

**T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KANGAL TERMİK SANTRALİ ÇEVRESİNDEKİ YÜZEY
TOPRAĞINDAKİ AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN VE
ASİTLEŞMENİN EKOLOJİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ahmed M. Khalifa GARAD

**Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Şeref TURHAN
Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL
Prof. Dr. Abdullah AYDIN
Doç. Dr. Necla ÇAKMAK
Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI**

**DOKTORA TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI**

KASTAMONU – 2019

TEZ ONAYI

Ahmed M. Khalifa GARAD tarafından hazırlanan "**Kangal Termik Santrali Çevresindeki Yüzey Toprağındaki Ağır Metal Kirliliğinin ve Asitleşmenin Ekolojik Açıdan Değerlendirilmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Prof. Dr. Şeref TURHAN
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL
Gazi Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Abdullah AYDIN
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Necla ÇAKMAK
Karabük Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI
Kastamonu Üniversitesi



28/05/2019

Enstitü Müdürü

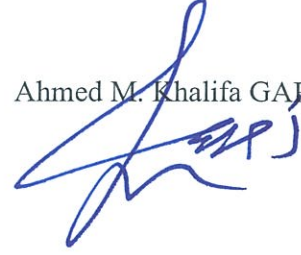
Prof. Dr. Hasbi YAPRAK



TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

Ahmed M. Khalifa GARAD



ÖZET

Doktora Tezi

KANGAL TERMİK SANTRALİ ÇEVRESİNDEKİ YÜZEY TOPRAĞINDAKİ AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN VE ASİTLEŞMENİN EKOLOJİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ahmed M. Khalifa GARAD

Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şeref TURHAN

Linyit kömürü, çok bulunması, yerli ve ekonomik olması sebebiyle Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminde önemli bir enerji kaynağıdır. Ancak linyit kömürünün termik santrallerinde yakıt olarak kullanılması, asit gazları (SO₂, SO₃, NO ve NO₂) ve uçucu külün üretilmesi gibi büyük çevresel problemlere yol açmaktadır. Uçucu külün içerdiği ağır metaller, insan sağlığı, toprak ve su ekosistemi için potansiyel risklere sahiptir. Bu yüzden, kömür yakıtlı termik santrallerinin çevresindeki tarımsal toprağın asitleşmesinin ve ağır metal kirliliğinin araştırılması büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, linyit kömür yakıtlı Kangal Termik Santrali çevresinden toplanan 140 adet yüzey toprak örneğinin metal derişimleri, topraktaki kirlilik seviyesini belirlemek amacıyla enerji dağılımlı X-ışını flüoresans spektrometresi kullanılarak analiz edildi. Toprak örneklerinin pH değerleri, toprağın asitleşmesini değerlendirmek için ölçüldü. Toprak örneklerinde analiz edilen demir (Fe), alüminyum (Al), titanyum (Ti), mangan (Mn), krom (Cr), nikel (Ni), stronsiyum (Sr), çinko (Zn), zirkonyum (Zr), kobalt (Co), rubidyum (Rb), bakır (Cu), kurşun (Pb), arsenik (As), kalay (Sn) ve cıva (Hg) metalinin ortalama derişimi, sırasıyla 39064,8 ± 430,7 mg/kg, 37813,9 ± 1134,3 mg/kg, 2261,7 ± 62,4 mg/kg, 720,8 ± 10,0 mg/kg, 713,2 ± 19,9 mg/kg, 610,1 ± 16,8 mg/kg, 410,8 ± 14,4 mg/kg, 81, ± 3,1 mg/kg, 65,3 ± 2,2 mg/kg, 63,9 ± 1,6 mg/kg, 34,5 ± 1,0 mg/kg, 28,8 ± 0,3 mg/kg, 17,0 ± 0,6 mg/kg, 9,0 ± 0,8 mg/kg, 3,3 ± 0,1 mg/kg ve 1,7 ± 0,1 mg/kg olarak ölçüldü. Genel olarak hâkim rüzgâr yönünden alınan toprak örneklerinin metal derişimleri, diğerlerine göre daha yüksek bulundu. pH değerleri, ortalama değeri 8,0 ± 0,1 (orta derecede alkali) olmak üzere 7,5 (hafif alkali) – 8,2 (orta derecede alkali) aralığında bulundu.

Jeoakümülyasyon indisi (I_{GA}), zenginleşme faktörü (E_F), kirlilik faktörü (C_F), kirlilik derecesi (C_D), uyarlanmış kirlilik derecesi (mC_D) ve kirlilik yükü indisi (I_{PL}) gibi ekolojik risk parametreleri veya göstergeleri, her bir toprak örneğindeki kirliliği değerlendirmek için hesaplandı. I_{GA}, E_F ve C_F sonuçları, araştırılan alanın Cr, Ni ve Hg ile aşırı derecede veya yüksek seviyede kirlendiğini ortaya çıkardı. I_{PL} ortalama

değeri, toprak rneklelerinin ağır metaller ile kirlendiğini ve mC_D ortalama değeri ise toprak rneklelerinin ağır metaller ile orta seviyede kirlendiğini gösterdi.

Anahtar Kelimeler: Toprak kirliliği, ağır metaller, pH, asitleşme, jeoakümülyasyon indisi, zenginleşme faktörü, kirlilik faktörü, kirlilik derecesi, kirlilik yükü indisi, kömür yakıtlı termik santrali

2019, 104 Sayfa
Bilim Kodu: 202



ABSTRACT

PhD. Thesis

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF HEAVY METAL POLLUTION AND ACIDIFICATION IN SURFACE SOIL AROUND KANGAL LIGNITE-BURNING POWER PLANT

Ahmed M. KHALIFA GARAD

Kastamonu University
Institute of Science
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Şeref TURHAN

Lignite coal is an important energy source in Turkey's electrical energy production due to the available in abundance, domestic and economic. However, the use of lignite coal as fuel in thermal power plants leads to major environmental problems such as the generation of acid gases (SO_2 , SO_3 , NO and NO_2) and fly ash. Heavy metals contained in fly ash have potential risks for human health and soil and water ecosystems. Therefore, it is of great importance to study the heavy metal contamination and acidification of agricultural soil around the coal-fired thermal power plants.

In this study, the heavy metal concentrations of 140 surface soil samples from the area around the Kangal lignite-fired thermal power plant were analysed by using energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer to assess the contamination level of soils. pH values of soil samples were determined to assess the acidification of soils. The average concentration of iron (Fe), aluminium (Al), titanium (Ti), manganese (Mn), chromium (Cr), nickel (Ni), strontium (Sr), zinc (Zn), zirconium (Zr), cobalt (Co), rubidium (Rb), copper (Cu), lead (Pb), arsenic (As), tin (Sn) and mercury (Hg) metal analysed in soil samples were measure as 39064.8 ± 430.7 mg/kg, 37813.9 ± 1134.3 mg/kg, 2261.7 ± 62.4 mg/kg, 720.8 ± 10.0 , 713.2 ± 19.9 , 610.1 ± 16.8 , 410.8 ± 14.4 , 81.8 ± 3.1 , 65.3 ± 2.2 , 63.9 ± 1.6 , 34.5 ± 1.0 mg/kg, 28.8 ± 0.3 mg/kg, 17.0 ± 0.6 mg/kg, 9.0 ± 0.8 mg/kg, 3.3 ± 0.1 mg/kg and 1.7 ± 0.1 mg/kg, respectively. In general, the metal concentrations of the soil samples taken from dominant wind direction were higher than the others. The values of pH varied from 7.5 (slightly alkaline) to 8.2 (moderately alkaline) with an average value of 8.0 ± 0.1 (moderately alkaline).

Ecological risk parameters or indicators such as the geo-accumulation index (I_{GA}), enrichment factor (E_F), contamination factor (C_F), contamination degree (C_D), modified contamination degree (mC_D), and pollution load index (I_{PL}) were estimated to assess the heavy metal soil contamination of each soil sample. The I_{GA} , E_F and C_F results reveal that the study area are heavily or very highly contaminated with Cr, Ni and Hg. Based on the I_{PL} value, the soil samples are polluted with heavy metals.

However, the mC_D indicates a moderate heavy metal contamination of the soil samples.

Key Words: Soil contamination, heavy metals, pH, acidification, geo-accumulation index, enrichment factor, contamination factor, pollution load index, coal-fired power plant

2019, 104 Pages

Science Code: 202



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca biliminden ve tecrübesinden yararlandığım, beraber çalışmaktan onur duyduğum, her zaman hoşgörü ve sabırla yardım ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Şeref TURHAN'a, örneklerin toplanmasını sağlayan Dr. Elif GÖREN ve Dr. Celalettin DURAN'a, örneklerin XRF ölçümleri konusunda yardımcı olan Doç. Dr. Aslı KURNAZ'a, Tez İzleme Komitesi üyeleri Prof. Dr. Abdullah AYDIN ve Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI'na ve Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarları Müdürlüğüne içtenlikle teşekkür ederim. Ayrıca Türkiye'deki tez çalışmalarım süresince maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Libya Hükümeti'ne şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmayı, benim için çok kıymetli olan aileme ithaf ediyorum.

Ahmed M. Khalifa GARAD
Kastamonu, Mayıs, 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAYI.....	ii
TAAHHÜTNAME.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiv
GRAFİKLER DİZİNİ	xv
HARİTALAR DİZİNİ	xvi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
TABLolar DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
2. YAPILAN ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	6
3. MALZEME VE ANALİZ YÖNTEMİ	22
3.1. Araştırma Alanı	22
3.2. Toprak Örneklerinin Toplanması ve Hazırlanması	26
3.3. Toprağın Asitleşmesi ve pH Ölçme Yöntemi	26
3.4. X-ışını Flüoresans Spektrometrik Elemental Analiz Yöntemi.....	28
3.4.1. X-ışınları ve Madde ile Etkileşmesi	29
3.4.2. Karakteristik X-ışınlarının Oluşması	31
3.4.3. X-ışını Flüoresans Spektrometresi	36
3.4.4. Örneklerin Elemental Analiz için Hazırlanması	38
3.4.5. Elemental Analiz için Kullanılan EDXRF Spektrometresi.....	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	41
4.1. Toprak Örneklerinin pH değerleri.....	41
4.2. Toprak Örneklerinde Analiz Edilen Oksit Derişimleri	42
4.3. Ağır Metal Derişimleri.....	45
4.4. Topraktaki Ağır Metal Kirliliğinin Ekolojik Değerlendirilmesi.....	47

4.4.1. Jeoakümülyasyon İndisi	47
4.4.2. Zenginleşme Faktörü.....	49
4.4.3. Kirlilik Faktörü	50
4.4.4. Kirlilik Derecesi	51
4.4.5. Uyarlanmış Kirlilik Derecesi	56
4.4.6. Kirlilik Yüğü İndisi	56
4.5. Alüminyum	57
4.5.1. Alüminyum Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi	58
4.6. Titanyum	59
4.6.1. Titanyum Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi	60
4.7. Krom	60
4.7.1. Krom Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi	61
4.8. Mangan.....	62
4.8.1. Mangan Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi	63
4.9. Demir	64
4.9.1. Demir Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi	65
4.10. Kobalt.....	66
4.10.1. Kobalt Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi.....	67
4.11. Nikel.....	67
4.11.1. Nikel Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi.....	68
4.12. Bakır.....	69
4.12.1. Bakır Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi.....	70
4.13. Çinko	71
4.13.1. Çinko Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi.....	72
4.14. Arsenik	73
4.14.1. Arsenik Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi.....	74
4.15. Rubidyum.....	74
4.15.1. Rubidyum Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi.....	75
4.16. Stronsiyum	76
4.16.1. Stronsiyum Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi	77
4.17. Zirkonyum.....	78
4.17.1. Zirkonyum Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi.....	79
4.18. Kalay	79

4.18.1. Kalay Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi	81
4.19. Cıva	81
4.19.1. Cıva Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi	82
4.20. Kurşun	83
4.20.1. Kurşun Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi.....	84
4.21. Ağır Metal Derişimleri arasındaki İlişki	85
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	88
5.1. Öneriler	94
KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ	103



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AAS	Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
Al	Alüminyum
As	Arsenik
Br	Brom
Ca	Kalsiyum
CaO	Kalsiyum oksit
Ce	Seryum
Cd	Kadmiyum
Cs	Sezyum
CH ₄	Metan
Co	Kobalt
CO	Karbon monoksit
CO ₂	Karbon dioksit
Cr	Krom
Cu	Bakır
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü (WHO)
EDXRF	Enerji Dağılımlı X-ışını Flüoresans
Eu	Evropiyum
F	Flor
FAAS	Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
Fe	Demir
Fe ₂ O ₃	Demir trioksit
g	gram
GAAS	Grafit Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi
GW	Gigawatt
h	Saat
Hf	Hafniyum
Hg	Cıva
ICP-AES	Endüktif Eşlenmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi
ICP-OES	Endüktif Eşlenmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi
ICP-MS	Endüktif Eşlenmiş Plazma Kütle Spektrometresi
J	Joule
K	Potasyum
⁴⁰ K	Potasyum-40
K ₂ O	Potasyum oksit
kcal	Kilokalori
kg	Kilogram
km	Kilometre
L	Litre
La	Lantanyum
meq	Miliekivalen
mg	miligram
Mn	Mangan
MnO	Mangan oksit
Mo	Molibden

Mg	Magnezyum
MgO	Magnezyum oksit
MW	Megawatt
Na	Sodyum
Na ₂ O	Sodyum oksit
NAA	Nötron Aktivasyon Analiz
Ni	Nikel
NO	Azot monoksit
NO ₂	Azot dioksit
P ₂ O ₃	Difosfat trioksit
Pb	Kurşun
ppm	parts per million
Ra	Radyum
²²⁶ Ra	Radyum-226
Rb	Rubidyum
S	Kükürt
Sb	Antimon
Sc	Skandiyum
Se	Selenyum
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SO ₂	Kükürt dioksit
SO ₃	Kükürt trioksit
SiO ₂	Silisyum dioksit
Sn	Kalay
Sr	Stronsiyum
Ta	Tantal
Tb	Terbiyum
Th	Toryum
²³⁸ Th	Toryum-232
Ti	Titanyum
TiO ₂	Titanyum oksit
TW	Terawatt
U	Uranyum
²³⁸ U	Uranyum-238
²³⁵ U	Uranyum-235
WDXRF	Dalga boyu Dağılımlı X-ışını Flüoresans
XRF	X-ışını Flüoresans
XRD	X-ışını Difraktometresi
Yb	İterbiyum
Zn	Çinko
Zr	Zirkonyum

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	Sayfa
Fotoğraf 3.1. Kangal Termik Santralinin farklı açılardan görünümü	25
Fotoğraf 3.2. pH ölçme işlemi	29
Fotoğraf 3.3. Analiz işlemleri için kullanılan EDXRF spektrometresi.....	39



GRAFİKLER DİZİNİ

	Sayfa
Grafik 1.1. Türkiye'nin 2006-2016 yılları arasındaki enerji üretimi ve tüketimi..	1
Grafik 1.2. Enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimindeki payları	2
Grafik 3.1. T26 kodlu toprak örneğinin XRF spektrum kesiti	40
Grafik 4.1. Ana oksit derişimlerinin yer kabuğu ortalaması ile karşılaştırılması	44
Grafik 4.2. İkincil oksit derişimlerinin yer kabuğu ortalaması ile karşılaştırılması	45
Grafik 4.3. Al derişiminin histogram eğrisi	57
Grafik 4.4. Ti derişiminin histogram eğrisi	59
Grafik 4.5. Cr derişiminin histogram eğrisi	61
Grafik 4.6. Mn derişiminin histogram eğrisi	63
Grafik 4.7. Fe derişiminin histogram eğrisi	64
Grafik 4.8. Co derişiminin histogram eğrisi	66
Grafik 4.9. Ni derişiminin histogram eğrisi	68
Grafik 4.10. Cu derişiminin histogram eğrisi	70
Grafik 4.11. Zn derişiminin histogram eğrisi	71
Grafik 4.12. As derişiminin histogram eğrisi	73
Grafik 4.13. Rb derişiminin histogram eğrisi	75
Grafik 4.14. Sr derişiminin histogram eğrisi	77
Grafik 4.15. Zr derişiminin histogram eğrisi	78
Grafik 4.16. Sn derişiminin histogram eğrisi	80
Grafik 4.17. Hg derişiminin histogram eğrisi	82
Grafik 4.18. Pb derişiminin histogram eğrisi	84

HARİTALAR DİZİNİ

	Sayfa
Harita 3.1. Kangal (Sivas) ilçesinin konumu	23
Harita 3.2. Toprak örnekleme alanı ve örnek noktaları	26
Harita 4.1. pH değerlerinin uzaysal dağılımı	42
Harita 4.2. Al derişiminin uzaysal dağılımı	58
Harita 4.3. Ti derişiminin uzaysal dağılımı.....	59
Harita 4.4. Cr derişiminin uzaysal dağılımı	61
Harita 4.5. Mn derişiminin uzaysal dağılımı.....	63
Harita 4.6. Fe derişiminin uzaysal dağılımı	65
Harita 4.7. Co derişiminin uzaysal dağılımı.....	66
Harita 4.8. Ni derişiminin uzaysal dağılımı	68
Harita 4.9. Cu derişiminin uzaysal dağılımı.....	70
Harita 4.10. Zn derişiminin uzaysal dağılımı.....	72
Harita 4.11. As derişiminin uzaysal dağılımı.....	73
Harita 4.12. Rb derişiminin uzaysal dağılımı.....	75
Harita 4.13. Sr derişiminin uzaysal dağılımı.....	77
Harita 4.14. Zr derişiminin uzaysal dağılımı	79
Harita 4.15. Sn derişiminin uzaysal dağılımı	80
Harita 4.16. Hg derişiminin uzaysal dağılımı	82
Harita 4.17. Pb derişiminin uzaysal dağılımı	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Kangal linyit havzasının genelleştirilmiş jeolojik haritası.....	24
Şekil 3.2. X-ışını demetinin madde ile etkileşmesi.....	31
Şekil 3.3. Karakteristik X-ışınının oluşması.	33
Şekil 3.4. Enerjiye karşı soğurulma	34
Şekil 3.5. K, L ve M elektronları için flüoresans verim.....	34
Şekil 3.6. Ana çizgiler ve elektron geçişleri	35
Şekil 3.7. EDXRF ve WDXRF spektrometrelerinin şematik gösterimi	37
Şekil 3.8. Otomatik örnek alma yazılımının şematik gösterimi	39

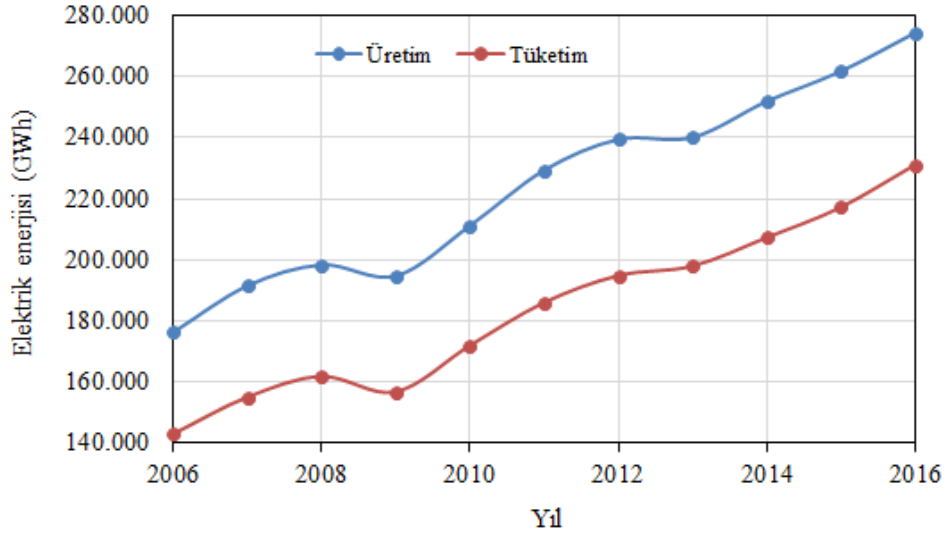


TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. pH değerlerine göre asitlik/alkalilik derecesi	27
Tablo 3.2. Spektrometrelerin karşılaştırılması	37
Tablo 4.1. Toprak örneklerinin pH değerleri	41
Tablo 4.2. Ana oksit derişimine ilişkin istatistiki bilgi	43
Tablo 4.3. İkincil oksit derişimine ilişkin istatistiki bilgi	43
Tablo 4.4. Metal derişimine ilişkin istatistiki bilgi	46
Tablo 4.5. I_{GA} değerlerine göre kirlilik kategorisi	47
Tablo 4.6. Araştırılan alan için hesaplanan I_{GA} değerleri	48
Tablo 4.7. Ortalama I_{GA} değerlerine göre araştırılan alanın metal kirlilik kategorisi	49
Tablo 4.8. E_F değerlerine göre zenginleşme derecesi	50
Tablo 4.9. Referans metal Al için E_F değerleri ve araştırılan alanın zenginleşme derecesi	52
Tablo 4.10. Referans metal Ti için E_F değerleri ve araştırılan alanın zenginleşme derecesi	52
Tablo 4.11. Referans metal Mn için E_F değerleri ve araştırılan alanın zenginleşme derecesi	52
Tablo 4.12. Referans metal Fe için E_F değerleri ve araştırılan alanın zenginleşme derecesi	53
Tablo 4.13. Referans metal Zr için E_F değerleri ve araştırılan alanın zenginleşme derecesi	53
Tablo 4.14. C_F değerlerine göre kirlilik seviyesi	54
Tablo 4.15. Araştırılan alan için hesaplanan C_F değerleri	54
Tablo 4.16. Ortalama C_F değerlerine göre araştırılan alanın metal kirlilik seviyesi	55
Tablo 4.17. C_D değerlerine göre kirlilik derecesi	55
Tablo 4.18. mC_D değerlerine göre kirlilik derecesi	56
Tablo 4.19. Toprak örneklerindeki ağır metallerin Pearson ilişki katsayı matrisi	87

1. GİRİŞ

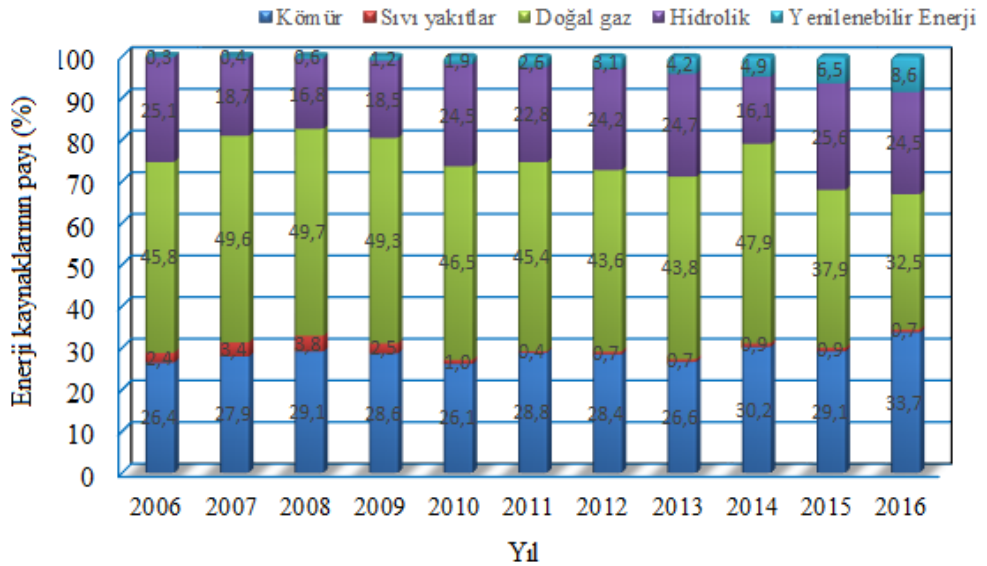
Yaşam kalitesinin yükseltilmesine yönelik ilerlemeler, ekonomik ve sosyal gelişmeler, elektrik enerjisini vazgeçilmez duruma getirmiştir. Türkiye'nin son yıllardaki istikrarlı büyümesi ve nüfus artışı, elektrik enerjisine olan talebi de önemli ölçüde arttırmıştır. Türkiye ekonomisi, 2017 yılında yüzde 7,4'lük büyüme kaydetmiştir. Türkiye'nin 2006-2016 yılları arasındaki elektrik enerjisi üretimi ve tüketimi, Grafik 1.1'de gösterilmektedir (TÜİK, 2018). Türkiye'nin, söz konusu olan on yıldaki elektrik enerjisi üretimi, % 4,6 ve tüketimi ise % 5 artmıştır. Türkiye'nin 2017 yılındaki elektrik enerjisi üretimi, bir önceki yıla göre % 7,7 artarak 295,5 TWh'ye ulaşırken elektrik enerjisi tüketimi ise bir önceki yıla göre % 5,6 artarak 294,9 TWh olarak gerçekleştirilmiştir (ETBK, 2018).



Grafik 1.1. Türkiye'nin 2006-2016 yılları arasındaki enerji üretimi ve tüketimi

Elektrik enerjisi, fosil enerji kaynakları (kömür, doğal gaz ve petrol), nükleer enerji kaynakları (^{238}U , ^{235}U , ^{233}U ve ^{239}Pu) ve yenilenebilir enerji kaynakları (hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle vb.) kullanılarak elde edilmektedir. Enerji kaynakları, ekonomi (yatırım maliyeti ve işletme gideri), sosyal ve çevre boyutları değerlendirilerek tercih edilmektedir. Türkiye'nin 2006-2016 yılları arasındaki elektrik enerjisi üretiminin, enerji kaynaklarına göre payı, Grafik 1.2'de gösterilmektedir (TÜİK, 2018). Grafikten de görülebileceği gibi on yıl içinde

Türkiye'nin enerji kaynakları tercihinde önemli değişiklikler olmuştur. Örnek olarak doğal gazın üretimdeki payı, % 29 azalarak % 45,8 den % 32,5'e düşerken kömürün üretimdeki payı, yaklaşık % 28 artarak % 26,4'de % 33,7'ye ve yenilenebilir enerji (jeotermal, rüzgâr, katı biyokütle, güneş, biyogaz ve atık kaynakları) payı ise 29 kat artarak % 0,3'ten % 8,8'e yükselmiştir. 2017 yılındaki elektrik üretiminin, % 37'si doğal gazdan, % 33'ü kömürden, % 20'si hidroelektrik, % 6'sı rüzgâr, % 2'si jeotermal ve % 2'si diğer kaynaklardan elde edilmiştir (ETKB, 2018). Aralık 2017 itibarıyla 85.200 MW'a ulaşan Türkiye'nin kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı, % 32'si hidroelektrik, % 27,2'si doğal gaz, % 21,9'u kömür, % 7,6'sı rüzgâr, % 4'ü güneş, % 1,2'si jeotermal ve % 5,9'u diğer kaynaklar şeklindedir (ETBK, 2018).



Grafik 1.2. Enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimindeki payları

Katı (kömür), sıvı (fuel-oil) ve gaz (doğal) yakıtların kullanıldığı termik santraller, elektrik enerjisi üretiminde önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde, doğal gaz ve petrol rezervleri çok sınırlı olduğundan elektrik enerjisi üretiminde dışa bağımlılığı en aza indirerek yerli kaynaklardan daha fazla faydalanma politikası çerçevesinde son on yıl içinde, ithal doğal gaz ve fuel-oil ile çalışan termik santrallerin üretimdeki payları hızlı bir şekilde azalırken, kömüre özellikle yerli linyite dayalı termik santrallerin ve yenilenebilir enerji kaynaklarının sayısı önemli ölçüde artmaktadır. Kurulu gücü yaklaşık 17,9 GW olan linyit, asfaltit, taş kömürü ve ithal kömür ile çalışan mevcut

39 adet termik santrali, 2017 yılında 97,4 TWh elektrik enerjisi üretmiştir (ETKB, 2018). Türkiye'nin 2016 yılındaki linyite dayalı elektrik enerjisi kurulu gücü, toplam kurulu gücün % 12,5'ine karşılık gelen 9,8 GW'a ulaşmıştır. Bu santraller, toplam elektrik enerjisi üretiminin % 14,1'ine karşılık gelen 38,4 TWh elektrik enerjisi üretimini gerçekleştirmiştir.

Türkiye'nin, 506 milyon tonu görünür olmak üzere yaklaşık 1,3 milyar ton taşkömürü rezervi ve 14 milyar tonu görünür niteliğinde yaklaşık 15,6 milyar ton linyit/alt bitümlü kömür rezervi bulunmaktadır (TKİ, 2018). Toplam linyit kömür rezervinin % 68'nin ısı değeri, 500 kcal/kg'nin altındadır (ETKB, 2018). TKİ ve özel sektörler tarafından 2016 yılında üretilen düşük kalorili 77,9 milyon ton linyit kömürünün tamamına yakını, Mayıs 2018 yılı itibarıyla sayısı 24 olan termik santrallerde yakıt olarak kullanılmıştır (TKİ, 2018). Bu gelişmeler, Türkiye'nin birincil yerli enerji kaynağı olan linyit kömürü ile çalışan termik santral sayısının daha da artacağını göstermektedir.

Dünyada ve ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde yaygın ve etkin bir şekilde kullanılmakta olan termik santraller, çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen en önemli kirletici kaynakların başında gelmektedir. Kömür ile çalışan termik santrallerde atık olarak ortaya çıkan (1) bacalardan atmosfere yayılan uçucu kül, asit gazları (SO_2 , SO_3 , NO ve NO_2) ve CO_2 , CO , CH_4 vb. uçucu organik bileşikler; (2) kazandibi külü, bacalardaki elektrostatik filtreler tarafından tutulan kül ve cüruf; (3) baca gazı kükürt giderme işleminden (desülfürizasyon) çıkan kalsiyum esaslı katı atıklar ve çamurlar, atmosferin ve çevrenin kirlenmesinde dolayısıyla ekosistemin zarar görmesinde çok etkili bir rol oynamaktadır. Termik santrallerden kaynaklanan çevresel problemler, hava kirliliği, toprak kirliliği, su kirliliği ve canlılar üzerindeki olumsuz etkileri olarak sıralanabilir (Karakaş, 2012).

Toprak; insani faaliyetler sonucunda doğal çevreye yayılan ağır metaller, organik bileşikler vb. bütün kirleticiler için nihai bir hedef ve depo görevi yapar. Termik santrallerin bacasından atmosfere yayılan,

- asit gazları vb. duman bileşenleri, zamanla yere çökerek toprağın asitleşmesi gibi toprağın kimyasal yapısını değiştirebilir (Karakaş, 2012),

- uçucu küller, santral çevresindeki toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını değiştirebilir ve içerdiği zehirli (toksik) ağır metaller (arsenik, kadmiyum, zirkonyum, bakır, demir, cıva, kurşun vb.) ile toprakta ağır metal kirliliğine yol açabilir. Ayrıca uçucu küllerin kömüre göre daha yoğun olarak içerdiği doğal uranyum ve toryum radyoaktif serilerine ait radyonüklitler ve radyoaktif potasyum, topraktaki radyoaktiviteyi artırabilir. Termik santrallerin katı atıkları olan küllerin depolandığı kül dağları ise çevresindeki toprağın zehirli ağır metaller ve radyoaktif elementler ile kirlenmesine yol açabilir. Ağır metaller, toprağın kimyasal ve biyolojik özelliklerine etki ederek bu özellikleri değiştirebilir. Metalik kirleticiler, aynı zamanda topraktaki bakterileri ve faydalı organizmaları öldürebilir ve toprakta yetişen bitkiler vasıtasıyla insan-gıda zincirine girebilir. Toprağın pH değeri, nem oranı, sıcaklık, toprak organik maddesinin kalite ve miktarı, kil mineralleri tipi ve kapsamı vb. toprak bileşenleri, topraktaki ağır metal hareketine ve alımına etki edebilir (Karaca vd., 2005).

Ağır metaller, büyük atom ağırlığına ve su yoğunluğunun en az 5 katı daha büyük yoğunluğa sahip doğal olarak bulunan elementlerdir (Tchounwou vd., 2012). Ağır metallerin, sanayide, tarımda, tıpta ve teknolojideki çoklu uygulamaları sonucunda geniş ölçüde çevreye yayılmaları, insan sağlığı ve çevre üzerindeki potansiyel etkileri ile kaygı uyandırmaktadır. Ağır metallerin zehirliliği, maruz kalma dozu, maruz kalma şekli, yaş, cinsiyet, kalıtsal özellikler gibi birçok faktöre bağlıdır. Arsenik, kadmiyum, krom, kurşun ve cıva, zehirlilik etki derecesine göre halk sağlığı açısından önemli metaller arasındadır (Tchounwou vd., 2012).

Bu tezin amacı, Sivas ilinin Kangal ilçesinde bulunan linyit yakıtlı 457 MW kurulu güce sahip Kangal Termik Santralının çevresindeki tarımsal alandaki toprağın ağır metal kirliliğini değerlendirmektir. Bu amaca yönelik olarak öncelikle santral çevresinden toplanan yüzey toprak örneklerinin içerdiği ağır metaller, enerji dağılımlı X-ışını flüoresans (EDXRF) spektrometresi kullanılarak nitel ve nicel olarak analiz edildi. Toprak örneklerindeki ağır metal kirliliği, literatürde yer alan

ekolojik parametreler veya göstergeler (jeoakümülyasyon indisi, zenginleşme faktörü, kirlilik faktörü, kirlilik derecesi, uyarlanmış kirlilik derecesi ve kirlilik yükü indisi) hesaplanarak değeriendirildi.

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde; Türkiye'nin elektrik enerjisi üretimi, enerji kaynakları, linyit kömürünün elektrik enerjisi üretimindeki rolü, kömür yakıtlı termik santrallerin yol açtığı çevre kirliliği ve tezin amacı hakkında bilgi verildi. İkinci bölümde, termik santrallerin bacalarından yayılan uçucu küllerin sebep olduğu toprak, su ve bitkilerin ağır metal kirliliğinin değeriendirilmesine yönelik literatürde yer alan çalışmalar özetlendi. Üçüncü bölümde, araştırılan alana, örneklerin toplanmasına, ölçme işlemi için hazırlanmasına, ölçme yöntemlerine ilişkin bilgi verildi. Dördüncü bölümde, her bir toprak örneği için ölçülen pH değeri ve metal derişimleri, tablolar ve grafikler şeklinde sunuldu. Analiz edilen metallerin derişimleri, yer kabuğu ortalaması ile karşılaştırıldı. Her bir metal derişiminin uzaysal dağılımları elde edildi. Toprak örneklerinin ağır metal kirliliğinin değeriendirilmesi ile ilgili her bir toprak örneği için hesaplanan ekolojik parametreler, her bir metal için ayrı ayrı tartışıldı. Beşinci bölümde, elde edilen ortalama değerieler verilerek toprağın asitleşmesi, toprağın yapısı ve ağır metal kirliliği sonuçları ve çevre kirliliğine yönelik bazı öneriler yer aldı.

2. YAPILAN ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, toprak su, hava vb. çevresel örneklerin, kömür yakıtlı termik santrallerden kaynaklanan ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi ile ilgili literatürde yer alan ulusal ve uluslararası çalışmalar hakkında bilgi verildi.

Bunzl, Rosner ve Schmindt (1983) tarafından yapılan çalışmada, Leinigerwerk Termik Santralının etrafından (5,2 km'lik alan içinden) toplanan toprak örneklerinin ağır metal (kurşun, kobalt ve nikel) içerikleri analiz edildi. Çalışma sonucunda, toprak örneklerinde analiz edilen kurşun, kobalt ve nikel derişimlerinin, termik santrale olan mesafe ile ilgili olmadığı bulundu.

Mejsrik ve Suacha (1988) tarafından yapılan çalışmada, Çekoslovakya'da bulunan kömür yakıtlı termik santrallerden kaynaklanan eser elementlerin çevre üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla santrallerin etrafından (1-15 km) toplanan toprak ve bitki örneklerinde eser element (kobalt, kadmiyum, krom, nikel ve çinko) analizi yapıldı. Çalışma sonucunda, 7 yıllık bir dönemde, toprak örneklerinde analiz edilen eser elementlerin dağılımının ve bitkilerdeki eser element derişiminin önemli ölçüde artmadığı bulundu.

Singh, Agrawal ve Narayan (1995) tarafından yapılan çalışmada, kömür yakıtlı Shaktinagar Termik Santrali ve Renusagar Termik Santralının, toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkisi araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) araştırma alanından toplanan toprak örneklerinin yoğunluğunda önemli ölçüde bir artış ve gözeneklilik hacminde ise bir azalış gözlemlendi, (2) kirlenmiş alandaki toprak örneklerinin pH değeri genellikle alkalın olarak bulundu, (3) toprak örneklerinin organik içeriğinde kirlenmeye bağılı olarak artış gözlemlendi ve (4) termik santral salımlarının (emisyollarının), topraktaki kalsiyum içeriğı ile değış-tokuş yapabilen

ve toplam azot miktarını önemli ölçüde azaltan sülfat veya sülfürün önemli ölçüde artışına sebep olduğu gözlemlendi.

Stalikas, Chaidou ve Pilidis (1997) tarafından yapılan çalışmada, Batı Makedonya (Yunanistan)'da bulunan linyit yakıtlı termik santralin etrafından toplanan yüzey toprak örneklerinin polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) ve bazı metal içerikleri analiz edildi. İçeriklerin uzaysal dağılımı, doğrudan karşılaştırma ve normalizasyon işlemleri ile değerlendirildi. Çalışma sonucunda, (1) toprak örneklerinin, krom ve nikel metali ile orta seviye kirlendiği, (2) toprağın mangan metali ile daha düşük seviye kirlendiği, (3) topraktaki PAH kirliliğinin, bağıl olarak daha yüksek oranda olduğu, (4) bu kirliliğin birincil kaynağını, termik santralde yakıt olarak kullanılan linyit kömürünün oluşturduğu ve (5) tarımsal amaçlar için toprak örneklerinin alındığı alanın büyük bir kısmında yetişen bitkilerin içerdiği metal derişimlerinin, nikel metali hariç, kritik değerin altında olduğu bulundu.

Çancı (1998) tarafından yapılan çalışmada, Kütahya'da bulunan linyit yakıtlı Seyitömer Termik Santralinden atık olarak elde edilen uçucu kül, taban (kazandibi) külü, cüruf ve santral etrafından toplanan toprak örneklerinin jeokimyasal analizleri atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS) ile yapıldı. Çalışma sonucunda, toprak örneklerinde analiz edilen kadmiyum, bakır ve çinko derişimlerinin sınır değerlerinin altında ve kobalt ve kurşun derişimlerinin ise sınır değerlerinin üzerinde olduğu bulundu.

Güleç, Günal ve Erler (2001) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin batısında bulunan linyit yakıtlı Seyitömer Termik Santralinin katı atığı olan uçucu küllerin depolandığı alanın etrafından toplanan toprak ve su örneklerinin ağır metal kirliliği araştırıldı. Uçucu kül depo alanının çevresinden toplanan toprak ve su örneklerindeki metal analizleri, alevli atomik absorpsiyon spektrofotometresi (FAAS) ile yapıldı. Çalışma sonucunda, toprak ve su örneklerinin sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, mangan, alüminyum, demir, kobalt ve krom içeriklerinin, bölgenin litolojisinden kaynaklandığı ancak kadmiyum, kurşun, çinko ve bakır içeriklerinin depolama alanındaki uçucu küllerden kaynaklanabileceği ileri sürüldü.

Karaca (2001) tarafından yapılan çalışmada, Kahramanmaraş, Afşin-Elbistan'da bulunan linyit yakıtlı Afşin-Elbistan Termik Santralinin bacalarından çıkan atıkların, çevre toprak örneklerinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerindeki etkileri araştırıldı. Çalışmada, hâkim rüzgâr yönünde termik santrale 30 km mesafeden ve santral çevresindeki köylerden toplanan toprak örneklerindeki kükürt, demir, bakır, çinko, mangan, kadmiyum, kuşun, nikel ve flor, üreaz, asit ve alkali fosfataz enzim aktiviteleri ile karbon dioksit çıkış miktarları belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) hâkim rüzgâr yönünden alınan örneklerin eser element ve ağır metal içerikleri, çevre köylerden alınan örneklere kıyasla yüksek bulundu, (2) termik santrale yakın mesafelerdeki derişimlerde artış ve (3) hâkim rüzgâr yönünde termik santrale yakın bölgelerdeki toprak örneklerinin üreaz, asit ve alkali fosfataz aktivitelerinde önemli derecede azalmalar gözlemlendi.

Şengül (2002) tarafından yapılan çalışmada, Kangal Termik Santralinden atık olarak elde edilen uçucu küllerin, çevresel etkilerini incelemek amacıyla uçucu kül içeren kolon hazırlandı ve kolondan geçen kül örneklerindeki element derişimleri, AAS ile kolondaki mineralojik değişimler ise X-ışını kırınımölçer (difraktometresi) (XRD) ile ölçüldü. Çalışma sonucunda, uçucu küllerin, kısa ve orta vadede çevre için önemli bir kirletici olmadığı belirlendi.

Tsikritzis, Ganatsios, Duliu, Kavouridis ve Sawidis (2002) tarafından yapılan çalışmada, Batı Makedonya (Yunanistan)'da bulunan Kozani-Ptolemaida-Amynteon havzasının 2300 km'lik alanındaki 39 noktadan toplanan 70 adet toprak örneğinin 16 eser element (vanadyum, krom, mangan, kobalt, nikel, bakır, molibden, arsenik, kadmiyum, cıva, kalay, selenyum, antimon, baryum, gümüş ve kurşun) içeriği analiz edildi. Çalışma sonucunda, tarımsal olmayan üç noktadaki toprak örneğinde analiz edilen krom, mangan, nikel ve kobalt hariç araştırılan alanda analiz edilen eser elementlerin derişimlerinde, istatistiksel olarak bir artış olmadığı bulundu

Baba (2003) tarafından yapılan çalışmada, Muğla Yatağan'da bulunan linyit yakıtlı Yatağan Termik Santralinden kaynaklanabilecek topraktaki ağır metal kirliliğini araştırmak amacıyla 15 adet kül örneği ile 9 adet toprak örneğinin element (kobalt, nikel, krom, stronsiyum, kadmiyum, lantan, iterbiyum, çinko, talyum, fosfor,

potasyum, sodyum, magnezyum, alüminyum, demir ve kalsiyum) içeriği, endüktif eşlenmiş plazma atomik emisyon spektrometresi (ICP-AES) ile analiz edildi. Çalışma sonucunda, (1) zehirli eser element derişimlerinin ortalama değerlerinin sırasının, uçucu kül > kazandibi külü > toprak şeklinde olduğu, (2) Yatağan Termik Santralinin, Yatağan ovasındaki toprağı kirlettiği ve (3) ağır metal derişimlerinin, külün depolandığı alan yakınında arttığı ve bu alandan uzaklaştıkça azaldığı bulundu.

Cicek ve Koparal (2004) tarafından yapılan çalışmada, Kütahya'da bulunan linyit yakıtlı Tunçbilek Termik Santrali merkez olacak şekilde 10 km'lik yarıçaplı alandan toplanan toprak ve ağaç yaprağı örneklerinin içerdiği ağır metal ve sülfür oranları araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) termik santrale olan farklı mesafelerden toplanan örneklerde analiz edilen kükürt ve metal miktarının, yoğun ve etkili olduğu ve bu yoğunluğun bilhassa 10 km'lik çapta rüzgâr yönünde hâkim olduğu ve (2) toprak örneklerinde analiz edilen kükürt ve ağır metal içeriklerinin, ağaç yaprağı örneklerinde analiz edilen sonuçlara benzerlik gösterdiği bulundu.

Karaca vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada, linyit yakıtlı Çayırhan Termik Santralinin baca salımlarının, çevre toprağı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla termik santralin çevresinden toplanan toprak örneklerinin pH değerleri, organik madde ve ağır metal (kuşun, kadmiyum ve nikel) içerikleri ölçüldü. Çalışma sonucunda, toprak örneklerinde analiz edilen kurşun ve nikel derişimlerinin, Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinin öngördüğu sınır değerlerinin altında olduğu bulundu.

Tuna ve Girgin (2005) tarafından yapılan çalışmada, Muğla Yatağan'da bulunan Yatağan Termik Santralinden atık olarak elde edilen uçucu küllerin, mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin büyümesi üzerindeki etkileri araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) uçucu külün, mısır bitkisinin yaprak ve köklerinin mineral besin elementi içeriklerinde değişikliğe sebep olduğu, (2) mısır bitkisinde analiz edilen ağır metal içeriklerinin bitkiye zarar verecek seviyeye ulaşmadığı ve (3) düşük oranda kül uygulanmasının, büyüme parametreleri ve mineral beslenme üzerinde olumlu etkisi olduğu bulundu.

Sasi (2005) tarafından yapılan çalışmada, Manisa Soma'da bulunan Soma Termik Santrali çevresindeki yer altı sularındaki metal kirliliğini değerlendirmek amacıyla termik santralin çevresinde bulunan 40 kuyudan alınan su örneklerindeki metal (sodyum, kalsiyum, potasyum, magnezyum, alüminyum, baryum, demir, çinko, bakır, kurşun, krom, cıva, nikel ve vanadyum) içerikleri, AAS ve ICP-AES ile analiz edildi. Çalışma sonucunda, 12 kuyudan alınan su örneklerinde analiz edilen demir derişimlerinin, sınır değerinden daha yüksek olduğu bulundu.

Haktanır vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada Muğla Yatağan'da bulunan Yatağan Termik Santralinin, tarım ve orman topraklarının ağır metal içerikleri üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla termik santralden itibaren 15 km'lik mesafede toplanan 27 adet toprak ve 41 adet bitki örneklerindeki toplam ve alınabilir nikel, kadmiyum, demir, bakır, çinko, mangan ve kükürt analizleri yapıldı ve bazı toprak özellikleri belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) toprak örneklerinde analiz edilen ağır metal ve kükürt derişimlerinin, mesafe ile ilişkili olmadığı ve hâkim rüzgâr yönüne bağlı olarak etkilendiği, (2) toprak örneklerinin ağır metal derişimlerinin, toprak örneklerinde ölçülen pH değerleri ile ilişkili olduğu ve (3) toplam kadmiyum ve kükürt içeriklerinin, normal değerlerden çok yüksek olduğu bulundu.

Danielowska (2006) tarafından yapılan çalışmada, Polonya'nın güneydoğusunda bulunan kömür yakıtlı Rybnik Termik Santralinin atığı olan uçucu kül örneklerindeki ağır metal (bakır, nikel, kurşun, çinko, krom ve kadmiyum) içerikleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve endüktif eşlenmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) kullanılarak analiz edildi. Çalışma sonucunda, bakır, nikel, kurşun, çinko, krom ve kadmiyumun ortalama derişimleri, sırasıyla 38 ppm, 41 ppm, 44 ppm, 120 ppm, 64 ppm ve 3 ppm olarak bulundu.

Mandal ve Sengupta (2006) tarafından yapılan çalışmada, Hindistan, Batı Bengal'da bulunan Hindistan'ın en büyük kömür yakıtlı termik santrallerden biri olan Kolaghat Termik Santralinin çevresinden toplanan yüzey (0-5 cm) toprak örneklerindeki ağır metal kirliliği değerlendirildi. Toprak örneklerinin element (ana, ikincil ve eser) içerikleri, ICP-MS kullanılarak analiz edildi. Toprağın kirlilik derecesi, Si elementi

referans alınarak zenginleşme faktörünün hesaplanması ile değerlendirildi. Çalışmanın sonucunda, toprak örneklerinin molibden, arsenik, krom, mangan, bakır, nikel, kobalt, kurşun, berilyum, vanadyum ve çinko eser element içeriklerinin, derinlik profiline göre 2 – 5 kat arasında zenginleştiği bulundu.

Keegan vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada, Slovakya’da bulunan kahverengi kömür yakıtlı termik santralin etrafından toplanan toprak örneklerindeki arsenik kirliliği araştırıldı. Çalışma sonucunda arsenik miktarının, santralin yakınında arttığı ancak santralden 5 km’lik mesafelerde ise azaldığı bulundu.

Camargo, Hiromoto ve Flues (2007) tarafından yapılan çalışmada, Brezilya’nın Parana eyaletinin kuzeyinde bulunan kömür yakıtlı Figueira Termik Santralinin kirlettiği asitli topraklardaki metal paylaşım katsayısı belirlendi.

Jankiewicz ve Adamczyk (2007) tarafından yapılan çalışmada, Polonya’nın Łódź şehrinde bulunan Łódź Termik Santrali tozlarının, çevre toprak örneklerindeki ağır metal içerikleri üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla toprak örneklerindeki kurşun, çinko, krom, kobalt ve demir içerikleri, FAAS ile belirlendi. Çalışma sonucunda, toprak örneklerindeki metal kirliliği sebebinin, birincil endüstriyel tesisler ve motorlu taşıt trafiği olduğu ve tozların, topraktaki metal kirliliği üzerinde bir etkisi olmadığı bulundu.

Tümüklü, Çiflikli ve Özgür (2008) tarafından yapılan çalışmada, Kahramanmaraş, Afşin-Elbistan’da bulunan linyit yakıtlı Afşin-Elbistan Termik Santralinin çevresinden toplanan toprak örneklerinin ağır metal kirliliğini değerlendirmek için toprak örneklerindeki vanadyum, titanyum, krom, mangan, nikel, bakır, çinko, arsenik, kalay, alüminyum, magnezyum ve demir içerikleri, ICP-AES ile analiz edildi. Çalışma sonucunda, toprak örneklerindeki vanadyum, titanyum, krom, mangan, nikel, bakır, çinko, arsenik, kalay, alüminyum, magnezyum ve demirin ortalama derişimleri, sırasıyla 1,03 ppm, 0,64 ppm, 3,51 ppm, 1,02 ppm, 6,48 ppm, 3,31 ppm, 1,56 ppm, 3,09 ppm, 0,51 ppm, 0,71 ppm, 1,25 ppm ve 1,25 ppm olarak bulundu.

Aydemir (2008) tarafından yapılan çalışmada, Afşin-Elbistan Termik Santralının yöre topraklarına olan etkilerini araştırmak için termik santralden itibaren 20 km mesafedeki yerleşim yerlerinden toplanan toprak örnekleri ile ilgili olarak toprak tepkimesi, organik madde toplam ve özütlenebilir ağır metal (çinko, bakır, kurşun, kadmiyum ve nikel) analizleri yapıldı. Çalışma sonucunda, genel olarak hâkim rüzgâr yönünden alınan toprak örneklerinde analiz edilen ağır metal derişim değerlerinin, çevre yerleşim yerlerinden temin edilen toprak örneklerinde ölçülen derişim değerlerinden daha büyük olduğu bulundu.

Yang ve Wang (2008) tarafından yapılan çalışmada, Baoji (Çin) şehrinde bulunan kömür yakıtlı termik santral etrafındaki toprak örneklerinin cıva derişimleri sistematik olarak atomik flüoresan spektrometre ile ölçüldü. Çalışmanın sonucunda, (1) toprak örneklerindeki Hg derişimi ortalama olarak 0,606 mg/kg olarak ölçüldü ve (2) istatistik, jeo-istatistik ve jeo-grafik bilgi sistemi teknikleri ile araştırılan santral etrafındaki toprak örneklerindeki cıva derişiminin risk değerlendirmesi ve uzaysal dağılımında, cıva derişiminin eşik değerinden daha yüksek olduğu bulundu.

Papaefthymiou (2008) tarafından yapılan çalışmada, linyit yakıtlı termik santrallere yakın konumda bulunan Megalopolis şehrinde aylık olarak toplanan hacimsel örneklerdeki toplam 23 adet element (arsenik, brom, kalsiyum, seryum, kobalt, krom, çinko, sezyum, evropiyum, demir, hafniyum, lantan, molibden, sodyum, rubidyum, antimon, skandiyum, selenyum, tantal, terbiyum, toryum, uranyum ve iterbiyum) içeriği, nötron aktivasyon analiz (NAA) yöntemi ile belirlendi. Çalışma sonucunda, arsenik, çinko ve selenyumun yanı sıra molibden, brom, antimon ve uranyumun toplanan örneklerde zenginleştiği bulundu.

Lazar, Capatina ve Simonescu (2008) tarafından yapılan çalışmada, Gorj (Romanya)'da bulunan bir termik santralin etrafından toplanan toprak örneklerindeki ağır metal (kadmiyum, bakır, çinko ve kurşun) içerikleri, ICP-AES ile analiz edildi. Çalışma sonucunda, (1) sadece bakır ve çinko metal içeriklerinin, Romanya mevzuatında öngörülen değerlerinden ciddi oranda saptığı ve (2) toprağın pH değerlerinin orta seviye asidik olduğu bulundu.

Karamanis, Ioannides ve Stamoulis (2009) tarafından yapılan çalışmada, (1) Yunanistan'da bulunan linyit yakıtlı büyük bir termik santralin boşaltım (discharge) sularındaki toplam alfa ve toplam beta aktivitesi, ^{226}Ra aktivite derişimi ve eser element (vanadyum, krom, mangan, nikel, bakır, çinko, molibden ve kurşun) içerikleri ve (2) sulama alanından toplanan toprak örneklerindeki ^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K aktivite derişimi analiz edildi. Çalışma sonucunda, (1) boşaltım sularındaki partiküllerin ortalama alfa ve beta aktivite derişimi, sırasıyla $0,75\pm 0,40$ Bq/g ve $1,54\pm 0,50$ Bq/g olarak ölçüldü, (2) boşaltım sularındaki toplam alfa ve toplam beta ve ^{226}Ra aktivite derişiminin, sırasıyla $0,0062 - 0,268$ Bq/L, $0,064 - 0,268$ Bq/L ve $0,021 - 0,062$ Bq/L aralığında değiştii bulundu; (3) boşaltım sularındaki ^{226}Ra 'nın ortalama aktivite derişiminin, ana su şebekesinin ortalama değerinden en az bir kat daha büyük olduğu gözlemlendi, (4) boşaltım suyu ile sulanan alandaki toprak örneklerinin ^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K ortalama aktivite derişimi, sırasıyla $29,2$ Bq/kg, $1,2$ Bq/kg, $26,8$ Bq/kg, $36,8$ Bq/kg ve $492,6$ Bq/kg olarak bulundu ve (5) boşaltım sularında ölçülen ortalama metal derişimlerinin, termik santralin yakınından geçen nehir sularında ölçülen ortalama metal derişimlerinden daha yüksek olduğu bulundu.

Agrawal vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, Hindistan'ın enerji başkenti olarak adlandırılan Madhya eyaletinin Singrauli bölgesi ve Uttar Pradesh eyaletinin Sonebhadra bölgelerinde yer alan kömür yakıtlı Singrauli Termik Santrali, Vindhya-achal Termik Santrali, Anpara Termik Santrali ve Renusagar Termik Santrali çevresinden toplanan toprak örneklerinin ağır metal kirliliği araştırıldı. Toprak örneklerindeki kadmiyum, nikel, kurşun ve arsenik ağır metal analizleri, AAS kullanılarak analiz edildi. Çalışma sonucunda, (1) araştırılan alandaki toprağın, kömürün yanması sonucunda oluşan atıklara bağlı olarak değişen oranda kirlendiği bulundu, (2) her bir yöndeki seçilmiş farklı bölgelerden alınan toprağın, özellikle termik santrale 2-4 km mesafede etkin bir şekilde kirlendiği ve bu mesafedeki kadmiyum, nikel, kurşun ve arseniğin ortalama derişimi, sırasıyla $0,69$ mg/kg, $13,69$ mg/kg, $17,76$ mg/kg ve $3,51$ mg/kg olarak ölçüldü ve (3) bu ağır metallerin derişmelerinin rüzgâr yönünde azami değere ulaştii gözlemlendi.

Sungupta, Chatterjee, Ghosh ve Saha (2010) tarafından yapılan çalışmada, Hindistan'ın Batı Bengal bölgesinde bulunan Farakka'daki kömür yakıtlı termik santrallerden atık olarak elde edilen küllerin yığın hâline getirildiği altı farklı kül tepesinin yakınından toplanan tarımsal toprağın ağır metal (kurşun, kadmiyum, krom, arsenik, bakır, çinko, nikel ve demir) kirliliği araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) zehirli metal (kurşun, kadmiyum, krom ve arsenik) derişimlerinin, normal olmayan dağılım gösteren temel (essential) element (bakır, çinko, nikel ve demir) derişimlerinden farklılık gösterdiği, (2) zehirli metaller için hesaplanan zenginleşme faktörü değerinin büyük olduğu ve (3) jeoakümülyasyon indisi değerinden, toprağın kurşun, kadmiyum ve arsenik ile orta seviyede kirlendiği bulundu.

Demaku, Shehu, Jusufi, Arbneshi ve Dobra (2011) tarafından yapılan çalışmada, Kosova'da bulunan kömür yakıtlı Kosova A ve Kosova B Termik Santrali bölgesindeki toprak, çamur, su ve kül örneklerinin ağır metal içerikleri, endüktif eşlenmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) ve AAS yöntemi ile analiz edildi. Çalışma sonucunda, (1) kül örneklerinde analiz edilen kurşun, çinko, bakır, kadmiyum, demir ve nikelin derişimleri, sırasıyla 0,00 mg/kg – 5,90 mg/kg, 14,60 mg/kg – 14,63 mg/kg, 8,40 mg/kg – 9,40 mg/kg, 0,00-, 11940,00 mg/kg – 12040,00 mg/kg ve 34,50 mg/kg – 36,76 mg/kg aralığında, (2) toprak örneklerinde analiz edilen Pb, Zn, Cu, Cd, Fe ve Ni derişimleri, sırasıyla 134,80 mg/kg – 160,00 mg/kg, 153,90 mg/kg – 312,00 mg/kg, 3,20 mg/kg – 82,00 mg/kg, 0,00 mg/kg, 14290,00 mg/kg – 15215,00 mg/kg ve 9,88 mg/kg – 120,21 mg/kg aralığında ve (3) ağır metaller ile yüklü küllerin, iki termik santralin çevresindeki toprak, çamur ve su örneklerini kirlettiği bulundu.

Sungupta, Chatterjee, Ghosh, Sarkar ve Saha (2011) tarafından yapılan çalışmada, Hindistan'ın Batı Bengal bölgesindeki Farakka'da bulunan kömür yakıtlı termik santrallerin etrafındaki yetişen *Mangifera indica* ağacının yapraklarındaki bazı zehirli metallerin (kurşun, kadmiyum ve krom) ve temel element (bakır, çinko, nikel ve demir) derişimleri analiz edilerek ağaç yapraklarındaki biyo-birikme farklılıkları değerlendirildi.

Çayır, Belivermiş, Kılıç, Çoşkun ve Çoşkun (2012) tarafından yapılan çalışmada, Kahramanmaraş, Afşin-Elbistan'da bulunan linyit yakıtlı Afşin-Elbistan Termik Santralının çevresinden toplanan toprak örneklerinin ağır metal (kadmiyum, krom, bakır, nikel, kurşun, çinko, alüminyum ve demir) ve radyonüklit (^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K ve ^{137}Cs) seviyeleri, ICP-AES ve gama-ışını spektrometrik yöntemi ile belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) toprak örneklerinde analiz edilen ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K ve ^{137}Cs radyonüklitinin ortalama aktivite derişimi, sırasıyla 39,8 Bq/kg, 34,4 Bq/kg, 409 Bq/kg ve 51,4 Bq/kg olarak, (2) toprak örneklerinde analiz edilen kadmiyum, krom, bakır, nikel, kurşun, çinko, alüminyum ve demirin ortalama derişimi, sırayla 6,29 mg/kg, 70,5 mg/kg, 59,5 mg/kg, 89,8 mg/kg, 26,7 mg/kg, 89,2 mg/kg, 18,806 mg/kg ve 14,634 mg/kg olarak ve (3) bütün toprak örneklerindeki kadmiyum içeriğinin ve bakır, krom ve nikelin azami değerlerinin, toprak için belirlenen sınır değerlerinden daha büyük olduğu bulundu.

Sinha, Datta ve Mondal (2012) tarafından yapılan çalışmada, Batı Bengal (Hindistan)'da bulunan Durgapur Termik Santralının yakınındaki alandan toplanan tarımsal toprak örneklerinin arsenik, kadmiyum, krom ve demir gibi ağır metal içerikleri, AAS ile belirlendi. Çalışma sonucunda, (1) termik santral yakınından toplanan toprak örneklerinde analiz edilen kadmiyum, krom ve demir derişimlerinin, kontrol bölgesindeki toprak örneklerinde analiz edilen derişimlerden çok yüksek olduğu ve (2) kontrol bölgesindeki toprak örneklerinde ölçülen arsenik derişiminin de çok yüksek olduğu bulundu.

Karakaş (2012) tarafından yapılan çalışmada, 18 Mart Çan Termik Santralinden kaynaklanan atmosferik ve kül yayımlarının, termik santralin yakın çevresinden toplanan tarımsal toprak ve bitki örnekleri üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla, hâkim rüzgâr yönü ile hâkim rüzgâr ters yönündeki alanlardan toplanan 8 adet toprak ve 8 adet bitki örneğinin ağır metal (kadmiyum, bakır, kükürt, çinko, kurşun, nikel, mangan, krom vb.) içerikleri, ICP-AES ile belirlendi. Çalışma sonucunda, toprak ve bitki örneklerinde analiz edilen ağır metal derişimlerinin, sınır değerlerin altında olduğu bulundu.

Karagöktaş (2012) tarafından yapılan çalışmada, Afşin-Elbistan Termik Santralinin tarımsal toprak örnekleri üzerindeki ağır metal kirliliğini araştırmak amacıyla santralin A ve B üniteleri etrafından 0-30 cm derinlikte, 52 farklı noktadan toplanan toprak örneklerinin, genel verimlilik, ağır metal ve sülfat analizleri yapıldı. Çalışma sonucunda, sülfat ve nikel miktarının çok yüksek olduğu, toplam nikel ve toplam krom miktarının, Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği ile belirlenen sınır değerlerinden daha yüksek olduğu belirlendi.

Lu, Liu, Zhao ve Chen (2013) tarafından yapılan çalışmada, Çin'in Shaanxi eyaletinin başkenti olan Xi'an'da bulunan kömür yakıtlı büyük Baqiao Termik Santrali çevresinden 44 farklı yerden toplanan toprak örneklerinin doğal radyonüklit (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) ve ağır metal (bakır, krom, kobalt, mangan, nikel, kurşun, çinko ve vanadyum) içerikleri, gama-ışını spektrometresi ve XRF spektrometresi kullanılarak analiz edildi. Çalışma sonucunda, (1) toprak örneklerinde analiz edilen bakır, kurşun, çinko, kobalt ve kromun ortalama derişiminin, Shaanxi'deki ağır metal ile kirlenmemiş toprak örneklerinde analiz edilen bakır, kurşun, çinko, kobalt ve kromun ortalama derişiminden daha büyük olduğu, (2) toprak örneklerinde analiz edilen mangan, nikel ve vanadyumun ortalama derişiminin, Shaanxi'deki ağır metal ile kirlenmemiş toprak örneklerinde analiz edilen mangan, nikel ve vanadyumun ortalama derişimine yakın olduğu, (3) toprak örneklerinde analiz edilen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın ortalama derişiminin, Shaanxi'deki kirlenmemiş toprak örneklerinde analiz edilen ^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K 'ın ortalama aktivite derişim değerlerinden biraz yüksek olduğu ve (4) toprak örneklerinin ağır metal kirliliğini değerlendirmek için hesaplanan kirlilik yükü indisi değerinden, toprak örneklerinin yüksek oranda ağır metal ile kirlendiği gösterildi.

Okedeyi, Dube, Awofolu ve Nindi (2014) tarafından yapılan çalışmada, Güney Afrika'da bulunan kömür yakıtlı Matla Termik Santrali, Lethabo Termik Santrali ve Rooiwal Termik Santralinin etraflarından toplanan toprak ve *Digitaria eriantha* bitki örneklerinin metal (demir, bakır, mangan, nikel, kadmiyum, kurşun, cıva, krom ve çinko) içerikleri, ICP-OES ve grafit atomik absorpsiyon spektrofotometresi (GAAS) ile analiz edildi. Çalışma sonucunda, (1) üç termik santral için hesaplanan akümülyasyon faktörünün, 1'den daha düşük olduğu ve dolayısıyla topraktaki metal

derişiminin bitkiye aktarımının düşük olduğu, (2) üç termik santral için hesaplanan zenginleşme faktörü değerinden, kurşun hariç, toprağın ağır metal ile kısmen kirlendiği ve (3) toprağın kurşun ile önemli ölçüde kirlendiği bulundu.

Adeyi ve Torto (2014) tarafından yapılan çalışmada, Lagos (Nijerya)'da bulunan ve hâlihazırda işletilmeyen eski Ijora Termik Santralinin sebep olduğu topraktaki ağır metal kirliliğini araştırmak için santral etrafından toplanan toprak örneklerindeki ağır metal analizleri, ICP-OES ile yapıldı. Çalışma sonucunda, (1) toprağın yüzeyinde analiz edilen ağır metal derişimleri ile toprak yüzeyinin altında analiz edilen ağır metal derişimleri arasında değişim olduğu, (2) toprak yüzeyinde analiz edilen ağır metal derişim sırasının, $Fe > Zn > Pb > Mn > Cu > Cr > Cd > Ni > Co$ şeklinde olduğu, (3) Zn, Cd ve Cu elementlerinin toprağın derin mesafelerinde analiz edilemediği, (4) bazı ağır metallerin toprak yüzeyinde biriktiği ve (5) topraktaki ağır metal kirliliğini değerlendirmek amacıyla hesaplanan zenginleşme faktörü ve kirlilik faktörü değerlerinden, potansiyel çevresel riskin devam ettiği bulundu.

Sandru ve David (2014) tarafından yapılan çalışmada, Romanya Budapeşte'de bulunan iki termik santralin etrafından toplanan toprak örneklerindeki bakır, nikel, kadmiyum, kurşun, çinko gibi ağır metal içerikleri, AAS ile ölçüldü ve derişim sonuçları, Romanya mevzuatında belirlenen sınır değerler ile karşılaştırıldı

Ćujić vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, Sırbistan'da bulunan en büyük termik santralin sebep olduğu ana (majör), ikincil (minör) ve eser elementlerin atmosferik birikimini araştırmak amacıyla biyo-indikatör olarak kullanılan karayosunu örneklerinin içerdiği 22 element derişimleri, farklı spektrometrik teknikler ile belirlendi. Çalışma sonucunda, santral etrafındaki karayosunu örneklerinde arsenik, kadmiyum, kobalt, cıva, nikel ve vanadyum elementlerinin derişimleri yüksek bulundu.

Verma ve Bhatiya (2015) tarafından yapılan çalışmada, Jhansi (Uttar Pradesh, Hindistan)'de bulunan Pariccha Termik Santrali alanındaki çevresel kirliliği belirlemek amacıyla santralin etrafındaki tarımsal alanlarda yetişen çemen otu, kabak, karnabahar, patates ve patlıcan örneklerindeki bakır, kadmiyum, krom, çinko

ve kurşun ağır metal içerikleri, AAS ile analiz edildi. Çalışma sonucunda, örneklerde analiz edilen ağır metallerin, kadmiyum hariç hepsinin, sınır değerlerinden daha büyük olduğu bulundu.

Iruretagoiena vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, Santa Catarina (Brezilya)'daki kömür yakıtlı Jorge Lacerda Termik Santrali kompleksi etrafından toplanan 41 adet toprak örneğinin içerdiği zararlı element analizi yapıldı. Çalışma sonucunda, (1) santralden itibaren 47 km mesafedeki alan içinden temin edilen tarımsal toprak örneklerinde arsenik, kobalt, krom, bakır, demir, mangan, molibden, kurşun, antimon, kalay, talyum, vanadyum ve çinko analiz edildi, (2) normalize edilmiş ağırlık ortalama yönteminden, santralin sedimantasyon havzasında zehirli elementlerin daha yüksek oranda var olduğu gözlemlendi.

Howladar, Ahmed, Deb, Shine ve Rahman (2016) tarafından yapılan çalışmada, kömür yakıtlı Barapukuria (Bangladeş) Termik Santraline olan farklı mesafelerden toplanan toprak örneklerinin kalitesi, toprak örneklerinin pH değerleri ve azot, potasyum, kalsiyum, magnezyum, sodyum, fosfor, kükürt, bakır, demir, mangan, çinko element içerikleri ölçülerek araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) azot, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve sodyum organik elementlerin ortalama derişimi, sırasıyla % 0,87, % 0,04, 0,27 meq/100 g, 5,68 meq/100 g, 1,97 meq/100 g ve 0,01 meq/100 g olarak, (2) P, S, Cu, Fe, Mn ve Zn'nin ortalama derişimi, sırasıyla 4,94 mg/kg, 54,45 mg/kg, 0,63 mg/kg, 28,62 mg/kg, 16,64 mg/kg ve 0,68 mg/kg olarak bulundu ve (3) analiz sonuçları, santral civarında toprağın kirlendiğini gösterdi.

Özkul (2016) tarafından yapılan çalışmada, kömür yakıtlı Tunçbilek Termik Santralinin etrafından toplanan 50 adet toprak örneğinin ağır metal içerikleri, ICP-MS ile analiz edildi ve toprak örneklerindeki ağır metal kirliliği, jeoakümülyasyon indisi ve zenginleşme faktörü hesaplanarak değerlendirildi. Çalışma sonucunda, (1) toprak örneklerinde analiz edilen arsenik, kadmiyum, krom, bakır, cıva, nikel, kurşun ve çinko derişimlerinin, sırasıyla 4,4 mg/kg – 317,5 mg/kg, 0,03 mg/kg – 0,26 mg/kg, 20,3 mg/kg – 1028 mg/kg, 4,8 mg/kg – 76,8 mg/kg, 0,09 mg/kg – 9,3 mg/kg, 16,6 mg/kg – 2385 mg/kg, 4,8 mg/kg – 58,6 mg/kg ve 14,5 mg/kg – 249,5 mg/kg

aralığında değiştiği ve (2) jeoakümülyasyon indisi ve zenginleşme faktörü değerine göre santral etrafındaki toprağın arsenik, krom, cıva ve nikel ile kirlendiği bulundu.

Noli ve Tsamos (2016)) tarafından yapılan çalışmada, Yunanistan'ın kuzey batısında bulunan Amyntaion Termik Santraline yakın Kozani-Ptolemaida-Amyntaion havzasından toplanan toprak ve su örneklerindeki arsenik, baryum, kobalt, krom, çinko, stronsiyum, skandiyum, toryum ve uranyum derişimleri, NAA tekniği ile belirlendi. Çalışma sonucunda, araştırılan alanda ölçülen element derişimlerinin, normal seviyeyi aşmadığı ve bölgenin çok az kirlendiği bulundu.

Verma, Madan ve Hussain (2016) tarafından yapılan çalışmada, Hindistan'da bulunan kömür yakıtlı Parichha Termik Santralinin uçucu kül deposu sebebiyle yer altı su örneklerinin ağır metal kirliliği, XRF ve AAS ile araştırıldı. Çalışma sonucunda, (1) yer altı su örneklerinde analiz edilen kurşun, nikel, demir, krom ve manganın derişimlerinin, sırasıyla 0,170 ppm – 0,581 ppm, 0,024 ppm – 0,087 ppm 0,186 ppm – 11,98 ppm, 0,036 ppm – 0,061 ppm ve 0,013 ppm – 0,179 ppm aralığında değiştiği ve (2) bu değerlerin, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)'nün yer altı suları için belirlediği sınır değerleri aştığı bulundu.

Ćujić, Dragović, Dordević, Dragović ve Gajić (2017) tarafından yapılan çalıřmada, Sırbistan'da bulunan kömür yakıtlı Nikola Tesla Termik Santrali tesislerinin etrafından toplanan toprak örneklerinin ağır metal (kadmiyum, kobalt, krom, bakır, demir, mangan, nikel, kurřun, vanadyum ve çinko) içerikleri, AAS ile analiz edildi. Çalıřma sonucunda, (1) toprađın kirliliđini deđerlendirmek için hesaplanan zenginleřme faktörünün ortalama deđeri, arařtırılan alanın ağır metaller ile çok düşük seviyede zenginleřtiđi, (2) kirlilik faktörünün azami deđerinin sırasıyla nikel, çinko, kobalt ve kadmiyum metali için belirlendiđi, (3) dađılım desenlerinden, metal deriřimlerinin azami deđerlerinin hâkim rüzgâr yönünde olduđu bulundu.

Li vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, Çin'de termik santrallerin bulunduğu alanda yetişen besin ürünlerindeki cıva kirliliğini değerlendirmek amacıyla iki santralin etrafında bulunan çiftliklerden toplanan toprak, hububat ve sebze örneklerindeki cıva derişimi analiz edildi. Çalışma sonucunda, (1) toprak

örneklerindeki cıva derişiminin araştırılan santrale olan mesafeye göre ters orantılı olduğu, (2) marul, amarant, ıspanak ve börölce örneklerinde analiz edilen cıva derişiminin, toprak örneklerinde analiz edilen cıva derişimi ile ilişkili olduğu, (3) sebze yapraklarındaki cıva derişiminin, sebze köklerindeki cıva derişiminden daha büyük olduğu ve (4) çiftlikte yaşayanların, sebzelerden aldığı haftalık cıva miktarının, izin verilen sınır değerinden daha büyük olduğu bulundu.

Zhao vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, 350 MW gücündeki kömür yakıtlı termik santralden yayımlanan zararlı eser element özellikle cıva dağılımı araştırıldı. Çalışma sonucunda, cıva yayın faktörünün 0,92 ile 1,17 g/10¹² J aralığında değiştiiği, yayılan uçucu gazdaki cıva derişiminin, yasal sınır olan 30 µg/m³'ten çok düşük olduğu bulundu.

Braduliene ve Sveikauskaite (2017) tarafından yapılan çalışmada, Litvanya'da bulunan kömür yakıtlı bir termik santralin etrafından toplanan toprak örneklerinin ağır metal kirliliği araştırıldı. Çalışma sonucunda, çevresel kirlenmenin birçok fiziksel ve jeokimyasal süreçlere ve hava şartlarına bağlı olduğu bulundu.

Liu, Quan, Ren ve Wu (2017) tarafından yapılan çalışmada, İç Moğolistan'da bulunan kömür yakıtlı Xilingol Termik Santralinin çevresinden toplanan toprak örneklerinin ağır metal (krom, nikel, bakır, çinko, arsenik, kadmiyum, cıva ve kurşun) içerikleri, ICP-MS ile analiz edildi. Toprağın ağır metal kirliliği, potansiyel ekolojik risk indisi hesaplanarak yapıldı. Çalışma sonucunda, bu santralden kaynaklanan topraktaki ağır metal kirliliğinin yüksek seviyede olduğu bulundu.

Huang vd. (2017)) tarafından yapılan çalışmada, Çin'de bulunan kömür yakıtlı Jinsha Termik Santralinin etrafındaki ağır metal risklerini ve kirlilik kaynağını araştırmak amacıyla santralin çevresinden toplanan toprak ve kabak örneklerindeki ağır metal (kurşun, kadmiyum, cıva, arsenik, bakır ve krom) derişimleri belirlendi. Çalışma sonucunda, toplanan kabak örneklerinin % 30'unda kurşun derişiminin, izin verilen sınır değerinin üzerinde olduğu bulundu.

Savic, Nisic, Malic, Dragosavljevic ve Medenica (2018) tarafından yapılan çalışmada, Kostolac ve Gacko kömür havzalarında üretilen yanmamış kömürden elde

edilen külün topraktaki ağır metal kirliliği üzerindeki etkisi incelendi. 39 adet toprak örneğinin ağır metal (bakır, kurşun, kadmiyum, çinko, cıva, arsenik, krom ve nikel) içerikleri, ICP-MS ile analiz edildi. Çalışma sonucunda, Kotolac kömür külünün, nikel, bakır ve krom açısından toprak kalitesini etkilediği bulundu.

Bu bölümde yapılan literatür araştırmalarının değerlendirilmesinden,

(1) kömür yakıtlı termik santrallerin genellikle, yakınlarından toplanan toprak örneklerinde ağır metal kirliliğine sebep olduğu,

(2) toplanan çevresel örneklerin element ve/veya ağır metal içeriklerinin, genellikle kimyasal analitik yöntemler ile belirlendiği,

(3) sadece birkaç çalışmada element ve/veya ağır metal analizlerinin, NAA ve XRF gibi tahribatsız analiz yöntemleri kullanılarak yapıldığı ve

(4) bu tez kapsamında XRF spektrometresi kullanılarak yapılan çalışmanın, Kangal Termik Santralinin çevresel etkilerine yönelik olarak yapılan ilk ayrıntılı çalışma olduğu açıkça görülmektedir.

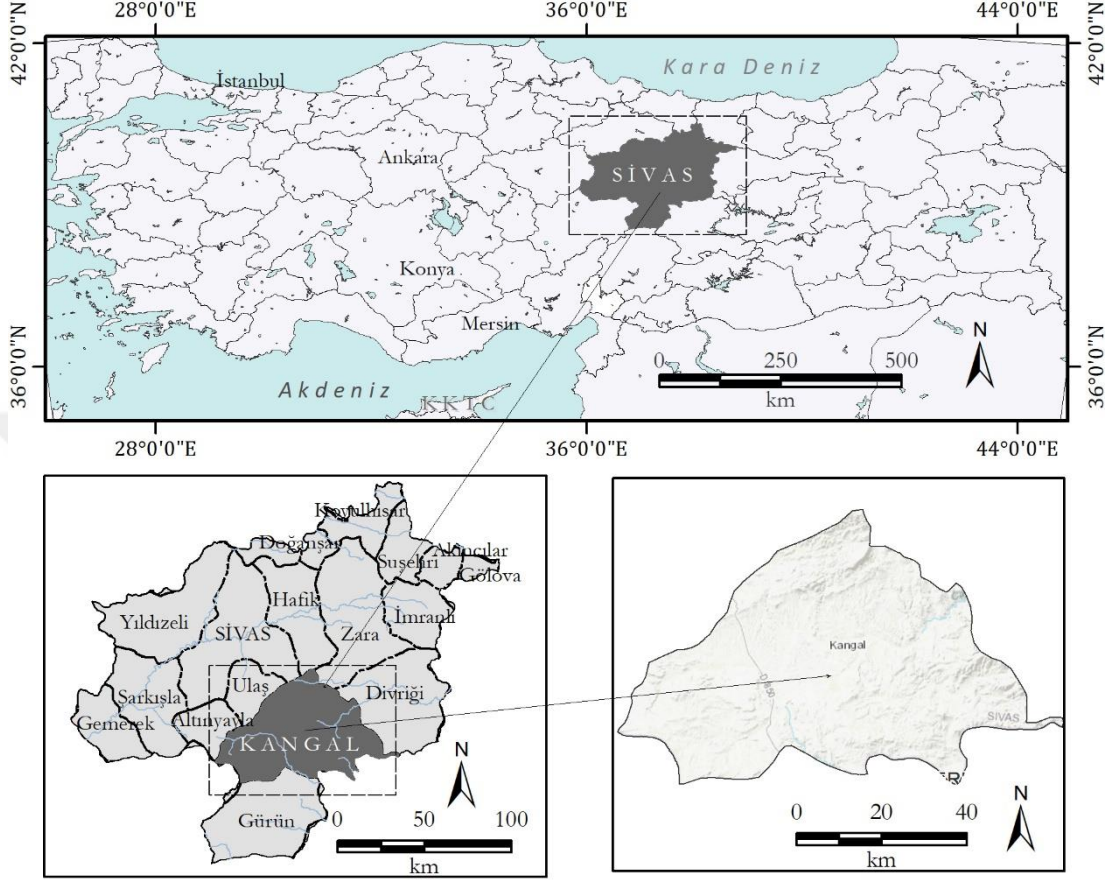
3. MALZEME VE ANALİZ YÖNTEMİ

3.1. Araştırma Alanı

Kangal, İç Anadolu Bölgesinde yer alan Sivas ilinin bir ilçesidir (Harita 3.1). Yüzölçümü 3762 km² olan Kangal ilçesinin nüfusu, 2017 yılı itibarıyla 20.864 olarak belirlenmiştir. Doğu Torosların batı bölümünde yer alan ve Uzunyayla Platosunun doğu bölümünü oluşturan Kangal Havzası, kuzeyde Tecer-Gürlevik, Felhan, Yayı, Çatal ve Yılanlı dağları, güneyde Gürün Dağları ile Delidağ, doğuda Bozbel Dağları ve batıda Uzunyayla Havzasından havza tabanına karşılık gelen eşik saha ile sınırlanmış bir Piggy-back havzasıdır (Sunkar, 2006). Kangal Havzasında, çok kısa ve serin süren yaz, uzun ve sert süren kış, yağışlı geçen ilkbahar ve sonbahar mevsimleri süregelmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık 6,6 °C olmakla birlikte en az beş ayın ortalaması 0°C'nin altındadır (Sunkar, 2006). Yıllık ortalama toplam yağış miktarı 411,3 mm, günlük azami yağış miktarı 48,8 mm dir. Ortalama kar yağışlı gün sayısı ise 39,3 gündür (Sunkar, 2006). Kangal çevresinde, hafif şiddette (1,6 - 3,3 m/s) batı-kuzeybatı ve güney-güneydoğu yönünde esen rüzgâr hâkimdir.

Kangal havzasında, Kangal ilçesinin yaklaşık 25 km güneyinde özellikle Kalburçayırı mevkiinde linyit kömür yatakları mevcuttur (Şen ve Saraç, 2000). Stratigrafik kesiti, Şekil 3.1'de verilen Kalburçayırı kömür havzası, Kangal-Uzunyayla molas havzasının güneyinde Pliyosen yaşlı limnik depolanma ortamında (limnic depositional environment) gelişmiştir (Şen ve Saraç, 2000). Havzada her biri yaklaşık 10 metre kalınlığa sahip alt damar ve üst damar olarak tanımlanan iki linyit damarı bulunmaktadır. Bu iki damarın arasında kalınlığı 3-5 metre arasında değişen ve bol miktarda kil içeren tüfler yer almaktadır (Şen ve Saraç, 2000). Kangal linyit kömürü, ortalama % 3'lük kükürt içeriğine, ortalama % 51 nem oranına, ortalama 1100 kcal/kg (aralık: 1300-1500 kcal/kg) kalorifik değere ve % 21'lik uçucu kül oranına (kesrine) sahiptir (Turhan vd., 2010; KTS, 2018). Kangal linyit kömürü, kükürt oranının yüksek ve kalorifik değerinin düşük olması sebebiyle elektrik enerjisi üretmek için Kangal ilçesinin 25 km güneybatısında bulunan Hamal Köyü

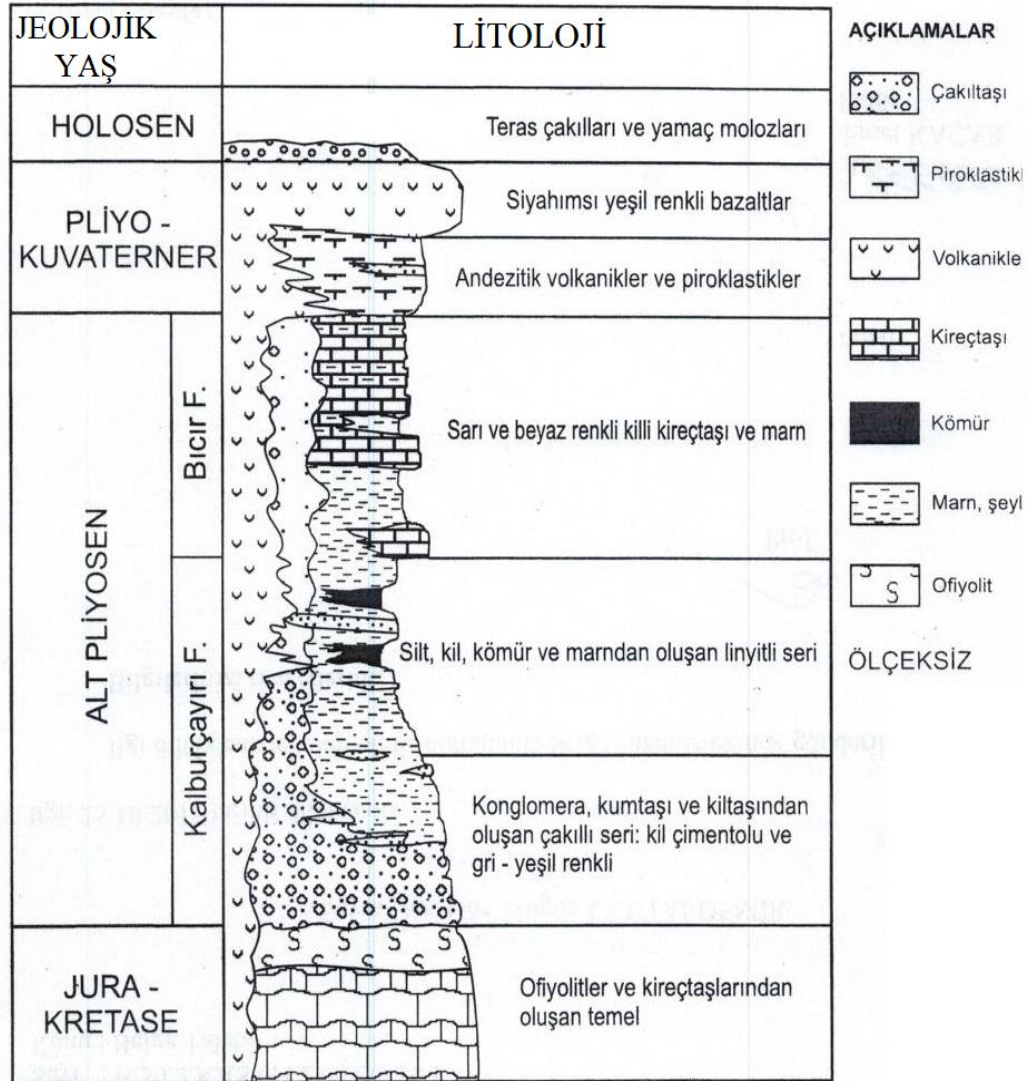
mevkiinde faaliyet gösteren Kangal Termik Santralinde ($39^{\circ}04'40''$ K- $37^{\circ}17'45''$ D) yakıt olarak kullanılmaktadır.



Harita 3.1. Kangal (Sivas) ilçesinin konumu

Fotoğraf 3.1'de gösterilen Kangal Termik Santrali, 1 x 150 MW (1989 yılında işletime alınmış), 1 x150 MW (1990 yılında işletime alınmış) ve 1 x 157 MW (2000 yılında işletime alınmış) olmak üzere toplam 457 MW'lık kurulu güce sahiptir (Turhan vd., 2010; KTS, 2018). Elektrik Üretim A.Ş.'ye ait olan Kangal Termik Santrali, 8 Şubat 2013 tarihinde özelleştirilmiştir ve 14 Ağustos 2013 tarihinden itibaren Konya Şeker Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından işletilmektedir (KTS, 2018). Kangal Termik Santralinin Kurulu gücü, 2017 yılı itibarıyla 9850 MW olan yerli kömür yakıtlı termik santrallerin kurulu gücünün % 4,63'üne karşılık gelmektedir. Türkiye'de, 2016 yılında gerçekleştirilen 278.400 GWh elektrik tüketiminin % 1.1'ine karşılık gelen 3.070 GWh'lık kısmı, Kangal Termik Santrali tarafından üretilmiştir (KTS, 2018). Kangal Termik Santralinde günlük yaklaşık 21 bin ton ve yılda yaklaşık 7 milyon ton linyit kömürü tüketilmektedir. Kangal Termik Santralinin

kazanlarında yakılan kömürün atığı olan ve baca gazları ile sürüklenen uçucu külün % 95'i, bacalarda bulunan elektrostatik filtreler (çöktürücüler) tarafından tutulmaktadır. Elektrostatik filtrelerde tutulan küller ile kazan altına düşen ve burada su dolu bir teknede soğutulan cüruf ayrı ayrı silolarda toplandıktan sonra kapalı galeri içinde bulunan bantlarla santralin 1200 m güneybatısında bulunan bir vadideki kül dağına taşınmakta ve dozerlerle kül vadisine serilerek burada depolanmaktadır (ÇED Raporu, 2016). 2016 yılında, Kangal Termik Santralinde 7.384.152 ton linyit kömürünün yakılması ile 180.617 ton cüruf ve 1.507.735 ton uçucu kül atık olarak elde edilmiştir (ÇED Raporu, 2016).



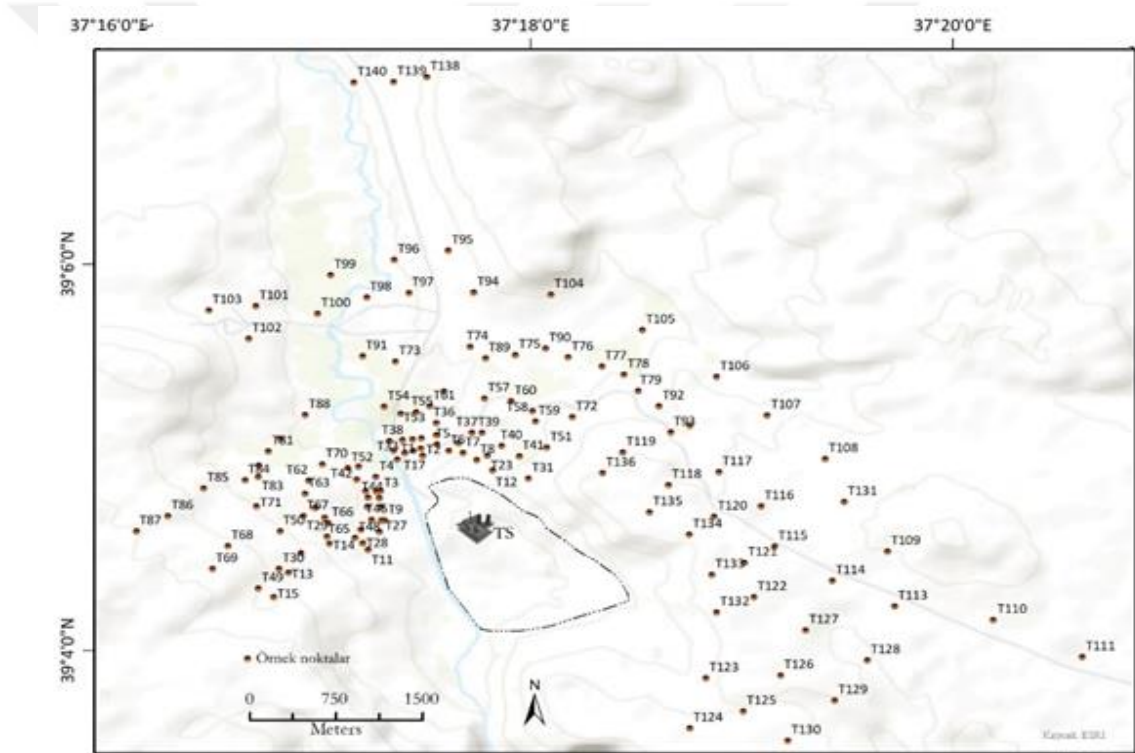
Şekil 3.1. Kangal linyit havzasının genelleştirilmiş jeolojik haritası (Şen ve Saraç, 2000)



Fotoğraf 3.1. Kangal Termik Santralinin farklı açılardan görünümü

3.2. Toprak Örneklerinin Toplanması ve Hazırlanması

Yüzey (0-5 cm) toprak örnekleri, Harita 3.2’de gösterildiği gibi, Kangal Termik Santralini merkez alacak şekilde, 0,1 km-2 km’lik tarımsal alandan, Fırat’ın bir kolu olan Tohma Çayının geçtiği alan hariç bütün yönleri kapsayacak şekilde topladı. Kangal Termik Santralinin çevresinden toplanan 140 adet toprak örneği, plastik kaplara konularak örnek hazırlama laboratuvarına getirildi. Örnek hazırlama laboratuvarına getirilen toprak örnekleri, ilk olarak taş, çakıl, bitki vb. kalıntılardan temizlendikten sonra toz haline getirildi ve konumlarını içerecek şekilde kodlandı. Daha sonra toprak örnekleri etüvde kurutuldu.



Harita 3.2. Toprak örnekleme alanı ve örnek noktaları

3.3. Toprağın Asitleşmesi ve pH Ölçme Yöntemi

Toprak, su vb. örneklerin pH değeri, örneklerdeki asitliğin veya alkaliliğin (bazikliğinin) bir ölçüsüdür. pH, bir çözeltilideki aktif hidronyum iyonları (H^+) derişiminin, 10 tabanına göre negatif logaritması olarak tanımlanır. pH değerleri, 0 – 14 aralığında olabilir. pH değeri 0 – 7 aralığında olduğunda asitliği, 7 – 14 aralığında

olduğunda alkaliliği ve 7'ye eşit olduğunda ise nötr durumu gösterir. pH değerlerine göre asitlik veya alkalilik derecesi, Tablo 3.1'de verildi (Namlı 2012). pH, toprak uygunluğunu ve verimliliğini tayin etmede ilk olarak belirlenmesi gereken parametrelerden birisidir.

Tablo 3.1. *pH değerlerine göre asitlik/alkalilik derecesi*

pH Değeri	Asitlik/alkalilik derecesi
< 3,0	Aşırı derecede asit
3,0-3,9	Çok kuvvetli asit
4,0-4,9	Kuvvetli asit
5,0-5,9	Orta derecede asit
6,0-6,9	Hafif asit
7,0	Nötr
7,1-8,0	Hafif alkali
8,1-9,0	Orta derecede alkali
9,1-10,0	Kuvvetli alkali
10,1-11,0	Çok kuvvetli alkali
> 11,0	Aşırı derecede alkali

Kangal Termik Santralinin bacalarından atmosfere salınan SO_x (SO₂ ve SO₃) ve NO_x (NO, NO₂) asit gazlarının, yağışlı havalarda kozmik radyasyonların oluşturduğu OH radikalleri ile tepkimesi sonucunda oluşan asit (sülfürik ve nitrik asit) yağmuru, etkileştiği çevrenin özellikle toprak ve suların asitleşmesine sebep olmaktadır. Asitleşme sonucunda,

(1) toprağın biyolojik ve kimyasal özellikleri değişir,

(2) bitkiler, kadmiyumu soğurur ve aşırı derecedeki kadmiyum, insan ve hayvanlar için tehlike oluşturur,

(3) topraktaki hidrojen ile yer değiştiren değişebilir alkaliler, bitkiler tarafından alınır veya çözünerek tuzlar şeklinde sulama ve yağmur sularıyla topraktan yıkanarak uzaklaşırlar. Böylece toprağın asitliği yükselir, demir, alüminyum ve manganın çözünürlükleri artar. Fosfor bu elementlerle birleşerek çözünmeyen bileşikler

oluşturur. Organik maddelerin parçalanmasını sağlayan, nitrat üreten ve atmosferdeki azot miktarını sabit tutan bakterilerin aktifliği azalır (Namlı, 2012) ve

(4) Toprağın drenaj ve havalanma kapasitesi azalır. Toprak, yağış sularını zor emer ve işlenmesi zorlaşır (Namlı, 2012).

Her bir toprak örneğinin pH değerini ölçmek için aşağıda verilen ölçme yöntemi kullanıldı:

- 1) Ölçme işleminden yaklaşık 20 dakika önce pH metre (LaMotte 5 series) açıldı.
- 2) Kurutulmuş her bir toprak örneğinden 10 g alındı ve 50 mL hacmindeki behere yerleştirildi (Fotoğraf 3.2).
- 3) Beherin üzerine 25 mL saf su ilave edildi ve çalkalanan toprak su karışımı 24 saat dinlenmeye bırakıldı.
- 4) pH metrenin elektrotu beher, toprak su karışımının bulunduğu behere daldırılarak pH değeri okundu (Fotoğraf 3.2).

3.4. X-ışını Flüoresans Spektrometrik Elemental Analiz Yöntemi

İkinci bölümde de belirtildiği gibi literatür incelendiğinde, toprak, su, gıda vb. çevresel örneklerin elemental analizleri için genellikle alevli veya grafit atomik absorpsiyon spektrofotometresi, endüktif eşlenmiş plazma atomik emisyon spektrometresi, endüktif eşlenmiş plazma optik emisyon spektrometresi, endüktif eşlenmiş plazma kütle spektrometresi vb. kimyasal analiz yöntemlerini esas alan spektrometreler kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra çok az da olsa çevresel örneklerin element içeriklerinin, nötron aktivasyon analizi ve X-ışını flüoresans spektrometrik teknik gibi tahribatsız analiz yöntemleri kullanılarak da belirlendiği görülmektedir. Bu yöntemlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Kimyasal analiz yöntemleri, ölçme işlemlerinden önce zor ve zaman alabilen örnek hazırlama süreçlerini gerektirirken tahribatsız analiz yöntemleri için asgari düzeyde örnek hazırlama işlemi gerekmektedir.



Fotoğraf 3.2. pH ölçme işlemi

Tez kapsamında incelenen toprak örneklerinin elemental içerikleri ve element derişimleri, güvenilir, hızlı, kesinliği ve tekrarlanabilirliği çok yüksek bir analiz yöntemi olan XRF spektrometrik analiz yöntemi kullanılarak belirlendi (Shackley, 2013; Grieken ve Margui, 2013; Brouwer, 2013; Yıldırım, 2018). Bu kısımda, XRF spektrometrik analiz yöntemine, örneklerin XRF analiz işlemi için hazırlanmasına ve analiz için kullanılan enerji dağılımlı XRF sistemine ilişkin bilgi verildi.

3.4.1. X-ışınları ve Madde ile Etkileşmesi

Enerjik foton demetinin oluşturduğu X-ışınları, dalga boyu 0,01 nm – 10 nm aralığında veya enerjisi 0,125 keV – 125 keV aralığında değişen elektromanyetik dalgadır. X-ışınları dalga-parçacık özelliğine sahiptir ve dalga veya tanecik özelliği açıklanacak fiziksel olaya bağlı olarak anlaşılır. Bir X-ışını fotonunun dalga boyu (λ), aşağıdaki bağıntı ile verilir:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad \text{veya} \quad \lambda(\text{nm}) = \frac{hc}{E(\text{keV})} = \frac{1,24}{E(\text{keV})} \quad (3.1)$$

Burada,

h: Planck sabiti,

p: momentum,

E: Enerji ve

c: Işık hızı ve 1,24 ise Planck sabiti ile ışık hızının çarpımıdır. Başlangıçtaki şiddeti I_0 olan X-ışını demeti, d kalınlığında ve ρ yoğunluğunda bir madde ile etkileştiğinde, flüoresans (floresans), Compton ve Rayleigh saçılması gibi üç temel etkileşme sürecinin meydana gelme ihtimali yüksektir. Şekil 3.2’de gösterildiği gibi bu etkileşme süreçleri sonucunda,

(1) X-ışını demetinin bir kısmı madde tarafından soğurularak flüoresans radyasyonu veya karakteristik X-ışınları oluşur.

(2) X-ışını demeti, geliş doğrultusundan farklı açılarda enerji kaybederek Compton saçılmasını oluşturur.

(3) X-ışını demeti, enerji kaybetmeyerek Rayleigh saçılmasını oluşturur.

Flüoresans soğurma, malzemenin kalınlığına (d), yoğunluğuna (ρ), malzeme bileşimine ve X-ışınının enerjisine bağlıdır. Başlangıçtaki şiddeti I_0 olan bir X-ışını demeti, bir yüzey üzerine dik olarak geldiğinde X-ışını demetinin şiddeti, Beer-Lambert yasası ile üstel olarak azalır.

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d} \quad (3.2)$$

Burada,

I: Malzemedan geçen X-ışını demetinin şiddeti ve

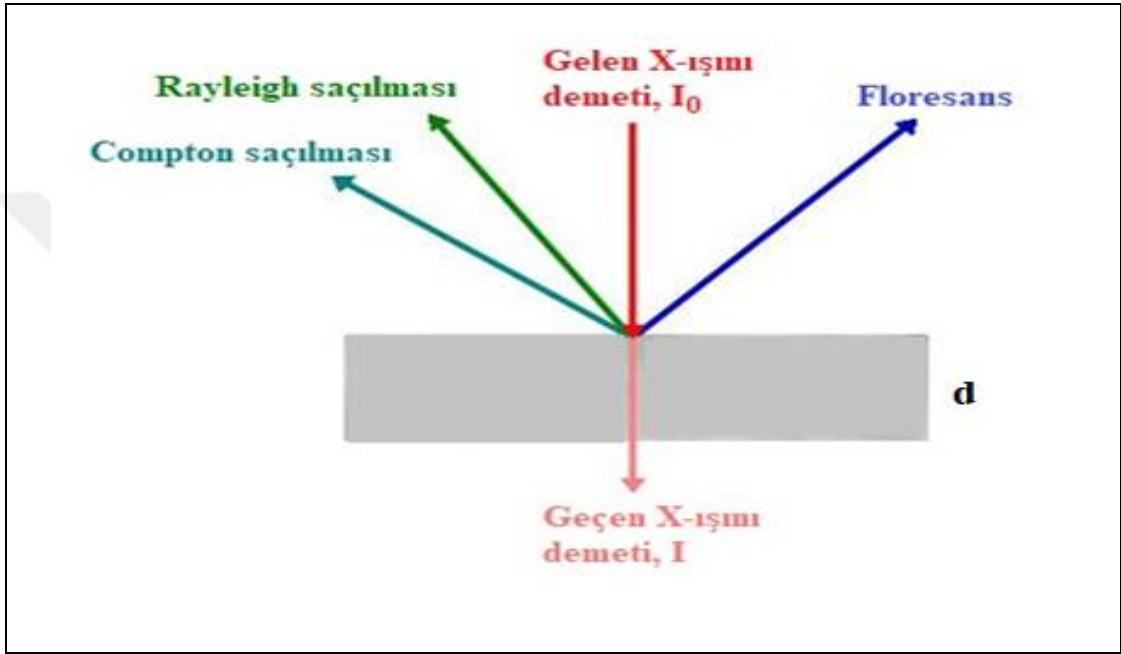
μ : Doğrusal zayıflatma katsayısıdır (cm^{-1}). Malzemenin ρ yoğunluğu hesaba katıldığında, Beer-Lambert yasayı,

$$I = I_0 \cdot e^{-(\mu/\rho) \cdot d \cdot \rho} \quad (3.3)$$

olarak verilir.

Burada,

μ/ρ : Kütle soğurma katsayıdır (cm^2/g).

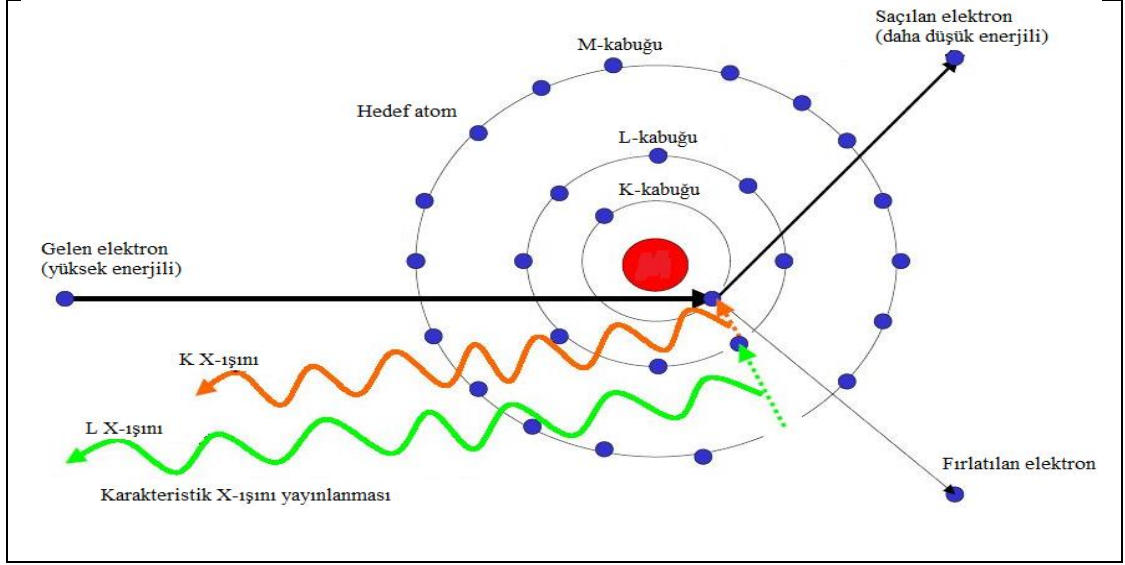


Şekil 3.2. X-ışını demetinin madde ile etkileşmesi (Yıldırım, 2018)

3.4.2. Karakteristik X-ışınlarının Oluşması

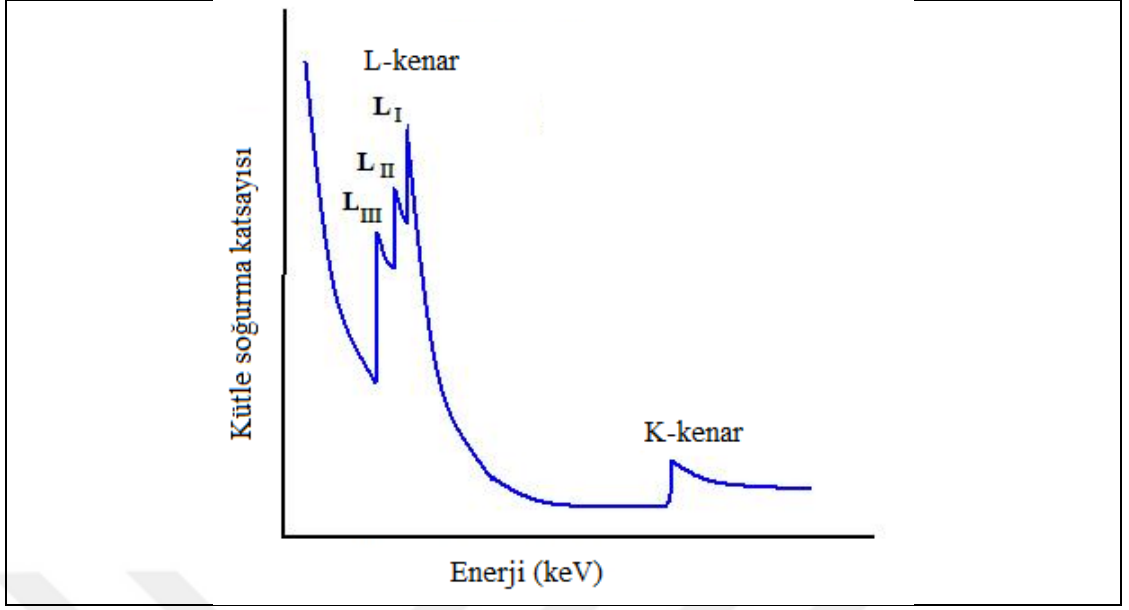
Klasik modele göre bir atom, merkezinde bir çekirdek (pozitif yüklü proton ve yüksüz nötronlardan oluşan) ve bu çekirdek etrafında dönen elektron(lar)dan meydana gelmektedir. Çekirdekten dışa doğru elektronların bulunduğu kabuklar (tabakalar), K-kabuğu, L-kabuğu, M-kabuğu vb. olarak isimlendirilir (Yıldırım, 2018). L-kabuğu, L_I , L_{II} ve L_{III} olmak üzere üç alt kabuğa sahip iken M-kabuğu, M_I , M_{II} , M_{III} , M_{IV} ve M_V olmak üzere 5 alt kabuğa sahiptir. K-kabuğu 2, L-kabuğu 8 ve M-kabuğu 18 elektron içermektedir. Bir elektronun enerjisi, yer aldığı kabuğa ve ait olduğu elemente bağlıdır. Gama fotonu, X-ışını fotonu, yeterli enerjiye sahip elektronlar, alfa vb. enerjik tanecik veya elektromanyetik radyasyon hedef maddenin atomları ile etkileştiğinde, atomdan elektron(lar) koparır (Şekil 3.3). Bu durumda,

elektronun koparıldığı kabukta, örneğin K-kabuğunda bir boşluk oluşur ve kararsız atom daha yüksek enerjili seviyeye uyarılmış olur. Atom uyarılmış durumdan kararlı durumuna (ilk durumuna) gelebilmek için meydana gelen elektron boşluğu daha dış kabuktaki (örneğin L-kabuğundaki) elektron ile doldurulur. K-kabuğuna göre daha yüksek enerjili L-kabuğundaki elektronun K-kabuğuna dönmesi sonucunda, fazla enerji karakteristik X-ışını fotonu olarak yayınlanır ve spektrumda bu bir çizgi olarak görülür. Yayınlanan X-ışınının enerjisi, ilk boşluğun yer aldığı kabuk ile boşluğun doldurulduğu kabuk arasındaki enerji farkına (örnek olarak K-kabuğu ile L-kabuğunun enerjileri arasındaki fark) bağlıdır. Her bir atom kendisine özgün enerji seviyelerine sahip olduğundan, yayınlanan radyasyonda, o atomun bir karakteristiğidir. Elektron tabaklarında farklı boşluklar oluşabildiği ve bu boşluklarda farklı elektronlar tarafından doldurulabildiğinden, atom tek bir enerjiden (veya bir çizgiden) daha fazlasını yayımlar. Yayınlanan çizgiler, elementin karakteristiğidir ve elementin parmak izi olarak da kabul edilebilir (Yıldırım, 2018; Brouwer, 2013). Bir atomdan bir elektronun koparılması için gelen X-ışınlarının, elektronun bağlanma enerjisinden daha büyük bir enerjiye sahip olması gerekir. Eğer elektron koparılsa, gelen radyasyon soğurular ve yüksek soğurulma yüksek flüoresans oluşturur. Diğer taraftan enerji çok yüksekse, fotonların çoğu atomdan soğurulmadan geçer sadece birkaç elektron koparılır. Yüksek enerjilerin keskin bir şekilde soğurulduğu ve düşük flüoresans oluşturduğu Şekil 3.4'te gösterilmektedir. Gelen fotonların enerjisi daha düşük olursa ve K-kabuğu elektronlarının bağlanma enerjisine yakın gelirse, radyasyonun daha fazlası soğurular. En yüksek verim, foton enerjisinin koparılacak elektronun bağlanma enerjisinin biraz üzerinde olduğu zaman elde edilir. Gelen fotonların enerjisi, bağlanma enerjinden daha küçük olduğunda, Şekil 3.4'te görüldüğü gibi K-kabuğuna karşılık gelen K-kenarı ve L-kabuğuna karşılık gelen L-kenarı gibi bir kenar görülebilir (Yıldırım, 2018; Brouwer, 2013).

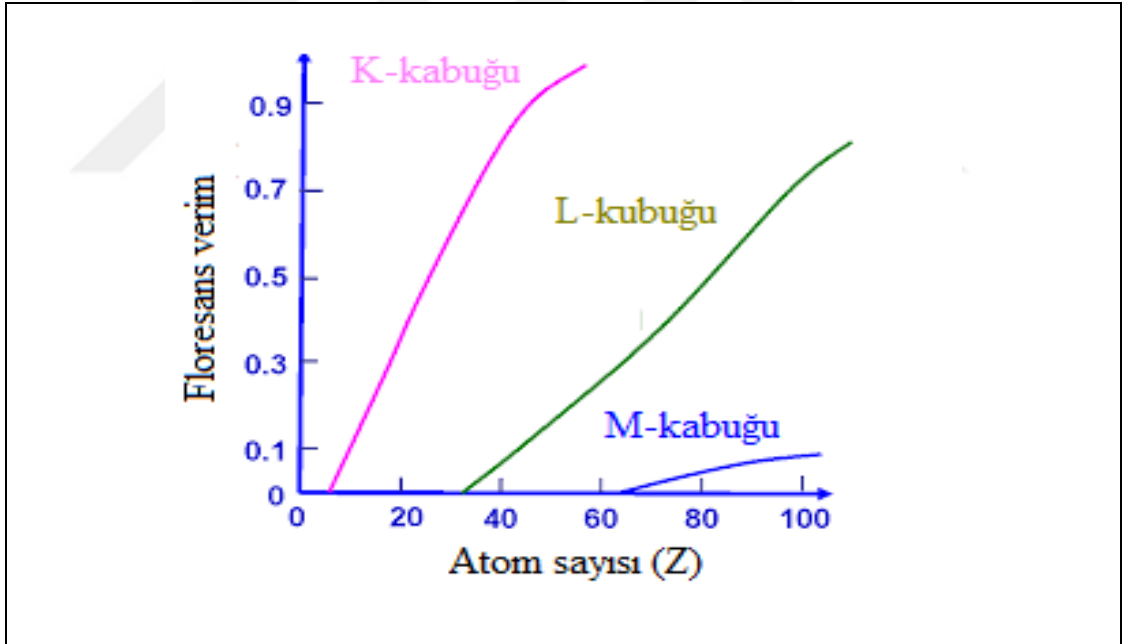


Şekil 3.3. Karakteristik X-ışının oluşması

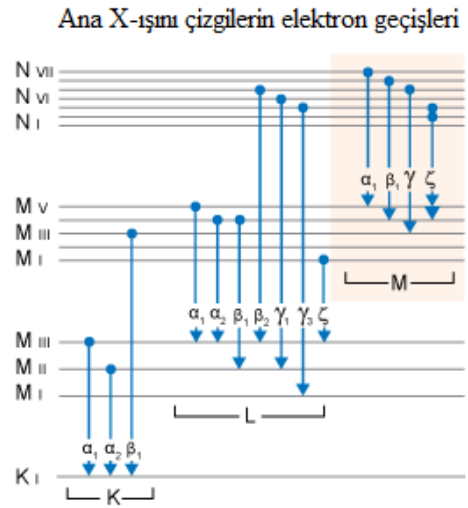
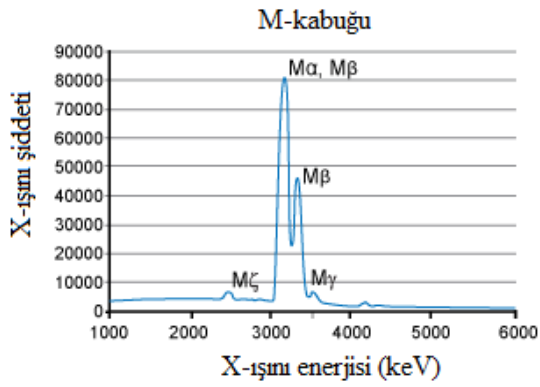
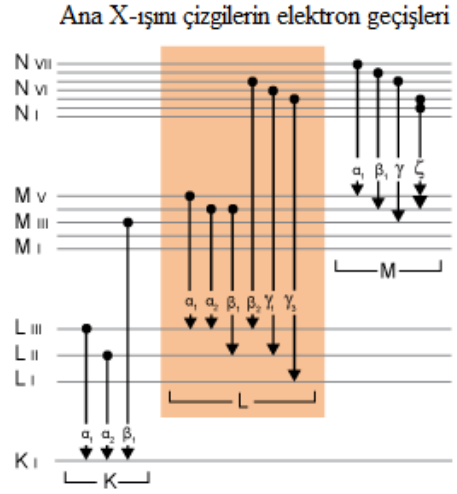
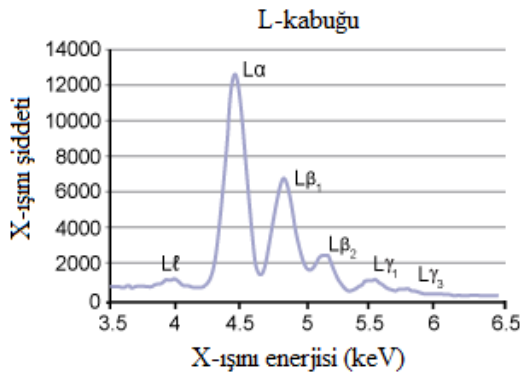
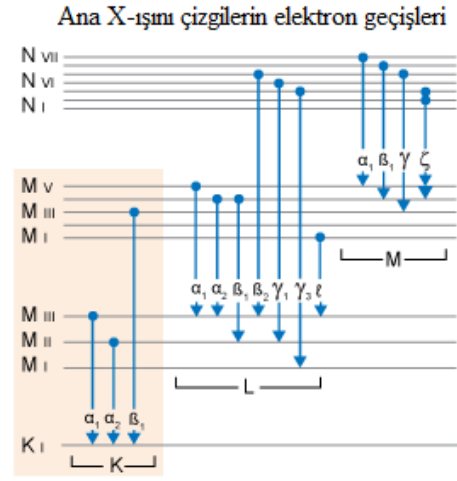
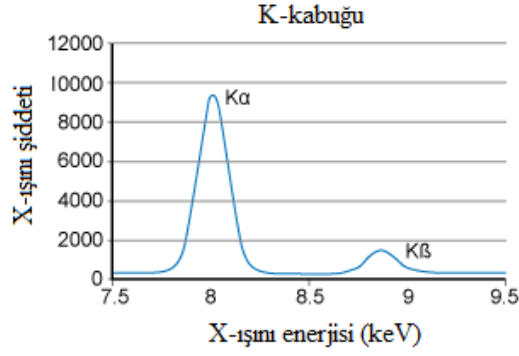
Gelen radyasyonun sebep olduğu başlangıçtaki boşlukların tamamı, flüoresans fotonlarını oluşturmayabilir. Bu durumda, Auger etkisi ile Auger elektronu yayınlanır. Flüoresans verimi, yayınlanan flüoresans fotonlarının başlangıçtaki boşluk sayısına oran olarak tarif edilir. Şekil 3.5'te, K-, L- ve M-kabukları için flüoresans verimlerinin, atom sayısı Z 'nin fonksiyonu olarak nasıl değiştiği gösterilmektedir. Hafif elementler için flüoresans verim düşük olduğundan, hafif elementlerin ölçümleri diğerlerine göre daha zordur. Farklı çizgileri göstermenin birkaç yolu vardır. Seigbahn notasyonu literatürde kullanılan notasyonlardan biridir. Seigbahn notasyonu, element sembolünü takip eden kabuk ismi ile bir çizgiyi gösterir. İlk elektron boşluğu, bağıl olarak çizgi şiddetine de işaret eden Yunan harfleri (α , β , γ vb.) ile gösterilir. Örneğin Fe $K\alpha$, K-kabuğundan koparılan bir elektron sebebiyle en kuvvetli demir çizgisidir. Geçişler ve bunlara eşlik eden notasyonlar, Şekil 3.6'da gösterilmektedir (Yıldırım, 2018).



Şekil 3.4. Enerjiye karşı soğurulma (Yıldırım, 2018)



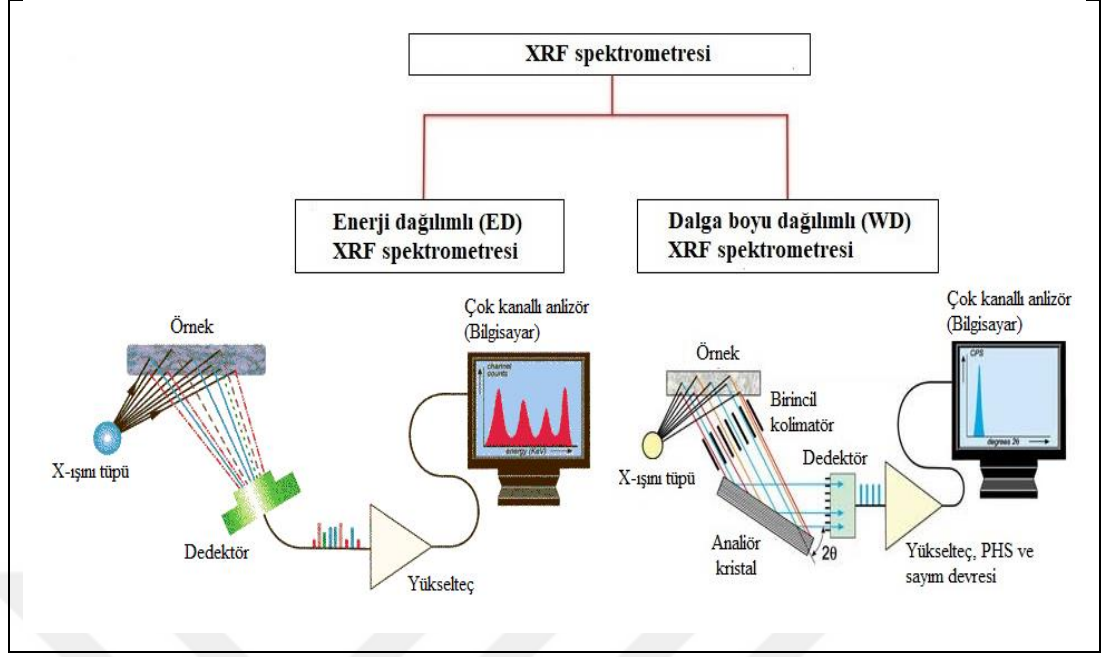
Şekil 3.5. K, L ve M elektronları için flüoresans verim (Yıldırım, 2018)



Şekil 3.6. Ana çizgiler ve elektron geçişleri (Yıldırım, 2018)

3.4.3. X-Işını Flüoresans Spektrometresi

Bütün spektrometreler, temel olarak bir kaynak, bir örnek ve bir algılama (dedeksiyon) sisteminden oluşmaktadır. Kaynak bir örneği ışınlar ve dedektör örnekten gelen radyasyonu ölçer. Bazı XRF spektrometrelerinde, kaynak olarak ²⁴¹Am gibi radyoaktif kaynak veya sinkrotron radyasyonunun kullanılmasına rağmen spektrometrelerin çoğunda kaynak olarak X-ışını tüpü kullanılmaktadır. Dalga boyu dağılımlı (WD) ve enerji dağılımlı (ED) olmak üzere iki tip XRF spektrometresi mevcuttur (Şekil 3.7). Bu iki sistem arasındaki fark, algılama (dedeksiyon) sisteminden ileri gelmektedir. Bir EDXRF spektrometresinde, örnekten doğrudan gelen farklı enerjilerdeki karakteristik ışını ölçme kapasitesine sahip bir dedektör kullanılmaktadır. Dedektör, örnekten gelen radyasyonu, örnek içindeki elementlerden gelen radyasyona ayırabilir. Bu ayırma işlemi dağılım olarak isimlendirilir. EDXRF spektrometreleri, 2D ve 3D optiklere sahip spektrometrelere ayrılabilir. Her ikisi de bir kaynak ve bir enerji dağılımlı dedektöre sahiptir ancak X-ışını optik yolunda fark olabilir. 2D spektrometreleri için X-ışını yolu bir düzlemdir (dolayısıyla iki boyutludur). 3D spektrometreleri optik için yol bir düzlemden sınırlı değildir ve üç boyut içerir. Bir WDXRF spektrometresinin ilk kısmı, 2D optikli ve ikinci hedefi olmayan bir EDXRF spektrometresine eş değerdir. Bir WDXRF spektrometresinde, algılama sistemi farklı olmasına rağmen EDXRF spektrometresinde olduğu gibi X-ışını tüpünden elde edilen X-ışını fotonları ile örnek bombardımana tabi tutulur ve örnekten gelen karakteristik X-ışınları algılanır. Bir WDXRF spektrometresinde algılama sistemi, bir doğrultucu (kolimatör) setinden, bir kırınım (difraksiyon) kristalinden ve bir dedektörden oluşmaktadır. Örnekten gelen karakteristik X-ışını kristal üzerine düşer ve kristal aynı prizmanın beyaz ışığı, kırınımına uğrattığı gibi X-ışınlarını farklı yönlerde farklı dalga boylarına (enerjilerine) ayıracak şekilde kırınımına uğratar. Dedektör belli açılara yerleştirilerek belirli dalga boyuna sahip X-ışınları şiddeti ölçülebilir. Ayrıca bir açıölçer (gönyometre) üzerine bir dedektör monte edilerek bu dedektör, birçok dalga boyundaki X-ışınlarının şiddetini ölçebilmek için belli bir açı aralığında hareket ettirilebilir. EDXRF ve WDXRF spektrometreleri, Tablo 3.2’de karşılaştırıldı.



Şekil 3.7. EDXRF ve WDXRF spektrometrelerinin şematik gösterimi

Tablo 3.2. Spektrometrelerin karşılaştırılması (Yıldırım, 2018)

	EDXRF	WDXRF
Element aralığı	Sodyum-Uranyum	Berilyum-Uranyum
Algılama sınırı	- Hafif elementler için az elverişli - Ağır elementler için iyi	- Be ve bütün ağır elementler için iyi
Hassasiyet	- Hafif elementler için az elverişli - Ağır elementler için iyi	- Hafif elementler için makul - Ağır elementler için iyi
Çözünürlük	- Hafif elementler için az elverişli - Ağır elementler için iyi	- Hafif elementler için iyi - Ağır elementler için az elverişli
Maliyet	Bağıl olarak pahalı değil	Bağıl olarak pahalı
Güç tüketimi	5-1000 W	200-4000 W
Ayrılabilir kritik kısım	Yok	Kristal ve açölçer

3.4.4. Örneklerin Elemental Analiz için Hazırlanması

Nemden arındırılan toz hâlindeki her bir toprak örneğinden 50 gram alındı ve bu örnekler agat havan takımı ile homojen hâline getirildi. Daha sonra örnekler, analiz için kullanılan EDXRF spektrometresinde kalibre edilmiş pelet geometrisine uygun hâle getirmek için paslanmaz çelikten yapılmış kalıp takımına konuldu ve gerekli basınç uygulanarak pelet hâline getirildi.

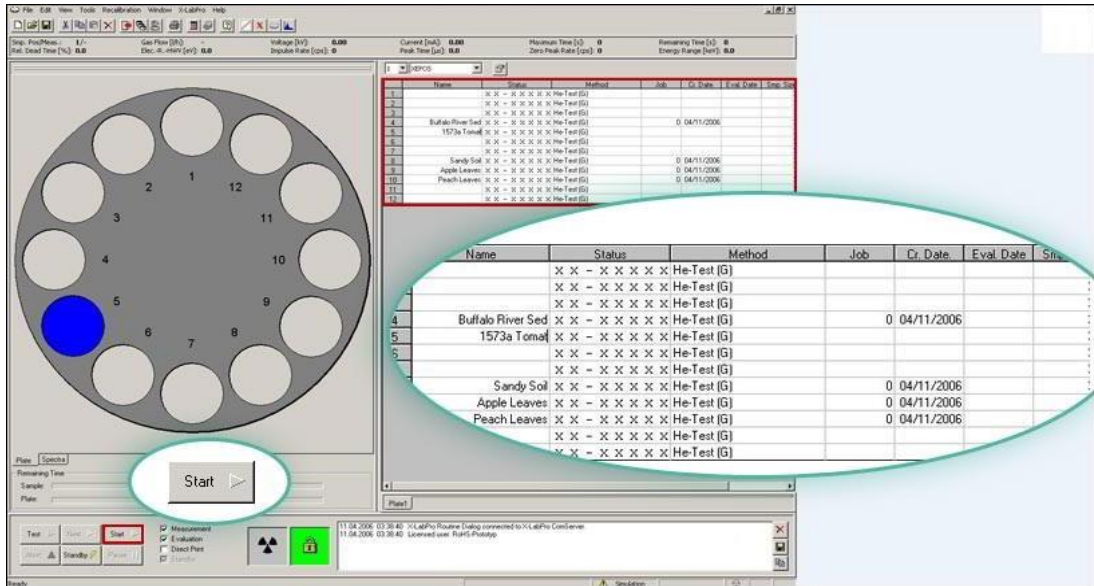
3.4.5. Elemental Analiz için Kullanılan EDXRF Spektrometresi

Toprak örneklerinin içerdiği ana (derişim değeri, % 1'den daha büyük), ikincil (derişim değeri, % 0,1 – % 1 aralığında) ve eser (derişim değeri, % 0,1'den küçük) elementlerin nitel ve nicel analizleri, Fotoğraf 3.3'te gösterilen EDXRF spektrometresi (Spekro Xepos, Ametek) kullanılarak yapıldı. EDXRF spektrometresi ikili kalın Pd/Co karışımdan oluşan anot X-ışını tüpü (50 W, 60 kV) ile donatılmıştır. Kutuplanma ve ikincil hedefleri kullanarak uyarmayı optimize eden EDXRF spektrometresinin sahip olduğu hedef değıştirici, sodyumdan uranyuma kadar bütün elementlerin belirlenmesini en iyi şekilde yapmayı garanti eden birçok farklı uyarma şartlarına sahiptir. Ölçme işlemleri, He gazı ortamında yapılmaktadır. Sistemin spektral çözünürlüğü, 155 eV'den daha düşüktür. EDXRF spektrometresi aynı anda otomatik olarak 12 adet örnek alma cihazına ve örnekleri analiz edecek yazılıma sahiptir (Şekil 3.8).

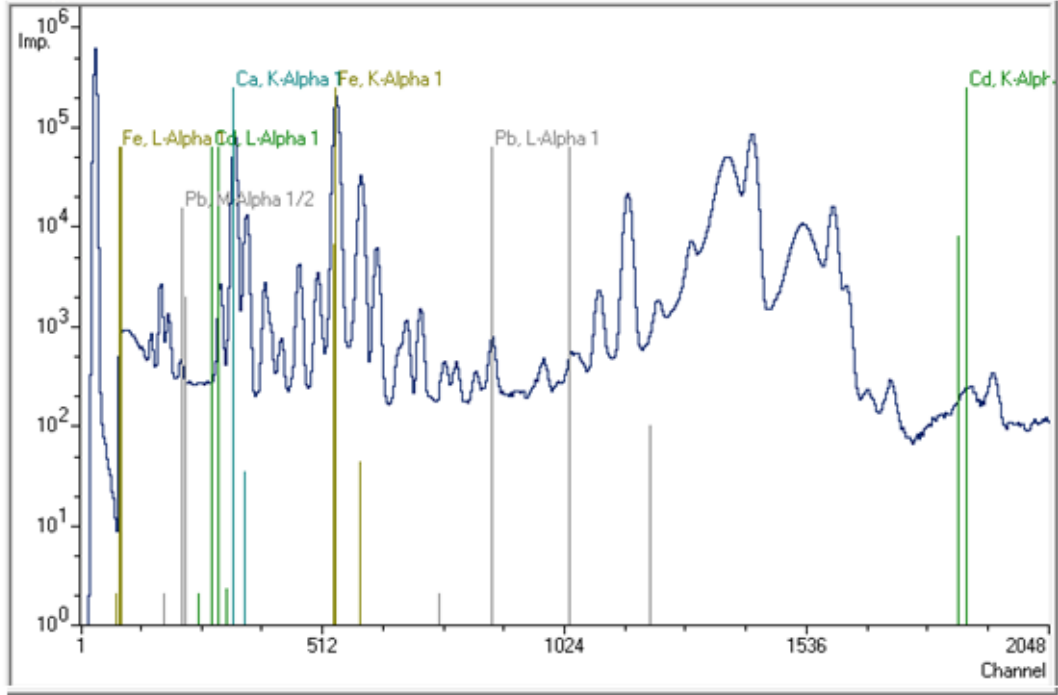
Analiz işlemleri, hazırlanan her bir toprak örneği peleti, paslanmaz çelikten yapılmış örnek kaplarına konularak 2 saat süreyle EDXRF spektrometresinde sayılarak tamamlandı. Sayım sonrasında elde edilen her bir toprak örneğinin XRF spektrumu (Grafik 3.1), sistemde yüklü olan yazılım yardımı ile yapıldı.



Fotoğraf 3.3. Analiz işlemleri için kullanılan EDXRF spektrometresi



Şekil 3.8. Otomatik örnek alma yazılımının şematik görünümü



Grafik 3.1. T26 kodlu toprak örneğinin XRF spektrum kesiti

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

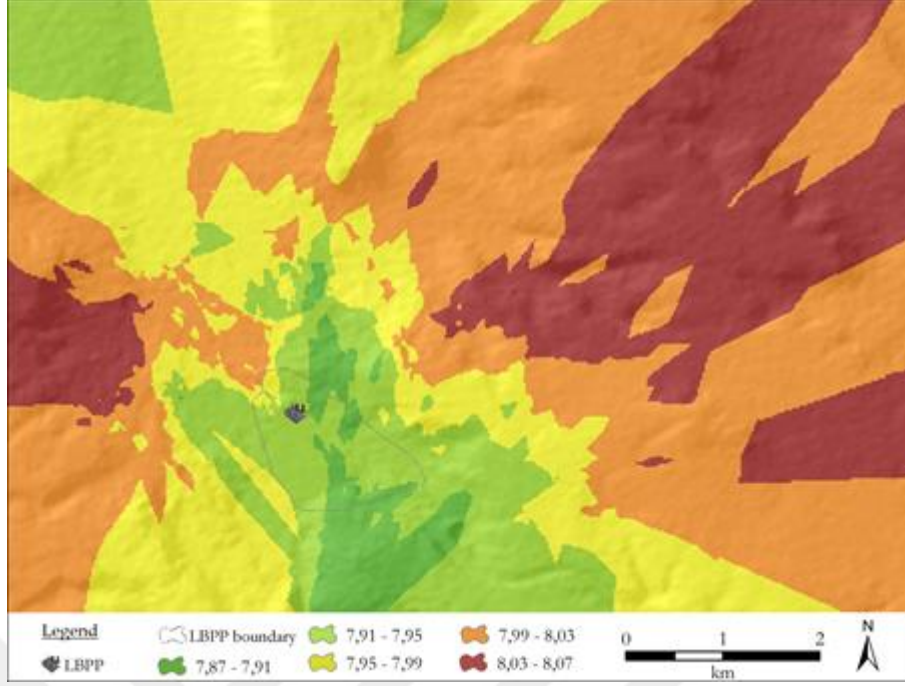
Bu kısımda, (1) Kangal Termik Santralinin çevresinden toplanan 140 adet toprak örneğinin pH değerleri, (2) toprak örneklerinin EDXRF spektrometresi ile yapılan analizleri sonucunda, 5 ana oksit (SiO_2 , CaO , MgO , Al_2O_3 ve Fe_2O_3), 6 adet ikincil oksit (Na_2O , K_2O , TiO_2 , SO_3 , P_2O_5 ve MnO) ve 16 adet eser metal (Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Zr, Sn, Hg ve Pb) derişimleri, (3) araştırılan alanın ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi ve (4) her bir metale ilişkin elde edilen veriler (bulgular) tablolar ve grafikler hâlinde sunuldu. Derişim verileri, yer kabuğu ortalaması değerleri ile karşılaştırıldı.

4.1. Toprak Örneklerinin pH Değerleri

pH değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiki bilgi, Tablo 4.1’de verildi. İncelenen toprak örneklerinin pH değerleri, 7,5 (hafif alkalın) ile 8,2 (orta derecede alkalın) aralığındadır. Basit Kriging ve nicelik yöntemi elde edilen toprak örneklerinin pH değerlerinin uzaysal dağılımı, Harita 4.1’de gösterildi.

Tablo 4.1. *Toprak örneklerinin pH değerleri*

Ortalama	8,0
Ortanca	8,0
Standard sapma	0,1
Standard hata	0,01
En küçük	7,5
En büyük	8,2
Çarpıklık	-0,5
Basıklık	0,8
Örnek sayısı	140



Harita 4.1. pH değerlerinin uzaysal dağılımı

4.2. Toprak Örneklerinde Analiz Edilen Oksit Derişimleri

Toprak örneklerinde analiz edilen ana ve ikincil oksit derişimleri ile ilgili tanımlayıcı istatistiki bilgi ve yer kabuğundaki ortalama bolluk değerleri (Yaroshevsky, 2006), Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te verildi. Ana ve ikincil oksit derişimlerinin ölçme belirsizliği, % 0,07 – % 4 aralığında değişmektedir. Ortalama derişim değerlerine göre ana oksitler, $\text{SiO}_2 > \text{CaO} > \text{MgO} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3$ olarak sıralanmaktadır. SiO_2 , CaO , MgO , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 'ün derişimleri, sırasıyla % 5,65 – % 55,50 (ortalama: % 29,47), % 7,19 – % 41,95 (ortalama: % 21,08), % 2,16 – % 21,19 (ortalama: % 8,41), % 1,49 – % 19,59 (ortalama: % 7,09) ve % 2,61 – % 8,05 (ortalama: % 5,54) aralığında bulundu. Ortalama derişim değerlerine göre ikincil oksitler, $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O} > \text{TiO}_2 > \text{SO}_3 > \text{P}_2\text{O}_5 > \text{MnO}$ olarak sıralanmaktadır. Na_2O , K_2O , TiO_2 , SO_3 , P_2O_5 ve MnO 'nun derişimleri, sırasıyla % 0,20 – % 1,68 (ortalama: % 0,74), % 0,26 – % 1,72 (ortalama: % 0,71), % 0,20 – % 0,75 (ortalama: % 0,38), % 0,07 – % 1,38 (ortalama: % 0,23), % 0,09 – % 0,52 (ortalama: % 0,15) ve % 0,04 – % 0,14 (ortalama: % 0,10) aralığında bulundu.

Tablo 4.2. Ana oksit derişimine ilişkin istatistiki bilgi

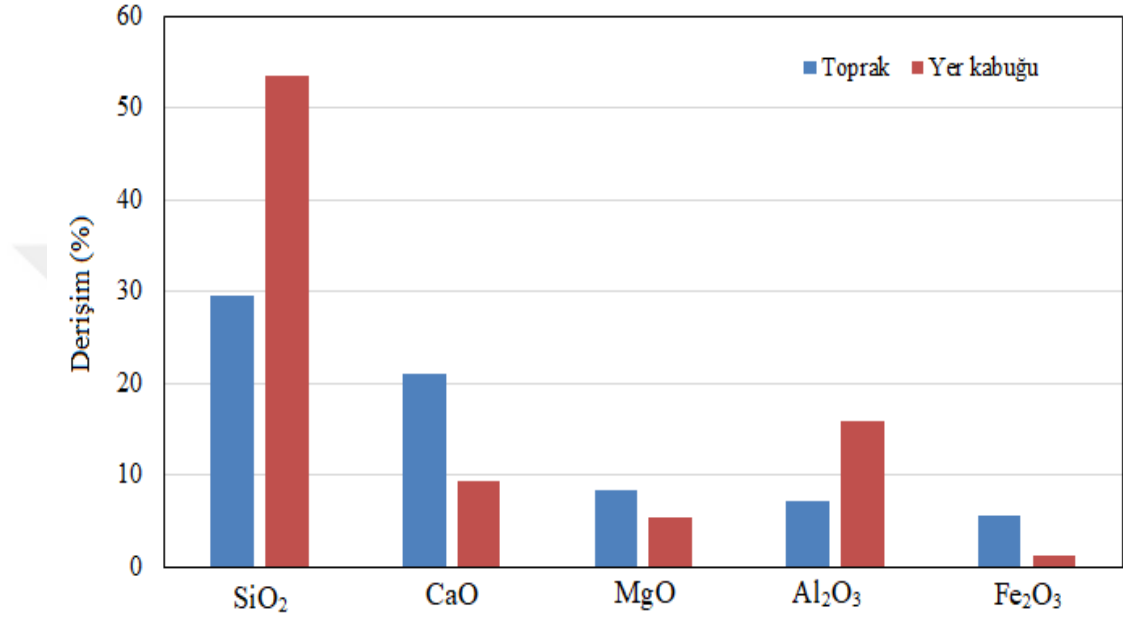
	Derişim (%)				
	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Ortalama	29,47	21,08	8,41	7,09	5,54
Ortanca	28,77	20,26	8,22	6,47	5,56
Standard sapma	6,60	5,17	2,97	2,61	0,80
Standard hata	0,56	0,44	0,25	0,22	0,07
En küçük	5,65	7,19	2,16	1,49	2,61
En büyük	55,50	41,95	21,19	19,59	8,05
Çarpıklık	0,47	1,51	0,72	2,00	-1,03
Basıklık	3,62	4,90	2,53	5,69	4,31
Örnek sayısı	140	140	140	140	140
Yer kabuğu ortalaması	53,54	9,41	5,44	15,87	1,11

Tablo 4.3. İkincil oksit derişimine ilişkin istatistiki bilgi

	Derişim (%)					
	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅	MnO
Ortalama	0,74	0,71	0,38	0,23	0,15	0,10
Ortanca	0,69	0,63	0,36	0,20	0,14	0,09
Standard sapma	0,25	0,27	0,12	0,14	0,05	0,02
Standard hata	0,02	0,02	0,01	0,01	0,005	0,001
En küçük	0,20	0,26	0,20	0,07	0,09	0,04
En büyük	1,68	1,72	0,75	1,38	0,52	0,14
Çarpıklık	1,40	1,63	1,37	5,07	3,26	0,09
Basıklık	2,47	2,11	1,44	37,24	16,28	1,44
Örnek sayısı	140	140	140	140	140	140
Yer kabuğu ortalaması	2,66	1,09	0,97	0,05	0,19	0,16

Ana ve ikincil oksitlerin ortalama değerlerinin, yer kabuğundaki ortalama bolluk değerleri ile karşılaştırılması Grafik 4.1 ve Grafik 4.2’de gösterildi. Grafik 4.1’den de görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen ortalama SiO₂ derişimi, yer

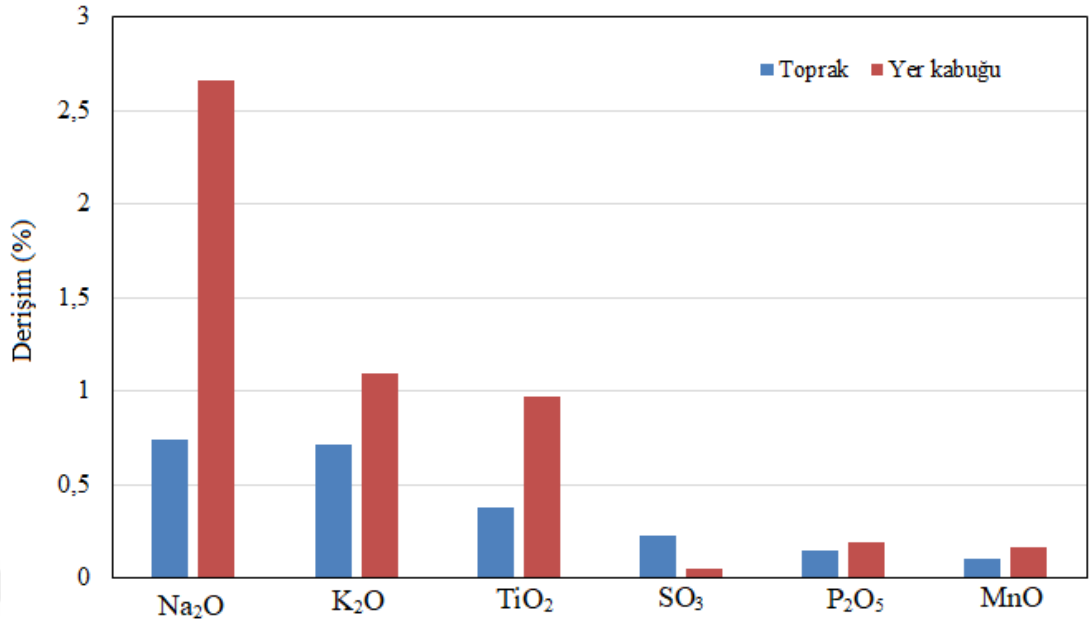
kabuğu ortalamasından yaklaşık olarak 2 kat ve ortalama Al_2O_3 derişimi ise yer kabuğu ortalamasından 1,5 kat daha küçüktür. Bununla birlikte ortalama CaO derişimi, yer kabuğu ortalamasından 2,2 kat, ortalama MgO derişimi yer kabuğu ortalamasından 1,5 kat ve ortalama Fe_2O_3 derişimi ise yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 5 kat daha büyüktür.



Grafik 4.1. Ana oksit derişimlerinin yer kabuğu ortalaması ile karşılaştırılması

Grafik 4.2'den de görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen ortalama Na_2O derişimi, yer kabuğu ortalamasından 3,5 kat, ortalama K_2O derişimi, yer kabuğu ortalamasından 1,5 kat, ortalama TiO_2 derişimi, yer kabuğu ortalamasından 2,5 kat ve ortalama MnO derişimi ise yer kabuğu ortalamasından 1,6 kat daha küçüktür. Bununla birlikte ortalama P_2O_5 derişimi, yer kabuğu ortalamasına yakın değerde iken ortalama SO_3 derişimi ise yer kabuğu ortalamasından 4,5 kat daha büyüktür.

SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 'ün en yüksek derişimi, T133 kodlu toprak örneğinde ve CaO ve MgO 'nun en yüksek derişimi ise T106 ve T97 kodlu toprak örneğinde ölçüldü. Na_2O , K_2O , TiO_2 , SO_3 , P_2O_5 ve MnO 'nun en yüksek derişimleri, sırasıyla T131, T133, T132, T111, T101 ve T138 kodlu toprak örneğinde ölçüldü.



Grafik 4.2. İkincil oksit derişimlerinin yer kabuğu ortalaması ile karşılaştırılması

4.3. Ağır Metal (Eser Element) Derişimleri

Tez kapsamında, toprak örneklerinde birikerek toprağın metal derişimini artırması muhtemel demir (Fe), alüminyum (Al), titanyum (Ti), mangan (Mn), krom (Cr), nikel (Ni), stronsiyum (Sr), çinko (Zn), zirkonyum (Zr), kobalt (Co), rubidyum (Rb), bakır (Cu), kurşun (Pb), arsenik (As), kalay (Sn) ve cıva (Hg) elementleri dikkate alındı. Analiz edilen metal derişimleri ile ilgili tanımlayıcı istatistiki bilgi ve yer kabuğundaki ortalama bolluk değerleri (Yaroshevsky, 2006), Tablo 4.4’de verildi. Tablodan da görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen metaller, ortalama derişim değerlerine göre Fe > Al > Ti > Mn > Cr > Ni > Sr > Zn > Zr > Co > Rb > Cu > Pb > As > Sn > Hg olarak sıralanmaktadır. Zehirlilik derecesine göre önemli bir ağır metal olan kadmiyum (Cd) bütün toprak örneklerinde, dedeksiyon limit olan 2 mg/kg değerinin altında ölçüldü. Toprak örneklerindeki ağır metal derişimlerinin uzaysal dağılımı, basit Kriging ve nicelik yöntemi ile elde edildi.

Tablo 4.4. *Metal derişimine ilişkin istatistiki bilgi*

Metal	Derişim (mg/kg)								
	Ortalama	Ortanca	Standard sapma	Standard hata	En küçük	En büyük	Çarpıklık	Basıklık	Yer kabuğu ortalaması
Al	37813,9	34215,0	13421,2	1134,3	21510,0	103700,0	2,3	6,3	80500
Ti	2261,7	2177,5	738,3	62,4	1179,0	4481,0	1,4	1,6	4500
Cr	713,2	722,9	236,0	19,9	125,3	1327,0	-0,1	-0,3	83
Mn	720,8	712,2	118,7	10,0	309,0	1116,0	0,1	1,4	1000
Fe	39064,8	38905,0	5096,0	430,7	18220,0	56290,0	-0,9	5,4	46500
Co	63,9	67,5	19,1	1,6	12,0	104,0	-0,6	-0,2	18
Ni	610,1	620,9	198,7	16,8	89,5	971,0	-0,7	-0,3	58
Cu	28,8	28,5	3,4	0,3	18,1	40,8	0,6	3,5	47
Zn	81,8	75,8	36,8	3,1	50,2	376,5	4,3	29,4	83
As	9,0	6,9	9,3	0,8	3,2	98,7	7,6	67,7	1,7
Rb	34,5	31,8	12,2	1,0	22,1	75,0	1,8	2,6	150
Sr	410,8	398,1	170,4	14,4	188,6	1679,0	3,9	24,2	340
Zr	65,3	63,7	26,1	2,2	28,1	152,2	1,5	2,1	170
Sn	3,3	3,0	1,1	0,1	3,0	9,3	4,5	18,9	2,5
Hg	1,7	1,5	1,2	0,1	1,0	13,2	7,0	65,7	0,083
Pb	17,0	15,4	6,8	0,6	1,9	59,0	2,3	10,2	16

4.4. Topraktaki Ağır Metal Kirliliğinin Ekolojik Değerlendirilmesi

Kangal Termik Santralinin sebep olduğu toprak örneklerindeki muhtemel ağır metal kirliliği, jeoakümülyasyon indisi, zenginleşme faktörü, kirlilik faktörü, kirlilik derecesi, uyarlanmış kirlilik derecesi ve kirlilik yükü indisi gibi ekolojik risk parametreleri veya göstergeleri ile değerlendirildi.

4.4.1. Jeoakümülyasyon İndisi

İlk olarak sediment örneklerindeki kirliliği araştırmak için Muller (1969) tarafından öne sürülen jeoakümülyasyon indisi, araştırılan alanın ağır metal kirliliği derecesini değerlendirmek amacıyla kullanılan ekolojik göstergelerden biridir. Jeoakümülyasyon indisi (I_{GA}), aşağıda verilen bağıntı ile hesaplandı (Muller, 1969):

$$I_{GA} = \log_2 \left(\frac{C_n}{FC \times B_n} \right) \quad (4.1)$$

Burada,

C_n : Toprak örneklerinde analiz edilen metal derişimi,

B_n : Jeokimyasal background (referans) değer (ilgili metalin yer kabuğu ortalaması) ve

FC: Referans değerlerdeki mümkün farklılıklardan ve çok küçük antropojenik etkilerden dolayı oluşabilecek doğal dalgalanma faktörüdür. FC'nin değeri 1,5 olarak alındı (Muller, 1969; Özkul, 2018). Tablo 4.5'te verildiği gibi I_{GA} değerlerine göre kirlilik veya toprak kalitesi 7 ayrı kategoride değerlendirilmektedir (Muller, 1969).

Tablo 4.5. I_{GA} değerlerine göre kirlilik kategorisi

Değer	Kirlilik kategorisi (toprak kalitesi)
$I_{GA} \leq 0$	Kirlenmemiş
$0 < I_{GA} < 1$	Bir dereceye kadar kirlenmiş
$1 \leq I_{GA} < 2$	Orta seviyede kirlenmiş
$2 \leq I_{GA} < 3$	Orta seviyenin üzerinde kirlenmiş
$3 \leq I_{GA} < 4$	Yoğun bir şekilde kirlenmiş
$4 \leq I_{GA} < 5$	Ağır şekilde kirlenmiş
$I_{GA} \geq 5$	Aşırı kirlenmiş

Kangal Termik Santralinin çevresindeki araştırılan alanın kirlilik değerlendirmesine yönelik olarak her bir metal için hesaplanan I_{GA} değerleri, Tablo 4.6’da ve metallerin kirlilik kategorileri de Tablo 4.7’de verildi.

Tablo 4.6. *Araştırılan alan için hesaplanan I_{GA} değerleri*

Metal	I_{GA}		
	En küçük	En büyük	Ortalama
Al	-2,59	-0,22	-1,74
Ti	-2,52	-0,59	-1,64
Cr	0,01	3,41	2,42
Mn	-2,28	-0,43	-1,08
Fe	-1,94	-0,31	-0,85
Co	-1,17	1,95	1,15
Ni	0,04	3,48	2,70
Cu	-0,79	-1,96	-1,30
Zn	-1,31	1,60	-0,69
As	0,33	5,27	1,59
Rb	-3,35	-1,58	-2,77
Sr	-1,44	1,72	-0,39
Zr	-3,18	-0,74	-2,06
Sn	-0,32	1,31	-0,25
Hg	3,01	6,73	3,64
Pb	-3,66	1,30	-0,59

Tablo 4.7. Ortalama I_{GA} değerlerine göre araştırılan alanın metal kirlilik kategorisi

Metal	Kirlilik kategorisi
Al	Kirlenmemiş
Ti	Kirlenmemiş
Cr	Orta seviyenin üzerinde kirlenmiş
Mn	Kirlenmemiş
Fe	Kirlenmemiş
Co	Orta seviyede kirlenmiş
Ni	Yoğun bir şekilde kirlenmiş
Cu	Kirlenmemiş
Zn	Kirlenmemiş
As	Orta seviyede kirlenmiş
Rb	Kirlenmemiş
Sr	Kirlenmemiş
Zr	Kirlenmemiş
Sn	Kirlenmemiş
Hg	Ağır şekilde kirlenmiş
Pb	Kirlenmemiş

4.4.2. Zenginleşme Faktörü

Zenginleşme faktörü, doğal süreçlerden ortaya çıkan ağır metal derişimlerini, antropojenik kaynaklar olarak isimlendirilen farklı endüstriyel faaliyetlerde kullanılan ağır metal kaynaklarından ayırmak ve metal kirliliğini değerlendirmek amacıyla kullanılan ekolojik göstergelerden biridir (Buat-Menard and Chesselet, 1979; Hakanson, 1980; Li vd., 2017). Zenginleşme faktörü (E_F), analiz edilen elementin, bir referans elemente göre standardizasyonu esas alınarak aşağıda verilen bağıntı ile hesaplandı (Hakanson, 1980; Abanuz, 2011; Özkul, 2016):

$$E_F = \frac{\left(\frac{C_n}{C_{Ref}} \right)_{\text{Ömek}}}{\left(\frac{C_n}{C_{Ref}} \right)_{\text{Background}}} \quad (4.2)$$

Burada,

C_n : Toprak örneklerinde analiz edilen element veya metal derişimi ve

C_{Ref} : Referans element veya metal derişimidir. Tablo 4.8'de gösterildiği gibi E_F değerlerine göre zenginleşme derecesi 5 sınıfta değerlendirilmektedir (Hakanson, 1980). Literatür incelendiğinde zenginleşme faktörü, Al, Ca, Sc, Ti, Mn, Fe, Sr ve Zr metallerinden herhangi birisi referans alınarak hesaplanmaktadır (Sengupte vd., 2010; Abanuz, 2011; Özkul, 2016; Huang vd., 2017; Čujić vd., 2017). Bu çalışmada ilk olarak araştırılan alanın metal kirliliği, referans metal olarak Al, Ti, Mn, Fe ve Zr'nin her biri için ayrı ayrı 5 farklı zenginleşme faktörü hesaplanarak ve background olarak da Yaroshevsky'nin yer kabuğu kompozisyonu (Yaroshevsky, 2006) alınarak değerlendirildi.

Tablo 4.8. E_F değerlerine göre zenginleşme derecesi

Değer	Zenginleşme derecesi
$E_F < 2$	En az
$2 \leq E_F < 5$	Orta
$5 \leq E_F < 20$	Önemli ölçüde
$20 \leq E_F < 40$	Çok yüksek
$E_F \geq 40$	Aşırı derecede

Referans metal Al, Ti, Mn, Fe ve Zr için her bir ağır metale ilişkin olarak hesaplanan E_F değerleri ile topraktaki ağır metal zenginleşme dereceleri, sırasıyla Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.11, Tablo 4.12 ve Tablo 4.13'te verildi.

4.4.3. Kirlilik Faktörü

Kirlilik faktörü, topraktaki metal kirliliğini belirlemek amacıyla kullanılan ekolojik göstergelerden biridir. Kirlilik faktörü (C_F), aşağıda verilen bağıntı ile hesaplandı (Hakanson, 1980):

$$C_F = \frac{(C_n)_{\text{Örnek}}}{(C_n)_{\text{Background}}} \quad (4.3)$$

Tablo 4.14’de gösterildiği gibi C_F değerlerine göre kirlilik seviyesi 4 sınıfta değerlendirilmektedir (Hakanson, 1980). Kangal Termik Santralının çevresindeki araştırılan alanın kirlilik seviyesini değerlendirmesine yönelik olarak her bir metal için hesaplanan C_F değerleri, Tablo 4.15 ve metallerin kirlilik seviyesi ve her bir metalin kirliliğe olan katkısı ise 4.16’da verildi.

4.4.4. Kirlilik Derecesi

Kirlilik derecesi, kirlilik kontrolünü basitleştirmek amacıyla ilk olarak Hakanson (1980) tarafından öne sürülen ekolojik göstergelerden biridir. Araştırılan alanın kirlilik derecesi (C_D), aşağıda verilen bağıntı ile hesaplandı (Hakanson, 1980):

$$C_D = \sum_{i=1}^n C_{Fi} \quad (4.4)$$

Burada,

C_F : Denklem (4.3) ile verilen kirlilik faktörüdür.

Tablo 4.9. Referans metal Al için E_F değerleri ve araştırılan alanın zenginleşme derecesi

	E_F														
	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Sn	Hg	Pb
Ortalama	1,1	20,1	1,6	1,9	8,4	25,5	1,4	2,1	11,8	0,5	3,0	0,8	3,0	46,3	2,3
En küçük	0,6	4,1	0,7	0,8	1,5	4,3	0,6	1,2	4,4	0,3	0,4	0,4	0,9	9,4	0,3
En büyük	1,8	37,0	2,0	2,8	16,2	48,8	1,9	4,1	166,0	0,7	18,5	1,2	8,6	365,2	8,0
Zenginleşme derecesi	En az	Çok yüksek	En az	En az	Önemli ölçüde	Çok yüksek	En az	Orta seviyede	Önemli ölçüde	En az	Orta seviyede	En az	Orta seviyede	Aşırı derecede	Orta seviyede

Tablo 4.10. Referans metal Ti için E_F değerleri ve araştırılan alanın zenginleşme derecesi

	E_F														
	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Sn	Hg	Pb
Ortalama	0,9	18,7	1,5	1,8	8,0	24,1	1,3	2,0	10,8	0,5	2,8	0,8	2,8	42,8	2,1
En küçük	0,5	3,7	0,6	1,0	1,3	3,7	0,8	1,4	4,1	0,3	0,6	0,4	1,2	12,1	0,3
En büyük	1,6	30,2	2,0	3,0	17,2	51,5	2,0	5,8	141,1	0,7	18,8	1,0	6,9	278,1	7,2
Zenginleşme derecesi	En az	Çok yüksek	En az	En az	Önemli ölçüde	Çok yüksek	En az	Orta seviyede	Önemli ölçüde	En az	Orta seviyede	En az	Orta seviyede	Aşırı derecede	Orta seviyede

Tablo 4.11. Referans metal Mn için E_F değerleri ve araştırılan alanın zenginleşme derecesi

	E_F														
	Al	Ti	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Sn	Hg	Pb
Ortalama	0,7	0,7	11,9	1,2	5,1	15,0	0,9	1,4	7,9	0,3	1,8	0,5	1,8	29,3	1,5
En küçük	0,5	0,5	2,5	0,9	1,1	2,6	0,6	0,9	3,1	0,2	0,5	0,3	1,1	11,8	0,2
En büyük	1,4	1,6	19,4	1,6	8,6	25,5	1,7	5,4	107,6	0,7	12,4	1,3	4,5	235,2	5,1
Zenginleşme derecesi	En az	En az	Önemli ölçüde	En az	Önemli ölçüde	Önemli ölçüde	En az	En az	Önemli ölçüde	En az	En az	En az	En az	Çok yüksek	En az

Tablo 4.12. Referans metal Fe için E_F değerleri ve araştırılan alanın zenginleşme derecesi

	E_F														
	Al	Ti	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Sn	Hg	Pb
Ortalama	0,6	0,6	10,2	0,9	4,2	12,5	0,7	1,2	6,8	0,3	1,5	0,5	1,6	25,4	1,3
En küçük	0,4	0,3	2,6	0,6	1,2	2,7	0,6	0,7	2,1	0,2	0,5	0,2	1,0	10,0	0,2
En büyük	1,2	1,0	19,1	1,1	6,1	17,7	1,1	5,1	101,0	0,5	12,6	0,8	4,5	253,7	5,1
Zenginleşme derecesi	En az	En az	Önemli ölçüde	En az	Orta seviyede	Önemli ölçüde	En az	En az	Önemli ölçüde	En az	En az	En az	En az	Çok yüksek	En az

Tablo 4.13. Referans metal Zr için E_F değerleri ve araştırılan alanın zenginleşme derecesi

	E_F														
	Al	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Sn	Hg	Pb
Ortalama	1,3	1,3	25,4	2,0	2,4	11,0	33,2	1,8	2,6	14,4	0,6	3,9	3,8	58,0	2,9
En küçük	0,9	1,0	4,6	0,8	1,2	1,6	4,7	0,9	1,9	5,6	0,4	0,6	1,3	13,5	0,4
En büyük	2,5	2,3	51,0	3,2	4,3	25,4	76,3	2,8	7,8	175,6	1,1	29,9	9,6	360,0	9,3
Zenginleşme derecesi	En az	En az	Çok yüksek	Orta seviyede	Orta seviyede	Çok yüksek	Çok yüksek	En az	Orta seviyede	Önemli ölçüde	En az	Orta seviyede	Orta seviyede	Aşırı derecede	Orta seviyede

Tablo 4.14. C_F değerlerine göre kirlilik seviyesi

Değer	Kirlilik seviyesi
$C_F < 1$	Düşük
$1 \leq C_F < 3$	Orta
$3 \leq C_F < 6$	Kayda değer
$C_F \geq 6$	Çok yüksek

Tablo 4.15. Araştırılan alan için hesaplanan C_F değerleri

Metal	C_F		
	En küçük	En büyük	Ortalama
Al	0,3	1,3	0,5
Ti	0,3	1,0	0,5
Cr	1,5	16,0	8,6
Mn	0,3	1,1	0,7
Fe	0,4	1,2	0,8
Co	0,7	5,8	3,6
Ni	1,5	16,7	10,5
Cu	0,4	0,9	0,6
Zn	0,6	4,5	1,0
As	1,9	58,1	5,3
Rb	0,2	0,5	0,2
Sr	0,6	4,9	1,2
Zr	0,2	0,9	0,4
Sn	1,2	3,7	1,3
Hg	12,1	159,0	21,0
Pb	0,1	3,7	1,1

Tablo 4.16. Ortalama C_F değerlerine göre araştırılan alanın metal kirlilik seviyesi

Metal	Kirlilik seviyesi	Ortalama kirlilik seviyesine olan katkı (%)
Al	Düşük	0,8
Ti	Düşük	0,9
Cr	Çok yüksek	15,1
Mn	Düşük	1,3
Fe	Düşük	1,5
Co	Kayda değer	6,2
Ni	Çok yüksek	18,4
Cu	Düşük	1,1
Zn	Düşük	1,7
As	Kayda değer	9,3
Rb	Düşük	0,4
Sr	Orta	2,1
Zr	Düşük	0,7
Sn	Orta	2,3
Hg	Çok yüksek	36,4
Pb	Orta	1,9

Tablo 4.17’de gösterildiği gibi C_D değerlerine göre kirlilik seviyesi 4 sınıfta değerlendirilmektedir (Hakanson, 1980). Araştırılan alanın tamamının ağır metal ile kirliliğini değerlendirmek amacıyla hesaplanan C_D değerleri, 22 – 279 aralığındadır. C_D değerleri, araştırılan alanın orta dereceden çok yüksek dereceye kadar ağır metal ile kirlendiğini göstermektedir.

Tablo 4.17. C_D değerlerine göre kirlilik derecesi

Değer	Kirlilik derecesi
$C_D < 8$	Düşük
$8 \leq C_D < 16$	Orta
$16 \leq C_D < 32$	Orta derecenin üzerinde
$C_D \geq 32$	Çok yüksek

4.4.5. Uyarlanmış Kirlilik Derecesi

Uyarlanmış kirlilik derecesi, araştırılan alandaki toplam kirlilik derecesini değerlendirmek amacıyla öne sürülen ekolojik göstergelerden biridir. Uyarlanmış kirlilik derecesi (mC_D), aşağıda verilen bağıntı ile hesaplandı (Devanesan vd., 2017):

$$mC_D = \frac{C_D}{n} \quad (4.5)$$

Burada,

C_D : Denklem (4.4) ile verilen kirlilik derecesidir ve

n : Analiz edilen metal sayısıdır. Tablo 4.18’de gösterildiği gibi mC_D değerlerine göre kirlilik seviyesi, 7 sınıfta değerlendirilmektedir (Devanesan vd., 2017). Araştırılan alanın tamamının ağır metal ile kirliliğini değerlendirmek amacıyla hesaplanan mC_D değerleri, 1,4 – 17,5 aralığındadır. mC_D değerleri, araştırılan alanın çok düşük dereceden aşırı dereceye kadar kirlendiğini göstermektedir.

Tablo 4.18. mC_D değerlerine göre kirlilik derecesi

Değer	Kirlilik derecesi
$mC_D < 1.5$	Çok düşük
$1.5 \leq mC_D < 2$	Düşük
$2 \leq mC_D < 4$	Orta
$4 \leq mC_D < 8$	Yüksek
$8 \leq mC_D < 16$	Çok yüksek
$16 \leq mC_D < 32$	Aşırı yüksek
$mC_D \geq 32$	Son derece yüksek

4.4.6. Kirlilik Yükü İndisi

Kirlilik yükü indisi, araştırılan alanın (toprağın) metal kirliliği seviyesini değerlendirmek amacıyla öne sürülen ekolojik göstergelerden biridir. Kirlilik yükü indisi (I_{PL}), aşağıda verilen bağıntı ile hesaplandı (Lu vd., 2013; Ćujić vd., 2017):

$$I_{PL} = \sqrt[n]{\prod_i C_{Fi}} \quad (4.6)$$

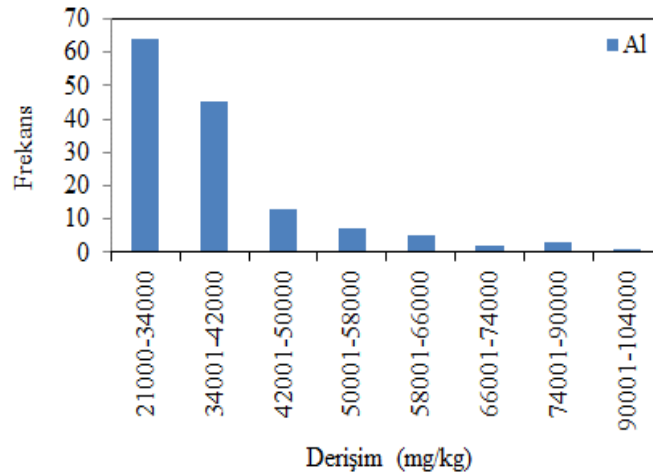
Burada,

C_{Fi} : Denklem (4.3) ile verilen kirlilik faktörüdür.

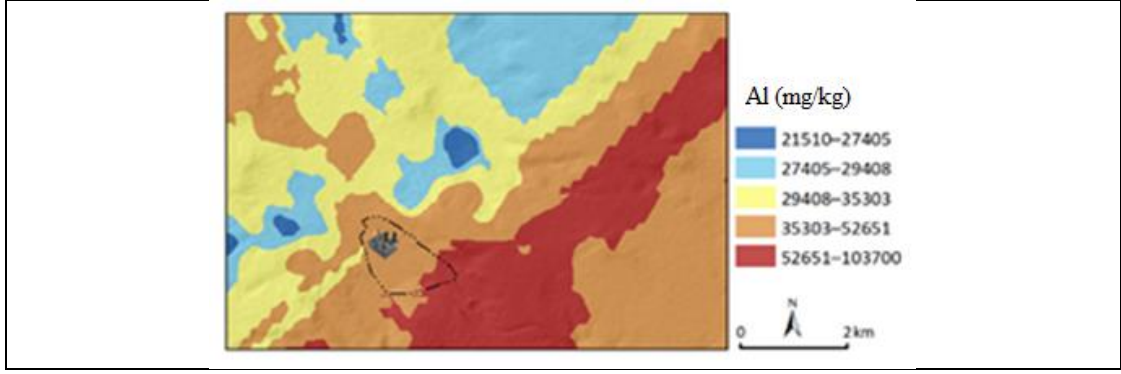
n : Analiz edilen metal sayısıdır. $I_{PL} > 1$ durumunda, toprak metal ile kirlenmiştir. Araştırılan alanın tamamının ağır metal ile kirliliğini değerlendirmek amacıyla hesaplanan I_{PL} değerleri, 0,6 – 3,9 aralığındadır.

4.5. Alüminyum

Tablo 4.4'den görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen Al (metal) derişimi, 21510 mg/kg (santrali kuzeydoğu tarafındaki T105 kodlu örnek) – 103700 mg/kg (santralin doğu tarafındaki T133 kodlu örnek) aralığında değişmektedir. Al derişimlerinin % 97'si, yer kabuğu ortalaması olan 80500 mg/kg değerinden daha küçüktür. Basıklık ve çarpıklık değerinden de anlaşılabilir olduğu gibi derişim dağılımı, normal olmayan (log-normal) dağılım göstermektedir. Al derişimlerinin histogram eğrisi, Grafik 4.3'te gösterildi. Al derişiminin uzaysal dağılımı, Harita 4.2'de gösterildi.



Grafik 4.3. Al derişiminin histogram eğrisi



Harita 4.2. Al derişiminin uzaysal dağılımı

4.5.1. Alüminyum Metali Kirliliğinin Değerlendirilmesi

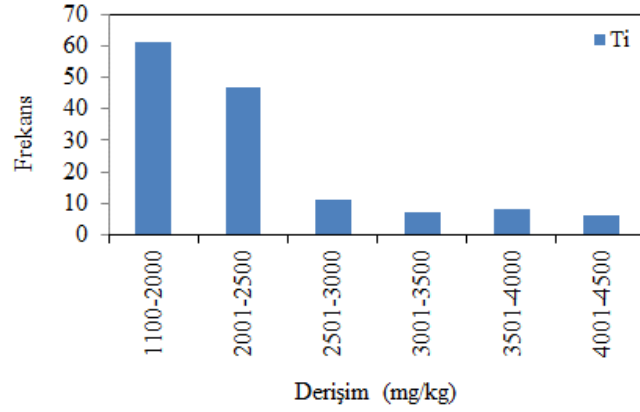
Al metali için hesaplanan I_{GA} değerleri, -2,5 ila -0,2 aralığındadır (Tablo 4.6). Toprak örneklerinin tamamına ait I_{GA} değerleri, sıfırdan küçüktür. Bu durum toprağın, Al metali ile kirlenmediğini göstermektedir.

Ti elementi referans alınarak Al için hesaplanan E_F değerleri, 0,5 – 1,6 aralığındadır (Tablo 4.10). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Al metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Mn elementi referans alınarak Al için hesaplanan E_F değerleri, 0,5 – 1,4 aralığındadır (Tablo 4.11). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Al metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Fe elementi referans alınarak Al için hesaplanan E_F değerleri, 0,4 – 1,2 aralığındadır (Tablo 4.12). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Al metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Zr elementi referans alınarak Al için hesaplanan E_F değerleri, 0,9 – 2,5 aralığındadır (Tablo 4.13). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 96'sı en az ve % 4'ü ise orta derecede Al metali ile kirlenmiştir.

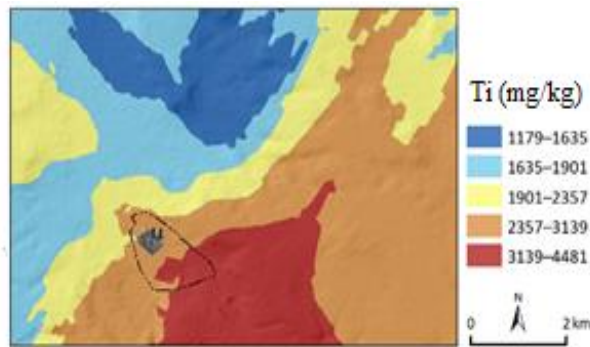
Al metali için hesaplanan C_F değerleri, 0,3 – 1,3 aralığındadır (Tablo 4.15). C_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 97'si düşük ve % 3'ü ise orta seviyede Al metali ile kirlenmiştir. Ortalama C_F değerine göre Al metalinin, topraktaki metal kirliliğine katkısı, % 0,8 olarak hesaplandı (Tablo 4.16).

4.6. Titanyum

Tablo 4.4'den görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen Ti (ağır metal) derişimi, 1179 mg/kg (santralin kuzeydoğu tarafındaki T105 kodlu örnek) – 4481 mg/kg (santralin doğu tarafındaki T133 kodlu örnek) aralığında değişmektedir. Ti derişimlerinin tamamı, yer kabuğu ortalaması olan 4500 mg/kg değerinden daha küçüktür. Basıklık ve çarpıklık değerinden de anlaşılabilceği gibi derişim dağılımı, normal olmayan (log-normal) dağılım göstermektedir. Ti derişimlerinin histogram eğrisi, Grafik 4.4'de gösterildi. Ti derişiminin uzaysal dağılımı, Harita 4.3'te gösterildi.



Grafik 4.4. Ti derişiminin histogram eğrisi



Harita 4.3. Ti derişiminin uzaysal dağılımı

4.6.1. Titanyum Metali Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Ti metali için hesaplanan I_{GA} değerleri, -2,5 ila -0,6 aralığındadır (Tablo 4.6). Toprak örneklerinin tamamına ait I_{GA} değerleri, sıfırdan küçüktür. Bu durum toprağın, Ti metali ile kirlenmediğini göstermektedir.

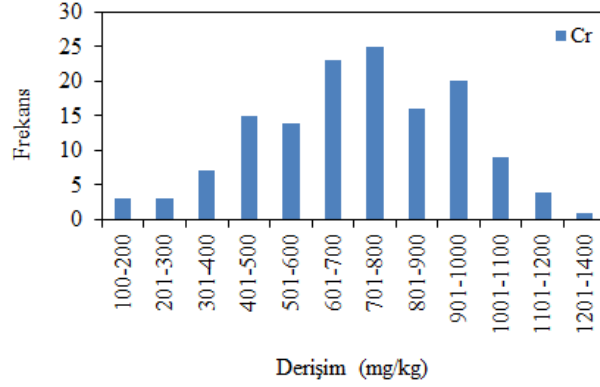
Al elementi referans alınarak Ti için hesaplanan E_F değerleri, 0,6 – 1,8 aralığındadır (Tablo 4.9). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Ti metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Mn elementi referans alınarak Ti için hesaplanan E_F değerleri, 0,5 – 1,6 aralığındadır (Tablo 4.11). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Ti metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Fe elementi referans alınarak Ti için hesaplanan E_F değerleri, 0,3 – 1,0 aralığındadır (Tablo 4.12). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Ti metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Zr elementi referans alınarak Ti için hesaplanan E_F değerleri, 1,0 – 2,3 aralığındadır (Tablo 4.13). T42 kodlu örneğin dışında E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Ti metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. T42 kodlu toprak örneğinin E_F değeri 2,3 olarak hesaplandı. Bu durum T42 kodlu toprak örneğinin, Ti metali ile orta derecede kirlendiğini göstermektedir.

Ti metali için hesaplanan C_F değerleri, 0,3 – 1,0 aralığındadır (Tablo 4.15). C_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 98'i düşük ve % 2'si ise orta seviyede Ti metali ile kirlenmiştir. Ortalama C_F değerine göre Ti metalinin, topraktaki metal kirliliğine katkısı, % 0,9 olarak hesaplandı (Tablo 4.16).

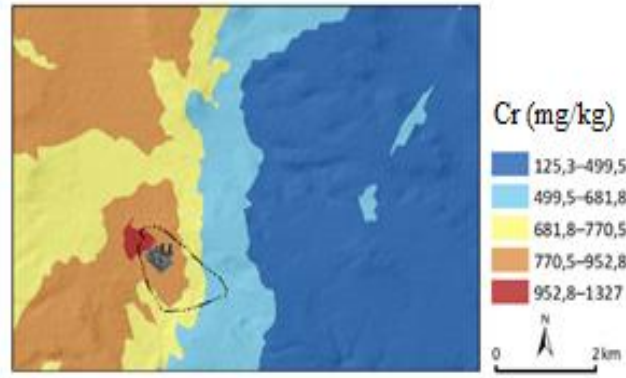
4.7. Krom

Tablo 4.4'den görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen Cr (ağır metal) derişimi, 125 mg/kg (santralin kuzeydoğu tarafındaki T106 kodlu örnek) – 1327 mg/kg (santralin batı tarafındaki T26 kodlu örnek) aralığında değişmektedir. Cr derişimlerinin tamamı, yer kabuğu ortalaması olan 83 mg/kg değerinden daha büyüktür. Basıklık ve çarpıklık değerinden de anlaşılabilceği gibi derişim dağılımı,

normale yakın dağılım göstermektedir. Cr derişimlerinin histogram eğrisi, Grafik 4.5'te gösterildi. Cr derişiminin uzaysal dağılımı, Harita 4.4'de gösterildi.



Grafik 4.5. Cr derişiminin histogram eğrisi



Harita 4.4. Cr derişiminin uzaysal dağılımı

4.7.1. Krom Metali Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Cr metali için hesaplanan I_{GA} değerleri, 0,01 – 3,41 aralığındadır (Tablo 4.6). I_{GA} değerlerine göre toprak örneklerinin % 3'ü bir dereceye kadar, % 17'si orta seviyede, % 70'i orta seviyenin üzerinde ve %1 0'u ise yoğun bir şekilde Cr metali ile kirlenmiştir.

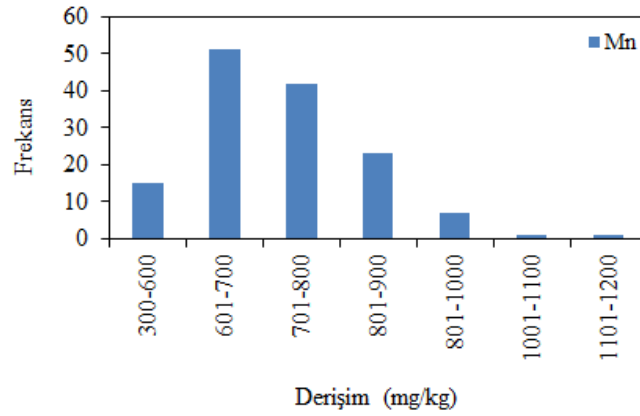
Al elementi referans alınarak Cr için hesaplanan E_F değerleri, 4,1 – 37,0 aralığındadır (Tablo 4.9). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 2'si orta seviyede, % 30'u önemli ölçüde ve % 68'i ise çok yüksek derecede Cr metali ile kirlenmiştir.

Ti elementi referans alınarak Cr için hesaplanan E_F değerleri, 3,7 – 30,2 aralığındadır (Tablo 4.10). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 1'i orta seviyede, % 36'sı önemli ölçüde ve % 63'ü ise çok yüksek derecede Cr metali ile kirlenmiştir. Mn elementi referans alınarak Cr için hesaplanan E_F değerleri, 2,5 – 19,4 aralığındadır (Tablo 4.11). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 1'i orta seviyede ve % 99'u ise önemli ölçüde Cr metali ile kirlenmiştir. Fe elementi referans alınarak Cr için hesaplanan E_F değerleri, 2,6 – 19,1 aralığındadır (Tablo 4.12). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 5'i orta seviyede ve % 95'i ise önemli ölçüde Cr metali ile kirlenmiştir. Zr elementi referans alınarak Cr için hesaplanan E_F değerleri, 4,6 – 51,0 aralığındadır (Tablo 4.13). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 1'i orta seviyede, % 22'si önemli ölçüde, % 71'i çok yüksek derecede ve % 8'i ise aşırı derecede Cr metali ile kirlenmiştir.

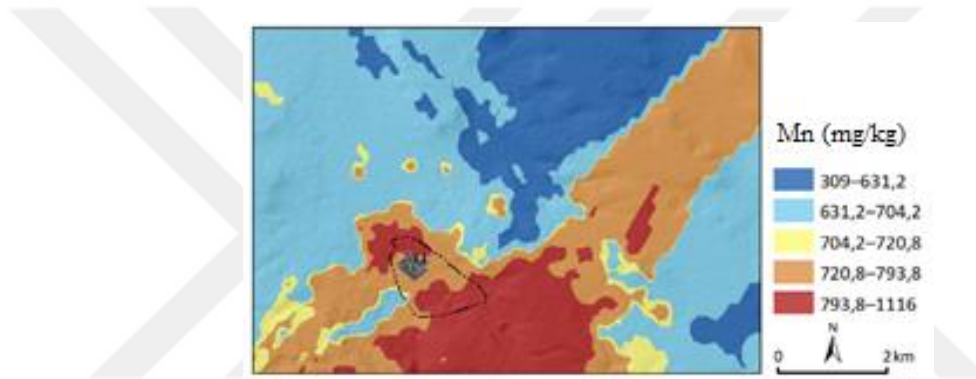
Cr metali için hesaplanan C_F değerleri, 1,5 – 16 aralığındadır (Tablo 4.15). C_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 3'ü orta seviyede, % 17'si kayda değer ve % 80'ni ise çok yüksek seviyede Cr metali ile kirlenmiştir. Ortalama C_F değerine göre Cr metalinin, topraktaki metal kirliliğine katkısı, % 15,1 olarak hesaplandı (Tablo 4.16).

4.8. Mangan

Tablo 4.4'den görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen Mn (ağır metal) derişimi, 309 mg/kg (santralin doğu tarafındaki T111 kodlu örnek) – 1116 mg/kg (santralin doğu tarafındaki T132 kodlu örnek) aralığında değişmektedir. Mn derişimlerinin % 99'u, yer kabuğu ortalaması olan 1000 mg/kg değerinden daha küçüktür. Basıklık ve çarpıklık değerinden de anlaşılabilceği gibi derişim dağılımı, normal olmayan (log-normal) dağılım göstermektedir. Mn derişimlerinin histogram eğrisi, Grafik 4.6'da gösterildi. Mn derişiminin uzaysal dağılımı, Harita 4.5'de gösterildi.



Grafik 4.6. Mn derişiminin histogram eğrisi



Harita 4.5. Mn derişiminin uzaysal dağılımı

4.8.1. Mangan Metali Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Mn metali için hesaplanan I_{GA} değerleri, -2,3 ila -0,4 aralığındadır (Tablo 4.6). Toprak örneklerinin tamamına ait I_{GA} değerleri, sıfırdan küçüktür ve bu durum toprağın, Mn metali ile kirlenmediğini göstermektedir.

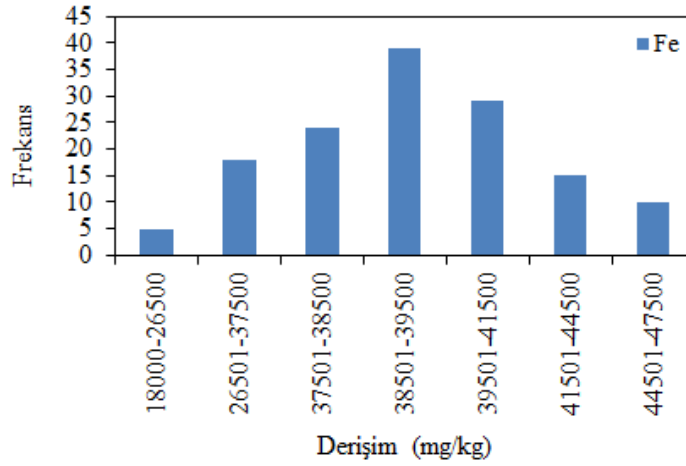
Al elementi referans alınarak Mn için hesaplanan E_F değerleri, 0,7 – 2,0 aralığındadır (Tablo 4.9). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 93'ü en az ve % 7'si ise orta derecede Mn metali ile kirlenmiştir. Ti elementi referans alınarak Mn için hesaplanan E_F değerleri, 0,6 – 2,0 aralığındadır (Tablo 4.10). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 99'u en az ve % 1'i ise orta derecede Mn metali ile kirlenmiştir. Fe elementi referans alınarak Mn için hesaplanan E_F değerleri, 0,6 – 1,1 aralığındadır (Tablo 4.12). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Mn metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Zr elementi referans alınarak

Mn için hesaplanan E_F değerleri, 0,8 – 3,2 aralığındadır. E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 43'ü en az ve % 57'si ise orta derecede Mn metali ile kirlenmiştir.

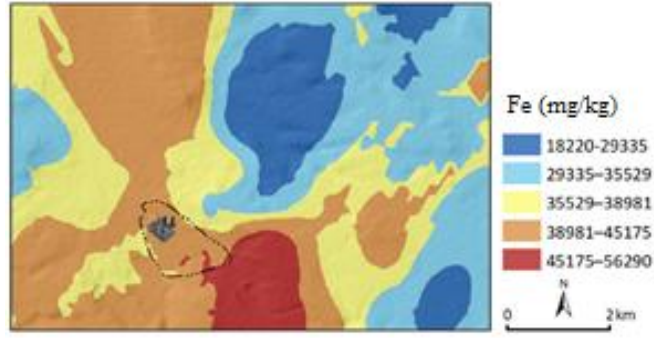
Mn metali için hesaplanan C_F değerleri, 0,3 – 1,1 aralığındadır (Tablo 4.15). C_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 94'ü düşük ve % 6'sı ise orta seviyede Mn metali ile kirlenmiştir. Ortalama C_F değerine göre Mn metalinin, topraktaki metal kirliliğine katkısı, % 1,3 olarak hesaplandı (Tablo 4.16).

4.9. Demir

Tablo 4.4'den görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen Fe (ağır metal) derişimi, 18220 mg/kg (santralin kuzeydoğu tarafındaki T105 kodlu örnek) – 56290 mg/kg (santralin doğu tarafındaki T116 kodlu örnek) aralığında değişmektedir. Fe derişimlerinin % 95'i, yer kabuğu ortalaması olan 46500 mg/kg değerinden daha küçüktür. Basıklık ve çarpıklık değerinden de anlaşılabilceği gibi derişim dağılımı, normale yakın dağılım göstermektedir. Fe derişimlerinin histogram eğrisi, Grafik 4.7'de gösterildi. Fe derişiminin uzaysal dağılımı, Harita 4.6'da gösterildi.



Grafik 4.7. Fe derişiminin histogram eğrisi



Harita 4.6. Fe derişiminin uzaysal dağılımı

4.9.1. Demir Metali Kirliliğinin Değerlendirilmesi

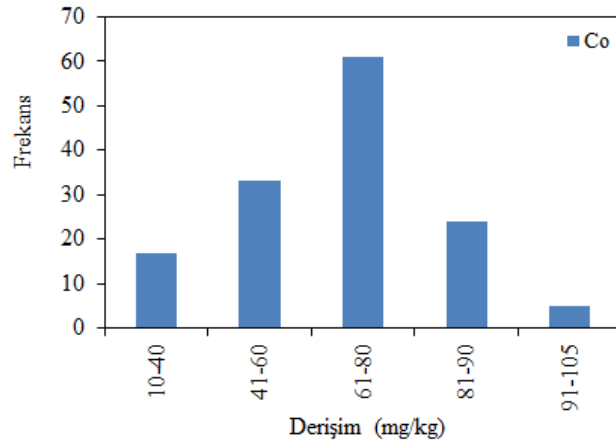
Fe metali için hesaplanan I_{GA} değerleri, -1,9 ila -0,3 aralığındadır (Tablo 4.6). Toprak örneklerinin tamamına ait I_{GA} değerleri, sıfırdan küçüktür ve bu durum toprağın, Fe metali ile kirlenmediğini göstermektedir.

Al elementi referans alınarak Fe için hesaplanan E_F değerleri, 0,8 – 2,8 aralığındadır (Tablo 4.9). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 52'si en az ve % 48'i ise orta derecede Fe metali ile kirlenmiştir. Ti elementi referans alınarak Fe için hesaplanan E_F değerleri, 1,0 – 3,0 aralığındadır (Tablo 4.10). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 59'u en az ve % 41'i ise orta derecede Fe metali ile kirlenmiştir. Mn elementi referans alınarak Fe için hesaplanan E_F değerleri, 0,9 – 1,6 aralığındadır (Tablo 4.11). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Fe metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Zr elementi referans alınarak Fe için hesaplanan E_F değerleri, 1,2 – 4,3 aralığındadır (Tablo 4.13). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 31'i en az ve % 69'u ise orta derecede Fe metali ile kirlenmiştir.

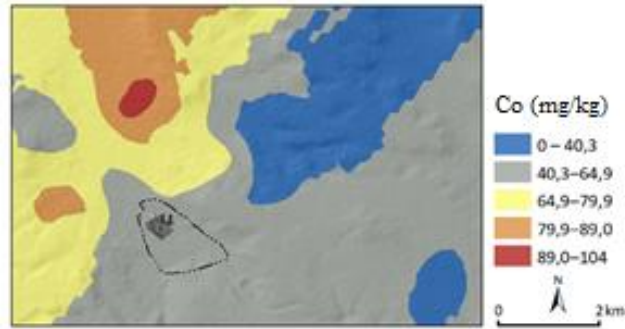
Fe metali için hesaplanan C_F değerleri, 0,4 – 1,2 aralığındadır (Tablo 4.15). C_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 91'i düşük ve % 9'u ise orta seviyede Fe metali ile kirlenmiştir. Ortalama C_F değerine göre Fe metalinin, topraktaki metal kirliliğine katkısı, % 1,5 olarak hesaplandı (Tablo 4.16).

4.10. Kobalt

Tablo 4.4'den görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen Co (ağır metal) derişimi, 12,0 mg/kg (santralin kuzeydoğu tarafındaki T106 kodlu örnek) – 104,0 mg/kg (santralin kuzey tarafındaki T97 kodlu örnek) aralığında değişmektedir. Co derişimlerinin % 98'i, yer kabuğu ortalaması olan 18 mg/kg değerinden daha büyüktür. Basıklık ve çarpıklık değerinden de anlaşılabilceği gibi derişim dağılımı, normale yakın dağılım göstermektedir. Co derişimlerinin histogram eğrisi, Grafik 4.8'de gösterildi. Co derişiminin uzaysal dağılımı, Harita 4.7'de gösterildi.



Grafik 4.8. Co derişiminin histogram eğrisi



Harita 4.7. Co derişiminin uzaysal dağılımı

4.10.1. Kobalt Metali Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Co metali için hesaplanan I_{GA} değerleri, -1,2 ila 2,0 aralığındadır (Tablo 4.6). I_{GA} değerlerine göre toprak örneklerinin % 4'ü Co metali ile kirlenmemiş, % 28'i bir dereceye kadar ve % 69'u ise orta seviyede Co metali ile kirlenmiştir.

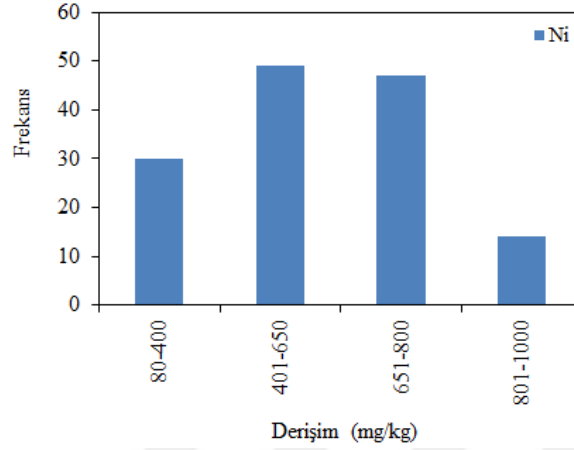
Al elementi referans alınarak Co için hesaplanan E_F değerleri, 2,0 – 16,0 aralığındadır (Tablo 4.9). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 25'si orta derecede ve % 75'i ise önemli ölçüde Co metali ile kirlenmiştir. Ti elementi referans alınarak Co için hesaplanan E_F değerleri, 1,3 – 17,2 aralığındadır (Tablo 4.10). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 1'i en az, % 33'ü orta derece ve % 66'sı ise önemli ölçüde Co metali ile kirlenmiştir. Mn elementi referans alınarak Co için hesaplanan E_F değerleri, 1,1 – 8,6 aralığındadır. E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 1'i en az, % 31'i orta derece ve % 68'i ise önemli ölçüde Co metali ile kirlenmiştir. Fe elementi referans alınarak Co için hesaplanan E_F değerleri, 1,2 – 6,1 aralığındadır (Tablo 4.12). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 3'ü en az, % 61'i orta derece ve % 36'sı ise önemli ölçüde Co metali ile kirlenmiştir. Zr elementi referans alınarak Co için hesaplanan E_F değerleri, 1,6 – 25,4 aralığındadır (Tablo 4.13). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 1'i en az, % 21'i orta derece ve % 9'u ise önemli ölçüde Co metali ile kirlenmiştir.

Co metali için hesaplanan C_F değerleri, 0,7 – 5,8 aralığındadır. C_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 2'si düşük, % 26'sı orta ve % 72'i ise kayda değer seviyede Co metali ile kirlenmiştir. Ortalama C_F değerine göre Co metalinin, topraktaki metal kirliliğine katkısı, % 6,2 olarak hesaplandı (Tablo 4.16).

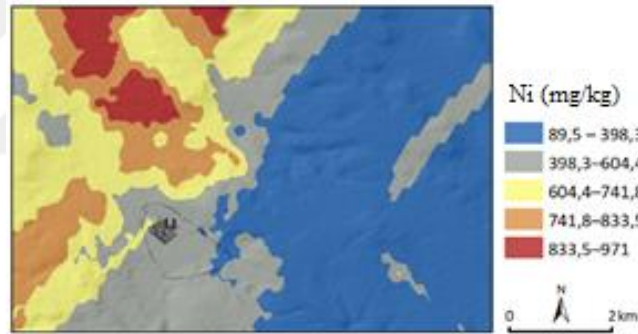
4.11. Nikel

Tablo 4.4'den görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen Ni (ağır metal) derişimi, 89,5 mg/kg (santralin kuzeydoğu tarafındaki T106 kodlu örnek) – 971,0 mg/kg (santralin kuzey tarafındaki T95 kodlu örnek) aralığında değişmektedir. Ni derişimlerinin tamamı, yer kabuğu ortalaması olan 58 mg/kg değerinden daha büyüktür. Basıklık ve çarpıklık değerinden de anlaşılabilceği gibi derişim dağılımı,

normale yakın dağılım göstermektedir. Ni derişimlerinin histogram eğrisi, Grafik 4.9'da gösterildi. Ni derişiminin uzaysal dağılımı, Harita 4.8'de gösterildi.



Grafik 4.9. Ni derişiminin histogram eğrisi



Harita 4.8. Ni derişiminin uzaysal dağılımı

4.11.1. Nikel Metali Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Ni metali için hesaplanan I_{GA} değerleri, 0,04 – 3,48 aralığındadır (Tablo 4.6). I_{GA} değerlerine göre toprak örneklerinin % 2'si bir dereceye kadar, % 13'ü orta seviyede, % 44'ü orta seviyenin üzerinde ve % 41'i ise yoğun bir şekilde Ni metali ile kirlenmiştir.

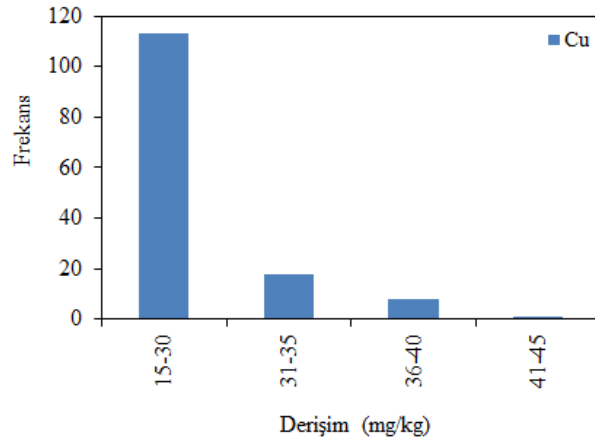
Al elementi referans alınarak Ni için hesaplanan E_F değerleri, 4 – 49 aralığındadır (Tablo 4.9). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 1'i orta seviyede, % 24'ü önemli ölçüde, % 64'ü çok yüksek derecede ve % 11'i ise aşırı derecede Ni metali ile

kirlenmiştir. Ti elementi referans alınarak Ni için hesaplanan E_F değerleri, 4 – 52 aralığındadır (Tablo 4.10). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 1'i orta seviyede, % 36'sı önemli ölçüde, % 55'i çok yüksek derecede ve % 7'si ise aşırı derecede Ni metali ile kirlenmiştir. Mn elementi referans alınarak Ni için hesaplanan E_F değerleri, 3 – 26 aralığındadır. E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 1'i orta seviyede, % 66'sı önemli ölçüde ve % 34'ü ise çok yüksek derecede Ni metali ile kirlenmiştir. Fe elementi referans alınarak Ni için hesaplanan E_F değerleri, 3 – 18 aralığındadır (Tablo 4.12). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 1'i orta seviyede ve % 99'u ise önemli ölçüde Ni metali ile kirlenmiştir. Zr elementi referans alınarak Ni için hesaplanan E_F değerleri, 5 – 76 aralığındadır (Tablo 4.13). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 1'i orta seviyede, % 21'i önemli ölçüde, % 37'si çok yüksek derecede ve % 40'i ise aşırı derecede Ni metali ile kirlenmiştir.

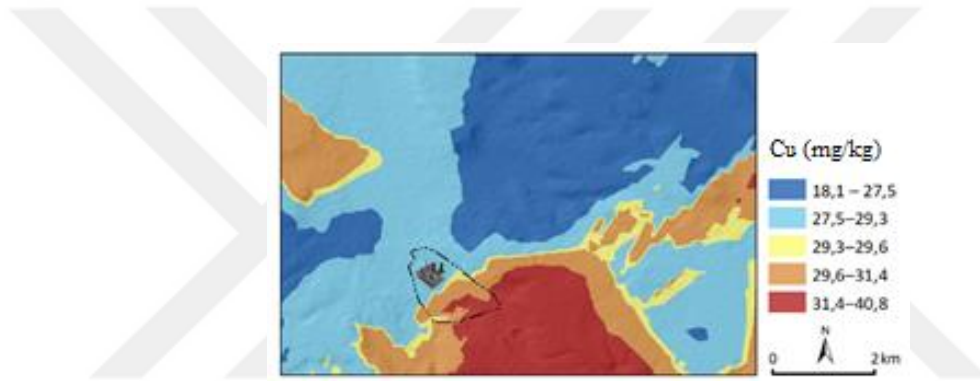
Ni metali için hesaplanan C_F değerleri, 1,5 – 16,7 aralığındadır. C_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 2'si orta, % 15'i kayda değer ve % 83'ü ise çok yüksek seviyede Ni metali ile kirlenmiştir. Ortalama C_F değerine göre Ni metalinin, topraktaki metal kirliliğine katkısı, % 18,4 olarak hesaplandı (Tablo 4.16).

4.12. Bakır

Tablo 4.4'den görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen Cu (ağır metal) derişimi, 18,1 mg/kg (santralin kuzeydoğu tarafındaki T106 kodlu örnek) – 40,8 mg/kg (santralin güneydoğu tarafındaki T129 kodlu örnek) aralığında değişmektedir. Cu derişimlerinin tamamı, yer kabuğu ortalaması olan 47 mg/kg değerinden daha küçüktür. Basıklık ve çarpıklık değerinden de anlaşılabilceği gibi derişim dağılımı, normal olmayan dağılım göstermektedir. Cu derişimlerinin histogram eğrisi, Grafik 4.10'da gösterildi. Cu derişiminin uzaysal dağılımı, Harita 4.9'da gösterildi.



Grafik 4.10. Cu derişiminin histogram eğrisi



Harita 4.9. Cu derişiminin uzaysal dağılımı

4.12.1. Bakır Metali Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Ni metali için hesaplanan I_{GA} değerleri, -2,0 ila -0,8 aralığındadır (Tablo 4.6). Toprak örneklerinin tamamına ait I_{GA} değerleri, sıfırdan küçüktür ve bu durum toprağın, Cu metali ile kirlenmediğini göstermektedir.

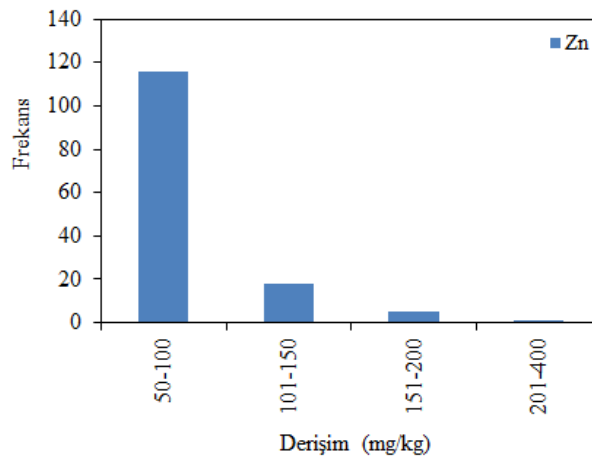
Al elementi referans alınarak Cu için hesaplanan E_F değerleri, 0,6 – 1,9 aralığındadır (Tablo 4.9). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Cu metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Ti elementi referans alınarak Cu için hesaplanan E_F değerleri, 0,8 – 2,0 aralığındadır (Tablo 4.10). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 99'u en az ve % 1'i ise orta derecede Cu metali ile kirlenmiştir. Mn elementi referans alınarak Cu için hesaplanan E_F değerleri, 0,6 – 1,7 aralığındadır (Tablo 4.11). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum

toprağın, Cu metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Fe elementi referans alınarak Cu için hesaplanan E_F değerleri, 0,6 – 1,1 aralığındadır (Tablo 4.12). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Cu metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Zr elementi referans alınarak Cu için hesaplanan E_F değerleri, 0,9 – 2,8 aralığındadır (Tablo 4.13). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 60'ı en az ve % 40'ı ise orta derecede Cu metali ile kirlenmiştir.

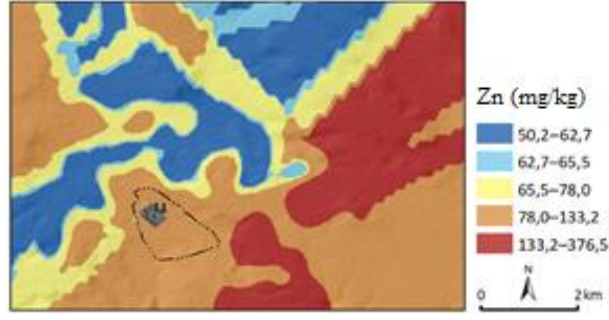
Cu metali için hesaplanan C_F değerleri, 0,4 – 1,2 aralığındadır (Tablo 4.15). C_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 91'i düşük ve % 9'u ise orta seviyede Cu metali ile kirlenmiştir. Ortalama C_F değerine göre Cu metalinin, topraktaki metal kirliliğine katkısı, % 1,5 olarak hesaplandı (Tablo 4.16).

4.13. Çinko

Tablo 4.4'den görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen Zn (ağır metal) derişimi, 50,2 mg/kg (santralin kuzeydoğu tarafındaki T105 kodlu örnek) – 376,5 mg/kg (santralin doğu tarafındaki T131 kodlu örnek) aralığında değişmektedir. Zn derişimlerinin % 72'si, yer kabuğu ortalaması olan 83 mg/kg değerinden daha küçüktür. Basıklık ve çarpıklık değerinden de anlaşılabilir olduğu gibi derişim dağılımı, normal olmayan dağılım göstermektedir. Zn derişimlerinin histogram eğrisi, Grafik 4.11'de gösterildi. Zn derişiminin uzaysal dağılımı, Harita 4.10'da gösterildi.



Grafik 4.11. Zn derişiminin histogram eğrisi



Harita 4.10. Zn derişiminin uzaysal dağılımı

4.13.1. Çinko Metali Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Zn metali için hesaplanan I_{GA} değerleri, -1,3 – 1,6 aralığındadır (Tablo 4.6). I_{GA} değerlerine göre toprak örneklerinin % 91'i kirlenmemiş ve % 9'u ise bir dereceye kadar Zn metali ile kirlenmiştir.

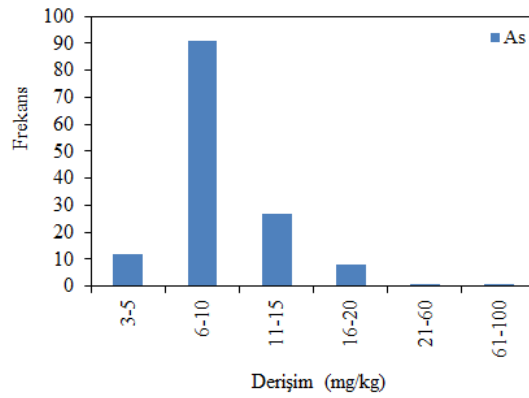
Al elementi referans alınarak Zn için hesaplanan E_F değerleri, 1,2 – 4,1 aralığındadır (Tablo 4.9). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 28'i en az ve % 72'si ise orta derecede Zn metali ile kirlenmiştir. Ti elementi referans alınarak Zn için hesaplanan E_F değerleri, 1,4 – 5,8 aralığındadır (Tablo 4.10). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 33'ü en az, % 66'sı orta derecede ve % 1'i önemli ölçüde Zn metali ile kirlenmiştir. Mn elementi referans alınarak Zn için hesaplanan E_F değerleri, 0,9 – 5,4 aralığındadır (Tablo 4.11). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 92'si en az, % 7'si orta derecede ve % 1'i önemli ölçüde Zn metali ile kirlenmiştir. Fe elementi referans alınarak Zn için hesaplanan E_F değerleri, 0,7 – 5,1 aralığındadır (Tablo 4.12). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 96'sı en az, % 3'ü orta seviyede ve % 1'i önemli ölçüde Zn metali ile kirlenmiştir. Zr elementi referans alınarak Zn için hesaplanan E_F değerleri, 1,9 – 7,8 aralığındadır (Tablo 4.13). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 98'i en az, % 1'i orta seviyede ve % 1'i önemli ölçüde Zn metali ile kirlenmiştir. Fe metali için hesaplanan C_F değerleri, 0,4 – 1,2 aralığındadır (Tablo 4.15).

Zn metali için hesaplanan C_F değerleri, 0,2 – 0,9 aralığındadır (Tablo 4.15). C_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 66'sı düşük, % 33'ü orta seviyede ve % 1'i

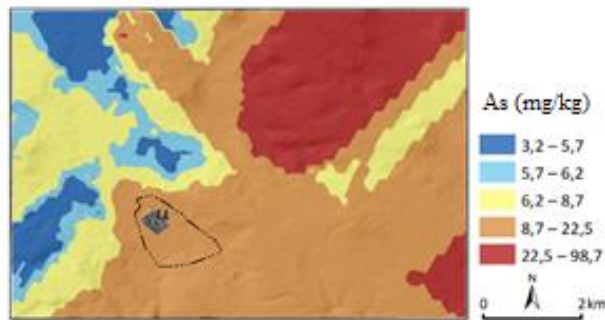
ise kayda değer seviyede Zn metali ile kirlenmiştir. Ortalama C_F değerine göre Zn metalinin, topraktaki metal kirliliğine katkısı, % 1,7 olarak hesaplandı (Tablo 4.16).

4.14. Arsenik

Tablo 4.4'den görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen As ağır metal) derişimi, 3,2 mg/kg (santralin kuzeydoğu tarafındaki T140 kodlu örnek) – 98,7 mg/kg (santralin kuzey tarafındaki T106 kodlu örnek) aralığında değişmektedir. As derişimlerinin tamamı, yer kabuğu ortalaması olan 1,7 mg/kg değerinden daha büyüktür. Basıklık ve çarpıklık değerinden de anlaşılabilirceği gibi derişim dağılımı, normal olmayan dağılım göstermektedir. As derişimlerinin histogram eğrisi, Grafik 4.12'de gösterildi. As derişiminin uzaysal dağılımı, Harita 4.11'de gösterildi.



Grafik 4.12. As derişiminin histogram eğrisi



Harita 4.11. As derişiminin uzaysal dağılımı

4.14.1. Arsenik Metali Kirliliğinin Değerlendirilmesi

As metali için hesaplanan I_{GA} değerleri, 0,33 – 5,27 aralığındadır (Tablo 4.6). I_{GA} değerlerine göre toprak örneklerinin % 9'u bir dereceye kadar, % 65'i orta seviyede, % 25'i orta seviyenin üzerinde, % 1'i ağır bir şekilde ve % 1'i ise aşırı seviyede As metali ile kirlenmiştir.

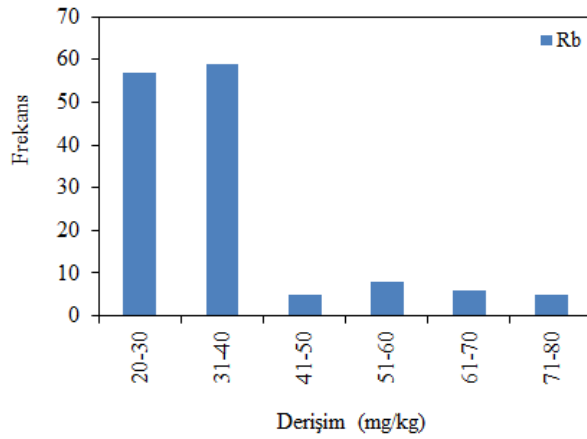
Al elementi referans alınarak As için hesaplanan E_F değerleri, 4 – 166 aralığındadır (Tablo 4.9). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 1'i orta seviyede, % 96'sı önemli ölçüde, % 1'i çok yüksek derecede ve % 1'i ise aşırı derecede As metali ile kirlenmiştir. Ti elementi referans alınarak As için hesaplanan E_F değerleri, 4 – 141 aralığındadır (Tablo 4.10). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 1'i orta seviyede, % 96'sı önemli ölçüde, % 1'i çok yüksek derecede ve % 1'i ise aşırı derecede As metali ile kirlenmiştir. Mn elementi referans alınarak As için hesaplanan E_F değerleri, 3 – 108 aralığındadır. E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 21'i orta seviyede, % 77'si önemli ölçüde, % 1'i çok yüksek derecede ve % 1'i ise aşırı derecede As metali ile kirlenmiştir. Fe elementi referans alınarak As için hesaplanan E_F değerleri, 2 – 101 aralığındadır (Tablo 4.12). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 48'i önemli ölçüde, % 1'i çok yüksek derecede ve % 1'i ise aşırı derecede As metali ile kirlenmiştir. Zr elementi referans alınarak As için hesaplanan E_F değerleri, 6 – 176 aralığındadır (Tablo 4.13). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 96'sı önemli ölçüde, % 1'i çok yüksek derecede ve % 3'ü ise aşırı derecede As metali ile kirlenmiştir.

As metali için hesaplanan C_F değerleri, 1,9 – 58,1 aralığındadır. C_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 7'si orta, % 66'sı kayda değer ve % 27'si ise çok yüksek seviyede As metali ile kirlenmiştir. Ortalama C_F değerine göre As metalinin, topraktaki metal kirliliğine katkısı, % 5,3 olarak hesaplandı (Tablo 4.16).

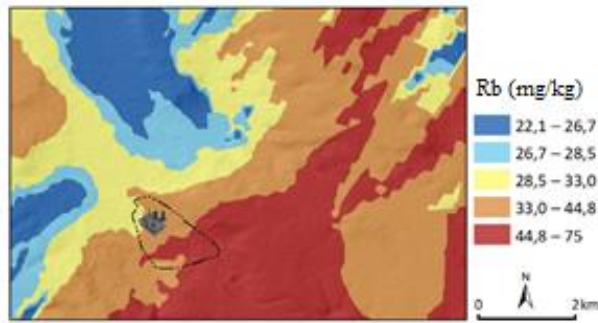
4.15. Rubidyum

Tablo 4.4'den görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen Rb (metal) derişimi, 22,1 mg/kg (santralin batı tarafındaki T83 kodlu örnek) – 75,0 mg/kg

(santralin doğu tarafındaki T133 kodlu örnek) aralığında değişmektedir. Rb derişimlerinin tamamı, yer kabuğu ortalaması olan 150 mg/kg değerinden daha küçüktür. Basıklık ve çarpıklık değerinden de anlaşılabilceği gibi derişim dağılımı, normal olmayan (log-normal) dağılım göstermektedir. Rb derişimlerinin histogram eğrisi, Grafik 4.13'te gösterildi. Rb derişiminin uzaysal dağılımı, Harita 4.12'de gösterildi.



Grafik 4.13. Rb derişiminin histogram eğrisi



Harita 4.12. Rb derişiminin uzaysal dağılımı

4.15.1. Rubidyum Metali Kirliliğinin Değerlendirilmesi

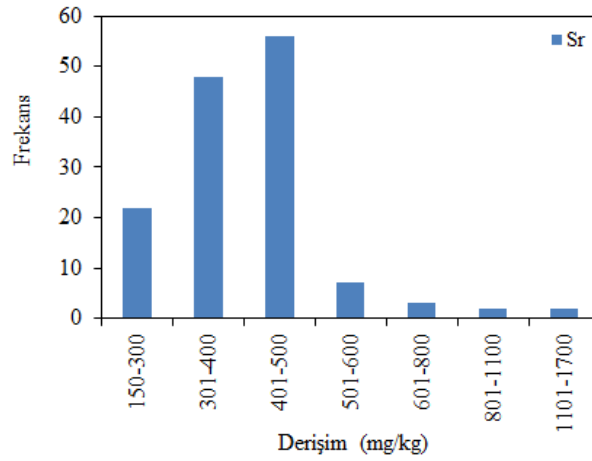
Rb metali için hesaplanan I_{GA} değerleri, -3,4 ila -1,6 aralığındadır (Tablo 4.6). Toprak örneklerinin tamamına ait I_{GA} değerleri, sıfırdan küçüktür. Bu durum toprağın, Rb metali ile kirlenmediğini göstermektedir.

Al elementi referans alınarak Rb için hesaplanan E_F değerleri, 0,3 – 0,7 aralığındadır (Tablo 4.9). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Rb metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Ti elementi referans alınarak Rb için hesaplanan E_F değerleri, 0,3 – 0,7 aralığındadır (Tablo 4.10). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Rb metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Mn elementi referans alınarak Rb için hesaplanan E_F değerleri, 0,2 – 0,7 aralığındadır (Tablo 4.11). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Rb metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Fe elementi referans alınarak Rb için hesaplanan E_F değerleri, 0,2 – 0,5 aralığındadır (Tablo 4.12). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Rb metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Zr elementi referans alınarak Rb için hesaplanan E_F değerleri, 0,4 – 1,1 aralığındadır (Tablo 4.13). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Rb metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir.

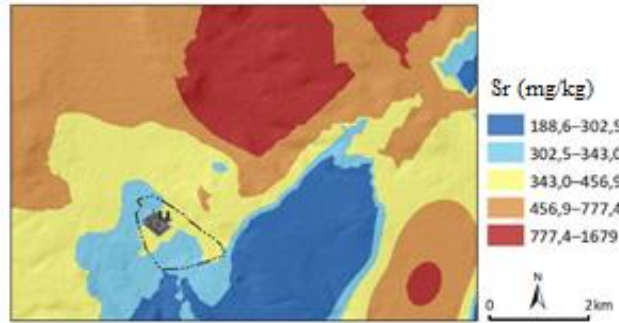
Rb metali için hesaplanan C_F değerleri, 0,2 – 0,5 aralığındadır (Tablo 4.15). C_F değerlerine göre toprak örnekleri düşük seviyede Rb metali ile kirlenmiştir. Ortalama C_F değerine göre Rb metalinin, topraktaki metal kirliliğine katkısı, % 0,4 olarak hesaplandı (Tablo 4.16).

4.16. Stronsiyum

Tablo 4.4'den görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen Sr (metal) derişimi, 188,6 mg/kg (santralin doğu tarafındaki T133 kodlu örnek) – 1679,0 mg/kg (santralin kuzeydoğu tarafındaki T105 kodlu örnek) aralığında değişmektedir. Sr derişimlerinin % 63'ü, yer kabuğu ortalaması olan 340 mg/kg değerinden daha büyüktür. Basıklık ve çarpıklık değerinden de anlaşılabilir gibi derişim dağılımı, normal olmayan (log-normal) dağılım göstermektedir. Sr derişimlerinin histogram eğrisi, Grafik 4.14'de gösterildi. Sr derişiminin uzaysal dağılımı, Harita 4.13'te gösterildi.



Grafik 4.14. Sr derişiminin histogram eğrisi



Harita 4.13. Sr derişiminin uzaysal dağılımı

4.16.1. Stronsiyum Metali Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Sr metali için hesaplanan I_{GA} değerleri, -1,4 ila -1,7 aralığındadır (Tablo 4.6). Toprak örneklerinin % 91'i Sr metali ile kirlenmemiş iken % 11'i bir dereceye kadar ve % 1'i ise orta seviyede Sr metali ile kirlenmiştir.

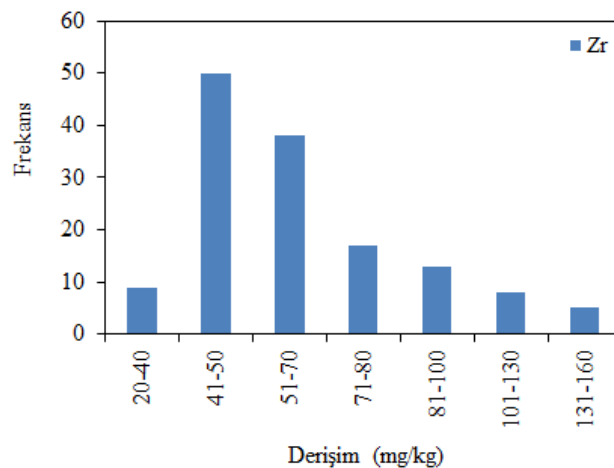
Al elementi referans alınarak Sr için hesaplanan E_F değerleri, 0,4 – 18,5 aralığındadır (Tablo 4.9). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 23'ü en az, % 71'i orta seviyede ve % 6'sı önemli ölçüde Sr metali ile kirlenmiştir. Ti elementi referans alınarak Sr için hesaplanan E_F değerleri, 0,6 – 18,8 aralığındadır (Tablo 4.10). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 36'sı en az, % 60'ı orta seviyede ve % 4'ü önemli ölçüde Sr metali ile kirlenmiştir. Mn elementi referans alınarak Sr için hesaplanan E_F değerleri, 0,5 – 12,4 aralığındadır (Tablo 4.11). E_F değerlerine göre

toprak örneklerinin % 57'si en az, % 41'i orta seviyede ve % 2'si önemli ölçüde Sr metali ile kirlenmiştir. Fe elementi referans alınarak Sr için hesaplanan E_F değerleri, 0,5 – 12,6 aralığındadır (Tablo 4.12). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 92'si en az, % 6'sı orta seviyede ve % 2'si önemli ölçüde Sr metali ile kirlenmiştir. Zr elementi referans alınarak Sr için hesaplanan E_F değerleri, 0,6 – 29,9 aralığındadır (Tablo 4.13). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 16'sı en az, % 54'ü orta seviyede ve % 29'u önemli ölçüde ve % 1'i ise çok yüksek derecede Sr metali ile kirlenmiştir.

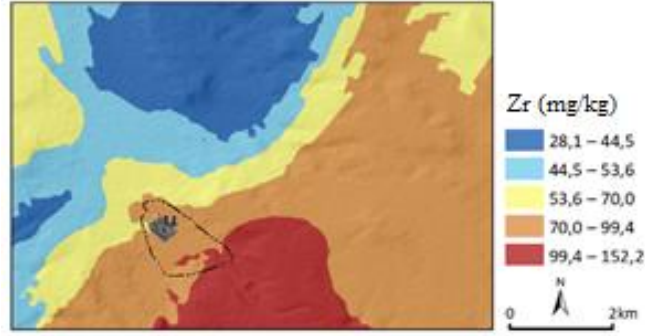
Sr metali için hesaplanan C_F değerleri, 0,6 – 5 aralığındadır (Tablo 4.15). C_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 16'sı düşük, % 83'ü orta ve % 1'i ise kayda değer seviyede Sr metali ile kirlenmiştir. Ortalama C_F değerine göre Sr metalinin, topraktaki metal kirliliğine katkısı, % 2,1 olarak hesaplandı (Tablo 4.16).

4.17. Zirkonyum

Tablo 4.4'den görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen Zr (ağır metal) derişimi, 28,1 mg/kg (santralin kuzeydoğu tarafındaki T105 kodlu örnek) – 152,2 mg/kg (santralin doğu tarafındaki T133 kodlu örnek) aralığında değişmektedir. Zr derişimlerinin tamamı, yer kabuğu ortalaması olan 170 mg/kg değerinden daha küçüktür. Basıklık ve çarpıklık değerinden de anlaşılabilceği gibi derişim dağılımı, normal olmayan (log-normal) dağılım göstermektedir. Zr derişimlerinin histogram eğrisi, Grafik 4.15'te gösterildi. Zr derişiminin uzaysal dağılımı, Harita 4.14'de gösterildi.



Grafik 4.15. Zr derişiminin histogram eğrisi



Harita 4.14. Zr derişiminin uzaysal dağılımı

4.17.1. Zirkonyum Metali Kirliliğinin Değerlendirilmesi

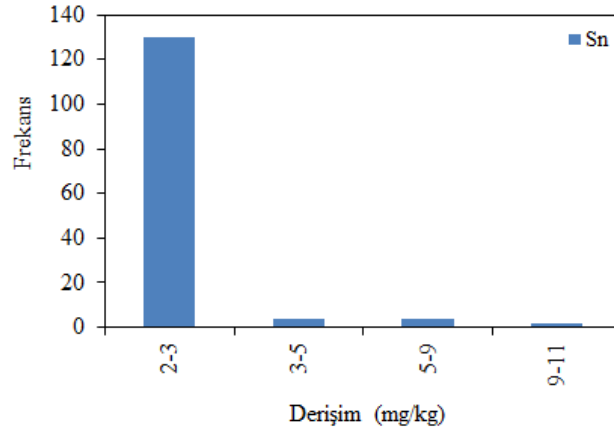
Zr metali için hesaplanan I_{GA} değerleri, -3,2 ila -0,7 aralığındadır (Tablo 4.6). Toprak örneklerinin tamamına ait I_{GA} değerleri, sıfırdan küçüktür. Bu durum toprağın, Zr metali ile kirlenmediğini göstermektedir.

Al elementi referans alınarak Zr için hesaplanan E_F değerleri, 0,4 – 1,2 aralığındadır (Tablo 4.9). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Zr metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Ti elementi referans alınarak Zr için hesaplanan E_F değerleri, 0,4 – 1,0 aralığındadır (Tablo 4.10). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Zr metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Mn elementi referans alınarak Zr için hesaplanan E_F değerleri, 0,3 – 1,3 aralığındadır (Tablo 4.11). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Zr metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir. Fe elementi referans alınarak Zr için hesaplanan E_F değerleri, 0,2 – 0,8 aralığındadır (Tablo 4.12). E_F değerlerinin tamamı, 2'den küçüktür ve bu durum toprağın, Zr metali ile en az derecede kirlendiğini göstermektedir.

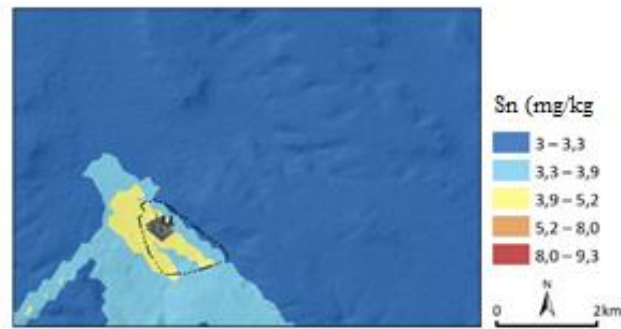
Zr metali için hesaplanan C_F değerleri, 0,2 – 0,9 aralığındadır (Tablo 4.15). C_F değerlerine göre toprak örnekleri düşük seviyede Zr metali ile kirlenmiştir. Ortalama C_F değerine göre Zr metalinin, topraktaki metal kirliliğine katkısı, % 0,7 olarak hesaplandı (Tablo 4.16).

4.18. Kalay

Tablo 4.4'den görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen Sn (ağır metal) derişimi, 3,0 mg/kg (santralin doğu tarafındaki T133 kodlu örnek) – 9,3 mg/kg (santralin batı tarafındaki T17 kodlu örnek) aralığında değişmektedir. Sn derişimlerinin tamamı, yer kabuğu ortalaması olan 2,5 mg/kg değerinden daha büyüktür. Basıklık ve çarpıklık değerinden de anlaşılabilceği gibi derişim dağılımı, normal olmayan (log-normal) dağılım göstermektedir. Sn derişimlerinin histogram eğrisi, Grafik 4.16'da gösterildi. Sn derişiminin uzaysal dağılımı, Harita 4.15'te gösterildi.



Grafik 4.16. Sn derişiminin histogram eğrisi



Harita 4.15. Sn derişiminin uzaysal dağılımı

4.18.1. Kalay Metali Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Sn metali için hesaplanan I_{GA} değerleri, -0,3 ila 1,3 aralığındadır (Tablo 4.6). Toprak örneklerinin % 94'ü Sn metali ile kirlenmemiş iken % 2'si bir dereceye kadar ve % 4'ü ise orta seviyede Sn metali ile kirlenmiştir.

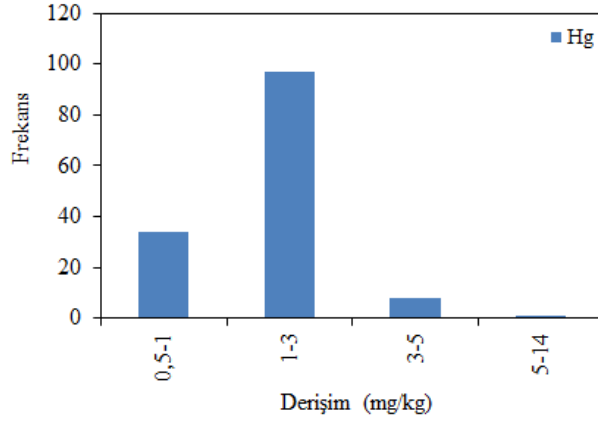
Al elementi referans alınarak Sn için hesaplanan E_F değerleri, 0,9 – 8,6 aralığındadır (Tablo 4.9). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 14'ü en az, % 82'si orta seviyede ve % 4'ü ise önemli ölçüde Sn metali ile kirlenmiştir. Ti elementi referans alınarak Sn için hesaplanan E_F değerleri, 1,2 – 6,9 aralığındadır (Tablo 4.10). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 16'sı en az, % 81'i orta seviyede ve % 3'ü ise önemli ölçüde Sn metali ile kirlenmiştir. Mn elementi referans alınarak Sn için hesaplanan E_F değerleri, 1,1 – 4,5 aralığındadır (Tablo 4.11). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 80'i en az ve % 20'si ise orta seviyede Sn metali ile kirlenmiştir. Fe elementi referans alınarak Sn için hesaplanan E_F değerleri, 1,0 – 4,5 aralığındadır (Tablo 4.12). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 89'u en az ve % 11'i ise orta seviyede Sn metali ile kirlenmiştir. Zr elementi referans alınarak Sn için hesaplanan E_F değerleri, 1,3 – 9,6 aralığındadır (Tablo 4.13). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 8'i en az, % 78'i orta seviyede ve % 14'ü ise önemli ölçüde Sn metali ile kirlenmiştir.

Sn metali için hesaplanan C_F değerleri, 1,2 – 3,7 aralığındadır (Tablo 4.15). C_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 96'sı orta seviyede ve % 4'ü ise kayda değer seviyede Sn metali ile kirlenmiştir. Ortalama C_F değerine göre Sn metalinin, topraktaki metal kirliliğine katkısı, % 2,3 olarak hesaplandı (Tablo 4.16).

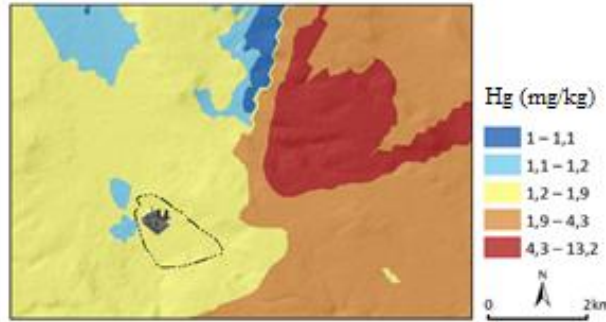
4.19. Cıva

Tablo 4.4'den görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen Hg (ağır metal) derişimi, 1,0 mg/kg (santralin batı tarafındaki T85 kodlu örnek) – 13,2 mg/kg (santralin kuzeydoğu tarafındaki T107 kodlu örnek) aralığında değişmektedir. Hg derişimlerinin tamamı, yer kabuğu ortalaması olan 0,083 mg/kg değerinden daha büyüktür. Basıklık ve çarpıklık değerinden de anlaşılabilceği gibi derişim dağılımı,

normale yakın dağılım göstermektedir. Hg derişimlerinin histogram eğrisi, Grafik 4.17'te gösterildi. Hg derişiminin uzaysal dağılımı, Harita 4.16'da gösterildi.



Grafik 4.17. Hg derişiminin histogram eğrisi



Harita 4.16. Hg derişiminin uzaysal dağılımı

4.19.1. Cıva Metali Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Hg metali için hesaplanan I_{GA} değerleri, 3,01 – 6,73 aralığındadır (Tablo 4.6). I_{GA} değerlerine göre toprak örneklerinin % 73'ü yoğun, % 26'sı ağır ve % 1'i ise aşırı bir şekilde Hg metali ile kirlenmiştir.

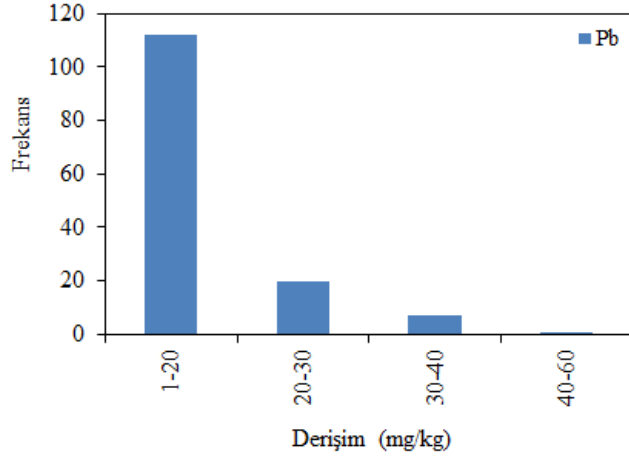
Al elementi referans alınarak Hg için hesaplanan E_F değerleri, 9,4 – 365,2 aralığındadır (Tablo 4.9). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin %2'si önemli ölçüde, % 40'ı çok yüksek derecede ve % 58'i ise aşırı derecede Hg metali ile kirlenmiştir.

Ti elementi referans alınarak Hg için hesaplanan E_F değerleri, 12,1 – 278,1 aralığındadır (Tablo 4.10). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 4'ü önemli ölçüde, % 42'si çok yüksek derecede ve % 54'ü ise aşırı derecede Hg metali ile kirlenmiştir. Mn elementi referans alınarak Hg için hesaplanan E_F değerleri, 11,8 – 235,2 aralığındadır (Tablo 4.11). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 23'ü önemli ölçüde, % 64'ü çok yüksek derecede ve % 13'ü ise aşırı derecede Hg metali ile kirlenmiştir. Fe elementi referans alınarak Hg için hesaplanan E_F değerleri, 10,0 – 253,7 aralığındadır (Tablo 4.12). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 40'ı önemli ölçüde, % 52'si çok yüksek derecede ve % 8'i ise aşırı derecede Hg metali ile kirlenmiştir. Zr elementi referans alınarak Hg için hesaplanan E_F değerleri, 13,5 – 360,0 aralığındadır (Tablo 4.13). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 1'i önemli ölçüde, % 25'i çok yüksek derecede ve % 74'ü ise aşırı derecede Hg metali ile kirlenmiştir.

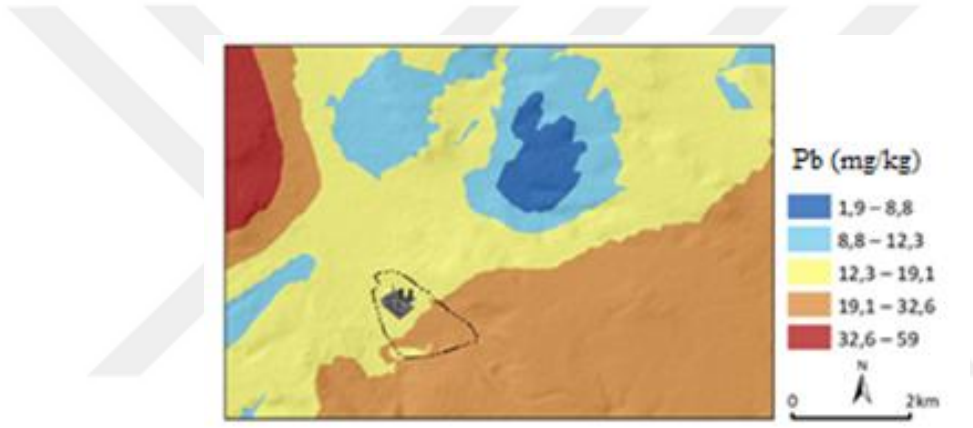
Hg metali için hesaplanan C_F değerleri, 12 – 159 aralığındadır (Tablo 4.15). C_F değerlerine göre toprak örneklerinin tamamı çok yüksek seviyede Hg metali ile kirlenmiştir. Ortalama C_F değerine göre Hg metalinin, topraktaki metal kirliliğine katkısı, % 36,4 olarak hesaplandı (Tablo 4.16).

4.20. Kurşun

Tablo 4.4'den görülebileceği gibi toprak örneklerinde analiz edilen Pb (ağır metal) derişimi, 1,9 mg/kg (santralin kuzeydoğu tarafındaki T106 kodlu örnek) – 59,0 mg/kg (santralin kuzeybatı tarafındaki T103 kodlu örnek) aralığında değişmektedir. Pb derişimlerinin % 47'si, yer kabuğu ortalaması olan 16 mg/kg değerinden daha büyüktür. Basıklık ve çarpıklık değerinden de anlaşılabilceği gibi derişim dağılımı, normal olmayan (log-normal) dağılım göstermektedir. Pb derişimlerinin histogram eğrisi, Grafik 4.18'de gösterildi. Pb derişiminin uzaysal dağılımı, Harita 4.17'de gösterildi.



Grafik 4.18. Pb derişiminin histogram eğrisi



Harita 4.17. Pb derişiminin uzaysal dağılımı

4.20.1. Kurşun Metali Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Pb metali için hesaplanan I_{GA} değerleri, -3,7 – 1,3 aralığındadır (Tablo 4.6). Toprak örneklerinin % 88'i Pb metali ile kirlenmemiş iken % 11'i bir dereceye kadar ve % 1'i ise orta seviyede Pb metali ile kirlenmiştir.

Al elementi referans alınarak Pb için hesaplanan E_F değerleri, 0,3 – 8,0 aralığındadır (Tablo 4.9). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 19'u en az, % 80'i orta seviyede ve % 1'i ise önemli ölçüde Pb metali ile kirlenmiştir. Ti elementi referans alınarak Pb için hesaplanan E_F değerleri, 0,3 – 7,2 aralığındadır (Tablo 4.10). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 26'sı en az, % 73'ü orta seviyede ve % 1'i ise önemli ölçüde Pb metali ile kirlenmiştir. Mn elementi referans alınarak Pb için

hesaplanan E_F değerleri, 0,2 – 5,1 aralığındadır (Tablo 4.11). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 90’ı en az, % 9’u orta seviyede ve % 1’i ise önemli ölçüde Pb metali ile kirlenmiştir. Fe elementi referans alınarak Pb için hesaplanan E_F değerleri, 0,2 – 5,1 aralığındadır (Tablo 4.12). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 95’i en az, % 4’ orta seviyede ve % 1’i ise önemli ölçüde Pb metali ile kirlenmiştir. Zr elementi referans alınarak Pb için hesaplanan E_F değerleri, 0,4 – 9,3 aralığındadır (Tablo 4.13). E_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 2’si en az, % 97’si orta seviyede ve % 1’i ise önemli ölçüde Pb metali ile kirlenmiştir.

Pb metali için hesaplanan C_F değerleri, 1,2 – 3,7 aralığındadır (Tablo 4.15). C_F değerlerine göre toprak örneklerinin % 50’si düşük, % 49’u orta seviyede ve % 1’i ise kayda değer seviyede Pb metali ile kirlenmiştir. Ortalama C_F değerine göre Pb metalinin, topraktaki metal kirliliğine katkısı, % 1,9 olarak hesaplandı (Tablo 4.16).

4.21. Ağır Metal Derişimleri Arasındaki İlişki

Toprak örneklerinde analiz edilen ağır metallerin Pearson ilişki (korelasyon) matrisi, Tablo 4.19’da verildi. Tablo 4.19’dan da görülebileceği gibi ağır metaller arasındaki önemli pozitif ilişki ($p \leq 0.01$; 0.4’den büyük) aşağıda verilen ağır metaller arasında görüldü:

- Al ile Ti (0.85), Mn (0.61), Fe (0.45), Cu (0.63), Zn (0.79), Rb (0.83), Zr (0.81), Pb (0.64)
- Ti ile Mn (0.77), Fe (0.46), Cu (0.77), Zn (0.77), Rb (0.95), Zr (0.96), Pb (0.74)
- Cr ile Ni (0.51); Mn vs. Fe (0.73), Cu (0.77), Rb (0.67), Zr (0.77), Pb (0.57)
- Fe ile Co (0.41), Cu (0.75), Rb (0.43), Zr (0.47)
- Co ile Ni (0.82)
- Cu ile Zn (0.60), Rb (0.77), Zr (0.78), Pb (0.67)

- Zn ile Rb (0.77), Zr (0.74), Pb (0.67)

- Rb ile Zr (0.95), Pb (0.76)

- Zr ile Pb (0.76)

Bu metaller arasındaki kuvvetli ilişki, araştırılan alanda bulunan toprak örneklerindeki ağır metal kirliliğinin, ortak kaynaktan ileri geldiğini göstermektedir.



Tablo 4.19. Toprak örneklerindeki ağır metallerin Pearson ilişki katsayı matrisi

	Al	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Sn	Hg	Pb
Al	1															
Ti	0.85	1														
Cr	-0.27	-0.21	1													
Mn	0.61	0.77	0.33	1												
Fe	0.45	0.46	0.26	0.73	1											
Co	-0.33	-0.45	0.25	-0.12	0.41	1										
Ni	-0.57	-0.67	0.51	-0.21	0.30	0.82	1									
Cu	0.63	0.77	0.004	0.77	0.75	0.01	-0.22	1								
Zn	0.79	0.77	-0.24	0.56	0.35	-0.33	-0.56	0.60	1							
As	0.16	0.22	-0.32	-0.02	-0.23	-0.52	-0.52	-0.09	0.14	1						
Rb	0.83	0.95	-0.39	0.67	0.43	-0.41	-0.70	0.77	0.77	0.20	1					
Sr	-0.47	-0.56	-0.24	-0.71	-0.58	-0.04	0.08	-0.62	-0.43	0.25	-0.46	1				
Zr	0.81	0.96	-0.19	0.77	0.47	-0.44	-0.67	0.78	0.74	0.24	0.95	-0.56	1			
Sn	-0.04	0.05	0.33	0.18	-0.01	-0.30	-0.01	-0.05	-0.03	0.05	-0.06	-0.10	0.05	1		
Hg	0.19	0.26	-0.24	0.10	-0.07	-0.12	-0.31	0.24	0.19	0.01	0.31	-0.14	0.24	-0.14	1	
Pb	0.64	0.74	-0.11	0.57	0.32	-0.31	-0.54	0.67	0.67	0.05	0.76	-0.38	0.76	-0.10	0.19	1

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Harita 4.1'den görülebileceği gibi pH dağılımı, alanın topografyasını yansıtmaktadır. Topografyadaki farklılık (Tohma çayının etki alanı ve güneş ışınlarına daha az veya daha fazla maruz kalan kesimler) sebebiyle düşük/yüksek pH dağılımı görülmektedir. Güneş ışınını doğrudan alan yüksek arazide pH değerinin yüksek, akarsu vadisinin yamaçları ve akarsuya yakın bölümlerde pH değerinin düşük görülmektedir. Toprak örneklerinin ortalama pH değeri, 8,0 olarak ölçüldü. Bu pH değeri, Kangal Termik Santralının çevresindeki araştırılan alandaki tarımsal toprağın, orta seviyede alkalın yapıda olduğunu göstermektedir. Bu durumda termik santralin yakın çevresi, santral bacalarından atmosfere yayılan asit gazlarından fazla etkilenmemiştir.

Araştırma alanındaki toprağın % 72'sini, SiO₂ (% 29,5), CaO (% 21.1), MgO (% 8.4), Al₂O₃ (% 7.1) ve Fe₂O₃ (% 5.5) oksitleri oluşturmaktadır. Ortalama SiO₂ oranı, %52'den az olduğundan toprak, bazik kayaç özelliğine sahip, ağır bünyeli (killi toprak) ve koyu renklidir. CaO, MgO ve Na₂O (% 0,7) oksit oranlarının yüksek olması, gabro bazalt gibi volkanik kayaç özelliğini yansıtmaktadır.

Toprak örneklerindeki Al derişiminin ortalama değeri, 37814 mg/kg olarak bulundu. Al derişiminin ortalama değeri, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 2 kat daha küçüktür. Al metali için jeoakümülyasyon indisinin ortalama değeri -1,7 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu kül sebebiyle araştırılan alan, Al metali ile kirlenmemiştir (Tablo 4.7). Ti, Mn, Fe ve Zr elementleri referans alınarak hesaplanan Al için zenginleşme faktörünün ortalama değerleri, sırasıyla 0,9, 0,7, 0,6 ve 1,3 olarak hesaplandı. Bu ortalama değerlere göre araştırılan alan, Al metali ile en az derecede kirlenmiştir (Tablo 4.10, Tablo 4.11, Tablo 4.12 ve Tablo 4.13). Al metali için kirlilik faktörünün ortalama değeri 0,5 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre araştırılan alan, Al metali ile düşük seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.16).

Toprak örneklerindeki Ti derişiminin ortalama değeri, 2262 mg/kg olarak bulundu. Ti derişiminin ortalama değeri, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 2 kat daha

küçüktür. Ti metali için jeoakümülyasyon indisinin ortalama değeri -1,7 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu kül sebebiyle araştırılan alan, Ti metali ile kirlenmemiştir (Tablo 4.7). Al, Mn, Fe ve Zr elementleri referans alınarak hesaplanan Ti için zenginleşme faktörünün ortalama değerleri, sırasıyla 1,1, 0,7, 0,6 ve 1,3 olarak hesaplandı. Bu ortalama değerlere göre araştırılan alan, Ti metali ile en az derecede kirlenmiştir (Tablo 4.9, Tablo 4.11, Tablo 4.12 ve Tablo 4.13). Ti metali için kirlilik faktörünün ortalama değeri 0,5 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre araştırılan alan, Ti metali ile düşük seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.16).

Toprak örneklerindeki Cr derişiminin ortalama değeri, 713 mg/kg olarak bulundu. Cr derişiminin ortalama değeri, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 9 kat daha büyüktür. Cr metali için jeoakümülyasyon indisinin ortalama değeri 2,4 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu kül sebebiyle toprak, Cr metali ile orta seviyenin üzerinde kirlenmiştir (Tablo 4.7). Al, Ti, Mn, Fe ve Zr elementleri referans alınarak hesaplanan Cr için zenginleşme faktörünün ortalama değerleri, sırasıyla 20,1, 18,7, 11,9, 10,2 ve 25,4 olarak hesaplandı. Bu ortalama değerlere göre araştırılan alan, Cr metali ile önemli ölçüde (Tablo 4.11 ve Tablo 4.12) veya çok yüksek derecede (Tablo 4.9, Tablo 4.10 ve Tablo 4.13) kirlenmiştir. Cr metali için kirlilik faktörünün ortalama değeri 8,6 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre araştırılan alan, Cr metali ile çok yüksek seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.16).

Toprak örneklerindeki Mn derişiminin ortalama değeri, 721 mg/kg olarak bulundu. Mn derişiminin ortalama değeri, yer kabuğu ortalamasından % 30 daha küçüktür. Mn metali için jeoakümülyasyon indisinin ortalama değeri -1,1 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu kül sebebiyle araştırılan alan, Mn metali ile kirlenmemiştir (Tablo 4.7). Al, Ti, Fe ve Zr elementleri referans alınarak hesaplanan Mn için zenginleşme faktörünün ortalama değerleri, sırasıyla 1,6, 1,5, 0,9 ve 2,0 olarak hesaplandı. Bu ortalama değerlere göre araştırılan alan, Mn metali ile en az derecede (Tablo 4.9, Tablo 4.10 ve Tablo 4.12) veya orta seviyede (Tablo 4.13) kirlenmiştir. Mn metali için kirlilik faktörünün

ortalama değeri 0,7 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre araştırılan alan, Mn metali ile düşük seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.16).

Toprak örneklerindeki Fe derişiminin ortalama değeri, 39065 mg/kg olarak bulundu. Fe derişiminin ortalama değeri, yer kabuğu ortalamasından % 16 daha küçüktür. Fe metali için jeoakümülyasyon indisinin ortalama değeri -0,8 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu kül sebebiyle araştırılan alan, Fe metali ile kirlenmemiştir (Tablo 4.7). Al, Ti, Mn ve Zr elementleri referans alınarak hesaplanan Mn için zenginleşme faktörünün ortalama değerleri, sırasıyla 1,9, 1,8, 1,2 ve 2,4 olarak hesaplandı. Bu ortalama değerlere göre araştırılan alan, Fe metali ile en az derecede (Tablo 4.9, Tablo 4.10 ve Tablo 4.11) veya orta seviyede (Tablo 4.13) kirlenmiştir. Fe metali için kirlilik faktörünün ortalama değeri 0,8 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre araştırılan alan, Fe metali ile düşük seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.16).

Toprak örneklerindeki Co derişiminin ortalama değeri, 63,9 mg/kg olarak bulundu. Co derişiminin ortalama değeri, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 4 kat daha büyüktür. Co metali için jeoakümülyasyon indisinin ortalama değeri 1,1 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu kül sebebiyle toprak, Co metali ile orta seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.7). Al, Ti, Mn, Fe ve Zr elementleri referans alınarak hesaplanan Co için zenginleşme faktörünün ortalama değerleri, sırasıyla 8,4, 8,0, 5,1, 11,0 ve 4,2 olarak hesaplandı. Bu ortalama değerlere göre araştırılan alan, Co metali ile önemli ölçüde (Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.13) veya orta derecede (Tablo 4.12) kirlenmiştir. Co metali için kirlilik faktörünün ortalama değeri 5,8 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre araştırılan alan, Co metali ile kayda değer seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.16).

Toprak örneklerindeki Ni derişiminin ortalama değeri, 610 mg/kg olarak bulundu. Ni derişiminin ortalama değeri, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 11 kat daha büyüktür. Ni metali için jeoakümülyasyon indisinin ortalama değeri 3,5 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu kül sebebiyle toprak, Ni metali ile yoğun bir şekilde kirlenmiştir (Tablo 4.7). Al, Ti, Mn, Fe ve Zr elementleri referans alınarak hesaplanan Ni için zenginleşme

faktörünün ortalama değerleri, sırasıyla 26, 24, 15, 12 ve 33 olarak hesaplandı. Bu ortalama değerlere göre araştırılan alan, Cr metali ile önemli ölçüde (Tablo 4.11 ve Tablo 4.12) veya çok yüksek derecede (Tablo 4.9, Tablo 4.10 ve Tablo 4.13) kirlenmiştir. Ni metali için kirlilik faktörünün ortalama değeri 10,5 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre araştırılan alan, Ni metali ile çok yüksek seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.16).

Toprak örneklerindeki Cu derişiminin ortalama değeri, 29 mg/kg olarak bulundu. Cu derişiminin ortalama değeri, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 2 kat daha küçüktür. Cu metali için jeoakümülyasyon indisinin ortalama değeri -1,3 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu kül sebebiyle araştırılan alan, Cu metali ile kirlenmemiştir (Tablo 4.7). Al, Ti, Mn, Fe ve Zr elementleri referans alınarak hesaplanan Cu için zenginleşme faktörünün ortalama değerleri, sırasıyla 1,4, 1,3, 0,9, 0,7 ve 1,8 olarak hesaplandı. Bu ortalama değerlere göre araştırılan alan, Cu metali ile en az derecede kirlenmiştir (Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.11, Tablo 4.12 ve Tablo 4.13). Cu metali için kirlilik faktörünün ortalama değeri 0,6 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre araştırılan alan, Cu metali ile düşük seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.16).

Toprak örneklerindeki Zn derişiminin ortalama değeri, 82 mg/kg olarak bulundu. Zn derişiminin % 29'u, yer kabuğu ortalamasından daha büyüktür. Zn metali için jeoakümülyasyon indisinin ortalama değeri -0,7 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu kül sebebiyle araştırılan alan, Zn metali ile kirlenmemiştir (Tablo 4.7). Al, Ti, Mn, Fe ve Zr elementleri referans alınarak hesaplanan Zn için zenginleşme faktörünün ortalama değerleri, sırasıyla 2,1, 2,0, 1,4, 1,2 ve 2,6 olarak hesaplandı. Bu ortalama değerlere göre araştırılan alan, Zn metali ile orta derecede (Tablo 4.9 ve Tablo 4.10) veya orta derecede (Tablo 4.11, Tablo 4.12 ve Tablo 4.13). Zn metali ile kirlenmiştir. Zn metali için kirlilik faktörünün ortalama değeri 0,99 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre araştırılan alan, Zn metali ile düşük seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.16).

Toprak örneklerindeki As derişiminin ortalama değeri, 9,0 mg/kg olarak bulundu. As derişiminin ortalama değeri, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 5 kat daha

büyükür. As metali için jeoakümülayon indisinin ortalama değeri 1,6 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu kül sebebiyle toprak, Ni metali ile orta seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.7). Al, Ti, Mn, Fe ve Zr elementleri referans alınarak hesaplanan As için zenginleşme faktörünün ortalama değerleri, sırasıyla 12, 11, 8, 7 ve 14 olarak hesaplandı. Bu ortalama değerlere göre araştırılan alan, As metali ile önemli ölçüde (Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.11, Tablo 4.12 ve Tablo 4.13) kirlenmiştir. As metali için kirlilik faktörünün ortalama değeri 5,3 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre araştırılan alan, As metali ile kayda değer seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.16).

Toprak örneklerindeki Rb derişiminin ortalama değeri, 34,5 mg/kg olarak bulundu. Rb derişiminin ortalama değeri, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 4 kat daha küçüktür. Rb metali için jeoakümülayon indisinin ortalama değeri -2,8 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu kül sebebiyle araştırılan alan, Rb metali ile kirlenmemiştir (Tablo 4.7). Al, Ti, Mn, Fe ve Zr elementleri referans alınarak hesaplanan Rb için zenginleşme faktörünün ortalama değerleri, sırasıyla 0,5, 0,5, 0,3, 0,3 ve 0,6 olarak hesaplandı. Bu ortalama değerlere göre araştırılan alan, Rb metali ile en az derecede kirlenmiştir (Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.11, Tablo 4.12 ve Tablo 4.13). Rb metali için kirlilik faktörünün ortalama değeri 0,2 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre araştırılan alan, Rb metali ile düşük seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.16).

Toprak örneklerindeki Sr derişiminin ortalama değeri, 410,8 mg/kg olarak bulundu. Sr derişiminin ortalama değeri, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık % 21 daha büyükür. Sr metali için jeoakümülayon indisinin ortalama değeri -0,4 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu kül sebebiyle araştırılan alan, Sr metali ile kirlenmemiştir (Tablo 4.7). Al, Ti, Mn, Fe ve Zr elementleri referans alınarak hesaplanan Sr için zenginleşme faktörünün ortalama değerleri, sırasıyla 3,0, 2,8, 1,8, 1,5 ve 3,9 olarak hesaplandı. Bu ortalama değerlere göre araştırılan alan, Sr metali ile en az derecede (Tablo 4.11 ve Tablo 4.12) veya orta derecede Sr metali ile kirlenmiştir (Tablo 4.9, Tablo 10 ve Tablo 4.13). Sr metali için kirlilik faktörünün ortalama değeri 1,2 olarak hesaplandı.

Bu ortalama değere göre araştırılan alan, Sr metali ile orta seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.16).

Toprak örneklerindeki Zr derişiminin ortalama değeri, 65,3 mg/kg olarak bulundu. Zr derişiminin ortalama değeri, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 3 kat daha küçüktür. Zr metali için jeoakümülyasyon indisinin ortalama değeri -2,1 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu kül sebebiyle araştırılan alan, Zr metali ile kirlenmemiştir (Tablo 4.7). Al, Ti, Mn ve Fe elementleri referans alınarak hesaplanan Zr için zenginleşme faktörünün ortalama değerleri, sırasıyla 0,8, 0,8, 0,5 ve 0,5 olarak hesaplandı. Bu ortalama değerlere göre araştırılan alan, Zr metali ile en az derecede kirlenmiştir (Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.11 ve Tablo 4.12). Zr metali için kirlilik faktörünün ortalama değeri 0,4 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre araştırılan alan, Zr metali ile düşük seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.16).

Toprak örneklerindeki Sn derişiminin ortalama değeri, 3,3 mg/kg olarak bulundu. Sn derişiminin ortalama değeri, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 4 kat daha büyüktür. Sn metali için jeoakümülyasyon indisinin ortalama değeri -0,3 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu kül sebebiyle araştırılan alan, Sn metali ile kirlenmemiştir (Tablo 4.7). Al, Ti, Mn, Fe ve Zr elementleri referans alınarak hesaplanan Sn için zenginleşme faktörünün ortalama değerleri, sırasıyla 3,0, 2,8, 1,6, 1,8 ve 3,8 olarak hesaplandı. Bu ortalama değerlere göre araştırılan alan, Sn metali ile en az derecede (Tablo 4.11 ve Tablo 4.12) veya orta derecede Sn metali ile kirlenmiştir (Tablo 4.9, Tablo 10 ve Tablo 4.13). Sn metali için kirlilik faktörünün ortalama değeri 1,3 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre araştırılan alan, Sn metali ile orta seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.16).

Toprak örneklerindeki Hg derişiminin ortalama değeri, 1,7 mg/kg olarak bulundu. Hg derişiminin ortalama değeri, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 21 kat daha büyüktür. Hg metali için jeoakümülyasyon indisinin ortalama değeri 3,6 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu kül sebebiyle toprak, Hg metali ile ağır bir şekilde (Tablo 4.7). Al, Ti, Mn, Fe

ve Zr elementleri referans alınarak hesaplanan Hg için zenginleşme faktörünün ortalama değerleri, sırasıyla 46,3, 42,8, 29,3, 25,4 ve 58,0 olarak hesaplandı. Bu ortalama değerlere göre araştırılan alan, Hg metali ile çok yüksek derecede (Tablo 4.11 ve Tablo 4.12) veya aşırı derecede (Tablo 4.9, Tablo 4.10 ve Tablo 4.13) kirlenmiştir. Hg metali için kirlilik faktörünün ortalama değeri 21 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre araştırılan alan, Hg metali ile çok yüksek seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.16).

Toprak örneklerindeki Pb derişiminin ortalama değeri, 59,0 mg/kg olarak bulundu. Pb derişiminin ortalama değeri, yer kabuğu ortalamasından yaklaşık 5 kat daha büyüktür. Pb metali için jeoakümülyasyon indisinin ortalama değeri -0,6 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu kül sebebiyle araştırılan alan, Pb metali ile kirlenmemiştir (Tablo 4.7). Al, Ti, Mn, Fe ve Zr elementleri referans alınarak hesaplanan Pb için zenginleşme faktörünün ortalama değerleri, sırasıyla 2,3, 2,1, 1,5, 1,3 ve 2,9 olarak hesaplandı. Bu ortalama değerlere göre araştırılan alan, Pb metali ile en az derecede (Tablo 4.11 ve Tablo 4.12) veya orta derecede Pb metali ile kirlenmiştir (Tablo 4.9 ve Tablo 10 ve Tablo 4.13). Pb metali için kirlilik faktörünün ortalama değeri 1,1 olarak hesaplandı. Bu ortalama değere göre araştırılan alan, Pb metali ile orta seviyede kirlenmiştir (Tablo 4.16).

Araştırılan alanın tamamının ağır metal ile kirliliğini değerlendirmek amacıyla hesaplanan kirlilik derecesinin ortalama değeri 57 olarak bulundu. Bu ortalama değer, araştırılan alanın çok yüksek derecede ağır metal ile kirlendiğini göstermektedir.

İyileştirilmiş kirlilik derecesinin ortalama değeri, 3,6 olarak bulundu. Bu ortalama değer, araştırılan alanın orta derecede ağır metal ile kirlendiğini göstermektedir.

Kirlilik yükü indisinin ortalama değeri, 1,5 olarak bulundu. Bu ortalama değer, araştırılan alanın ağır metal ile kirlendiğini göstermektedir.

Toprak örneklerinde analiz edilen metallere ilişkin derişim değerlerinin uzaysal dağılım haritaları, metal derişimlerinin hâkim rüzgâr yönünde yoğunlaştığını göstermektedir.

5.1. Öneriler

Bu çalışma, Kangal Termik Santralının bacasından çıkan uçucu kül sebebiyle santralin yakınındaki tarımsal alanın metal kirliliğine yönelik ayrıntılı olarak yapılan ilk çalışmadır. Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler, termik santralinin çevreye verebileceği zararlar ile ilgili farkındalık oluşturulmasına ve kirliliğin kontrol edilmesi gerekliliğine yönelik yol gösterici bilgi mahiyetindedir. Bu tez, sadece toprak örneklerini kapsamaktadır. Bununla birlikte,

- Kangal Termik Santrali sebebiyle ağır metal kirliliğinin, santralin yakın çevresindeki su kaynakları, bitki örtüsü ve tarımsal ürünler ile ilgili olarak da araştırılması,

- Özellikle termik santralin bacalarından çıkan baca gazlarının meteorolojik şartlara bağlı olarak 200-300 km etkili olmaları sebebiyle Kangal ilçesinin veya Sivas ilinin çevresindeki orman ve su kaynaklarının baca gazlarından ne ölçüde etkilendiğinin araştırılması,

- Kangal Termik Santralinden atmosfere yayılan uçucu küllerin, baca gazlarının ve santrale yakın bölgede oluşturulan kül dağının çevresel etkilerinin periyodik olarak araştırılması ve

- Sivas Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü tarafından her yıl hazırlanan ÇED raporunda bu tür bilgilere yer verilmesi önerilir.

KAYNAKLAR

- Adeyi, A.A., & Torto, N. (2014). Profiling heavy metal distribution and contamination in soil of old power generation station in Lagos, Nigeria. *American Journal of Science and Technology*, 1(1), 1-10.
- Abanuz, Y.G. (2011). Heavy metal contamination of surface soil Gebze industrial area Turkey. *Microchemical Journal*, 99, 82-92.
- Agrawal, P., Mittal, A., Prakash, R., Kumar, M., Singh, T.B., & Tripathi, S.K. (2010). Assessment of contamination of soil due to heavy metals around coal-fired thermal power plants at Singrauli region of India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 85, 219-223.
- Aydemir, G. (2008). Afşin- Elbistan Termik Santrali emisyonlarının yöre topraklarına etkilerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Baba, A. (2003). Geochemical assessment of environmental effects of ash from Yatagan (Mugla-Turkey) Thermal Power Plant. *Water, Air, and Soil Pollution*, 144, 3-18.
- Braduliene, J., & Sveikauskaite, I. (2017). Soil surface pollution with heavy metals caused by coal-fired boilers. *Environmental Engineering 10th International Conference*, 1-6, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania, 27-28 April 2017.
- Brouwer, P. (2013). *Theory of XRF-Getting acquainted with the principles*. PANalytical. EA Elmelo.
- Buat-Menard, P., & Chesselet, R. (1979). Variable influence of the atmospheric flux on the trace element chemistry of oceanic suspended matter. *Earth and Planetary Science Letters*, 42, 399-411.
- Bunzl, K., Rosner, G., & Schmindt, W. (1983). Distribution of lead, cobalt and nickel in the soil around a coal fired power plant. *Z. Pflanzenernaehr Bodenk*, 146, 705-713.
- Camargo, I.M.C., Hiromoto, G., & Flues, M. (2007). Heavy metal partition in acid soils contaminated by coal power plant. *Journal of The Brazilian Chemical Society*, 18(4), 831-837.
- Çancı, B. (1998). Seyitömer (Kütahya) Termik Santrali'ndeki uçucu küllerin çevresel etkilerinin jeokimyasal değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.

- Cicek, A., & Koparal, A.A. (2004). Accumulation of sulphur and heavy metals in soil and tree leaves sampled from the surroundings of Tuncbilek Thermal Power Plant. *Chemosphere*, 57, 1031-1036.
- Ćujić, M., Dragović, S., Sabovljević, M., Beškoski, L.S., Kilibarda, M., Savović, J., & Onjia, A. (2014). Use of mosses as biomonitors of major, minor and trace element deposition around the largest thermal power plant in Serbia. *Clean-Soil Air Water*, 2, 5-11.
- Ćujić, M., Dragović, S., Dordević, M., Dragović, R., & Gajić, B. (2017). Reprint Environmental assessment of heavy metals around the largest coal fired power plant in Serbia. *Catena*, 148, 26-34.
- Çayır, A., Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Coşkun, M., & Coşkun, M. (2012). Heavy metal and radionuclide levels in soil around Afsin-Elbistan coal-fired thermal power-plant. *Environmental Earth Sciences*, 67, 1183-1190.
- ÇED Raporu (2016). *Sivas ili 2016 yılı çevre durum raporu*. Sivas Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Sivas.
- Danielowska, D, S. (2006). Heavy metals in fly ash from a coal-fired power station in Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(6), 943-946.
- Demaku, S., Shehu, I., Jusufi, S., Arbnesi, T., & Dobra, B. (2011). Heavy metals in coal ash, soil, water and sludge near the two coal-fired power stations in Kosova. *Journal of International Environmental Application and Science*, 6(3), 412-416.
- Devanesan, E., Gandhi, M. S., Selvapandiyan, M., Senthilkumar, G., & Ravisankar, R. (2017). Heavy metal and potential ecological risk assessment in sediments collected from Poombuhar to Karaikal coast of Tamilnadu using energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) technique. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 6, 285-292.
- ETKB Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı web sayfası, 17/05/2018 tarihinde <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> kurumsal adresinden alınmıştır.
- Grieken, R.V.G., & Margui, E. (2013). *X-ray fluorescence spectrometry and related techniques*. US-Canada: Momentum Press.
- Güleç, N., Günal, B.Ç., & Erler, A. (2001). Assessment of soil and water contamination around an ash-disposal site: a case study from the Seyitömer coal-fired power plant in western Turkey. *Environmental Geology*, 40(3), 331-334.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14, 975-1001.

- Haktanır K., Karaca A., Ok S., Arcak S., Türkmen C., Topçuoğlu B., & Türeli F. (2006). Muğla Yatağan Termik Santral emisyonlarının etkisinde kalan tarım ve orman topraklarının kirlilik veri tabanının oluşturulması ve vejetasyon etkilerinin araştırılması. *DPT Projesi*, Ankara.
- Howladar, M.F., Ahmed, T., Deb, P.K., Shine, F.M.M., & Rahman, M.A. (2016). Analysing the top soil chemistry for environments around the Barapukuria Thermal Power Plant, Bangladesh. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 7(12), 146-150.
- Huang, X., Hu, J., Qin, F., Quan, W., Cao, R., Fan, M., & Wu, X. (2017). Heavy metal pollution and ecological assessment around the Jinsha coal-fired power plant (China). *International Journal of Environmental Research Public Health* 14-1589, 1-12
- Iruretagoiena, A.R., Vallejuelo, S.F.O., Gredilla, A., Ramos, C.G., Oliveira M.L.S., Arana, G., Diego, A., Madariaga, J.M., & Silva, L.F.O. (2015). Fate of hazardous elements in agricultural soils surrounding a coal power plant complex from Santa Catarina (Brasil). *Science of the Total Environment*, 508, 374-382.
- Jankiewicz, B., & Adamczyk, D. (2007). Assessing heavy metal content in soils surrounding the Lodz power plant, Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16(6), 933-938.
- KTS Kangal Termik Santrali web sayfası, 05/05/2018 tarihinde <http://kangaltermik.com.tr/Tr/kurumsal> adresinden alınmıştır.
- Karaca, A. (2001). Effects of Afşin-Elbistan power plant emissions on the physical, chemical and biological properties of nearby soils. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 7(1), 95-102.
- Karaca A., Türkmen C., Arcak S., Haktanır K., Topçuoğlu B., & Yıldız H. (2005). Çayırhan Termik Santrali emisyonlarının yöre topraklarının bazı ağır metal ve kükürt kapsamına etkilerinin belirlenmesi. *A.Ü. Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(1), 17-25.
- Karagöktaş, M. (2012). Afşin-Elbistan Termik Santrali'nin çevreye olan olası etkisinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kahramanmaraş.
- Karakaş, S. (2012). 18 Mart Çan Termik Santrali taban kül emisyonlarının yakın çevre bitki-toprak örnekleri üzerine olası etkiler. Yüksek Lisans Tezi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Çanakkale.
- Karamanis, D., Ioannides, K., & Stamoulis, K. (2009). Environmental assessment of natural radionuclides and heavy metals in water discharged from a lignite-fired power plant. *Fuel*, 88, 2046-2052.

- Keegan, T.J., Farago, M.E., Thornton, I., Hong, B., Colvile, R.N., Pesch, B., Jakubis, P., & Nieuwenhuijsen, M.J. (2006). Dispersion of As and selected heavy metals around a coal-burning power station in central Slovakia. *Science of the Total Environment*, 358(1-3), 61-71.
- Lazar, G., Capatina, C., & Simonescu, C.M. (2008). Evaluation of the heavy metals content in soil around a thermal station. *Revista de Chimie*, 59(8), 939-943.
- Li, R., Wu, H., Ding, J., Fu, W., Gan, L., & Li, Y. (2017). Mercury pollution in vegetables, grains and soil from areas surrounding coal-fired power plants. *Scientific Reports*, 7, 1-9.
- Liu, D., Quan, Y., Ren, Z., & Wu, G. (2017). Assessment of heavy metal contamination in soil associated with Chinese coal-fired power plants: a case study in Xilingol, Inner Mongolia. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 24(5), 439-443.
- Lu, X., Liu, W., Zhao, C., & Chen, C. (2013). Environmental assessment of heavy metal and natural radioactivity in soil around a coal-fired power plant in China. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 295, 1845-1854.
- Mandal, A., & Sengupta, D. (2006). An assessment of soil contamination due to heavy metals around a coal-fired thermal power plant in India. *Environmental Geology*, 51(3), 409-420.
- Mejsrik, V., & Suacha, J. (1988). Concentration of Co, Cr, Cd, Ni and Zn in crop plants cultivated in the vicinity of coal fired power plant. *The Science of the Environment*, 72, 57-67.
- Muller, G. (1969) Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geological Journal*, 2, 108-118.
- Namlı, A. (2012). 07/05/2018 tarihinde https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/25482/mod_resource/content/1/4-toprak%20kimyasal%20oz_bitki%20besin%20maddeleri.pdf adresinden alınmıştır.
- Noli, F., & Tsamos, P. (2016). Concentration of heavy metals and trace elements in soils, waters and vegetables and assessment of health risk in the vicinity of a lignite-fired power plant. *Science of the Total Environment*, 563(564), 377-385.
- Okedeyi, O.O., Dube, S., Awofolu, O.R., & Nindi, M.M. (2012). Assessing the enrichment of heavy metals in surface soil and plant (*Digitaria eriantha*) around coal-fired power plants in South Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 21, 4686-4696.

- Özkul, C. (2016). Heavy metal contamination in soils around the Tunçbilek thermal power plant (Kütahya, Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment* 188(284), 1-12.
- Papaefthymiou, H. (2008). Elemental deposition in the vicinity of a lignite power plant in southern Greece. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 275(2), 433–439.
- Sandru, C., & David, E. (2014). The assessment of heavy metals content in soil samples taken from the vicinity of thermal power plants, *Progress in Cryogenics and Isotopes Separation*, 17(1), 87-96.
- Sasi, G. (2005). Soma Termik Santrali yakınında yer altı sularındaki metal konsantrasyonlarının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Savic, D., Nisic, D., Malic, N., Dragosavljevic, Z., & Medenica, D. (2018). Research on power ash impact on the quality of soil in Kostolac and Gacko coal basin. *Minerals*, 8, 3-16.
- Sengupta, S., Chatterjee, T., Ghosh, P. B., & Saha, T. (2010). Heavy metal accumulation in agricultural soils around a coal fired thermal power plant (Farakka) in India. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 52(4), 299-306.
- Sengupta, S., Chatterjee, T., Ghosh, P. B., Sarkar, S., & Saha, T. (2011). Heavy metal contamination in leaves of *Mangifera indica* around a coal fired thermal power plant in India. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 3(14), 446-454.
- Shackley, M.S. (2011). *X-ray fluorescence spectrometry (XRF) in geoarchaeology*. USA: Springer Science, Business Media, LLC
- Singh, J., Agrawal, M., & Narayan, D. (1995). Changes in soil characteristics around coal-fired power plants. *Environment International*, 21(1), 93-102.
- Sinha, M., Datta, J. & Mondal, N.K. (2012). Agricultural soil contaminated by heavy metals exposed by the byproducts of Durgapur Thermal Power Station, Durgapur, W.B. *Asian Journal of Research in Chemistry*, 5(6), 742-747.
- Stalikas, C.D., Chaidou, C.I., & Pilidis, G.A. (1997). Enrichment of PAHs and heavy metals in soils in the vicinity of the lignite-fired power plants of West Macedonia (Greece). *Science of the Total Environment*, 204, 135-146.
- Sunkar, M. (2006). Kangal Havzası'nın (Sivas) Jeomorfolojisi. Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*. Elazığ.

- Şen, Ö., & Saraç, C. (2000). Kalburçayırı (Kangal, Sivas) linyit Yatağının jeolojisi ve blok kriging yöntemi ile değerlendirilmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 43 (1), 21-31.
- Şengül Ü. (2002). Kangal Termik Santralinde uçucu kül atılımının çevresel etkileri. *Ekoloji*, 11(44), 21-24.
- Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patiolla, A.K., & Sutton, D.J. (2012). Heavy metals toxicity and the environment. *EXS*, 101, 133-164.
- TKİ Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu web sayfası, 19/05/2018 tarihinde http://www.tki.gov.tr/depo/2017/2016faaliyetraporu.pdf_kurumsal adresinden alınmıştır.
- Tsikritzis, L.I., Ganatsios, S.S., Dului, O.G., Kavouridis, C.V., & Sawidis, T.D. (2002). Trace elements distribution in soil in areas of lignite power plants of Western Macedonia. *Journal of Trace and Microprobe Techniques*, 20(2), 269-282.
- Tuna A.L., & Girgin A.R. (2005). Mısırdaki (*Zea mays L.*) gelişme, mineral beslenme ve ağır metal içeriği üzerine termik santral uçucu küllerinin etkisi. *Ekoloji*, 11(57), 7-15.
- Turhan, Ş., Arıkan, İ.H., Yücel, B., Varinlioğlu, A., & Köse, A. (2010). Evaluation of the radiological safety aspects of utilization of Turkish coal combustion fly ash in concrete production. *Fuel*, 89, 2528-2535.
- TÜİK Türkiye İstatistik Kurumu web sayfası, 17/05/2018 tarihinde http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1029 kurumsal adresinden alınmıştır.
- Tümüklü, A., Çıfıklı, M., & Özgür, F.Z. (2008). Determination of heavy metals in soils around Afşin-Elbistan thermal power plant (Kahramanmaraş, Turkey). *Asian Journal of Chemistry*, 20(8), 6376-6384.
- Verma, A., & Bhatiya, S. (2015). Determination of heavy metal concentration and harmful effects of some edible vegetables around the area of Pariccha Thermal Power Plant Station in Jhansi (Uttar Pradesh India). *International Journal of Research Studies in Biosciences*, 3(4), 90-92.
- Verma, C., Madan, S., & Hussain, A. (2016). Heavy metal contamination of groundwater due to fly ash disposal of coal-fired thermal power plant, Parichha, Jhansi, India. *Cogent Engineering*, 3, 1-8.
- Yang W., & Wang, L. (2008). Spatial analysis and hazard assessment of mercury in soil around the coal-fired power plant: a case study from the city of Baoji, China. *Environmental Geology*, 53(7), 1381-1388.

- Yaroshevsky, A.A. (2006). Abundance of chemical elements in the earth's crust. *Geochemistry*, 44(1), 54-62.
- Yıldırım, A. (2018). Türkiye'deki mevcut volkanik tüf ocaklarının elemental dağılımlarının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kastamonu.
- Zhao, S., Duan, Y., Chen, L., Li, Y., Yao, T., Liu, S., Liu, M., & Lu, J. (2017). Study on emission of hazardous trace elements in a 350 MW coal-fired power plant. Part I. mercury. *Environmental Pollution*. 229, 863-870.



ÖZGEÇMİŞ

Adı soyadı : Ahmed M. K. GARAD
Doğum yeri, tarihi : Zawia (Libya), 05/04/1982
Medeni hali: : Evli
E-posta : ahmedlazord@yahoo.com



ÖĞRENİM DURUMU

Lise : Zawia High school (Libya)
Lisans : Physics Department of
Zawia University (Libya)
Yüksek lisans : Libyan Academy for Graduate
Studies (Tripoli- Libya)

YAYINLANMIŞ MAKALELER (SCI, SCI-EXP VE ESCI)

- 1) E. Gören, Ş. Turhan, A. Kurnaz, **A. M. K. Garad**, C. Duran, F. A. Uğur, Z. Yeğingil. Environmental evaluation of natural radioactivity in soil near a lignite-burning power plant in Turkey. Applied Radiation and Isotopes **129**, 13-18 (2017) (SCI).
- 2) Ş. Turhan, E. Gören, **A. M. K. Garad**, A. Altıkulaç, A. Kurnaz, C. Duran, A. Hançerlioğulları, V. Altunal, V. Güçkan, A. Özdemir. Radiometric measurement of lignite coal and its by-products and assessment of the usability of fly ash as raw materials in Turkey. Radiochimica Acta **33(2)**, 159-266 (2018) (SCI).
- 3) Ş. Turhan, **A. M. K. Garad**, A. Hançerlioğulları, A. Kurnaz, C. Duran, G. Savacı, E. Gören, A. Aydın. "Ecological assessment of heavy metals in soil around a coal-fired thermal power plant in Turkey", Environmental Earth Sciences Under review.

ULUSLARARASI BİLİMSEL TOPLANTILARDA SUNULAN BİLDİRİLER

1) Y. G. Madee, A. Haçerlioğulları, Ş. Turhan, A. Kurnaz, **A. M. K Garad**.

“Radiometric characterization and natural occurring radionuclides of sepiolite deposits in Polatlı”, X. International Conference on Nuclear Structure Properties.2017, Karabük, Türkiye.

2) **A. M. K. Garad**, Ş. Turhan, A. Haçerlioğulları, A. Kurnaz, Y. G. Madee.

“Heavy metal pollution around Kangal lignite-burning power plant”, X. International Conference on Nuclear Structure Properties. 20-22 September 2017, Karabük, Türkiye.

3) **A. M. K. Garad**, Şeref Turhan, Aybaba Haçerlioğullari. Evaluation of

the usability of fly Ash as raw and filling materials in Turkey. Proceeding Book, pp:10-11. International Congress on Engineering and Life Science, 26-29 April 2018, Kastamonu/Türkiye.