürek yardımıyla 500 g ile 1 kg arası alınarak plastik poşetlerde muhafaza edilmiştir. Örneklerin alındığı noktaların koordinatlarının belirlenmesi amacıyla arazi şartlarından bir el tipi GPS kullanılmış ve örneklem noktalarının koordinatları alınmıştır. Alınan toprak örnekleri laboratuvar ortamında kurutulmuştur. Kuruyan toprak örnekleri havanda dövülerek öğütülmüş, ortaya çıkan kesekler ufalanmış ve içerisindeki taş, kök ve diğer yabancı maddeler elle temizlenmiştir. Örnekler 2 mm elekten geçirilerek elenmiş ve kilitli şeffaf poşetlere aktararak etiketlenmiştir. Yapılan arazi çalışmalarında alınan toprak örneklerinin toplanmasına ilişkin arazi görüntüleri Resim 4.1' de verilmiştir.



Resim 4.1. Toprak örneklerinin toplanmasına ilişkin arazi görüntüleri

4.2. Laboratuvar Analizleri

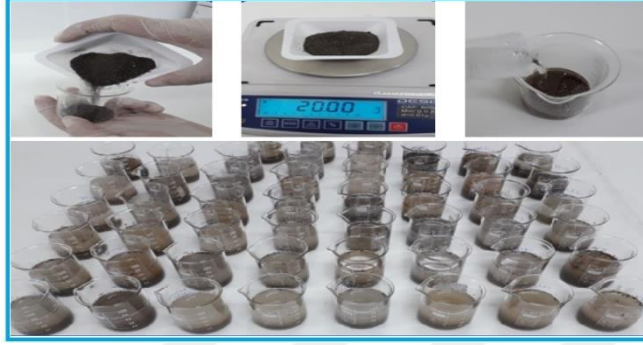
4.2.1. pH analizleri

Numuneler hassas terazide 20'şer g tartılıp 50 ml saf su eklenip beherlere konularak karıştırılmış ve çökmesi beklenmiştir. 1:2,5 oranına göre hazırlanan ekstraksiyon çözeltisi içerisinde toprak örneklerinin pH değerleri pH metre ile ölçülmüştür [81]. Bu kapsamda toprak çözeltilerinde okunan pH miktarlarının değerlendirilmesinde göz önünde bulundurulmuş değerler Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Toprakların pH değerlendirme sınır ölçütleri [33].

Toprak Özellikleri	Sınır Değerleri	Değerlendirme
pH	<4,5	Ekstrem Asit
	4,5-5	Çok Kuvvetli Asit
	5,1-5,5	Kuvvetli Asit
	5,6-6	Orta Asit
	6,1-6,5	Hafif Asit
	6,6-7,3	Nötr
	7,4-7,8	Hafif Alkali
	7,9-8,4	Orta Alkali
	8,5-9	Kuvvetli Alkali
	>9,1	Çok Kuvvetli Alkali

Laboratuvar Analizleri kapsamında numunelerin ağır metal ve pH analizleri yapılmıştır. Toprakların pH değerleri elektrometrik olarak ölçülmüştür [4]. Laboratuvarda ortamında araziden toplanan toprak örneklerinde yapılan pH ölçümlerine ilişkin görüntüler Resim 4.2’ de verilmiştir.



Resim 4.2. Laboratuvar ortamında yapılan pH ölçümlerine ilişkin görüntüler

4.2.2. Ağır metal analizleri

Alınan toprak numunelerinin ağır metal analizleri Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (BTUAM)’nde gerçekleştirilmiştir.

Ağır metal analizleri için ICP-MS MS cihazı kullanılmıştır. Çevresine dolanmış bir yük sargısının yüksek frekansta oluşturduğu manyetik alan enerjisinin içerisinden geçirilen argon gazını elektrik alanı olarak etkilemesi sonucu oluşan ICP spektrometresi, endüktif olarak eşleşmiş bir plazmadır [33].

Alınan toprak örnekleri, ICP-MS MS cihazında analize başlanmadan önce Mile Stone Marka, Ethos Easy Model mikrodalgada fırınında cihazın BCS 300 Soil modu seçilerek çözelti haline (eritme işlemi) getirilmiştir. Çözeltiyi hazırlamak için her bir toprak numunesinden 50 mg hassas terazide tartılarak 8 ml % 60’lık HNO₃ çözeltisi kullanılmıştır. 0,45 µm süzgeç kâğıdından geçirilerek 15 ml’ye saf su ile tamamlanıp toprak içerisindeki ağır metallerin çözelti ortamına alınması sağlanmıştır [84]. Daha sonrasında ICP-MS MS cihazında Al (Alüminyum), Cr (Krom), Co (Kobalt), Ni (Nikel), Cu (Bakır), Zn (Çinko), As (Arsenik), Se (Selenyum) Ag (Gümüş), Cd (Kadmiyum), Hg (Cıva), Pb (Kurşun) ağır metal analizlerinin ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Araştırmada örneklem noktalarından alınan toprak örneklerinde tespit edilen ağır metal miktarları Tablo 4.2’de verilen sınır değerleri dikkate alınarak yorumlanmıştır.

Tablo 4.2. Toprakların ağır metal sınır değerleri [82, 83].

Elementler	Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Gıda Tarım Örgütü (FAO) (mg/kg)	Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği pH>6 (mg/kg)
Al	-	-
Cr	100	100
Co	50	20
Ni	50	75
Cu	100	140
Zn	300	300
As	20	20
Se	10	5
Ag	-	-
Cd	3	3
Hg	-	1,50
Pb	100	300

4.3. CBS Ortamında Mekânsal Analizler

4.3.1. pH ve ağır metal içeriklerinin mekansal analizleri

Çalışma sahasından alınana toprak örneklerinde belirlenen ağır metal içerik değerleri CBS ortamında Arc GIS 10.3.1. yazılımında veri tabanına aktarılmıştır. Toprak örneklerine ilişkin ağır metal miktarları Arc GIS ortamına aktarılırken arazide her bir toprak örneğinin alındığı noktaların koordinatlarına karşılık gelen değerler doğrultusunda veriler koordinatlı olarak veri tabanına işlenmiştir. Arc GIS veri tabanına işlenen veriler Spline With Barrier enterpolasyon metodu kullanılarak mekansal olarak analiz edilmiş ve çalışma sahasından alınan toprak örneklerine bağlı olarak pH ve ağır metal içeriklerine ilişkin mekansal dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Spline enterpolasyon yöntemi giriş değerlerinden (değeri bilinen noktalar) minimum eğrilik yüzeyi geçirerek enterpolasyon işlemini gerçekleştirmektedir. Bu fonksiyon kısa yatay mesafelerde büyük değişimlerin olduğu veriler için uygun değildir. Spline enterpolasyon yöntemi, veride bulunmayan yüksek ve düşük değerleri tahmin edip kullanışlı hale getirmektedir. Spline yöntemi Regularized ve Tension Spline olarak iki farklı şekilde bulunmaktadır. Tension Spline, düzlemseldir ve tahmin değerlerinin örnek verilere daha yakın kalmasını sağlar ve daha keskin yüzeyler oluşturur. Regularized Spline yöntemi ise daha elastik bir yüzey oluşturur. Spline With Barrier yönteminde Spline enterpolasyon yönteminde kullanılan tekniğe benzer bir yöntem kullanır; en büyük farkı, bu aracın hem giriş engellerinde hem de giriş noktası verilerinde kodlanan süreksizlikleri karşılamasıdır. Bu enterpolasyon yöntemi, yükseklik, su tablası yükseklikleri veya kirlilik konsantrasyonları gibi hafifçe değişen yüzeyler oluşturmak için en iyisidir [81].

4.3.2. Bazı toprak özelliklerinin mekansal analizleri

Çalışma sahasının bazı toprak özelliklerinin mekansal olarak değerlendirilmesi için 1/25.000 ölçekli sayısal toprak haritaları kullanılmıştır. Sayısal toprak haritaları Arc GIS 10.3.1 yazılımı ortamına aktarılarak katmansal olarak mekansal analize tabi tutulmuştur. Araştırma kapsamında şimdiki arazi kullanımları, büyük toprak grupları, toprak derinlikleri, arazi eğimleri ve toprak erozyonu mekansal olarak analiz edilmiştir [85].

Çalışma kapsamında değerlendirilen araştırma sahasının arazi kullanım kabiliyetlerinin detaylı açıklamaları aşağıdaki gibidir.

I. Sınıf araziler; alışılmış ziraat metotları uygulanabilen düz, derin, verimli topraklara sahiptir. Bu sınıf arazilerde su ve rüzgâr erozyonu yok denecek kadar azdır. Topraklar iyi drenaja sahiptir ve su taşkınına maruz kalmazlar. Yağışların az olduğu bölgelerde % 1'den az meyilli, tınlı yapılı, su tutma kapasitesine sahip arazilerdir. II. Sınıf araziler; hafif meyilli, orta derecede erozyona maruz kalabilen kalın toprağa sahip, nadiren taşkınlara da uğrayabilen toprakları tanımlar. III. Sınıf araziler; bu sınıftaki topraklar orta derecede meyilli, erozyona karşı fazla hassas, fazla ıslaktır, fazla kumlu ya da çakıllı, düşük su tutma kapasitesine sahip ve az verimli topraklardır [86].

IV. Sınıf araziler; bu sınıftaki toprakların en belirgin özellikleri kötü drenaja sahip, az meyilli, erozyona maruz kalmayan, verimlilikleri de pek az olduğu bilinen topraklardır. V. Sınıf araziler; genellikle taşlı ve ıslak olan bu toprak arazileri düz veya düze yakındır. Su ve rüzgâr erozyonuna nadir maruz kalan topraklardır. VI. Sınıf araziler; bu toprak sınıfındaki araziler fazla meyilli olmakla birlikte şiddetli erozyona maruz kalmaya yatkındırlar. Islak, çok kuru veya başka sebeplerden kültivasyon açısından uygun değildir. VII. Sınıf araziler; aşırı meyilli, erozyona uğramış, taşlı ve arızalı olup, kuru, bataklık veya diğer bazı elverişsiz toprakları ihtiva eder. Gereken tedbirler alınarak çayır veya orman olarak değerlendirilebilir. Ancak üzerindeki bitki örtüsü azalırca erozyon şiddetlenebilir. VIII. Sınıf araziler; çayır ve ormanlık olarak kullanılmayan topraklardır. Bataklık, çöl, çok derin oyuntular, yüksek dağlık, taşlı araziler bu türün hakim olduğu bölgelerdir. Doğal yaşam ortamı, dinlenme yeri olarak da kullanılabilir. Araştırma sahasının büyük toprak gruplarına ilişkin mekansal sınıflandırmada kullanılan açıklamaları aşağıda detaylı olarak verilmiştir [86].

Alüviyal Topraklar; çoğunlukla tortul depozitler üzerinde oluşurlar. Oldukça genç bu tip topraklarda katmanlar bulunmaz ya da bulunsa bile çok gelişmemiştir. Taban suyunun etkisi altında olan bu topraklar tarım bakımından çok değerlidir. İklimin elverdiği kültür bitkilerini yetiştirmeye oldukça elverişlidir. Kahverengi Topraklar; bu tip topraklar adından da anlaşılacağı üzere kahverengi renktedirler. Kalsiyum bakımından oldukça zengin olmakla birlikte kurak ve yarı kurak iklimlerde görülmektedirler. Kısa ot ve çalılar doğal bitki örtüsü olarak bünyelerinde barındırırlar. Organik madde içerikleri orta düzeydedir. Yağışın düştüğü kış ve ilkbahar aylarında sıcaklığın da düşmesiyle ilkbahar ve sonbaharda kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar yavaşlar. Kırmızımsı Kahverengi Topraklar; fiziki açıdan kahverengi topraklara benzemektedirler. Doğal drenajları iyidir ve kurak-yarı kurak iklimlerde görülürler. Ot ve çalılar doğal bitki örtüleridir. Bu toprakların doğal verimleri yüksek, lakin biyolojik etkinlikleri düşük seviyededir. Kollüviyal Topraklar; dağlık ve tepelik arazilerin eteklerinde dar vadi tabanlarında yer çekimi ve küçük akıntılarla sürüklenmiş tanelerin birikmesiyle oluşmaktadır. Kahverengi Orman Toprakları: kireç içeriği yüksek ana materyal üzerinde oluşmuş profilleri ABC şeklinde olup horizonlar birbiri içerisinde geçiş halindedir. Bu toprakların bir kısmı orman, funda, mera olarak kullanılırken bir kısmı ise tarım arazisi niteliğindedir [86].

Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları: şistler, sepantin ve kristal kireçtaşı üzerinde orman ve çalı örtüsü altında, zayıf ile ileri derecede katmanlaşmış özelliklere sahiptir. Üst toprak profilinde koyu gri kahverengi A horizonu, altında daha koyu kırmızı ve daha ağır bünyeli B horizonu, altında C ve R ayrı ayrı veya beraber bulunan horizonlara sahiptir Kireçsiz Kahverengi Topraklar; bu toprakların üst katmanında koyu renkli bir blok ve alt katmanında farklı bir blok bulunur. Kireçsizdirler ve doğal verimlilikleri yetersizdir [86]. Büyük toprak gruplarına ilişkin bilgiler Tablo 4.3'te paylaşılmıştır.

Tablo 4.2. Büyük toprak grupları katmanları [86].

Tundra Toprakları	Kireçsiz Kahverengi Topraklar
Çöl ve Kırmızı Çöl Toprakları	Podzollar, Gri ve Kahverengi Podzolik Topraklar
Sierozemler	Gri-Kahverengi Podzolik Topraklar
Kahverengi Topraklar	Kırmızı-Sarı Podzolik Topraklar
Kırmızimsı Kahverengi Topraklar	Lateritler ve Lateritik Topraklar
Kestanerengi Topraklar	Tuzlu-Sodik Topraklar
Kırmızimsı Kestanerengi Topraklar	Hidromorfik Topraklar
Çernozyemler ve Degrade Çernozyemler	Kahverengi Orman Toprakları
Prairie ve Kırmızimsı Prairie Toprakları	Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları
Bazaltik Topraklar	Kırmızı-Kahverengi Akdeniz Toprakları
Kırmızı Akdeniz Topraklar	Rendzinalar
Vertisoller	Litosoller
Regosoller	Alüviyal Topraklar
Kolliviyal Topraklar	Organik Topraklar

Tarımsal üretimde arazinin eğimi tarımsal faaliyetleri etkileyen en önemli faktörlerden başında gelmektedir. Tarımsal uygulamaların planlanmasında arazi eğiminin bilinmesi oldukça önemlidir. Bu bağlamda çalışma alanında arazi eğim özellikleri mekansal olarak Tablo 4.4'te verilen kriterler ışığında sınıflandırmaya tabii tutulmuştur.

Tablo 4.4. Arazi eğim sınıflandırması [86].

Eğim Grubu	Eğim Yüzdesi (%)	Açıklama
0	0-2	Düz veya Düze yakın
1	2-6	Hafif Eğim
2	6-12	Orta Eğim
3	12-20	Dik Yamaç
4	20-30	Çok Dik Eğim
5	30-45	Sarp
6	45+	Çok Sarp

Tez çalışması süresince analizleri gerçekleştirilen toprakların mekansal analiz kapsamında derinlik sınıflandırmasında kullanılan kriterler Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5. Toprak derinliklerinin sınıflandırılması [86].

Sembol	Sınıfı	Toprak Derinliği (cm)
A	Derin	150+
B	Orta Derin	90-150
C	Sığ	50-90
D	Çok Sığ	20-50
E	Litozolik	0-20

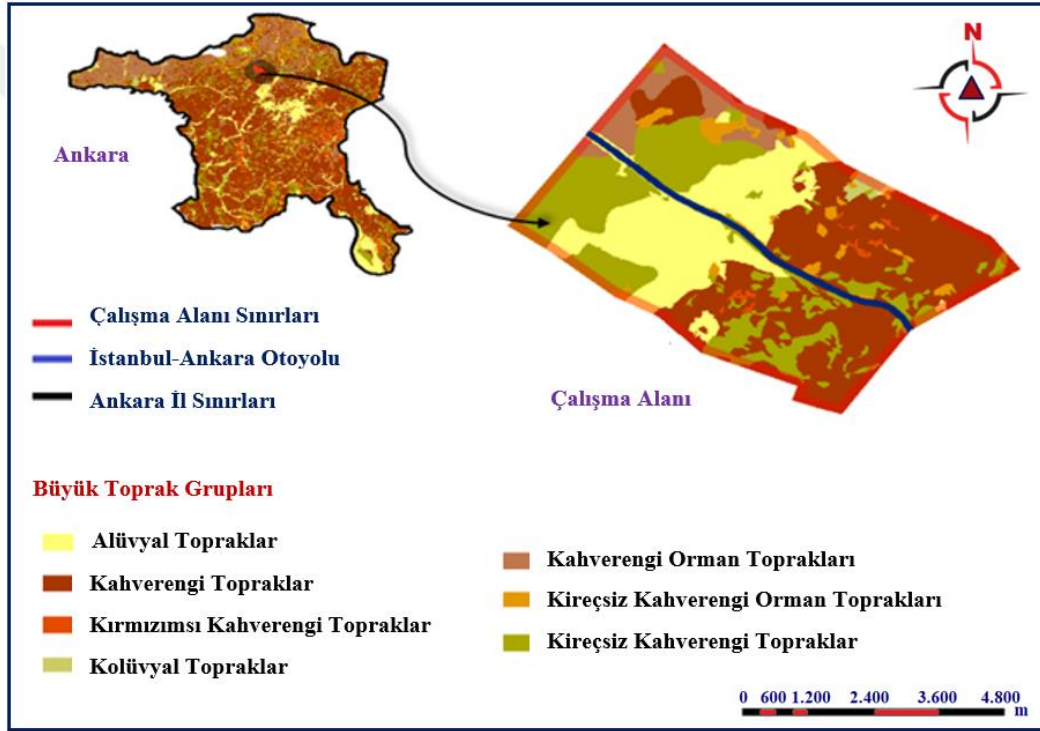
5. BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Araştırma Alanının Toprak Özelliklerinin Mekansal Dağılımları

5.1.1. Büyük toprak gruplarının dağılımı

Ankara ilinin ve çalışma alanının büyük toprak grupları mekansal olarak Arc GIS yazılımına aktarılmış ve büyük toprak gruplarının mekansal dağılımı Şekil 5.1’de verilmiştir.



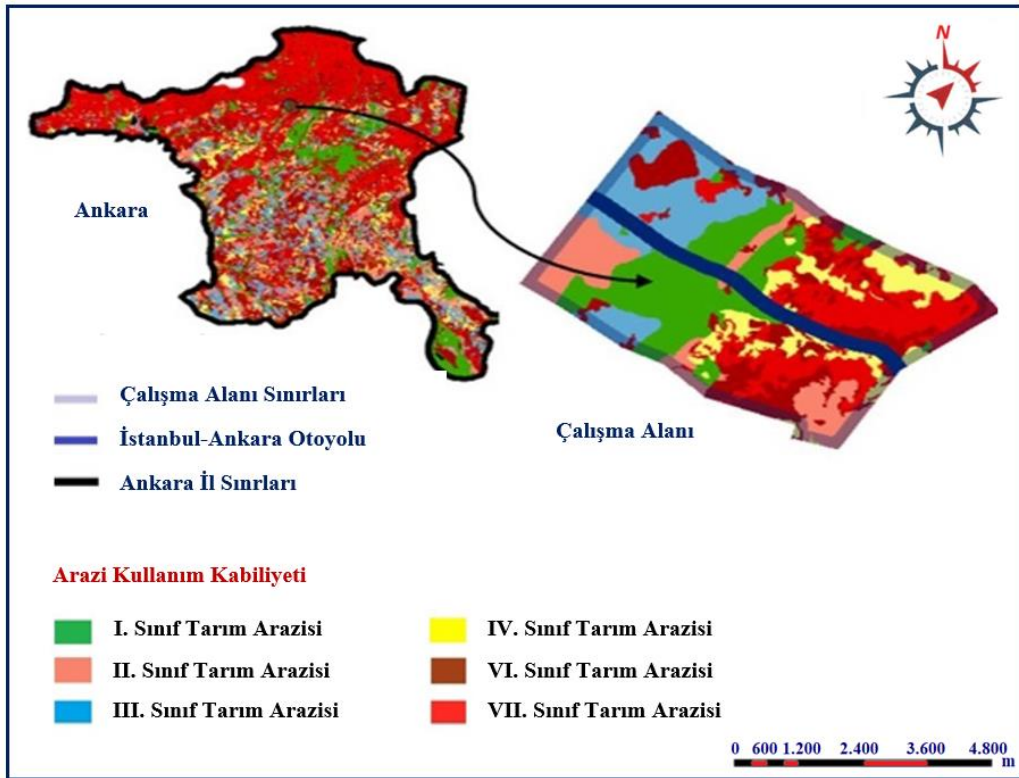
Şekil 5.1. Ankara ili ve çalışma sahasına ait büyük toprak gruplarının mekansal dağılımı

Ankara'nın genelinde kahverengi toprakların baskın olduğu, yer yer kahverengi orman topraklar, merkezde ve güney bölgelerde ise alüvyal toprakların yer aldığı görülmektedir. Kahverengi topraklar daha çok kurak ve yarı kurak iklimlerde bulunur. Üzerlerinde doğal bitki örtüsü olarak kısa ot ve çalılar vardır. Profillerinde çok miktarda Ca (kalsiyum) mineralini barındırır. Bitki besinlerince oldukça zengin olup doğal drenajları iyidir. Alüvyal topraklar ise genç bir toprak gurubu olmakla birlikte katmanlar barındırmazlar ve birçok özellikte mineral katmanlara sahiptir [86].

Bu topraklar çoğunlukla taban suyunun etkisi altındadır. Tarım bakımından oldukça önemli olan bu topraklar, iklimin elverdiği takdirde kültür bitkileri yetiştirilebilir [86]. Çalışma sahasında ise Ankara ilçe sınırlarında olduğu gibi alüvyal, kahverengi topraklar görülmektedir. Çalışma sahasının batısında ve az da olsa doğu tarafında kireçsiz kahverengi toprakların bulunduğu belirlenmiştir.

5.1.2. Arazi kullanım kabiliyetleri

Ankara il sınırları ve çalışma alanına ait toprakların arazi kullanım kabiliyetinin mekansal olarak dağılım haritası, alansal olarak harita bazlı dağılımı ve alan değerleri Şekil 5.2’ de verilmiştir.



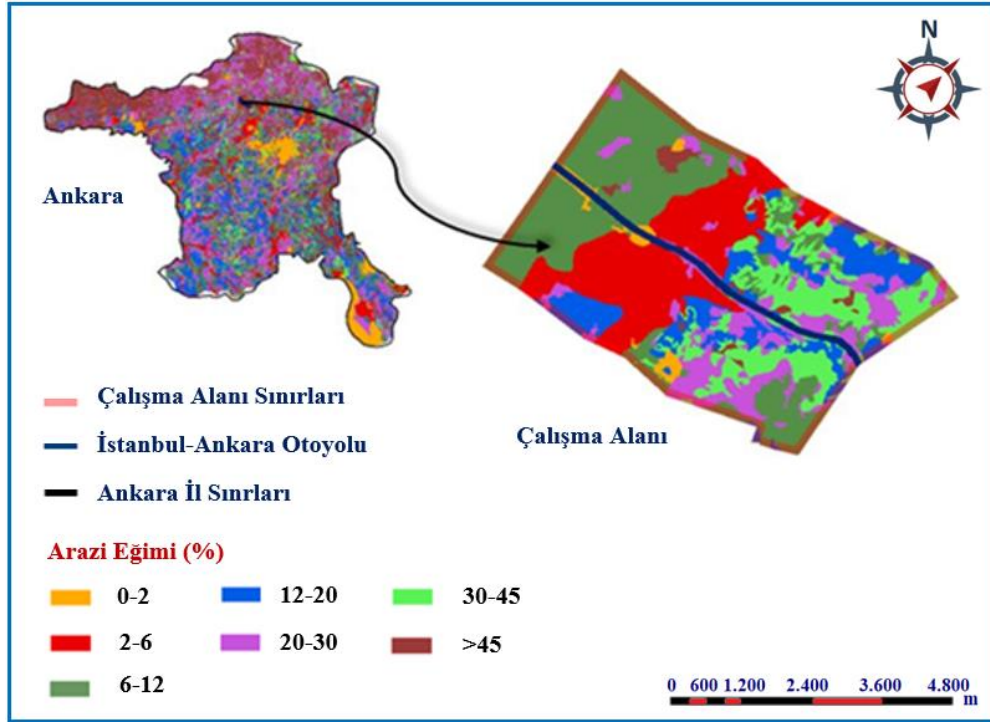
Şekil 5.2. Ankara ili ve çalışma sahasına ait arazi kullanım kabiliyeti sınıfları

Ankara ilinin Arazi Kullanım Kabiliyeti sınıflarının mekânsal dağılımı incelendiğinde, alanın genelinde VII. Sınıf arazinin hâkim olduğu görülmektedir. Yedinci sınıf arazi, çok meyilli, erozyona fazla uğramış, taşlı ve arızalı olup, kuru, bataklık veya diğer bazı elverişsiz topraklara sahiptir [87].

Çalışma alanının merkezine bakıldığında I. sınıf arazi hâkim iken doğu tarafında VII. sınıf arazinin hâkim olduğu görülmektedir. I. sınıf arazi alışlagelmiş zirai metotların uygulandığı, düz, derin, verimli ve kolayca işlenebilen toprakları ihtiva eden arazidir. Bölgesel iklimin elverdiği ölçüde her türlü bitkiyi yetiştirmeye uygun, drenaj durumu iyi, sürümü kolay, yeterli derinliği olan, mineral olarak verimli toprakların olduğu alanları kapsamaktadır [87].

5.1.3. Eğim dağılımları

Eğim, tarımsal üretimi etkileyen ve toprak erozyonu açısından oldukça önemli etkileri olan bir konudur. Ankara merkez ilçe sınırları içerisindeki alanın eğim dağılımına ve çalışma alanının eğim gruplarının mekansal dağılımına Şekil 5.3'te yer verilmiştir.

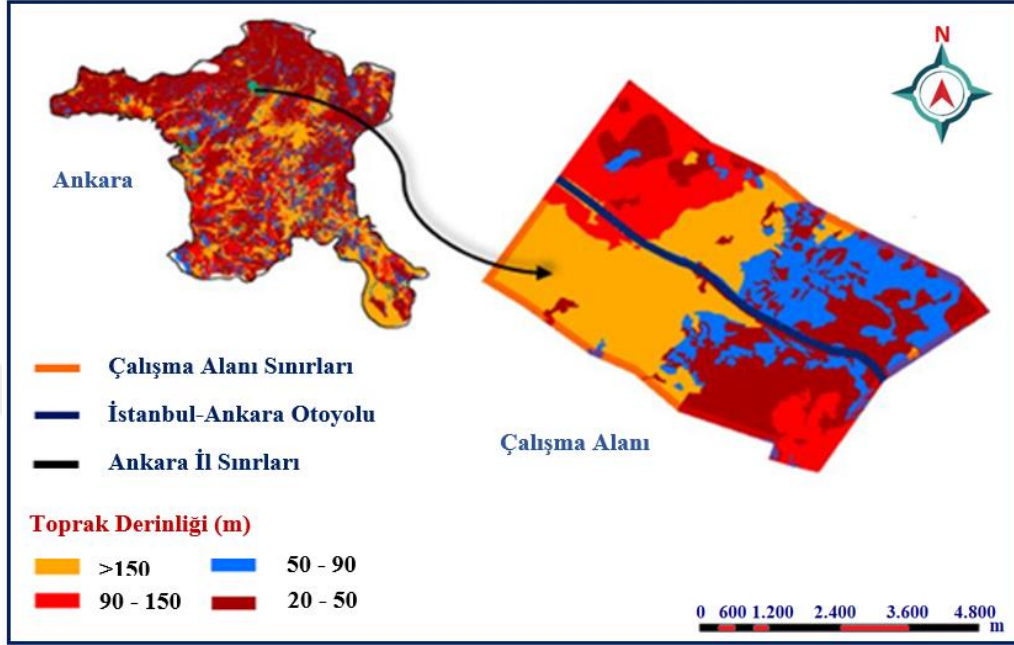


Şekil 5.3. Ankara ili ve çalışma sahasına ait eğim haritası

Ankara ili sınırları genelinde toprakların eğim gruplarına bakıldığında %12-20 arası ve % 45'den fazla bir eğim grubu hakim olduğu aşikardır. Çalışılan sahada ise eğim olarak % 2-6 ve % 6-12 arası arazi eğimi gözlenmektedir. Tarım arazilerinin çoğunlukta olduğu bölge çalışma sahasının kuzey-batısında yer almakta olup % 2-6'lık eğimle hafif eğim sınıfına girmektedir. Söz konusu bölgenin kuzey ve güney tarafında ise % 6-12 arası eğim sınıfı görülmekte olup orta eğim arazi sınıfına girmektedir.

5.1.4. Derinlik dağılımı

Çalışma sahası ve Ankara ilçe sınırlarının toprak derinlik sınıfları mekansal olarak değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.4’te verilmiştir.



Şekil 5.4. Ankara ili ve çalışma sahası toprak derinlikleri dağılımı

Ankara ilinin genelinde toprak derinliği dağılımına bakıldığında, çoğunluğun 20-50 cm arası yani çok sığ toprakların, geri kalan kısmını ise 150 cm derinlikten büyük, yani derin sınıfı toprakların oluşturduğu görülmektedir.

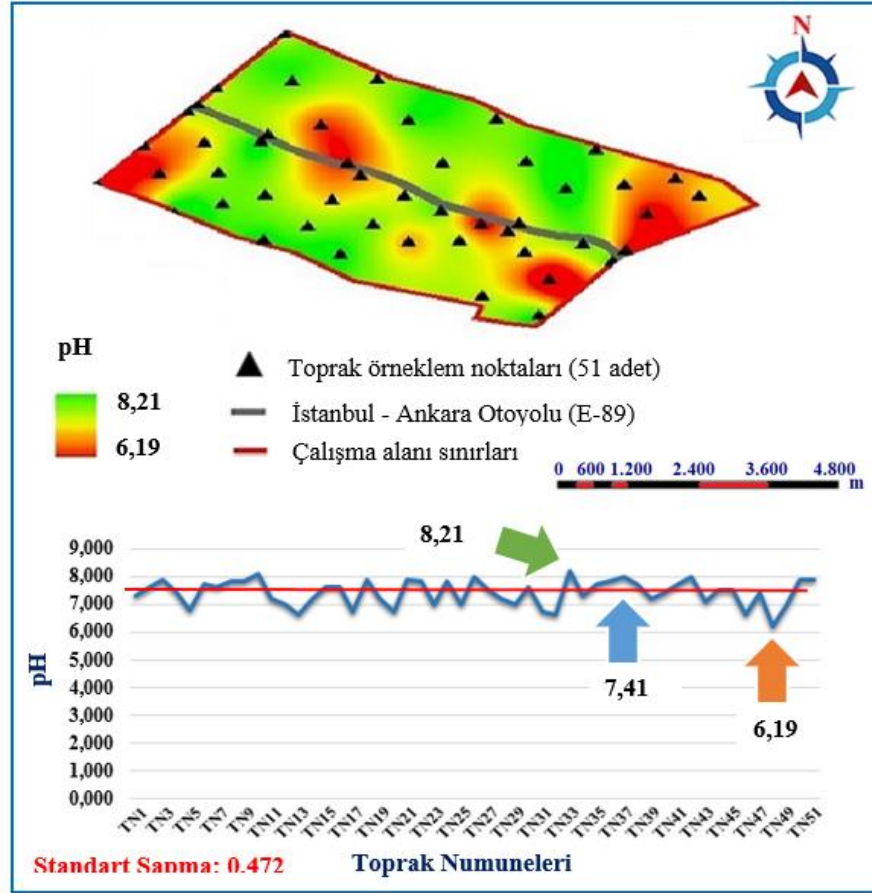
Çalışma alanında ise bölgenin neredeyse yarısını kaplayan 150 cm’den büyük, yani derin toprak grubunun oluşturduğu görülmektedir. Orta derin olarak tanımlanan 90-150 cm arası toprak grubu bölgenin kuzeybatısında yer almaktadır. Sığ olarak bilinen, 50-90 cm arasında derinliğe sahip olan toprak grubu daha çok sahanın doğu kısmında görülmektedir. Derinlik olarak 20-50 cm arasındaki çok sığ topraklar çoğunlukla sahanın güneydoğu kısmında alan teşkil etmektedir.

5.2. Toprak Kimyasal Analiz Sonuçlarının Mekansal Analizleri

Gerçekleştirilen araştırmalar neticesinde çalışma alanında belirlenen 51 ayrı noktanın pH ve ağır metal kirlilik seviyeleri ölçülerek Coğrafi Bilgi Sistemleri Arc GIS 10.3.1 yazılımı kullanılarak mekansal haritaları çıkartılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen sonuçların mekansal dağılımları aşağıda sırasıyla belirtilmiştir.

5.2.1. pH değerlerinin mekansal analizleri

Çalışma sahasından alınan toprak örneklerinde belirlenen pH değerlerinin mekansal analiz dağılımları Spline With Barrier enterpolasyon yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve elde edilen dağılımın sonuçları Şekil 5.5’ te verilmiştir.



Şekil 5.5. pH değerlerinin mekansal dağılımları

Alınan toprak örneklerindeki pH miktarları maksimum 8,20 ve minimum 6,20 olarak ölçülmüştür. pH değerlerinin dağılımı incelendiğinde en düşük olduğu bölgeler sahanın merkez hattı, batı ve doğu bölgesiyken; en yüksek olduğu bölgeler sahanın çoğu kısmında dağılım göstermektedir. pH'nın 7'den yüksek olması çalışılan sahanın genelinin bazik olduğunu göstermektedir. Toprak pH'sının, bitki besin maddelerinin kullanılabilirliğini ve bitkilerin gelişmesi üzerinde iki türlü etkisi bulunmaktadır [86].

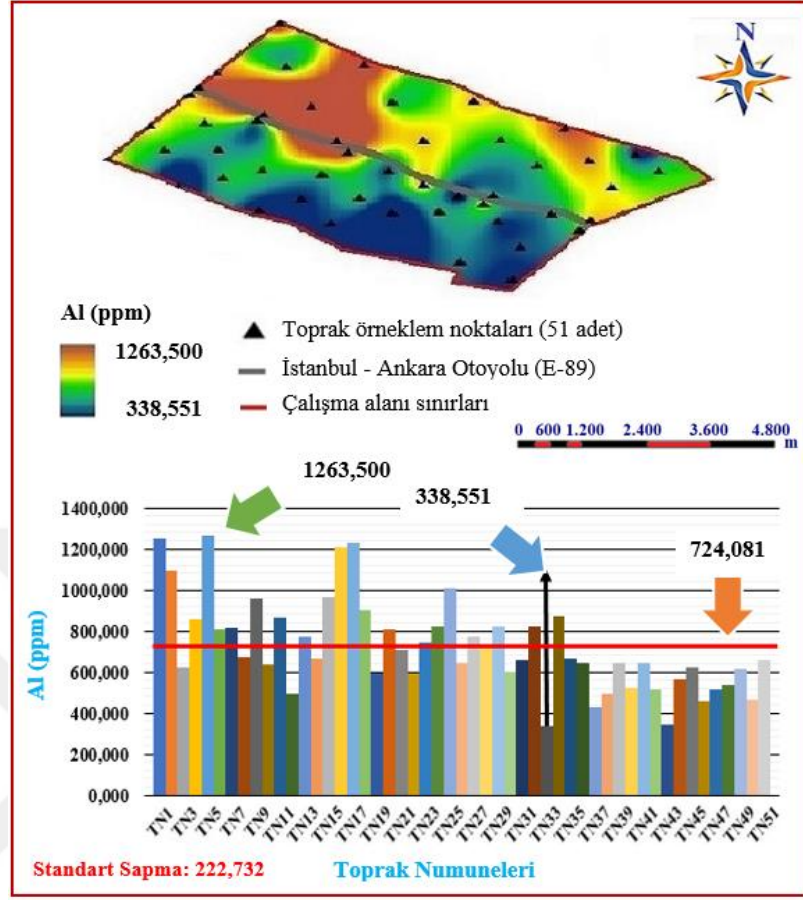
Bunlardan birincisi hidrojen iyonunun direkt etkisi, ikincisi ise bitki besin maddelerinin kullanılabilirliği ve toksik iyonların mevcudiyeti üzerindeki indirekt etkisidir. Bitkiler fosfordan en verimli pH'ın 6,5 değerinde olduğu zamanlar yararlanabilmektedir. Yüksek pH değeri bitkinin gelişiminde önemli etkisi olan fosfor gibi bazı iz elementlerin toprakta hareket edemez hale gelmesine neden olmaktadır [86]. Bu durum tarımsal verimin düşmesine zemin oluşturmaktadır. Çalışılan sahanın kuzey tarafı orta alkali, güney tarafı hafif alkali, batı tarafı hafif asit, doğu tarafı nötre yakın bir toprak yapısına sahiptir.

Araştırma sahanın genelinin orta alkali sınıfı toprak yapısına sahip olduğu, yer yer hafif asidik toprak yapısı gözlemlendiği belirlenmiştir. Alınan toprak numunelerinin pH seviyelerinin hafif asidik ve orta alkali olması, çalışma alanı yakınındaki tarım arazilerine olumsuz bir etkide bulunmamaktadır.

Çalışma alanında pH değerlerine bakıldığında en yüksek değer 8,20 ile 33.noktada olup hafif alkali özelliğe sahiptir. En düşük pH değeri ise 6,20 ile 48. noktada olup hafif asidik sınıfta yer almaktadır. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak çalışma alanı topraklarının ortalama pH seviyesinin 7,41 olduğu ve nötre yakın bir seviyede yer aldığı anlaşılmaktadır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda örneklem noktalarındaki pH değerlerinin standart sapması 0,472 olarak belirlenmiştir.

5.2.2. Alüminyum (Al) değerlerinin mekânsal analizleri

Alüminyum mutfak kaplarıyla, içme sularıyla, ilaçlarla ve alüminyum işletme tesisleri aracılığıyla insan yaşamını olumsuz yönde etkileme potansiyeline sahiptir. İnsanlar üzerinde sinir sistemi bozuklukları, alzheimer, akciğer kanseri ve astım gibi hastalıklara Sebebiyet vermektedir [23]. Çalışma sahasının Alüminyum (Al) değerlerine ilişkin mekansal dağılımı Şekil 5.6'da verilmiştir.



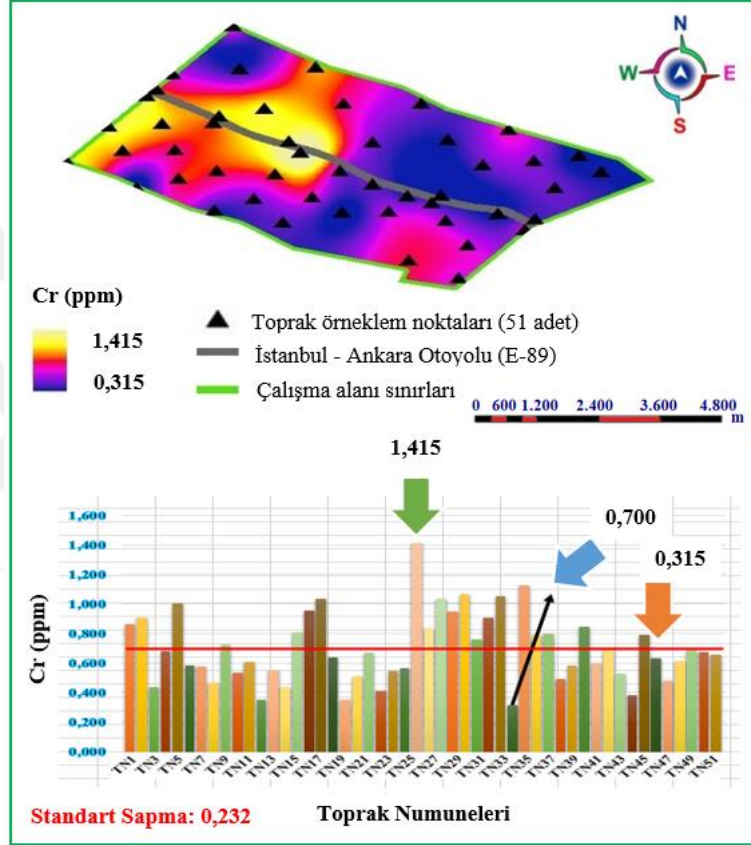
Şekil 5.6. Alüminyum (Al) değerlerinin mekânsal dağılımları

Alüminyum miktarının alansal dağılımı incelendiğinde çalışılan sahanın kuzey batısında yüksek değerde olduğu, sahanın güney bölgesinde ise en düşük değerlerde seyrettiği görülmektedir.

Çalışma sahasının Al değerleri 338,551-1263,500 ppm arasında değişkenlik göstermektedir. Alınan örneklerden en yüksek Al değeri 5. Noktadan alınan toprak örneğinde 1263,500 ppm olarak, en düşük Al değeri ise 33. Noktadan alınan toprak örneğinde 338,551 ppm olarak ölçülmüştür. Örneklerin ortalaması 724,081 ppm; standart sapması ise 222,732 ppm' dir. Al için belirlenmiş olan herhangi bir sınır değerleri bulunmamaktadır [23].

5.2.3. Krom (Cr) değerlerinin mekansal analizleri

Krom, günümüzde paslanmaz çelik, çeşitli lehim ve pas engelleyicilerin üretimi ile ilgili metalürji endüstrisi, boya, cila, cam ve seramik malzemeleri, deri sanayi gibi endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır [4]. Çalışılan sahaya ait Krom (Cr) değerlerinin mekânsal dağılımı Şekil 5.7' de verilmiştir.



Şekil 5.7. Krom (Cr) değerlerinin mekânsal dağılımları

Krom miktarının alansal dağılımını incelendiğinde çalışılan sahanın batı yakasında yüksek değerde olduğu, sahanın diğer bölgelerinde ise en düşük değerlerde seyrettiği görülmektedir. Toprakta çoğunlukla ana materyale göre değişmekte olup genellikle toprakta toplam krom 5 - 100 mg/kg arasında değişkenlik göstermektedir. Bitkilerde ise kuru madde esasına göre 100 mg/kg düzeyine ulaştığında ise genellikle toksik olarak kabul edilmektedir [88].

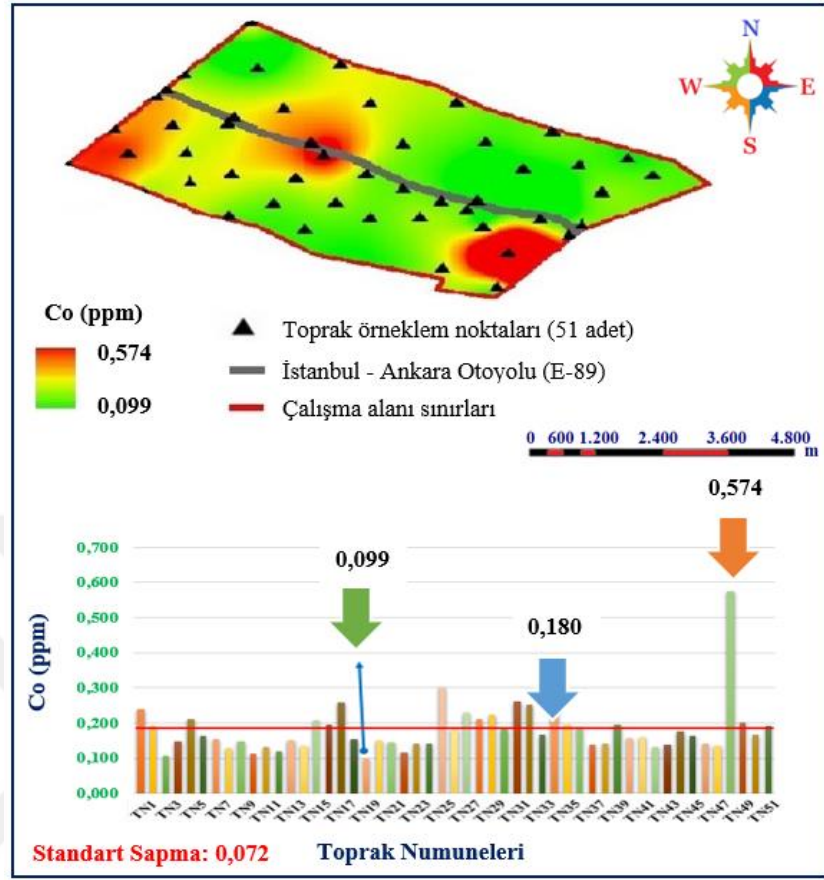
Krom miktarının alansal dağılımına bakıldığında orta yoğunluğun sahanın orta noktalarında diğer noktalara nazaran üst seviyede olduğu görülmektedir.

Çalışma sahasının Cr değerleri 1,415-0,315 ppm arasında değişkenlik göstermektedir. Alınan örneklerden en yüksek Cr değeri 25. Noktadan alınan toprak örneğinde 1,415 ppm olarak, en düşük Cr değeri ise 33. Noktadan alınan toprak örneğinde 0,315 ppm olarak ölçülmüştür. Örneklerin ortalaması 0,700 ppm; standart sapması ise 0,232 ppm' dir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği sınır değerlerine göre kıyaslandığında krom sınır değeri 100 ppm olarak belirlenmiştir. Bu değer baz alındığında çalışma alanında Cr değerinin herhangi bir risk oluşturmadığı görülmektedir. Öte yandan krom değerinin yüksek olduğu bölgede bile tarım faaliyetleri verimli bir şekilde yapılabilmektedir.

5.2.4. Kobalt (Co) değerlerinin mekansal analizleri

Baklagiller tarafından azot fiske edilmesinde önemli işlevi bulunan kobalt (Co), B-12 vitamini ile koenzim kobalaminin metal yapı maddesidir. Eksikliğinde baklagillerde yumru oluşumu en aza inmekte ve belirgin azot eksikliği görülmektedir [27]. Çalışılan sahaya ait kobalt (Co) değerlerinin mekânsal dağılımı Şekil 5.8' de verilmiştir.



Şekil 5.8. Kobalt (Co) değerlerinin mekânsal dağılımları

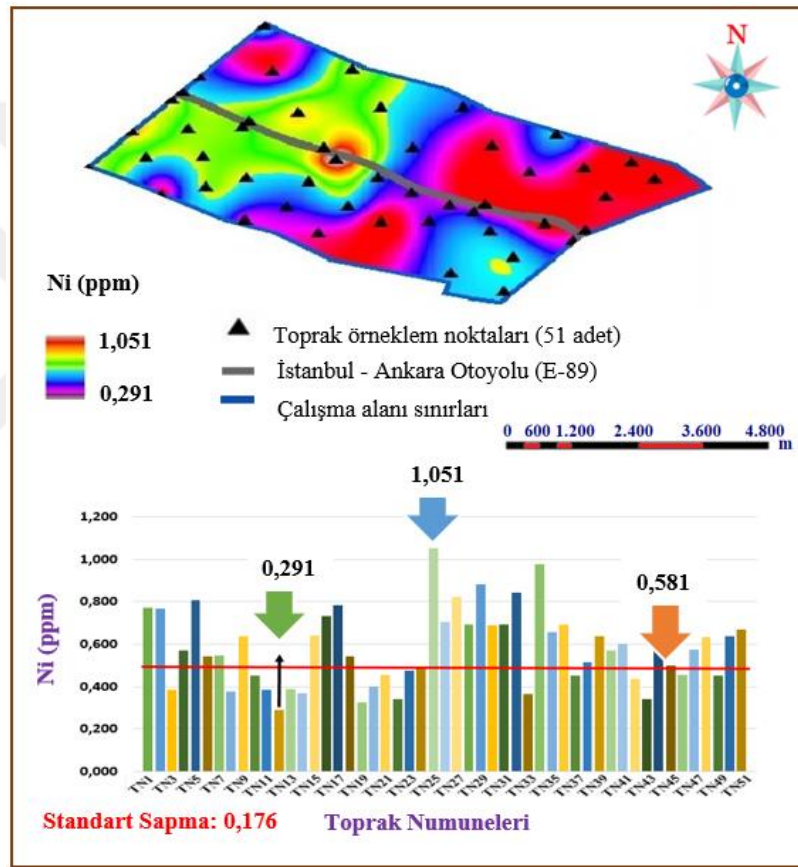
Kobalt miktarının alansal dağılımı incelendiğinde en yüksek değerlerin çalışılan sahanın güneydoğu ucunda, ortalama değerlerin ise sahanın merkezinde ve batı ucunda yer aldığı Şekil 4.8’de açıkça görülmektedir.

Çalışma sahasının Co değerleri 0,574-0,099 ppm arasında değişkenlik göstermektedir. Alınan örneklerden en yüksek Co değeri 48. Noktadan alınan toprak örneğinde 0,574 ppm olarak, en düşük Co değeri ise 19. Noktadan alınan toprak örneğinde 0,099 ppm olarak ölçülmüştür. Örneklerin ortalaması 0,180 ppm; standart sapması ise 0,072 ppm’ dir.

Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği kapsamında kobalt değeri için izin verilebilir üst sınır değeri 20 ppm olarak belirlenmiş olup alınan toprak numunelerinden hiçbiri belirtilen sınır değeri aşmamaktadır.

5.2.5. Nikel (Ni) değerlerinin mekânsal analizleri

Beyaz bir renkte olan Nikel sert bir yapıdadır. Bozuk para, kimyasal araç/gereç üretiminde kullanılmaktadır. Aşırı miktarda alınmasıyla akciğer, burun, prostat ve gırtlak kanseri riskini artırmakta, akciğerlerde tıkanma, solunum yetersizliği, doğum kusurları, astım ve kronik bronşit, mücevherlerden kaynaklanan deri isiliği gibi alerjik reaksiyonlara neden olabilmektedir [22]. Çalışılan sahaya ait Nikel (Ni) değerlerinin mekânsal dağılımı Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. Nikel (Ni) değerlerinin mekânsal dağılımları

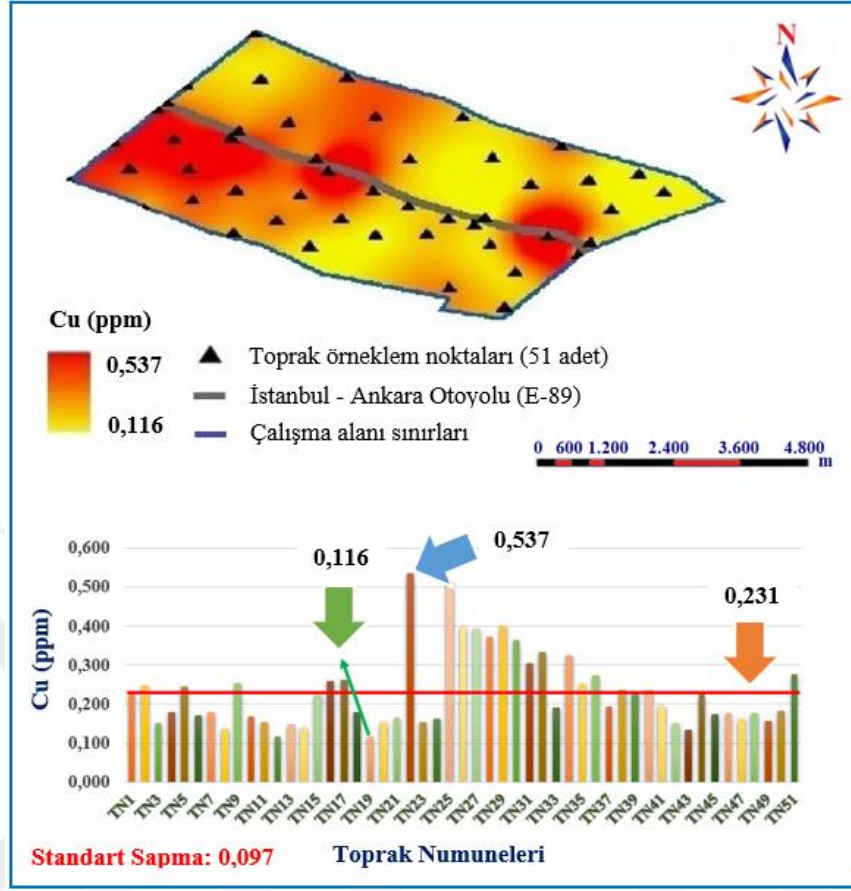
Nikel miktarının alansal dağılımı incelendiğinde en yüksek değerlerin çalışılan sahanın doğu, güney ve kuzey uçlarında, ortalama değerlerin ise sahanın merkezinde yer aldığı gözlenmektedir.

Çalışma sahasının Ni değerleri 1,051-0,291 ppm arasında değişkenlik göstermektedir. Alınan örneklerden en yüksek Ni değeri 25. Noktadan alınan toprak örneğinde 1,051 ppm olarak, en düşük Ni değeri ise 12. Noktadan alınan toprak örneğinde 0,291 ppm olarak ölçülmüştür. Örneklerin ortalaması 0,581 ppm; standart sapması ise 0,176 ppm' dir.

Nikel elementinin mekansal analiz sonuçlarına bakıldığında nikel konsantrasyonunun İstanbul-Ankara Otoyolu (E-89)'na yakın güzergahlarda yoğun olduğu görülmektedir. Nikel elementinin toprakta izin verilebilir sınır değerleri; Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Dünya Tarım Örgütü (FAO)'ne göre 50 ppm, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'ne göre ise 75 ppm'dir. Çalışma alanında tespit edilen en yüksek Ni değeri 1,051 ppm olarak ölçülmüştür. Bu kapsamda nikel değerinin belirtilen sınır değerlerinin altında kaldığı, insana ve doğaya ciddi bir tehlike teşkil etmediği tespit edilmiştir.

5.2.6. Bakır (Cu) değerlerinin mekânsal analizleri

Çeşitli gıdalarda, içme sularında ve havada bulunabilen bakır, yiyecek, içecek ve solunum yoluyla hayatımıza dahil olmaktadır. İnsan sağlığı açısından gerekli olan bir iz element olmakla beraber yüksek konsantrasyonda maruz kalındığında ciddi sağlık problemlerine neden olmaktadır [22]. Bakır, çeşitli alanlarda kullanılan bir materyal olmakla birlikte pek çok kirliliği doğurmaktadır. Bu elementin paketleme işleminde kullanılması ürünleri kirletmekte ve çevreye ciddi zararlar vermektedir [56]. Çalışılan sahaya ait Bakır (Cu) değerlerinin mekânsal dağılımı Şekil 5.10' da verilmiştir.

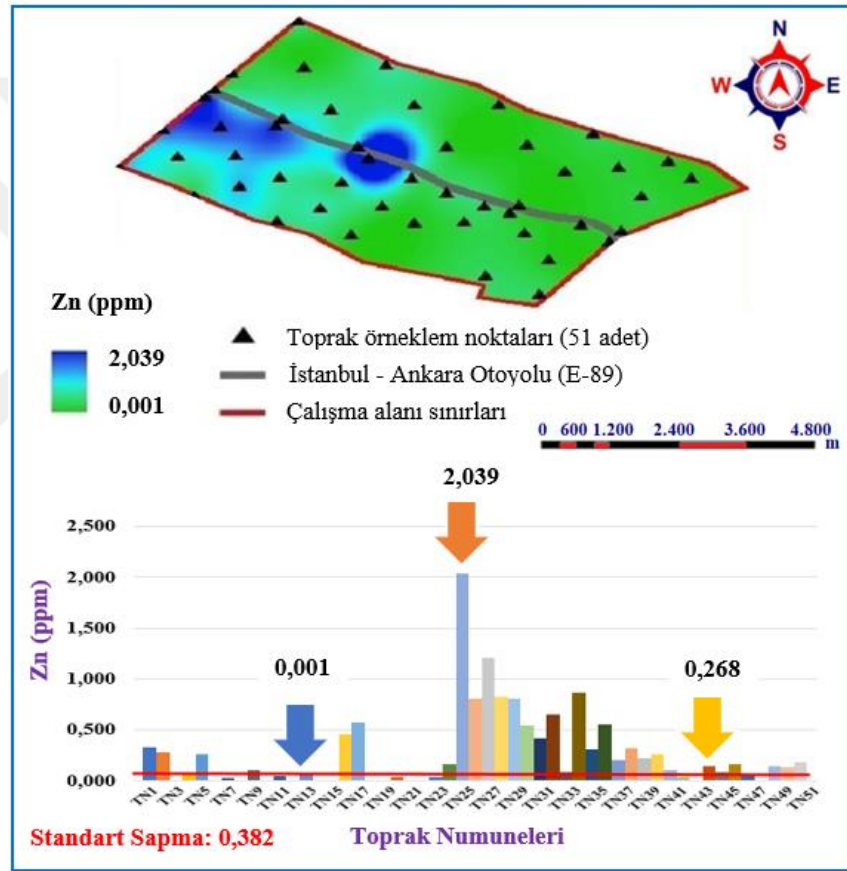


Şekil 5.10. Bakır (Cu) değerlerinin mekânsal dağılımları

Bakır miktarının alansal dağılımına bakıldığında maksimum değerlerin çalışılan sahanın doğu ile batı uçlarında ve merkez noktasında yer aldığı gözlenmektedir. Çalışma sahasının Cu değerleri incelendiğinde 0,537-00,116 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Alınan örneklerden en yüksek Cu değeri 22. Noktadan alınan toprak örneğinde 0,537 ppm olarak, en düşük Cu değeri ise 19. Noktadan alınan toprak örneğinde 0,116 ppm olarak ölçülmüştür. Örneklerin ortalaması 0,231 ppm; standart sapması ise 0,097 ppm' dir. İnsanoğlunun yaradılışında var olan bakır elementi, aşırı miktarda mevcut olması halinde toksik açıdan da etkileyebilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü limit değerleriyle kıyaslandığında toprak numunelerindeki Cu miktarının izin verilebilir düzeyin de altında olduğu ortaya koyulmuştur.

5.2.7. Çinko (Zn) değerlerinin mekânsal analizleri

Bitki metabolizması açısından oldukça önemli bir element olan çinko, genellikle bitki köklerinde bulunmaktadır. Bazı bitkilerin çinkoya karşı yoğun bir toleransı vardır ve bu nedenle bitkiler topraktaki çinko değişimine çok çabuk tepki verebilmektedirler. Yapraklarda oluşan klorosis (yetersiz klorofil üretimi) çinko eksikliğinin ilk habercisidir. Çinko zehirlenmelerinin etkisi diğer ağır metallere göre çok belirgin değildir [56]. Çalışılan sahaya ait Çinko (Zn) değerlerinin mekânsal dağılımı Şekil 5.11’ de verilmiştir.



Şekil 5.11. Çinko (Zn) değerlerinin mekânsal dağılımları

Hem bitki hem de insan sağlığı açısından oldukça büyük bir öneme sahip çinko toprak içeriğinde bulunması gerekli bir elementtir. Aşırı miktarda kömür yakılması, madencilik faaliyetlerinin yoğun oluşu çinko miktarının toprakta normal seviyesinin de üstünde gözlenmesine neden olmaktadır [56].

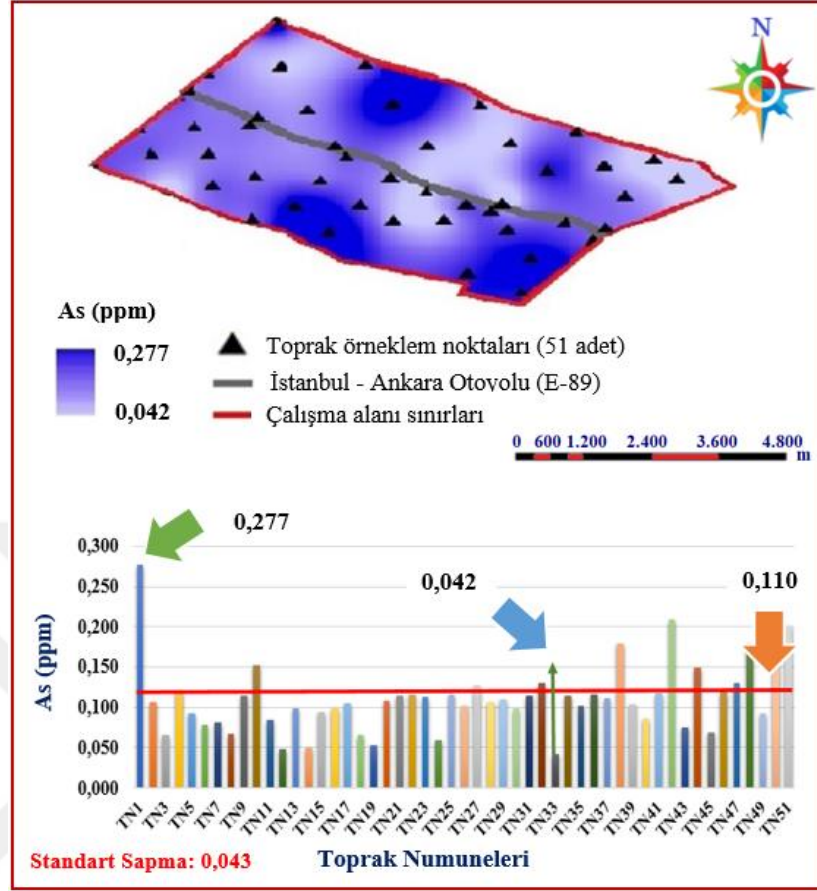
Çinko miktarının alansal dağılımına bakıldığında yoğunluğun sahanın batısında özellikle merkezinde yer aldığı görülmektedir.

Çalışma sahasının Çinko değerleri incelendiğinde 2,039-0,01 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Alınan örneklerden en yüksek Zn değeri 26. Noktadan alınan toprak örneğinde 2,039 ppm olarak, en düşük Zn değerlerinin ise İstanbul-Ankara (E-89) Otoyolu'na yakın bölgelerden alınan toprak örneğinde 0,001 ppm olarak ölçülmüştür. Örneklerin ortalaması 0,268 ppm; standart sapması ise 0,382 ppm' dir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) sınır değerlerine göre topraktaki Zn konsantrasyonunun 300 ppm'in altında bulunması gerekmektedir. Alınan toprak numunelerin Zn seviyeleri belirtilen limitin de altında kalmakta ve toprak açısından herhangi bir tehdit oluşturmamaktadır.

5.2.8. Arsenik (As) değerlerinin mekânsal analizleri

Doğada su ve toprakta doğal olarak buluna arsenik, tüfek saçmalarına yuvarlak biçim vermek amacıyla tunç kaplamacılığında, fişekçilikte ve bazı alaşımların yüksek sıcaklıklara direncini artırmada kullanılmakta olup içme ve sulama suyunda sürekli olarak bulunması halinde birikimi sonucu toksik etkiye neden olmaktadır [81]. Araştırma sahaya ait Arsenik (As) değerlerinin mekânsal dağılımı Şekil 5.12' de verilmiştir.



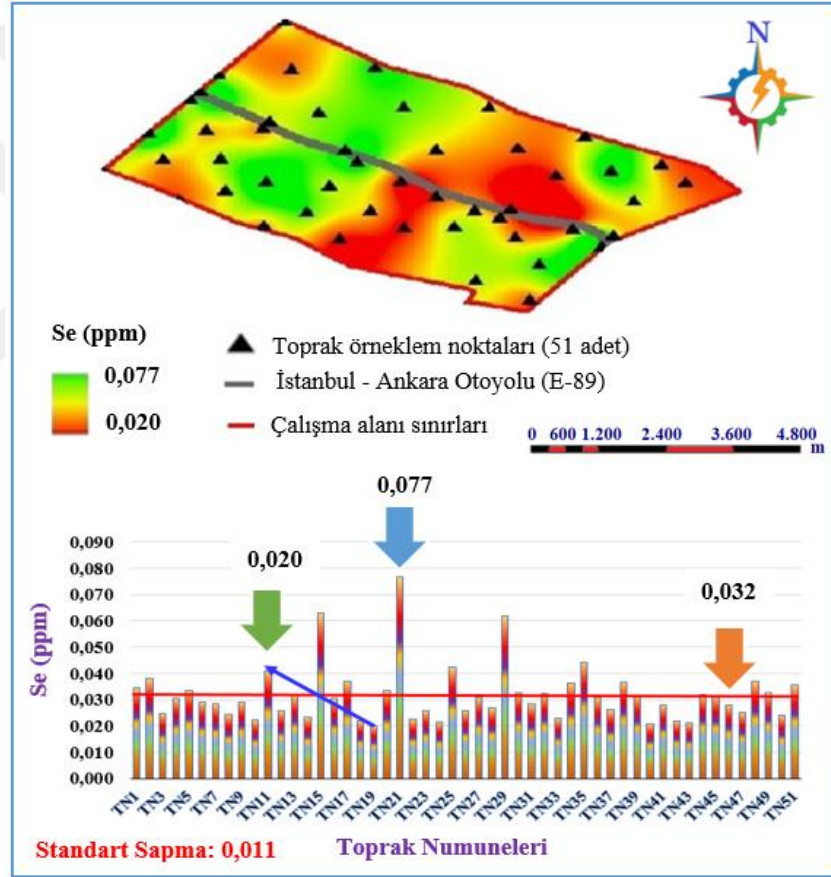
Şekil 5.12. Arsenik (As) değerlerinin mekânsal dağılımları

Arsenik miktarının alansal dağılımına bakıldığında yoğunluğun sahanın güneyinde daha da arttığı görülmektedir.

Çalışma sahasının Arsenik değerleri incelendiğinde 0,277-0,042 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Alınan örneklerden en yüksek As değerinin 1. Noktadan alınan toprak örneğinde 0,277 ppm olarak, en düşük As değerlerinin ise 33. noktadan alınan toprak örneğinde 0,042 ppm olarak ölçülmüştür. Örneklerin ortalaması 0,110 ppm; standart sapması ise 0,043 ppm' dir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Dünya Tarım Örgütü (FAO) ve Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği topraklardaki ağır metal sınır değerlerine göre arsenik konsantrasyonu 20 ppm'i geçmemelidir. Bu bağlamda çalışma sahasının As değerlerinin izin verilen sınır değerlerinin çok altında olduğu tespit edilmiştir.

5.2.9. Selenyum (Se) değerlerinin mekânsal analizleri

Toprakta bulunan bir iz element olup sağlığın korunumu açısından az miktarda bulunması gerekmektedir. Birçok vücut işlevi için gereklidir ve neredeyse tüm hücrelerin yapısında, özellikle böbreklerde, karaciğerde, dalakta, testislerde ve pankreasta mevcuttur. Bağışıklık sistemine yararlıdır. Virüs ve kansere karşı hücreleri güçlendirir. Eksikliği durumunda bağışıklık sisteminin zayıflamasına, damar sertliğine ve kansere neden olur. Laboratuvar ve kimya sanayinde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [22]. Çalışılan sahaya ait Selenyum (Se) değerlerinin mekânsal dağılımı Şekil 5.13’ te verilmiştir.



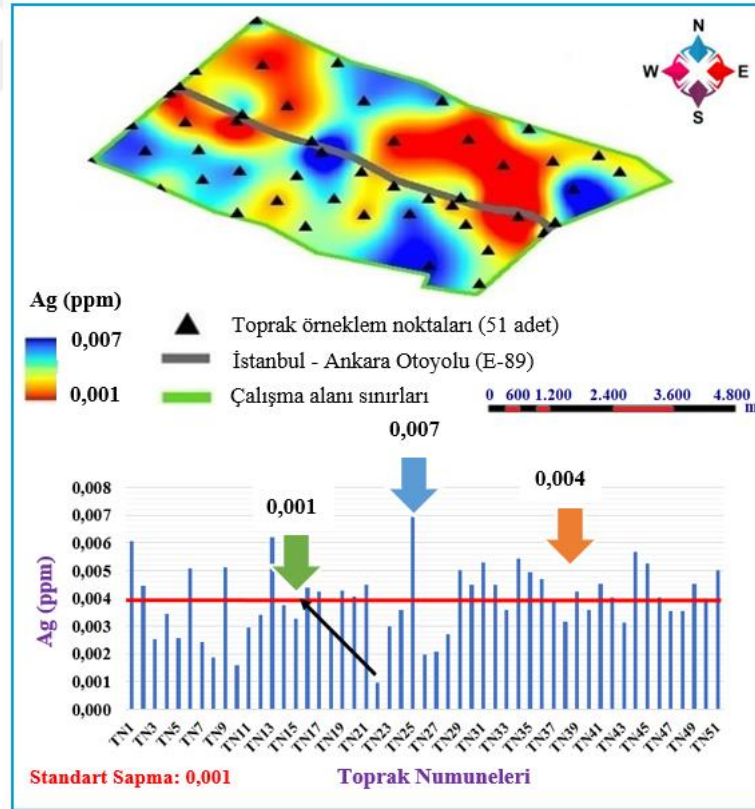
Şekil 5.13. Selenyum (Se) değerlerinin mekânsal dağılımları

Selenyum miktarının alansal dağılımı göz önüne alındığında sahanın batısında konsantrasyonun yüksek, doğusunda ise daha düşük olduğu görülmektedir. Çalışma sahasının Selenyum değerleri incelendiğinde 0,077-0,020 ppm arasında değiştiği görülmektedir.

Alınan örneklerden en yüksek Se değerinin 21. Noktadan alınan toprak örneğinde 0,077 ppm olarak, en düşük Se değerlerinin ise 19. noktadan alınan toprak örneğinde 0,020 ppm olarak ölçülmüştür. Örneklerin ortalaması 0,032 ppm; standart sapması ise 0,011 ppm'dir. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği sınır değerlerine bakıldığında Selenyum için sınır 5 ppm olarak belirlenmiştir. Çalışmada analizleri yapılan toprak numunelerinin bu sınırı geçmediği ve herhangi bir sorun teşkil etmediği ortaya koyulmuştur.

5.2.10. Gümüş (Ag) değerlerinin mekânsal analizleri

Gümüş hem dövülebilir hem de ışığı çok iyi yansıtan bir metal olmakla birlikte genellikle fotoğraf endüstrisinde, elektronik parçalarda, bozuk para üretiminde, süs eşyası, yapay yağmur olarak bilinen yağmur bombası (gümüş iyodür), ayna sırası, pil yapımında, bilgisayar röle kontaklarında ve dişçilik endüstrisinde kullanılmaktadır [81]. Çalışılan sahaya ait Gümüş (Ag) değerlerinin mekânsal dağılımı Şekil 5.14' de verilmiştir.



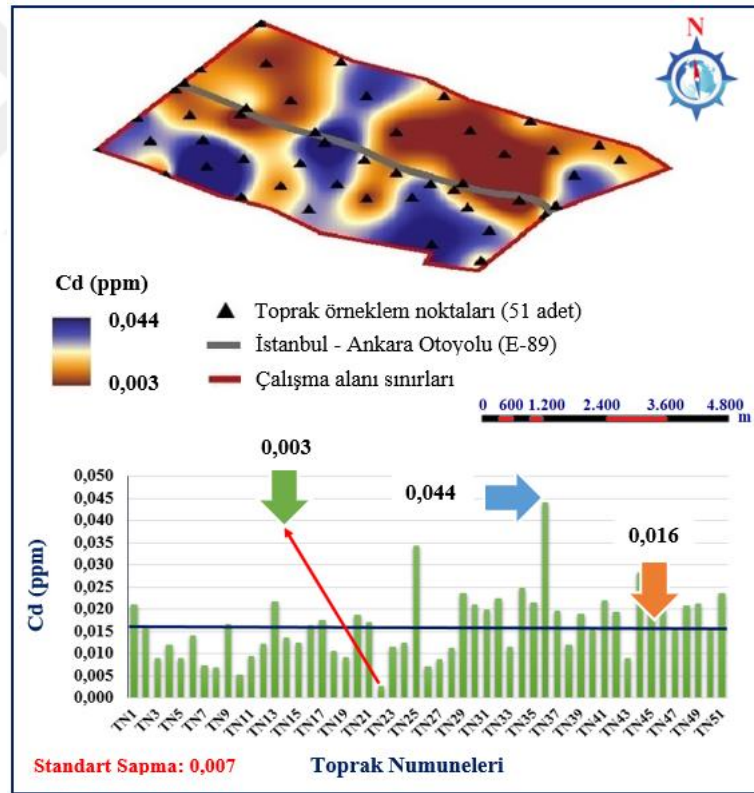
Şekil 5.14. Gümüş (Ag) değerlerinin mekânsal dağılımları

Gümüş miktarının alansal dağılımı göz önüne alındığında yer yer konsantrasyonun değiştiği, sahanın merkezinde en yüksek konsantrasyonun görüldüğü ortaya koyulmuştur.

Çalışma sahasının Gümüş değerleri incelendiğinde 0,007-0,001 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Alınan örneklerden en yüksek Ag değerinin 25. Noktadan alınan toprak örneğinde 0,007 ppm olarak, en düşük Ag değerlerinin ise 22. noktadan alınan toprak örneğinde 0,001 ppm olarak ölçülmüştür. Örneklerin ortalaması 0,004 ppm; standart sapması ise 0,001 ppm' dir.

5.2.11. Kadmiyum (Cd) değerlerinin mekânsal analizleri

Ağır metallerden biri olan ve günümüzde çeşitli kullanım alanlarıyla birlikte çevre kirliliğindeki önemli rol oynayan kadmiyum, oldukça toksik bir metaldir. Doğada saf olarak bulunmayıp bitki yaşamında daha çok toksik etkileri ile anılan bir elementtir [56]. Çalışılan sahaya ait kadmiyum (Cd) değerlerinin mekânsal dağılımı Şekil 5.15'te verilmiştir.



Şekil 5.15. Kadmiyum (Cd) değerlerinin mekânsal dağılımları

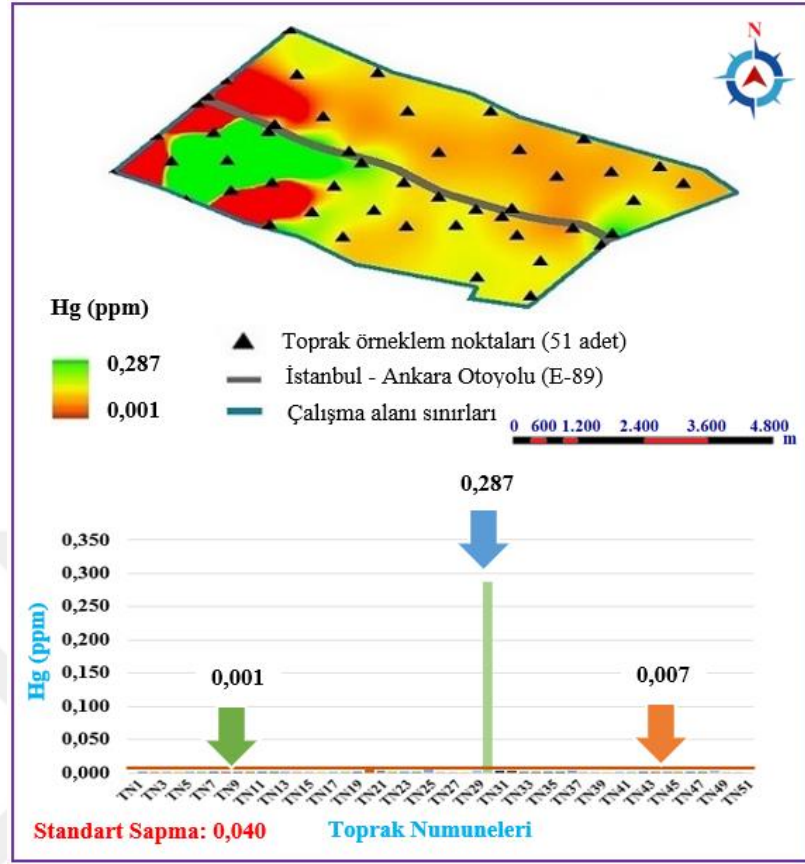
Kadmiyum miktarının alansal dağılımı göz önüne alındığında sahanın güneybatısında en yüksek, kuzeydoğusunda ise en düşük seviyede olduğu gözlenmiştir. Çalışma sahasının Kadmiyum değerleri incelendiğinde 0,044-0,003 ppm arasında değiştiği görülmektedir.

Alınan örneklerden en yüksek Cd değerinin 36. Noktadan alınan toprak örneğinde 0,044 ppm olarak, en düşük Cd değeri ise 22. noktadan alınan toprak örneğinde 0,003 ppm olarak ölçülmüştür. Örneklerin ortalaması 0,016 ppm; standart sapması ise 0,007 ppm'dir. Cd değerlerinin yüksek olduğu noktalara bakıldığında çoğunluğun tarım yapılan topraklarda olduğu görülmüştür.

Toprakta Cd değerinin Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Dünya Tarım Örgütü (FAO) ve Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'ne göre sınır değeri 3 ppm olarak belirlenmiştir. Çalışmadaki Cd değerlerinin bu sınır değerinin altında olup canlı ve toprak sağlığı açısından herhangi bir sorun teşkil etmemektedir.

5.2.12. Cıva (Hg) değerlerinin mekansal analizleri

Buharlı lambaların ve reklâm aydınlatmalarının, cıvalı şalterlerin, dişçilikte bazı karışımların, haşere öldürücü ilaçların ve pillerin yapımında kullanılır. Doğada bozulmadan kalabildiğinden çevre sağlığı açısından oldukça tehlikelidir. İçme suyu veya gıda zinciri yoluyla bulaşan cıva, bazı nörolojik bozukluklara, merkezi sinir sisteminin tahribine, kansere, böbrek, karaciğer, beyin gibi hayati organların tahribine neden olmaktadır [22]. Çalışılan sahaya ait cıva (Hg) değerlerinin mekânsal dağılımı Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16. Cıva (Hg) değerlerinin mekânsal dağılımları

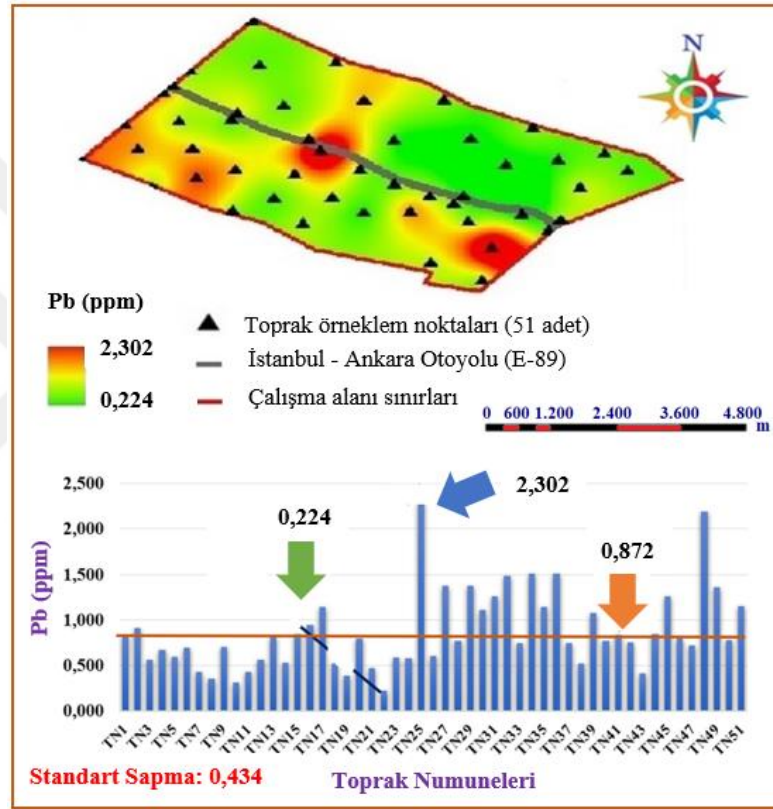
Cıva miktarının alansal dağılımı göz önüne alındığında sahanın batı kısmında en yüksek, doğu kısmında ise ortalama seviyelerde olduğu gözlenmiştir.

Çalışma sahasının Cıva değerleri incelendiğinde 0,287-0,001 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Alınan örneklerden en yüksek Hg değerinin 30. Noktadan alınan toprak örneğinde 0,287 ppm olarak ölçülmüştür. Örneklerin ortalaması 0,007 ppm; standart sapması ise 0,040 ppm' dir.

Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'ne göre toprakta ağır metal konsantrasyonu kapsamında cıvanın izin verilebilir sınır değeri 1,50 ppm'dir. Çalışılan sahada analizi gerçekleştirilen Hg konsantrasyonu maksimum 0,287 ppm olarak ölçülmüş olup belirtilen sınır değerinin altında kaldığı gözlenmiştir.

5.2.13. Kurşun (Pb) değerlerinin mekânsal analizleri

Kurşun doğada hem organik ve hem de inorganik halde bulunabilmektedir. İnorganik kurşun atmosferde tanecikler halinde bulunurken, organik kurşun uçucu olup çoğunlukla gıda maddeleri ve içme suyuna bulaşmaktadır. Bu nedenle organik kurşun inorganik kurşuna nazaran canlı yaşamı üzerinde daha fazla öneme sahiptir [56]. Çalışılan sahaya ait Kurşun (Pb) değerlerinin mekânsal dağılımı Şekil 5.17’ de verilmiştir.



Şekil 5.17. Kurşun (Pb) değerlerinin mekânsal dağılımları

Kurşun miktarının alansal dağılımı göz önüne alındığında sahanın merkezinde en yüksek, kuzeybatısında ise en düşük seviyede olduğu gözlenmiştir. Çalışma sahasının Kurşun değerleri incelendiğinde 2,302-0,224 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Alınan örneklerden en yüksek Pb değerinin 25. Noktadan alınan toprak örneğinde 2,302 ppm olarak, en düşük Pb değeri ise 22. noktadan alınan toprak örneğinde 0,224 ppm olarak ölçülmüştür. Örneklerin ortalaması 0,872 ppm; standart sapması ise 0,434 ppm’ dir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Dünya Tarım Örgütü'ne göre Pb sınır değeri 100 ppm, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği incelendiğinde ise sınır değerinin 300 ppm olduğu görülmüş olup bu değerler baz alındığında toprak örneklerinin bu değerlerin çok çok altında olduğu sonucuna varılmıştır.



6. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Ekosistemde canlıların temel besin kaynaklarının oluşumunda büyük etkisi olan toprak, insanoğlunun yaşamını idame ettirebilmesi maksadıyla kullanım sonucu günden güne daha da kirli bir hale gelmektedir. Çevre kirliliğinin başında gelen toprak kirliliğinin ciddiyeti kavranmalı ve buna karşın gerekli önlemler alınmalıdır. Toprak kirliliğine neden olan etmenlerin başında tarımsal amaçlı kullanılan pestisitler, trafik kaynaklı havaya salınan emisyonlar, endüstriyel faaliyetler, maden işletmeciliği gelmektedir. Ağır metaller kendi kendine bertaraf edilememektedir. Bu bakımdan gerçekleştirilen faaliyetler büyük bir titizlikle yürütülmelidir.

Endüstriyel faaliyetler ve ürünlerde ağır metallerin yoğun bir şekilde kullanımı sonucu insan sağlığı kritik bir hale gelmiştir. Motorlu taşıtların egzozlarından havaya salınan tonlarca ağır metal bileşikleri içme sularına, tarım arazilerine, tüketilen bitkisel ve hayvansal gıdalara bulaşmakta ve oradan da insan vücuduna taşınmaktadır. Ağır metallerin insan vücudunda çok fazla yararlı bir fonksiyonu yoktur ve genellikle toksik etkiye neden olmaktadır. Ağır metaller solunum, beslenme ve deri yoluyla insan vücuduna girerek dokularda birikmeye başlamaktadır. Söz konusu ağır metaller eğer vücuttan uzaklaştırılmazsa, zamanla toksik değerlere ulaşarak insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Günümüzde endüstriyel faaliyetler ve motorlu taşıtların egzozlarından çıkan gazlar neticesinde ağır metaller toprak, su ve havada ciddi miktarlara ulaşmıştır [27].

Marmara ve İç Anadolu Bölgelerini birbirine bağlayan İstanbul ile Ankara Otoyolunun (E-89) her iki cephesinden olacak şekilde eşit aralıklarla alınan toprak numunelerinde Al (Alüminyum), Cr (Krom), Co (Kobalt), Ni (Nikel), Cu (Bakır), Zn (Çinko), As (Arsenik), Se (Selenyum), Ag (Gümüş), Cd (Kadmiyum), Hg (Cıva), Pb (Kurşun) konsantrasyonları belirlenmiş ve pH analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında zirai faaliyetlerin ve trafiğin oldukça yoğun olduğu bir bölge seçilmiştir. Bahse konu alanda zirai faaliyetler ve trafik kaynaklı motorlu taşıtların egzozlarından çıkan emisyonların, partiküler maddelerin civarda bulunan tarım arazilerine olan ağır metal kirliliğinin belirlenmesi hedeflenmiştir

Çalışılan sahada yaşam alanları ve tarım arazileri bulunmakta olup yoğun bir trafik kirliliğine maruz kalmaktadır. Çalışmanın gerçekleştirildiği 2018 yılı içerisinde günlük ortalama geçen toplam motorlu taşıt sayısı 8281 iken, bu taşıtların % 66,85'ini otomobil, % 4,11'ini orta yüklü ticari taşıt, % 0,43'ünü otobüs, % 7,71'ini kamyon, % 20,87'sini kamyon, römork, çekici oluşturmuştur [78].

Çalışma sahası içerisine dahil olan topraklarda 6,20-8,20 pH değeriyle karşılaşılmış olup "hafif asidik ve orta alkali" bir parametreye sahip olduğu tespit edilmiştir. Topraklarda pH değer aralığı 6,5-7,0 olarak uygun görülmektedir. Alkalin topraklar fosfor elverişliliğini olumsuz yönde etkilemekte ve topraklarda bazı besin elementlerinin elverişli durumdan elverişsiz duruma geçmelerine sebep olmaktadır. Toprakların "hafif alkalin" konumundan "alkalin" konumuna geçmemesi adına topraktaki mikroorganizma faaliyetleri artırılmalıdır [4].

Çalışma sahasında numune toplama faaliyetleri süresince yüksek azot ihtiva eden gübre çuvallarına rastlanmış olup, toprağın asit yüzdesini artırdığı değerlendirilmektedir. Azot içeren gübreler amonyak esaslı olup toprağın pH değerini düşürmektedir. Elde edilen pH değerleri incelendiğinde, çalışılan sahanın pH karakteristiğine tarım arazilerinde kullanılan yüksek azot içerikli gübrelerin etki ettiği düşünülmektedir.

Toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonları ortalama değerleri; Al: 724,081; Cr: 0,700; Co: 0,180; Ni: 0,581; Cu: 0,231; Zn: 0,268; As: 0,110; Se: 0,032; Ag: 0,004; Cd: 0,016; Hg: 0,007; Pb: 0,872 ppm olarak ölçülmüştür.

Alınan örneklerden Al değeri en yüksek 5. Noktadan alınan toprak örneğinde 1263,500 ppm, en düşük 33. Noktadan alınan toprak örneğinde 338,551 ppm olarak ölçülmüştür. Türk ve Osma (2020), Ankara'da yapılan bir çalışmada toprakta ve *Pinus nigra Arnold* bitkisindeki ağır metal konsantrasyonlarını araştırmışlardır [12].

Bu kapsamda toprakta Al konsantrasyonunu en yüksek 12981,21, en düşük 196,46 ppm olarak tespit etmişlerdir [12]. Elde edilen veriler birbirleriyle kıyaslandığında oldukça yakın değerler olduğu görülmektedir.

Alüminyum 5,5-6,0 pH aralığında minimum çözünürlüğe sahip olmakla birlikte, toprağın pH konsantrasyonu ile alüminyum konsantrasyonu doğru orantılı olarak beraber artmaktadır [89]. Bu kapsamda 6,20'lik pH değerinin, alüminyum konsantrasyonunu da yükselttiği görülmektedir.

Ayrıca söz konusu çalışma sahasının 1 km kadar güneyinde bazalt tesisi bulunmaktadır. Alüminyum konsantrasyonunun yüksek oluşunun bölgeye yakın faaliyet yürüten bazalt tesisindeki proste asit maden/kaya drenajı gibi faktörlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Öte yandan kil oranı yüksek ve organik maddece zengin topraklar yüksek miktarda asit içerir. Asidik topraklar demir, alüminyum ve manganın çözünürlüklerini artırmaktadır [90]. Çalışma alanı hafif asidik toprak yapısına sahip olduğu için alüminyum değerleri fazla olmayacak şekilde yüksek çıkmıştır.

Alınan örneklerden Cr değeri en yüksek 25. Noktadan alınan toprak örneğinde 1,415 ppm, en düşük 33. Noktadan alınan toprak örneğinde 0,315 ppm olarak ölçülmüştür. Kromun değerinin yüksek oluşunun bölgenin güneyinde yer alan, volkanik bir kayaç türü olan, bazalt tesisinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Krom minör bileşen olarak magmatik kayalarda, özellikle bazik ve ultrabazik kayalarda bulunmaktadır [102]. Adiloğlu (2013), Tekirdağ ili otoban kenarlarında yer alan tarım alanlarında ağır metal konsantrasyonları üzerine gerçekleştirdiği çalışmada, krom konsantrasyonunu 0,390 mg/kg olarak bulmuştur [19].

Alınan örneklerden kobalt değeri en yüksek 48. noktadan alınan toprak örneğinde 0,574 ppm, en düşük 19. noktadan alınan toprak örneğinde 0,099 ppm olarak ölçülmüştür. Kobalt içeriğinin otoyol kaynaklı büyük tonajlı araçlardan meydana geldiği düşünülmektedir. Kobalt konsantrasyonunda büyük tonajlı araçların etkisi oldukça büyüktür [103]. Araştırma sonuçlarına göre kobalt içeriği otoyola yakın bölgelerde yüksek, otoyoldan uzaklaştıkça kobalt konsantrasyonunun azaldığı gözlemlenmiştir. Sarı (2009), Edirne ili yakınlarından geçen otoban kenarlarında ağır metallerin kirlilik düzeyini araştırmıştır [29].

Elde edilen sonuçlara göre otoyol kenarına yakın bölgelerde ve yerleşim alanlarında kobalt içeriğinin yüksek, otoyoldan uzaklaştıkça kobalt içeriğinin düşük seviyede olduğunu gözlemlemiş ve toprakların Co içeriklerini 0,011-0,583 mg/kg arasında bulmuştur [29]. Benzer bir diğer çalışma Yan ve ark. (2013), Çin’de gerçekleştirilen bir çalışmada, karayolu yakınındaki toprakların kobalt içerikleri üzerine trafiğin etkisini araştırmış ve sonuçta karayolundan uzaklaştıkça toprakların kobalt içeriklerinin azaldığını kaydedilmiştir [103].

Alınan örneklerden Ni değeri en yüksek 25. noktadan alınan toprak örneğinde 1,051 ppm, en düşük 12. noktadan alınan toprak örneğinde 0,291 ppm olarak ölçülmüştür. Bu kirliliğin otoyolu kullanan motorlu taşıtlardan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Nikel dizel yakıtlarda, benzinde, motor yağlarında ve fren balata tozlarında sıklıkla görülmektedir [8]. Bilge ve Çimrin (2013), Mardin’de yapılan bir çalışmada karayoluna yakın topraklarda trafik kaynaklı ağır metal kirliliğinin boyutlarını belirlenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu kapsamda nikel içeriklerini ortalama 42 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Karayolundan uzaklaştıkça toprakların Ni içeriklerinin birikiminin azaldığı; yaklaştıkça da toprakların Ni konsantrasyonlarının artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir [24]. Öte yandan topraklarda bulunan nikel, fosforlu gübreler ve volkanik kökenli kayalardan da meydana gelmektedir [104]. Kara ve ark. (2004), Niğde’de yapılan bir çalışmada, kimyasal gübre kullanılan topraklarda, bitkiler tarafından alınan nikel miktarı, gübre kullanılmayan topraklara göre daha yüksek miktarlarda belirlenmiştir [105].

Alınan örneklerden Cu değeri en yüksek 22. Noktadan alınan toprak örneğinde 0,537 ppm, en düşük 19. Noktadan alınan toprak örneğinde 0,116 ppm olarak ölçülmüştür. Bu kirliliğin tarım arazilerinde yumuşakçalara karşı kullanılan pestisitlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bakır sülfat, metaldehid, niklozamid ve metiyokarb gibi ilaçlar mollusisit olarak bilinen pestisitlerin yapımında kullanılmaktadır [96]. Ayrıca bakır rulman aşınmasında, motor parçalarında ve fren balata tozlarından toprağa karışmaktadır [8]. Sezgin ve ark. (2003), İstanbul’da gerçekleştirdikleri bir çalışmada E-5 otoyolu kenarlarında belirledikleri noktalardan topladıkları tozlarda bakır konsantrasyonunu 1358,5 mg/kg olarak bulmuşlardır [97].

Söz konusu bakır konsantrasyonunun otoyolu kullanan motorlu taşıtlardan ve az da olsa tarımsal faaliyetler kapsamında kullanılan pestisitlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Araştırma alanında çinko değeri en yüksek 26. noktadan alınan toprak örneğinde 2,039 ppm, en düşük İstanbul-Ankara (E-89) Otoyolu'na yakın bölgelerden alınan toprak örneğinde 0,001 ppm olarak tespit edilmiştir. Çinko ise tarımda önemli bir mikro besin gübresi olarak kullanılmaktadır [88]. Öte yandan pestisit olarak kullanılan rodentisitlerde çinko fosfür bulunmaktadır [96]. Öztemel ve ark. (2016), Şanlıurfa-Viranşehir karayolu kenarında trafik kaynaklı ağır metal birikiminin incelenmesi üzerine yürüttükleri bir çalışmada çinko konsantrasyonunu 0,31 mg/kg olarak bulmuşlardır [8]. Elde edilen sonucun zirai faaliyetlerin bir getirisi olduğu düşünülmektedir.

Çalışma alanındaki örneklerde arsenik değeri en yüksek 1. noktadan alınan toprak örneğinde 0,277 ppm, en düşük 33. noktadan alınan toprak örneğinde 0,042 ppm olarak tespit edilmiştir. Arsenik çeşitli pestisitlerin içeriğinde mevcut [5] ve tarım ilaçlarının yapımında kullanılmakta olup, A grubu bir kanserojen ağır metal sınıfına girmektedir [91]. Bölgede az da olsa arsenik varlığının, tarımsal faaliyetler neticesinde meydana geldiği düşünülmektedir.

Alınan örneklerden Se değeri en yüksek 21. noktadan alınan toprak örneğinde 0,077 ppm olarak, en düşük 19. noktadan alınan toprak örneğinde 0,020 ppm olarak ölçülmüştür. İnsan vücudu için oldukça gerekli bir element olan Selenyum, bitkiler için çok gerekli değildir [98]. Selenyum gübre yapımında da kullanılmaktadır [5]. Alınan toprak örneklerinde saptanan selenyum ağır metalinin bölgede tarımsal amaçlı kullanılan gübrelere kaynaklandığı söylenebilir.

Alınan örneklerden gümüş değeri en yüksek 25. Noktadan alınan toprak örneğinde 0,007 ppm, en düşük 22. noktadan alınan toprak örneğinde 0,001 ppm olarak ölçülmüştür. Çevre kirliliğine neden olan ve ekolojik dengeyi bozan endüstri kuruluşları, süreçleri gereği çeşitli ağır metalleri kullanmakta ve proses sonucunda çinko, kobalt, bakır, demir, kurşun, krom, arsenik ve özellikle gümüş gibi metal iyonlarını ortaya çıkarmaktadır [99]. Çalışılan sahada gümüş konsantrasyonunun sınır değerlerinin çok altında olduğu tespit edilmiş olup; sahada gümüş kaynaklı herhangi bir kirliliğin olmadığı düşünülmektedir.

Tespit edilen ağır metallerin bir diğeri olan kadmiyum en yüksek 36. noktadan alınan toprak örneğinde 0,044 ppm, en düşük 22. noktadan alınan toprak örneğinde 0,003 ppm olarak ölçülmüştür. Araştırma alanında var olan kadmiyum değerlerinin hem tarımsal faaliyetlerden hem de otoyolu kullanan motorlu taşıtlardan kaynaklı olduğu değerlendirilmektedir. Tarım topraklarında verimi artırmak için kullanılan gübrelere Cd içeriği 8 mg/kg'dan fazladır [94]. Kadmiyum, motorlu taşıtların yağlarının yanmasından kaynaklı olarak toz zerreciklerinin çökmesiyle bitki ve topraklara geçiş yapmaktadır. Bilinçsiz gübre ve tarım ilacı kullanımı, atık suların ve arıtma çamurlarının tarım arazilerinde kullanımı, toprak ve su kaynaklarında kadmiyum birikimine neden olmaktadır. Özellikle topraklara uygulanan fosforlu gübreler ile topraklarda biriken kadmiyum miktarının artış gösterdiği yapılan çalışmalar ile desteklenmiştir [105, 106]. Farklı tekstüre sahip toprak örneklerinde organik maddenin kadmiyum adsorpsiyon ve desorpsiyonuna olan etkisinin incelendiği bir çalışmada, ahır gübresinin kullanıldığı topraklarda kadmiyum konsantrasyonunun da artış gösterdiği saptanmıştır [93]. Artış göstermesinin diğeri bir nedeni de sanayi alanlarından hava yoluyla gelen bulaşmadır. Ancak araştırma yapılan bölgede sanayi kuruluşunun olmayışı bu konsantrasyon fazlalığının zirai faaliyetlerden oluştuğu tezini daha da güçlü hale getirmektedir. Çalışılan sahada numune alınan tarım topraklarında buğday üretimi yapılmaktadır. Doğan ve Certel (1999), Antalya'da yapmış oldukları bir çalışmada, Antalya-Burdur karayolu çevresinde yetiştirilen buğday örneklerinde kadmiyum konsantrasyonunu 0,05-0,95 mg/kg olarak bulmuştur [100].

Alınan örneklerden Hg değeri en yüksek 30. Noktadan alınan toprak örneğinde 0,287 ppm olarak ölçülmüştür. Sahada bulunan cıva konsantrasyonunun tarım zararlılarına karşı kullanılan pestisitlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Cıva bazı pestisitlerin yapımında kullanılmakta [5] ve cıva içeren pestisit/fungisit kalıntıları toprağa geçerek bitki bünyesine dahil olmaktadır [101].

Analizi gerçekleştirilen ağır metaller arasında kurşun, çalışma sahasında en yüksek 25. noktadan alınan toprak örneğinde 2,302 ppm, en düşük 22. noktadan alınan toprak örneğinde 0,224 ppm olarak ölçülmüştür. Söz konusu kirliliğin trafik kaynaklı motorlu taşıtların egzozlarından çıkan emisyonlarla çevreye yayıldığı değerlendirilmektedir.

Kurşun motorlu taşıtlarda kullanılan yakıt maddesinde tetra-etil eklenerek oktan sayısının artırmak için kullanılmaktadır [88]. Gerçekleştirilen çalışmada otoyola yakın bölgelerde kurşun miktarının arttığı, uzak bölgelerde ise kurşun miktarının azaldığını gözlemlenmiştir. Doğan ve Certel (1999), Antalya-Burdur Karayolu üzerinde yapmış olduğu bir çalışmada yol kenarında yer alan buğday örneklerinde kurşun konsantrasyonunu ortalama 1,0242 mg/kg olarak bulmuştur [100].

Bazı kimyasal gübreler cıva, kadmiyum, krom, arsenik, kurşun, bakır, nikel ve çinko gibi elementler içermekte ve bu elementler toprakta ve bitkilerde birikerek kirliliğe neden olmaktadır [95].

Araştırmanın yürütüldüğü alandan alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri incelendiğinde, Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği ve kriterlerine göre toprakta izin verilebilir sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

Çalışma neticesinde kurşun ağır metalinin benzin, kadmiyum ağır metalinin motor yağında, bakır ve nikel ağır metallerinin ise trafik kaynaklı bir kirlilik meydana getirdiği görülmüştür. Öte yandan, arsenik ve kadmiyum ağır metallerinin ise böcek ve tarım ilaçları kullanımı sonucu pestisit kaynaklı bir kirliliğin söz konusu olduğu ortaya koyulmuştur.

Bu çalışmada söz konusu sahanın bazı toprak özellikleri mekansal olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma alanına ilişkin büyük toprak grupları, arazi eğimi, toprak derinlikleri dağılımları ve arazi kullanım kabiliyeti sınıflandırılarak ortaya konulmuştur. Tarım arazilerinin trafiği yoğun olan otoyollara yakın bulunması zirai faaliyetleri olumsuz etkilediği yapılan saha çalışmalarında da müşahede edilmiştir.

Yürütülen tez çalışması kapsamında, toprak numuneleri 15-30 cm arası derinlikten toplanmış, yüzey toprağı alınmamıştır. Bu bağlamda, müteakip araştırmalarda, bu husus göz önünde bulundurulmalı, otoyolun çevredeki tarım arazilerine olan olumsuz etkisinin daha etkin bir şekilde değerlendirilebilmesi için yüzey toprağından da toprak numunelerinin alınmasının daha etkin sonuçlara ulaştıracağı öngörülmektedir.

Bu çalışmanın elde edilen veriler ışığından yola çıkılarak toprak kalitesinin korunması, zirai faaliyetlerin sağlıklı bir şekilde devamlılığının sağlanabilmesi hususlarına buyk katkı sağlayacağı ve sonrasında yapılacak diğer bilimsel çalışmalara ışık tutacağı düşnlmektedir.



KAYNAKLAR

1. Cansız, G., “Karadeniz Yöresinde Farklı Tarımsal Atık Uygulamalarının Toprağın Bazı Fizikokimyasal Özellikleri ve Patates Verimine Etkisi”, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Samsun, 2019.
2. Başcı, N., “Cr (V1) İyonunun Süs Bitkileri Kullanılarak Toprakta Gideriminin Araştırılması”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Adana, 2009.
3. Yalçın, S., “İncesu İle Kayseri Arası Bölge Topraklarındaki Ağır Metallerin Kökeninin ve Alansal Dağılımının Belirlenmesi”, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Mersin, 2019.
4. Daşdemir, A., “İstanbul Avrupa Yakası Otoban Kenarlarındaki Tarım Arazilerinde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması”, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Tekirdağ, 2015.
5. Çelebi, H., Gök, G., “Topraklarda Otoyol ve Trafik Kaynaklı Ağır Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 24(6), 1169-1178, 2018.
6. Şişman, İ., “Sapanca Bölgesinde TEM Otoyolundan Kaynaklanan Ağır Metal Kirliliği”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya, 2019.
7. Çelenk, F., “Erenler İlçesi D 100 Karayolu Boyunca Uzanan Topraklarda Ağır Metal (Pb ve Cd) Kirliliğinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) İle Gösterilmesi”, *Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya, 2015.
8. Öztemel, Z., Tüfenkçi, Ş., Çakmakçı, T., “Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi: Şanlıurfa-Viranşehir Karayolu Örneği”, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tar. Bil. Dergisi*, 26(2), 282-287, 2016.
9. İlkılıç, C., Behçet, R., “Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığı Ve Çevre Üzerindeki Etkisi”, *Fırat Üniversitesi Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, 5 (1), 66-72, 2006.

10. Yalçın, S., “İncesu İle Kayseri Arası Bölge Topraklarındaki Ağır Metallerin Kökeninin ve Alansal Dağılımının Belirlenmesi”, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Mersin, 2019.
11. Bağdatlı, M., C., İstanbulluoğlu, A., Bayar, A., N., “Toprak ve Su Kaynakları Potansiyelinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yardımıyla Belirlenmesi: Tekirdağ-Çerkezköy İlçesi Uygulaması”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 017101, 17-25, 2014.
12. Türk, H. C., Osma, E., “Ankara’nın Farklı Bölgelerinden Toplanan (Pinus nigra Arnold)’da Ağır Metal Birikiminin Araştırılması”, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13 (2), 557-567, 2020.
13. Gökbayrak, E., “Sinop İli Toprak Örneklerinde Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi”, *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Rize, 2018.
14. İşler, M., Sungur, A., Soylak, M., “Özbek Ovası (Çanakkale) Tarım Topraklarında Ağır Metal Mobilitesinin Bir Ardışık Ekstraksiyon Yöntemiyle Değerlendirilmesi”, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2018:4, 43-55, 2018.
15. Akyıldız, M., Karataş, B., “Adana Şehir Merkezindeki Topraklarda Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 199-214, 2018.
16. Ardıç, M., Olgun, M., Sezer, O., Başçiftçi, Z., B., Ayter, N., G., Çiçek, A., Koyuncu, O., “The Effects of Some Heavy Metal Pollutants on Faculty of Agriculture of ESOGU Planting Wheat Fields in Eskişehir-Turkey”, *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 10 (1), 21-25, 2017.
17. Özkan, A., “Antakya-Cilvegözü Karayolu Etrafındaki Tarım Arazilerinde ve Bitkilerdeki Ağır Metal Kirliliği ”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 9-18, 2017.

18. Dökmeci, A. H., Çelik, S. Ö., Kaykıoğlu, G., Öngen, A., “Tekirdağ’da Çorlu İlinde Endüstriyel Alanlardaki Toprakta Ağır Metal Kirliliğinin Çevresel Ve İnsan Sağlığı Açısından Etkileri ”, *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 19(2), 256-263, 2017.
19. Adiloğlu, S., Sağlam, M. T., “Karayolu Kenarlarındaki Tarım Arazilerindeki Topraklarda Ekstrakte Edilebilir Kobalt (Co) İçerikleri”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 035403, 24-29, 2015.
20. Turan, Ö., “İstanbul İli Anadolu Yakasında Seçilen Noktalarda Ağır Metal Kirliliğinin İncelenmesi”, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 2015.
21. Hanedar, A., “Meriç-Ergene Havzası’nda Toprak Örneklerinde Ağır Metal ve Toplam Organik Karbon Tespiti”, *NKU.BAP.00.17.AR.14.04 Nolu Proje*, 25, 2015.
22. Tatar, E., “E-80 Uluslararası Karayolunun Gürbulak Hudut Kapısı-Erzurum Bölümünde Toprakta Trafik Kaynaklı Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması”, *Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ağrı, 2014.
23. Dartan, G., Toröz, İ., “Güney Marmara Bölgesinde Tarım Topraklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması”, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 25(1), 24-40, 2013.
24. Bilge, U., Çimrin, K. M., “Viranşehir-Kızıltepe Karayolu Kenarındaki Topraklarda Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Ağır Metal Kirliliği”, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 19, 323-329, 2013.
25. Karaçağıl, D., “İstanbul’da Belirlenmiş Sahil Şeritlerinde Toprak Kalitesi ve Ağır Metal Kirliliği ”, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 2013.
26. Uytun, A., “Kocaeli Kentinde Seçilen Kırsal Bölgelerde Toprak Nemi ve Toprak Kirliliğinin Belirlenmesi”, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli, 2012.

27. Pak, O., “Kırklareli Sınırları İçerisindeki Otoban Kenarlarında Bulunan Tarım Arazilerinde Bazı Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması”, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Tekirdağ, 2011.
28. Haktanır, K., Ok, S., S., Karaca, A., Arcak, S., Çimen, F., Topçuoğlu, B., Türkmen, C., Yıldız, H., “Muğla-Yatağan Termik Santrali Emisyonlarının Etkisinde Kalan Tarım ve Orman Topraklarının Kirlilik Veri Tabanının Oluşturulması ve Emisyonların Vejetasyona Etkilerinin Araştırılması”, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 2 (1), 13-30, 2010.
29. Sarı, T., “Edirne ve Çevresinde Otoban Kenarlarındaki Topraklarda Bazı Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması”, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Tekirdağ, 2009.
30. Karaca, A., Türkmen, C., Arcak, S., Haktanır, K., Topçuoğlu, B., Yıldız, H., “Çayırhan Termik Santrali Emisyonlarının Yöre Topraklarının Bazı Ağır Metal ve Kükürt Kapsamlarına Etkilerinin Belirlenmesi”, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1 (1), 13-30, 2010.
31. Ok, G., “Sakarya Bölgesindeki Topraklardaki İnorganik Kirleticilerin Araştırılması”, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya, 2008.
32. Keleş, C. T., “Konya Şehir Merkezi Yol ve Parklarında Ağır Metal Kirliliği”, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Konya, 2007.
33. Dağdeviren, Ş., “Çorlu ve Civarındaki Topraklarda Ağır Metal Konsantrasyonunun Belirlenmesi ve Sonuçların Yapay Sınır Ağları ile Değerlendirilmesi”, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Edirne, 2007.
34. Tosyalı K., “Araç Egzozlarından Kaynaklanan Ağır Metal Tayini”, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 2006.
35. Yalçın, M., G., Battaloğlu, R., “Niğde-Kayseri Karayolu Kenarında Toprakta Ağır Metal Kirliliğinin İncelenmesi”, *XX. Ulusal Kimya Kongresi*, 99, Kayseri, 2006.

36. Apaydın A., “Sanayiden Kaynaklanan Toprak Kirliliğinin Araştırılması: Samsun-Tekkeköy Bölgesi”, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 2005.
37. Deveciler H., “Uludağ Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi Tarım Topraklarının Ağır Metal İçeriklerinin İncelenmesi”, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Bursa, 2005.
38. Özkul C., “İzmit Civarı (Kocaeli), Endüstrileşmenin Toprak Ağır Metal Derişimine Etkisi, Öncel Çalışma”, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli, 2003.
39. Karaca A., “Erzurum Topraklarında Motorlu Araç Emisyonlarından Kaynaklanan Ağır Metal Kirliliği”, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Erzurum, 1997.
40. Mentşe, S., Böbrek, O., “Madencilik Faaliyetlerinin Topraktaki Ağır Metaller (As, Cd, Co, Fe ve Ni) Üzerine Etkisi: Orhaneli ve Büyükorhan (Bursa) Örneği”, *Ege Coğrafya Dergisi*, 29 (1), 45-56, 2020.
41. Luo, C., Xu, Routh J., Dario M., Sarkar, S., Wei L., Luo D., Liu Y., “Distribution And Mobilization Of Heavy Metals At An Acid Mine Drainage Affected Region In South China, A Post-Remedkaniation Study”, *Science of the Total Environment*, 724, 1-18, 2020.
42. Adedeji, O., H., Olayinka, O., O., Ajayi, O., O., Adekoya, A., S., “Assessing spatial distribution, potential ecological and human health risks of soil heavy metals contamination around a Trailer Park in Nigeria”, *Scientific African*, 10, 1-14, 2020.
43. Jin, Y., O’Connor, D., Ok, Y., Tsang, D., Liu, A., Hou, D., “Assessment of Sources of Heavy Metals in Soil and Dust at Children's Playgrounds in Beijing Using GIS and Multivariate Statistical Analysis”, *Environmental International*, 124, 320-328, 2019.

44. Dardan E., “Yumurtalık-Karataş (Adana) Arasındaki Sahil Kumlarındaki Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Adana, 2019.
45. Kurt, S., Aktan, S., “Büyükçekmece Gölü Havzasında Toprak Kirliliğinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile İncelenmesi”, *International Journal of Geography and Geography Education*, 39, 300-310, 2006.
46. Özsoy D., “Nilüfer Çayı İle Sulanan Alanların Bazı Önemli Toprak Özellikleri ve Ağır Metal İçeriklerinin Konumsal Analizi ile Güncel Arazi Kullanım Türlerinin Belirlenmesi”, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Bursa, 2019.
47. Zengin, M., Yıldız, N., “Kentsel Mekânlarda Kullanılan “*Elaeagnus angustifolia L.*” nin Yaprak Örneklerinde Ağır Metal Birikimi: Erzurum Örneği”, *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 1 (1), 517-525, 2019.
48. Özkul, C., Acar, R. U., Köprübaşı, N., Er, A. E., Kızılkaya, H. İ., Metin, M., Şenel, M. N., “Altıntaş (Kütahya-Türkiye) Ovası Tarım Topraklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Öncel Çalışma”, *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 17 (1), 13-26, 2018.
49. Chaturvedi, A., Bhattacharjee S., Singh, A. K., Kumar, V., “A New Approach For Indexing Groundwater Heavy Metal Pollution”, *Ecological Indicators*, 87, 323-331, 2018.
50. Nath, B. K., Chaliha, C., Bhuyan, B., Kalita, E., Baruah, D. C., Bhagabati, A. K., “GIS Mapping-Based Impact Assessment of Groundwater Contamination by Arsenic and Other Heavy Metal Contaminants in the Brahmaputra River Valley: A Water Quality Assessment Study”, *Journal of Cleaner Production*, 201, 1001-1011, 2018.
51. Sarı, H., Yüksel, O., “Tekirdağ İli Çorlu İlçesi Düzensiz Çöp Depolama Alanı Civarındaki Tarım Alanlarında Kirlilik Boyutunun Belirlenmesi ve CBS İle Değerlendirilmesi”, NKUBAP.03.GA.17.097 nolu proje, 2018.

52. Yıldız, E. C., “Adana-Tarsus (Mersin) Güneyinde Kalan Bölgenin Topraklarındaki Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Adana, 2018.
53. Yazidi, A., Saidi, S., Mbarek, N. B., Darragi, F., “Contribution of GIS to evaluate Surface Water Pollution by Heavy Metals: Case of Ichkeul Lake (Northern Tunisia)”, *Journal of African Earth Sciences*, 134, 166-173, 2017.
54. Almur, B. A., Quicksall, A. N., “Spatial and Temporal Distribution of Heavy Metals in Coastal Core Sediments From the Red Sea, Saudi Arabia”, *Science Direct*, 59, 262-270, 2017.
55. Sancan, M., Karaca, S., “Van-Erciş İlçesi Bayramlı Köyü Bağ Alanlarının Bazı Toprak Özelliklerinin Belirlenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Haritalanması”, *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5 (2), 55-62, 2017.
56. Kocaman, P., “Çorlu-Çerkezköy Civarındaki Bazı Fabrikalara Yakın Tarım Arazilerindeki Çeşitli Ağır Metal Kirlilik Düzeylerinin Toprak ve Bitki Analizleri ile Belirlenmesi”, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Tekirdağ, 2016.
57. El-Amier, Y. A., Elnaggar, A. A., El-Alfy, M. A., “Evaluation and Mapping Spatial Distribution of Bottom Sediment Heavy Metal Contamination in Burullus Lake, Egypt”, *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4, 55-66, 2017.
58. Şener, Ş., Şener, E., “Kovada Gölü (Isparta) Dip Sedimanlarında Ağır Metal Dağılımı ve Kirliliğinin Değerlendirilmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19 (2), 86-96, 2015.
59. Adiloğlu, S., Sağlam, M. T., “Tekirdağ İli Topraklarının Krom ve Nikel İçerikleriyle Bazı Fizikokimyasal Özellikleri Arasındaki İstatistiksel İlişkiler”, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12 (2), 110-119, 2015.

60. Borges, R. C., Caldas, V. G., Filho, F. F. L. S., Ferreira, M. M., Lapa, C. M. F., “Use of GIS for the Evaluation of Heavy Metal Contamination in the Cunha Canal Watershed and West of the Guanabara Bay, Rio de Janeiro, RJ”, *Marine Pollution Bulletin*, 89, 75-84, 2014.
61. Tang, W., Shan, B., Zhang, H., Zhang, W., Zhao, Y., Ding, Y., Rong, N., Zhu, X., “Heavy Metal Contamination in the Surface Sediments of Representative Limnetic Ecosystems in Eastern China”, *Scientific Reports*, 4 (7152), 1-7, 2014.
62. Sümer, A., Adiloğlu, S., Çetinkaya, O., Adiloğlu, A., Sungur, A., Akbulak, C., “Karamenderes Havzası Topraklarında Bazı Ağır Metallerin (Cr, Ni, Pb) Kirliliğinin Araştırılması”, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10 (1), 83-89, 2013.
63. Vural, A., Şahin, E., “Gümüşhane Şehir Merkezinden Geçen Karayolunda Ağır Metal Kirliliğine Ait İlk Bulgular”, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2 (1), 21-35, 2012.
64. Guagliardi, I., Buttafuoco, G., Cicchella, D., Rosa, R. D., “Assesment of Lead Contamination in Urban Soils in Area of Southern Italy”, *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*, Proceeding book, 13-16, 2010.
65. Lee, C. S., Li, X., Shi, W., Cheung, S. C., Thornton, I., “Metal Contamination in Urban, Suburban, and Country Park Soils of Hong Kong: A Study Based on GIS and Multivariate Statistics”, *Science of the Total Environment*, 356 (1-3), 45-61, 2006.
66. Liu, X., Wu, J., Xu, J., “Characterizing the Risk Assessment of Heavy Metals and Sampling Uncertainty Analysis in Paddy Field by Geostatistics and GIS”, *Environmental Pollution*, 141 (2), 257-264, 2006.
67. Güney, M., “Heavy Metal Determination in Roadside Soils and Highway Dust From the Major Highways of İstanbul”, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 2006.
68. İnternet: Ankara Valiliği “Ankara Genel İklim Durumu”
<http://ankara.gov.tr/iklimi>

69. İşleyen M., “Ankara İli Ayaş İlçesinde Kiraz Yetiştiriciliği Yapan Tarım İşletmelerinde Ürün Maliyetinin ve Karlılık Düzeyinin Belirlenmesi”, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 2019.
70. Işın E. G., “Ankara İli Kızılcahamam İlçesi Çeltikçi Bölgesinde Farklı Bitkilerin Yetiştirildiği Tarım Arazilerinin Bazı Toprak Özelliklerinin Belirlenmesi”, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Erzurum, 2019.
71. Kurnaz, V., “Organik Bitkisel Üretim Tercihinde Etkili Olan Faktörler: Ankara İli Araştırması”, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 2020.
72. Akdemir N. A., “Toprak Kaynağının Sürdürülebilir Kullanımı: Ankara İli Ayaş İlçesinde Toprak Kaynaklarının Yapılı Çevreye Dönüşümü”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 2019.
73. İnternet: T.C. Ayaş Kaymakamlığı İlçe Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü “Brifing Dosyası”
<https://ankara.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Aya%C5%9F%20Brifing%202017.doc>
74. Üstün K., “Orman VASFİNİ YITIRMIŞ ARAZİLERİN DEĞERLEMESİ: ANKARA İLİ KIZILCAHAMAM İLÇESİ ÖRNEĞİ”, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 2009.
75. İnternet: Kızılcahamam İlçe Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü “Brifing Dosyası”
<https://ankara.tarimorman.gov.tr/Belgeler/K%C4%B1z%C4%B1lcahamam%20Brifing%202017.docx>
76. İnternet: Vikipedi “Kahramankazan” <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kahramankazan>
77. İnternet: Kahramankazan İlçe Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü “Brifing Dosyası”
<https://ankara.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Kahramankazan%20Brifing%202017.docx>
78. İnternet: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü “2018 Yılı Trafik ve Ulaşım Bilgileri”
<https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Istatistikler/TrafikveUlasim.aspx>

79. İnternet: Vikipedi “Ankara” <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ankara>
80. Karakurt, A. M., “Belediyelerde Finansal Analiz ve Demografik Göstergelerin Etkisi-Ankara Büyükşehir Belediyesi Örneği”, *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 2020.
81. Can, E., “Nevşehir Organize Sanayi Bölgesi Topraklarında Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) İle Mekansal Analizi”, *Ankara Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Nevşehir, 2021.
82. Chiroma, T. M., Ebewele, R. O., Hymore, F.K., “Comparative Assessment of Heavy Metal Levels in Soil, Vegetables and Urban Grey Waste Water used for Irrigation in Yola and Kano”, *International Refereed Journal of Engineering and Science*, 3(2), 1-9, 2014.
83. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği*, 2001.
84. Beccaloni, E., Vanni, F., Beccaloni, M., Carere, M., “Concentrations of Arsenic, Cadmium, Lead and Zinc in Homegrown Vegetables and Fruits: Estimated Intake by Population in an Industrialized Area of Sardinia, Italy”, *Microchemical Journal*, 107, 190-195, 2013.
85. Mülga Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, *Sayısal Toprak Haritaları*, Ankara, 2000.
86. Tarım ve Orman Bakanlığı, *Toprak ve Arazi Sınıflaması Standartları Teknik Talimatı*, 2005.
87. Doğan, H. M., Kılıç, O. M., Yılmaz, D. S., “Tokat İli Büyük Toprak Grupları, Erozyon Sınıfları ve Arazi Yetenek Sınıfları Tematik Harita Katmanlarının CBS ile Hazırlanması ve Analizi”, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2013 (2), 18-29, 2013.
88. Seven, T., Can, B., Darende, B. N., Ocak, S., “Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği”, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1 (2), 91-103, 2018.
89. Hızlı, S., “Jeojenik Alüminyum Kirliliği Olan Doğal Sulardan Alüminyum Giderimi”, *Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Gebze, 2020.

90. İnternet: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi “Toprağın Kimyasal Özellikleri”https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/25482/mod_resorce/content/1/4toprak%20kimyasal%20oz_bitki%20besin%20maddeleri.pdf
91. İnternet: Vikipedi “Arsenik” <https://tr.wikipedia.org/wiki/Arsenik>
92. Yerli, C., Çakmakçı, T., Şahin, Ü., Tüfenkçi, Ş., “Ağır Metallerin Toprak, Bitki, Su ve İnsan Sağlığına Etkileri”, *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9, 103-114, 2020.
93. Köleli, N., Demir, A., Eke, M., Kayışoğlu, N. G., “Topraktaki Kadmiyum Taşımına Ahr Gübresinin Etkisi”, *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3 (2), 99-104, 2010.
94. Köleli, N., Kantar, Ç., “Fosfat Kayası, Fosforik Asit ve Fosforlu Gübrelerdeki Toksik Ağır Metal (Cd, Pb, Ni, As) Konsantrasyonu”, *Ekoloji Dergisi*, 14 (55), 1-5, 2005.
95. Katip, A., Kantar, Ç., “Kimyasal Gübre Tüketiminin Değerlendirilmesi: Bursa İli Örneği”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25 (3), 1271-126, 2020.
96. Daş, Y. K., Aksoy, A., “Pestisitler”, *Türkiye Klinikleri Dergisi*, 2 (2), 1-17, 2016.
97. Sezgin, N., Özcan, H. K., Demir, G., Nemlioğlu, S., Bayat, C., “Determination of Heavy Metal Concentrations in Street Dusts in Istanbul E-5 Highway”*Elsevier Environment International*, 29 (7), 979-985, 2003.
98. Turan, M. A., Taban, S., Sezer, S. M., Türkmen, N., “Selenyumca Zenginleştirilmiş Sarımsak Üretimi”, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27 (1), 19-25, 2013.
99. Sağlam, N., Cihangir, N., “Ağır Metallerin Biyolojik Süreçlerle Biyosorbasyonu Çalışmaları”, *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11 (11), 157-161, 1995.
100. Doğan, Ü., Certel, M., “Antalya-Burdur Karayolu Çevresinde Yetiştirilen Buğdaylarda Kurşun ve Kadmiyum Kirlilik Düzeylerinin Belirlenmesi”, *Gıda Teknolojisi Derneği Dergisi*, 24 (4), 283-288, 1999.
101. Şar, T., “Kentleşme ve Sanayileşmenin Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri”, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (1), 291-299, 2017.

102. Özen, T., “Salihli Jeotermal Alanlarının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelenmesi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, İzmir, 2009.
103. Yan, X., Gao, D., Zhang, F., Zeng, C., Xiang, W., Zhang, M., “Relationships Between Heavy Metal Concentrations in Roadside Topsoil and Distance to Road Edge Based on Field Observations in the Qinghai-Tibet Plateau, China”, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 10, 762-775, 2013.
104. Brohi, A. R., Aydeniz, A., Karaman, M. R., “Toprak Verimliliği”, *Gazi Osman Paşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 5 (5), 1995.
105. Kara, E. E., Pırlak, U., Özdilek, H. G., “Evaluation of Heavy Metals’(Cd, Cu, Ni, Pb and Zn) Distribution in Sowing Regions of Potato Fields in the Province of Niğde, Turkey”, *Water Air and Soil Pollution*, 153, 173-186, 2004.
106. Kabala, C., Singh, B. R., “Fractionation and Mobility of Copper, Lead, and Zinc in Soil Profiles in the Vicinity of a Copper Smelter”, *Journal of Environmental Quality*, 30, 485-492, 2001.