

**T.C.**  
**RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİNOP İLİ TOPRAK ÖRNEKLERİNDE AĞIR METAL**  
**KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

**EMRE GÖKBAYRAK**

**TEZ DANIŞMANI**  
**PROF. DR. HASAN BALTAŞ**

**TEZ JÜRİLERİ**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ CAFER MERT YEŞİLKANAT**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ ERKAN KIRIŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**FİZİK ANABİLİM DALI**

**RİZE-2018**

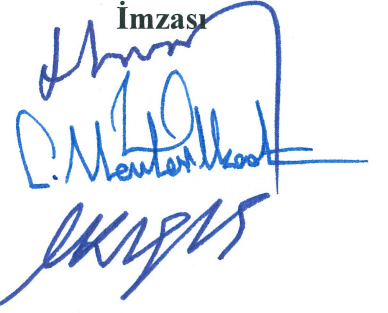
**Her Hakkı Saklıdır**

T.C.  
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİNOP İLİ TOPRAK ÖRNEKLERİNDE AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN  
BELİRLENMESİ

Prof. Dr. Hasan BALTAŞ danışmanlığında, Emre GÖKBAYRAK tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 04/07/2018 tarihinde Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

| Jüri Üyeleri | Unvanı Adı Soyadı                      |
|--------------|--|
| Başkan       | : Prof. Dr. Hasan BALTAŞ               |
| Üye          | : Dr. Öğr. Üyesi Cafer Mert YEŞİLKANAT |
| Üye          | : Dr. Öğr. Üyesi Erkan KIRIŞ           |

İmza  


  
Doç. Dr. Ferhat KALAYCI  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ  


## ÖNSÖZ

Sinop ili karasal alanındaki toprak örneklerinde ağır metal kirliliğinin belirlenmesi için yapılan bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda "Yüksek Lisans Tezi" olarak hazırlanmıştır.

Toprak örneklerinin ağır metal ölçümü için hazır hale getirilmesi çalışmaları Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Atom ve Molekül Fiziği Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Ağır metal analizleri ise Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan EDXRF (Epsilon5, PANalytical, Almelo, the Netherlands) cihazı gerçekleştirilmiştir.

Lisansüstü eğitimim süresince gerek maddi gerekse manevi her konuda yanımda olan, bir an olsun yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hasan BALTAŞ'a en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans çalışmalarımda bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Erkan KIRIŞ ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cafer Mert YEŞİLKANAT'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca ilgilerini ve desteklerini esirgemeyen Sayın Öğr. Gör. Murat ŞİRİN'e, Fatih DEVRAN'a, Gülnara İMİNOVA'ya ve Ömer ÇORUH'a teşekkürlerimi sunarım. Her türlü manevi destekleriyle sürekli yanımda olan Sayın Öğr. Gör. Tolga AKDEMİR'e çok teşekkür ederim.

Doğduğum günden bu zamana kadar hep yanımda olan desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen canım anneme ve babama büyük bir sevgiyle şükranlarımı sunuyorum. Her türlü maddi ve manevi destekleriyle her daim yanımda olan ablama, enişteme ve biricik yeğenim Alya KAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2017-766 nolu proje ile desteklenmiştir.

**Emre GÖKBAYRAK**

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan ‘‘Sinop İli Toprak Örneklerinde Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi’’ başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 06/07/2018



Emre GÖKBAYRAK

*Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.*

## ÖZET

### SİNOP İLİ TOPRAK ÖRNEKLERİNDE AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ

**Emre GÖKBAYRAK**

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi  
Danışmanı: Prof. Dr. Hasan BALTAŞ**

Sinop ili merkez ve Ayancık, Boyabat, Dikmen, Durağan, Erfelek, Gerze, Saraydüzü ve Türkeli ilçelerinden 88 istasyondan toplanan toprak örneklerinde ağır metal kirliliğinin tespiti için Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As ve Pb konsantrasyon değerleri EDXRF spektrometresi (Epsilon5, PANalytical, Almelo, the Netherlands) ile ölçülmüştür. Cr için ortalama konsantrasyon değeri, en yüksek 358,258  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Saraydüzü istasyonunda, en düşük ise 94,626  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Dikmen istasyonunda bulunmuştur. Fe için, en yüksek 58492  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Saraydüzü istasyonunda, en düşük 33935  $\mu\text{g g}^{-1}$  Türkeli istasyonunda bulunmuştur. Ni için, 130,962  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Saraydüzü istasyonunda en yüksek, 43,697  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Dikmen istasyonunda en düşük olarak bulunmuştur. Cu için, en yüksek 62,904  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Saraydüzü'nde, en düşük 34,823  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Erfelek istasyonunda bulunmuştur. Zn için, en yüksek 74,683  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Gerze istasyonunda, en düşük 58,081  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Dikmen istasyonunda bulunmuştur. As için, en yüksek 7,975  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak Dikmen istasyonunda gözlenirken, en düşük 3,727  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak Türkeli'nde bulunmuştur. Pb için, en yüksek 24,037  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Sinop merkez istasyonunda, en düşük konsantrasyon ise 13,861  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Saraydüzü istasyonunda bulunmuştur. Elde edilen ağır metal konsantrasyonları sonuçlarından toprak örnekleri için kirlilik parametreleri hesaplanmış ve çalışma alanı için genel olarak kirliliğin insan kaynaklı olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, metallerin ortalama konsantrasyon değerleri Cr ve Ni hariç, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) belirlemiş olduğu izin verilebilir limit değerlerin altında bulunmuştur.

**2018, 73 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Sinop, Ağır Metal, Kirlilik parametreleri, EDXRF

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF HEAVY METAL POLLUTION IN SOIL SAMPLES IN SINOP PROVINCE

**Emre GÖKBAYRAK**

**Recep Tayyip Erdoğan University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Physics  
Master Thesis  
Supervisor: Prof. Dr. Hasan BALTAŞ**

The concentration values of Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As and Pb to determine of heavy metal pollution in soil samples collected from 88 stations from Sinop province center and Ayancık, Boyabat, Dikmen, Durağan, Erfelek, Gerze, Saraydüzü and Türkeli districts were measured with EDXRF spectrometry (Epsilon5, PANalytical, Almelo, Netherlands). The average concentration value for Cr was found at the Saraydüzü station with a maximum of 358.258  $\mu\text{g g}^{-1}$  and at the Dikmen station with the lowest of 94.626  $\mu\text{g g}^{-1}$ . For Fe, the highest was found at Saraydüzü station with 58492  $\mu\text{g g}^{-1}$  and at the Turkeli station with the lowest of 33935  $\mu\text{g g}^{-1}$ . For Ni, it was found to be the highest in Saraydüzü station with 130.962  $\mu\text{g g}^{-1}$  and the lowest in Dikmen station with 43.697  $\mu\text{g g}^{-1}$ . For Cu, the highest was 62.904  $\mu\text{g g}^{-1}$  at Saraydüzü and the lowest was 34.823  $\mu\text{g g}^{-1}$  at Erfelek station. For Zn, the highest was found at Gerze station with 74.683  $\mu\text{g g}^{-1}$  and the lowest at Dikmen station with 58.081  $\mu\text{g g}^{-1}$ . For As, it was observed at Dikmen station as the highest 7.975  $\mu\text{g g}^{-1}$ , while it was found to be the lowest at 3.727  $\mu\text{g g}^{-1}$  in Turkeli. The highest concentration for Pb was found at Sinop central station with 24.037  $\mu\text{g g}^{-1}$  and the lowest concentration was found at Saraydüzü station with 13.861  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Pollution parameters for soil samples were calculated from the results of the obtained heavy metal concentrations and it was observed that the pollution was to be generally anthropogenic origin for the study area. As a result, except for Cr and Ni, the average concentration values of metals are below the permissible limit value for which the World Health Organization (WHO) has determined.

**2018, 73 pages**

**Keywords:** Sinop, Heavy Metal, Pollution Parameter, EDXRF

## İÇİNDEKİLER

|  |      |
|--|------|
| ÖNSÖZ.....   | I    |
| TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....  | II   |
| ÖZET.....  | III  |
| ABSTRACT.....  | IV   |
| İÇİNDEKİLER.....   | V    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....   | VII  |
| TABLolar DİZİNİ.....   | VIII |
| SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....                                       | X    |
| 1. GENEL BİLGİLER.....   | 1    |
| 1.1. Giriş.....  | 1    |
| 1.2. Literatür Özeti.....  | 3    |
| 1.3. Toprak Kirliliği.....   | 6    |
| 1.4. Çalışmada Kullanılan Başlıca Ağır Metaller ve Özellikleri.....        | 7    |
| 1.4.1. Krom.....   | 8    |
| 1.4.2. Nikel.....  | 8    |
| 1.4.3. Demir.....  | 9    |
| 1.4.4. Bakır.....  | 10   |
| 1.4.5. Çinko.....  | 10   |
| 1.4.6. Arsenik.....  | 11   |
| 1.4.7. Kurşun.....   | 12   |
| 1.5. X-Işınlarnın Oluşumu ve Enerji Seviyeleri.....                        | 13   |
| 1.6. EDXRF Spektrometreleri.....   | 18   |
| 1.7. 3D Optikli EDXRF Spektrometreleri.....                                | 18   |
| 1.8. XRF Analizi.....  | 20   |
| 1.9. EDXRF' de Nitelik Analizi.....  | 21   |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....   | 22   |
| 2.1. Materyal.....   | 22   |
| 2.1.1. Çalışma Alanı.....  | 22   |
| 2.1.2. Araziden Örnekleme Çalışmaları.....                                 | 26   |
| 2.2. Toprak Örnekleri.....   | 27   |
| 2.3. Toprak Örneklerinin Kimyasal Analizi İçin Hazır Hale Getirilmesi..... | 29   |

|  |    |
|--|----|
| 2.4. Toprak Örneklerinin Ağır Metal Analizi .....                                    | 31 |
| 2.5. Toprak Örneklerinde Ağır Metal Kirlilik Parametrelerinin Değerlendirilmesi .... | 33 |
| 2.5.1. Zenginleştirme Faktörü (EF) .....   | 33 |
| 2.5.2. Jeobirikim indeksi ( $I_{geo}$ ) .....  | 34 |
| 2.5.3. Kirlilik faktörü ( $C_f$ ) .....  | 35 |
| 2.5.4. Kirlilik yük indeksi (PLI) .....  | 35 |
| 2.6. İstatistiksel Analiz.....   | 36 |
| 3. BULGULAR.....   | 37 |
| 3.1. Toprak Örneklerinin Ağır Metal Konsantrasyonları .....                          | 37 |
| 3.2. Toprak Örneklerinde Hesaplanan Kirlilik Parametreleri.....                      | 45 |
| 4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....   | 49 |
| 4.1. Metal Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi.....                               | 49 |
| 4.1.1. Krom (Cr) .....   | 49 |
| 4.1.2. Demir (Fe).....   | 50 |
| 4.1.3. Nikel (Ni).....   | 51 |
| 4.1.4. Bakır (Cu) .....  | 53 |
| 4.1.5. Çinko (Zn).....   | 54 |
| 4.1.6. Arsenik (As).....   | 55 |
| 4.1.7. Kurşun (Pb).....  | 57 |
| 4.2. Korelasyon Analiz Sonuçları .....   | 58 |
| 4.3. Toprak Örneklerinin Kirlilik Parametrelerinin Değerlendirilmesi .....           | 59 |
| 4.3.1. Zenginleştirme faktör (EF) .....  | 59 |
| 4.3.2. Jeobirikim indeksi ( $I_{geo}$ ) .....  | 60 |
| 4.3.3. Kirlilik faktörü ( $C_f$ ) .....  | 60 |
| 4.3.4. Kirlilik yük indeksi (PLI) .....  | 61 |
| 4.4. Sonuçların Diğer Çalışmalarla Karşılaştırılması .....                           | 62 |
| 5. ÖNERİLER.....   | 67 |
| KAYNAKLAR .....  | 68 |
| ÖZGEÇMİŞ .....   | 73 |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>Şekil 1.</b>  | Elektronların elastik ve inelastik saçılması ve Bremsstrahlung ışınlarının üretilmesi.....                  | 14 |
| <b>Şekil 2.</b>  | Karakteristik X-ışınlarının ve Auger elektronunun meydana gelmesi.....                                      | 15 |
| <b>Şekil 3.</b>  | Atomlarda elektron geçişleri ve karakteristik x-ışını yayımının şematik olarak gösterimi .....              | 17 |
| <b>Şekil 4.</b>  | Doğrudan uyarımsız ve 3D optikli enerji dağıtıcı spektrometre (Brouwer, 2003).....                          | 19 |
| <b>Şekil 5.</b>  | Toprak numunesi için EDXRF örnek spektrumu.....   | 20 |
| <b>Şekil 6.</b>  | Sinop ilinde örnekleme yapılan istasyonlar.....   | 23 |
| <b>Şekil 7.</b>  | Araziden toprak örnekleme çalışması .....   | 26 |
| <b>Şekil 8.</b>  | Laboratuvar ortamına getirilen toprak örnekleri .....   | 27 |
| <b>Şekil 9.</b>  | a) Toprak örneklerinden iri taş parçacıklarının ayıklanması. b) Toprak örneklerinin etüvde kurutulması..... | 28 |
| <b>Şekil 10.</b> | Toprak örneklerinin a) havanda öğütülmesi b) 63 µm'lik elekten geçirilmesi. ....                            | 29 |
| <b>Şekil 11.</b> | Toprak örneklerinin bağlayıcı bileşen (Wax) ile (4g:0,5g) oranında agat havanda karıştırılması .....        | 30 |
| <b>Şekil 12.</b> | EDXRF ölçümü için hazır hale gelen toprak örnekleri.....  | 30 |
| <b>Şekil 13.</b> | Epsilon 5, PANalytical EDXRF cihazı .....   | 31 |
| <b>Şekil 14.</b> | Cr konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimi. ...                               | 50 |
| <b>Şekil 15.</b> | Fe konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimi. ...                               | 51 |
| <b>Şekil 16.</b> | Ni konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimi. ...                               | 52 |
| <b>Şekil 17.</b> | Cu konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimi. ..                                | 54 |
| <b>Şekil 18.</b> | Zn konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimi....                                | 55 |
| <b>Şekil 19.</b> | As konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimi....                                | 56 |
| <b>Şekil 20.</b> | Pb konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimi....                                | 58 |
| <b>Şekil 21.</b> | Sinop ili toprak örneklerinde metal konsantrasyonların ortalaması (N=88). ..                                | 62 |

## TABLULAR DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| <b>Tablo 1.</b> X-ışını diyagram çizgilerinin eski (Siegbahn) ve yeni (IUPAC) gösterimleri.....  | 16 |
| <b>Tablo 2.</b> Sinop ili ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin örnekleme istasyonlarına ait koordinatlar ve yükseklikler.....                    | 24 |
| <b>Tablo 3.</b> Uygulama ölçüm zamanına bağlı dedeksiyon limitleri .....   | 32 |
| <b>Tablo 4.</b> Sertifikalı referans malzeme sediment (NRCMESS-3) örneğinin kimyasal analiz sonuçları .....  | 32 |
| <b>Tablo 5.</b> Bazı jeolojik kayaların referans ağır metal içerikleri.....  | 33 |
| <b>Tablo 6.</b> Zenginleşme Faktörü (EF) sınıflaması (Chen vd., 2007). .....   | 34 |
| <b>Tablo 7.</b> Jeobirikim indeksinin ( $I_{geo}$ ) sınıflanması ( Loska vd., 1997).....   | 34 |
| <b>Tablo 8.</b> Kirlilik faktörü $C_f$ sınıflandırması.....  | 35 |
| <b>Tablo 9.</b> Sinop merkez istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$ SS). ..... | 38 |
| <b>Tablo 10.</b> Ayancık istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$ SS). .....     | 39 |
| <b>Tablo 11.</b> Boyabat istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$ SS). .....     | 40 |
| <b>Tablo 12.</b> Dikmen istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$ SS). .....      | 41 |
| <b>Tablo 13.</b> Durağan istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$ SS).....       | 41 |
| <b>Tablo 14.</b> Erfelek istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$ SS). .....     | 42 |
| <b>Tablo 15.</b> Gerze istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$ SS). .....       | 43 |
| <b>Tablo 16.</b> Saraydüzü istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$ SS). .....   | 44 |
| <b>Tablo 17.</b> Türkeli istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$ SS).....       | 44 |
| <b>Tablo 18.</b> Toprak örneklerinin ilçelere göre zenginleştirme faktörleri (EF).....   | 46 |
| <b>Tablo 19.</b> Toprak örneklerinin ilçelere göre Jeobirikim indeksi ( $I_{geo}$ ) değerleri.....   | 47 |
| <b>Tablo 20.</b> Toprak örneklerinin ilçelere göre Kirlilik faktör ( $C_f$ ) ve Kirlilik yük indeksi (PLI) değerleri.....                              | 48 |
| <b>Tablo 21.</b> Toprak örneklerinde istasyonlara göre ortalama Cr konsantrasyonları ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).....                                     | 49 |
| <b>Tablo 22.</b> Toprak örneklerinde istasyonlara göre ortalama Fe konsantrasyonları ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).....                                     | 51 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tablo 23.</b> Toprak örneklerinde istasyonlara göre ortalama Ni konsantrasyonları ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).....                       | 52 |
| <b>Tablo 24.</b> Toprak örneklerinde istasyonlara göre ortalama Cu konsantrasyonları ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).....                       | 53 |
| <b>Tablo 25.</b> Toprak örneklerinde istasyonlara göre ortalama Zn konsantrasyonları ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).....                       | 55 |
| <b>Tablo 26.</b> Toprak örneklerinde istasyonlara göre ortalama As konsantrasyonları ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).....                       | 56 |
| <b>Tablo 27.</b> Toprak örneklerinde istasyonlara göre ortalama Pb konsantrasyonları ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).....                       | 57 |
| <b>Tablo 28.</b> Toprak örneklerinde elementler arası korelasyon katsayıları. ....   | 59 |
| <b>Tablo 29.</b> Toprak örneklerinin ağır metal zenginleştirme faktör (EF) değerlerinin istasyonlara göre dağılımı .....                 | 59 |
| <b>Tablo 30.</b> Toprak örneklerinin ağır metal jeobirikim indeks ( $I_{\text{geo}}$ ) değerlerinin istasyonlara göre dağılımı .....     | 60 |
| <b>Tablo 31.</b> Toprak örneklerinin ağır metal kirlilik faktör ( $C_f$ ) değerlerinin istasyonlara göre dağılımı .....                  | 61 |
| <b>Tablo 32.</b> Toprak örneklerinin ağır metal kirlilik yük indeks (PLI) değerlerinin istasyonlara göre dağılımı .....                  | 61 |
| <b>Tablo 33.</b> Toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonlarının diğer çalışmalarla karşılaştırılması ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ..... | 65 |

## SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

|                  |                           |
|------------------|---------------------------|
| Å                | Angstrom                  |
| s                | Saniye                    |
| g                | Gram                      |
| kg               | Kilogram                  |
| µg               | Mikrogram                 |
| α                | Alfa                      |
| β                | Beta                      |
| mm               | Milimetre                 |
| µm               | Mikrometre                |
| Z                | Atom Numarası             |
| W                | Watt                      |
| mA               | Miliamper                 |
| kV               | Kilovolt                  |
| C                | Konsantrasyon             |
| t                | Zaman                     |
| SS               | Standart Sapma            |
| DL               | Dedeksiyon Limiti         |
| EF               | Enrichment Factor         |
| I <sub>geo</sub> | Geoaccumulation Index     |
| C <sub>f</sub>   | Contamination Factor      |
| PLI              | Pollution Load Index      |
| WHO              | World Health Organization |

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Dünyanın doğal bir bileşeni olan toprak, gıda üretimi dâhil olmak üzere insan toplumlarında çeşitli yaşamsal işlevlere hizmet eder (Mehr vd., 2017). Toprak, biyosferin çok özel bir bileşenidir. Çünkü sadece kirleticiler için jeokimyasal bir havuz değil, aynı zamanda kimyasal elementlerin ve maddelerin atmosfere, hidrosfere ve biyotaya taşınmasını kontrol eder ve doğal bir tampon görevi de görür. Ancak, toprağın en önemli rolü, insanların hayatta kalması için temel olan üretkenliğidir. Dolayısıyla, toprağın ekolojik ve tarımsal işlevlerinin devamı, insanlığın sorumluluğundadır. Kirlilik, insan faaliyetlerinin sonucu olarak doğal (background) konsantrasyon değerlerinden daha yüksek değerlerde bir element veya madde oluştuğunda meydana gelir ve çevre ve bileşenleri üzerinde net bir zararlı etkiye sahiptir (Kabata Pendias and Pendias, 2001).

Toprak kirliliği, hızla gelişen endüstriyelleşme ile birçok ülkede ciddi bir problem haline gelmiştir. Nüfus artışı, hızlı kentselleşme ve endüstriyel faaliyetler yoluyla havanın, suyun ve toprağın niteliği üzerindeki kirlilik ve olumsuz etkiler birçok çalışma ile belirtilmiştir. Ağır metaller, hem doğal hem de insan kökenli kaynaklarla oluşan toprak kirleticileri arasında uzun süreli toksisite etkisinden dolayı birincil öneme sahiptir. Topraktaki metal içeriği, insan faaliyetlerinden ve doğal süreçlerden kaynaklanan metallerin birleşimidir. Toprağa antropojenik metallerin eklenmesi, doğal kaynaklardan gelen metallerin katkısından çok daha büyüktür. Topraktaki metal içeriğindeki artış genellikle endüstriyel faaliyetlerin yoğun olduğu alanlarda gözlenir. Bu alanlardaki metal birikmesi, kirlenmemiş alanlardan birkaç kat daha yüksektir. Ancak, uzun mesafeli atmosferik taşınımından dolayı, endüstriyel merkezlerinin uzak bölgelerinde de yüksek metal konsantrasyonları tespit edilebilir (Yaylalı Abanuz, 2011).

Kentsel topraklarda ağır metal kirliliği, geniş kaynakları, toksisiteleri, biyolojik olarak bozunmayan özellikleri ve birikimsel davranışları nedeniyle büyük endişe kaynağıdır. Kentsel topraklar genellikle, çeşitli endüstriyel faaliyetler, kömür ve yakıt yanması, taşıt emisyonları ve belediye atıklarının imha edilmesinden kaynaklanan diğer kirleticilerin ve ağır metallerin bir havuzu olarak kabul edilir. Kentsel alanlardaki ağır

metallerin aşırı birikmesi toprak ekosisteminin bozulmasına, insan sağlığının tehdit edilmesine ve diğer çevresel sorunların oluşumuna neden olabilir. Bu yüzden topraklardaki ağır metal kirliliği kentsel çevre yönetimlerinde artan bir endişe kaynağıdır (Qing vd., 2015).

Bazı organik maddelerin aksine, ağır metaller zamanla kaybolmazlar ve yaşamak için belli seviyelerde gerekli olmalarına rağmen, sınır değerlerini aşarlarsa toksik etkisi gösterirler. Toprak kirliliğinin çevre sağlığı üzerindeki en önemli etkisi, topraktaki kirleticilerin bitkiler tarafından besin zincirinin içine sokulması ve bunların doğrudan kullanımı ya da hayvanların beslenmesi ile tüketilmesidir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından önerilen sınır değerlerden daha yüksek dozlarda insan vücuduna alınan ağır metallerin kanserojen, teratojenik, toksik veya kardiyovasküler problemlere neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, tarımsal faaliyet alanlarındaki metal kirliliği büyük endişe kaynağıdır (Yaylalı Abanuz, 2011).

Çevresel, biyolojik ve arkeolojik numunelerin element analizinin belirlenmesinde birçok analitik yöntem geliştirilmiştir. Günümüzde de X-ışını floresans (X-ray Fluorescence-XRF), atomik absorpsiyon (Atomic Absorption Spectroscopy-AAS), induktif olarak eşleştirilmiş plazma-kütle spektrometresi (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer-ICP-MS) gibi atomik ve nötron aktivasyon analizi (Neutron Activation Analysis-NAA), iyon demet analizi (Ion Beam Analysis-IBA), yüklü parçacık aktivasyon analizi (Charged Particle Activation Analysis-CPAA) gibi nükleer analitik yöntemler uygulanmaktadır (Ağar, 2016).

Bu çalışmada Orta Karadeniz Bölgesinde bulunan Sinop ili ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinde ağır metal kirliliğinin belirlenmesi ve sonuçlarının ulusal ve uluslararası sınır değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca bilimsel çalışmalarda belirtilen topraktaki kirlilik seviyelerini gösteren bazı parametreler hesaplanarak istatistiksel analizleri yapılmıştır. Ağır metal analizleri için EDXRF (Enerji Dağılımlı X-ışını Floresans) spektrometresi kullanılmıştır.

## 1.2. Literatür Özeti

Zincirlioğlu (2013), yoğun tarım arazilerinin bulunduğu Manisa ilinin Akhisar ilçesinde sulu koşullarda bağ, pamuk ve mısır yetiştiriciliği yapılan bahçelerde toprak örnekleme yapılmıştır. Alınan toprak örneklerinde Hg, Co, Cd, Cr, Pb, Sb, As ve Se elementlerini analiz etmiştir. Elde ettiği bulguları Kloke, (1980) tarafından bildirilen sınır değerleri dikkate alarak değerlendirmiştir. Ağır metal içerikleri bakımından toprakların her hangi bir kirlilik sorunu göstermediğini belirlemiştir.

Özkul (2008), İzmit ili civarı üst topraklarında ağır metal toprak kirliliğini araştırmak amacıyla, 16 istasyondan aldığı toprak örneklerinde çevre açasından önemli bulduğu Cu, Pb, Zn, Ni, Co, As, Cd, Cr, Hg, Se ağır metallerinin konsantrasyonlarını ölçmüştür. Ayrıca karşılaştırma yapmak amacıyla da kirlenmemiş uzak alanlardan 3 adet toprak örneği almıştır. Yaptığı ölçümler sonucunda, Cu, Zn, Ni ve Co ağır metallerinin konsantrasyon değerlerini bazı yerlerde Türkiye Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinin belirlediği limit değerlerinin üstüne çıktığını, diğer ağır metal konsantrasyonlarının ise bu limit değerlerinin altında çıktığını tespit etmiştir. İzmit toprak değerlerinin diğer yoğun endüstrilemiş toprak değerleriyle karşılaştırılmasını yapmış ve İzmit topraklarının henüz ağır metallerce kirlenmediğini ancak, Cu ve Zn'de kirlenmenin yeni başladığını tespit etmiştir.

Bilge ve Çimrin (2013), Mardin iline bağlı olan Viranşehir-Kızıltepe kara yolu güzergâhındaki topraklarda trafik kaynaklı ağır metal kirliliğinin boyutlarını ve bu topraklardaki ağır metal miktarının kara yoluna bağlı olarak farklı uzaklıklardaki değişimini ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır. Bu bağlamda kara yolunun saç ve sol tarafından 2'şer km'lik 6 farklı istasyondan 0, 15, 30 ve 60 m mesafelerle 0-15 cm derinlikten 4 tekrarlı olmak üzere 96 toprak örneği toplamışlardır. Yapılan bu çalışmada toprakların ortalama ağır metal konsantrasyonlarını Pb için 0,64-2,24 mg kg<sup>-1</sup>, Cd için 0,26-0,40 mg kg<sup>-1</sup>, Ni için 27-42 mg kg<sup>-1</sup>, Cr için 17-28 mg kg<sup>-1</sup> ve Cu için 9,9-14,2 mg kg<sup>-1</sup> aralığında değiştiğini belirlemişlerdir. Bu sonuçları değerlendirdiklerinde Pb, Cd, Ni, Cr ve Cu için ağır metal konsantrasyon değerlerinin topraklarda izin verilen sınır değerinden düşük olduğunu bulmuşlar ve uzaklığa bağlı olarak kara yolundan uzaklaştıka ağır metal konsantrasyon değerlerinin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Yaptıkları bu çalışmada, topraklarda belirlenen ağır metal birikiminin trafik kökenli olduğunu belirtmişlerdir ve topraktaki ağır metallerin konsantrasyon değerlerini Ni>Cr>Cu>Pb>Cd olduğunu bulmuşlardır.

Yaylalı Abanuz (2011), Gebze’de bulunan iki büyük organize sanayi olan, Gebze Organize Sanayi ve Dilovası Organize Sanayi Bölgelerinin çevresinden toprak örneklerini toplamış ve bu toprak örneklerinde metal içeriklerini analiz etmiştir. Yaptığı bu analiz sonucunda, toprak örneklerinde Cd, As, Pb, Zn, Mn, Cu, Cr, ve Hg elementlerinin yüksek konsantrasyona sahip olduğunu, diğer elementlerin konsantrasyon değerlerinin ise izin verilebilir seviyeyi aşmadığını tespit etmiştir. Konsantrasyon değerlerini Cd için 0,05-176 mg kg<sup>-1</sup>, Cr için 10-1161 mg kg<sup>-1</sup>, Cu için 7,87-725 mg kg<sup>-1</sup>, As için 1,50-65,60 mg kg<sup>-1</sup>, Pb için 17,07-8469 mg kg<sup>-1</sup>, Mn için 196-10000 mg kg<sup>-1</sup>, Zn için 29,50-10000 mg kg<sup>-1</sup> ve Hg için 9-2721 µg kg<sup>-1</sup> aralığında değiştiğini belirlemiştir. Topraktaki kirleticileri jeobirikim indeksi, zenginleştirme faktörü, kirlilik faktörü ve kirlilik derecesi gibi parametreler kullanarak sınıflandırmıştır. Entegre kirlilik indeksi (IPI) değerlerini hesaplayarak sanayileşme alanlarından toplanan topraklardaki ağır metal kirlilik seviyelerinin, sanayileşme alanlarına uzak olan bölgelerden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Çalışma alanındaki sanayi tesislerinden kaynaklanan tehlikeli atıkların yağmur veya rüzgârla yayılmasının temel kirlilik kaynağı olduğunu ve ayrıca trafikten kaynaklanan metal kirliliğinin de bulunduğunu belirtmiştir.

Özbaş (2011), İstanbul’daki bazı koruların yüzey topraklarında ağır metal içeriklerini belirlemiş ve bazı ağır metaller (Cu, Ni, Zn ve Pb) arasındaki etkileşimi incelemiştir. Ayrıca bu ağır metaller için Zenginleştirme faktörünü (EF) hesaplayarak kirlilik derecesini incelemiştir. Gülhane Park’ının toprak örneklerinde maksimum zenginleştirme faktör değerlerini bakır (Cu) için 30,125 ve kurşun (Pb) için 125,77 olarak belirlemiştir. Fethi Paşa Korusu’ndaki toprak örneklerinde de en yüksek zenginleştirme faktörü değerlerini çinko (Zn) için 39,61 ve nikel (Ni) için 69,78 olarak belirlemiştir.

Ekmekyapar vd. (2012), Türkiye’nin kuzey batısında Trakya bölgesinde Çorlu-Çerkez köy otoyolu civarından topladıkları 36 toprak ve bitki örneğinde bazı ağır metallerin içeriğini atomik absorpsiyon spektrometresi ile araştırmışlardır. Örnekleri otoyoldan 1, 25, 50, 100, 250 ve 500 m mesafelerden almışlardır. Toprak örneklerindeki



kurşun konsantrasyonlarını maksimum izin verilebilir seviyelerden yüksek tespit etmişlerdir. Yıkanmamış bitki örneklerinde yıkanmış olanlara göre ağır metal konsantrasyonlarını yüksek bulmuşlardır. Çalışma sonunda, otoyoldan uzaklaştıkça bitki örneklerindeki ağır metal içeriklerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Ene vd. (2010), Romanya'nın Galati bölgesinde çelik ve demir işlerinin yoğun olduğu bölgeden topladıkları toprak örneklerinde ağır metal konsantrasyonlarını Enerji dağılımlı X-ışını floresans spektrometresi ile araştırmışlardır. Deneyler sonucunda ağır metal konsantrasyonlarının metalürjik alanlardan uzaklaştıkça azaldığını tespit etmişlerdir. Trafik ve endüstriyel bölgelerden uzak olarak konumlanmış bölgelerden toplanan kontrol toprak örneğinde tespit edilen metal konsantrasyonlarını metalürjik bölgelere kıyasla daha düşük olarak tespit etmişlerdir. Bazı bölgelerde metal konsantrasyonlarının Romanya tarafından kabul edilen sınır değerleri aştığını belirtmişlerdir.

Ali ve Ateeg (2015), Suda'nın Omdurman şehrinde endüstriyel alanları kaplayan bölgelerden topladıkları 24 yüzey toprağı örneğinde ağır metal kirliliğini X-ışını floresans spektrometresi ile araştırmışlardır. Cr, Cu ve Cd değerlerini hemen hemen çalışılan tüm bölgelerde normal değerlerden oldukça yüksek olarak belirlerken, Ni, Zn, Co, As ve Pb değerlerini normal değerlerden daha düşük olarak tespit etmişlerdir.

Katahira vd. (2000), Japonya'nın Kyoto şehrinde, Imedegava ve Marutamaci sokaklarından ve spor salonu yakınından, 5 cm derinlikten rastgele toprak örneklerini toplamışlardır. Tüm örneklerdeki ağır metal kirliliği içeriklerini X-ışını floresans spektrometresi ile araştırmışlardır. Kyoto şehrinde iki sokak boyunca toplanan örneklerdeki metal konsantrasyonlarının şehir merkezinde daha yüksek olduğu tespit etmişler ve otlaklardaki bazı metal konsantrasyonlarının topraktaki bazı element konsantrasyonlarıyla arasında negatif bir ilişki olduğu görmüşlerdir. İlk sokakta örnekleri doğudan batıya doğru toplamışlar ve şehir merkezinden uzaklaştıkça Cu ve Zn konsantrasyonlarında artış olduğunu bulmuşlardır. Diğer sokakta ise batıdan doğuya doğru toplamışlar ve Cu, Pb, Re ve Zr için batıdan doğuya azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

### 1.3. Toprak Kirliliği

Toprak, yer yüzeyini ince bir tabaka halinde kaplayan, kayaların ve organik maddelerin türlü ayrışma ürünlerinin karışımından meydana gelen, içerisinde ve üzerinde çok sayıda canlıları barındıran, bitkilere durak yeri ve besin kaynağı olan belli oranlarda su ve hava içeren, üç boyutlu bir varlıktır (Şahmetlioğlu, 2004).

Toprak kirliliği genel bir tanımla, insan etkinlikleri sonucunda, toprağın fiziksel, kimyasal, biyolojik ve jeolojik yapısının bozulmasıdır. Toprak kirliliği, yanlış tarım tekniklerinin uygulanması, yanlış ve fazla gübre ile tarımsal mücadele ilaçlarının kullanımı, atık ve artıkları, zehirli ve tehlikeli maddelerin toprakta birikmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır (Karaca ve Turgay, 2012). Toprak kirliliğine sebep olan doğal ve insan aktivitelerine bağlı olarak topraklara karışan kirleticileri genel olarak; organik (pestisidler, hormonlar) ve inorganik (ağır metaller vb.) bileşikler ve radyoaktif atıklar şeklinde gruplandırabiliriz (Başçı, 2009).

Topraklar tarımsal faaliyetler, ulaşım, atık çamur uygulamaları, oldukça değişken endüstri ve kırsal kökenli atıklar gibi insan faaliyetleriyle sürekli olarak kirlenmektedir (Adriano, 1986; Alloway, 1995). İnsanların ürettikleri bu atıklar topraklara aynı anda çok sayıda kirleticinin girmesine neden olmaktadır. Metal iyonlarının topraklar tarafından rekabetçi bir ortamda adsorbsiyonu iz elementlerin bitkilere olan faydalılığını ve topraktaki hareketliliğini önemli derecede değiştirmekte ve etkilemektedir (Gomes vd., 2001). Diğer taraftan gerek sulama sularıyla gerekse aşırı yağışlarla ilave olunan yüksek miktardaki sularla topraktaki ağır metallerin hareketliliği artmaktadır (Lund vd., 1976).

Değişik yollarla topraklara nüfuz eden ve toprağın değişik tabakalarında birikme yapan ağır metaller, toprağın verimliliğine ve verim kayıplarına, topraktaki doğal mikrobiyal aktiviteye, çeşitliliğe hatta besin zinciri yoluyla canlılarda zehirlenmelere kadar birçok çevresel problemlere yol açtığı gibi, bunlara bağımlı olarak da insan sağlığı ile ilgili problemlerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Ağır metaller, ekosistemde yüksek düzeyde dayanıklılık ve zehirlilik etkisi göstermesi nedeniyle çevredeki en tehlikeli maddelerden biri olarak kabul edilmektedir (Esmeray, 2012). Toprağın gereksinim duyulan miktarlarda devamlılığını sağlamak, niteliğini ve verimliliğini halkın

yaşam temellerini karşılayacak düzeyde tutmak, tüm ülkelerde ulusal bir politika haline gelmiştir. Bu politikanın başarıya ulaşması için, toprak kirliliği sorununun tüm boyutlarıyla kavranması gerekmekte ve kirlenmenin önlenmesi için tedbirler alınmalıdır (Özbek, 2010).

#### **1.4. Çalışmada Kullanılan Başlıca Ağır Metaller ve Özellikleri**

Özgül ağırlığı  $5 \text{ g cm}^{-3}$ 'ten yüksek metaller ağır metaller olarak tanımlanmaktadır. Bakır (Cu), çinko (Zn), mangan (Mn), demir (Fe), molibden (Mo), kobalt (Co) ve belirli koşullarda nikel (Ni) gibi bazı ağır metaller bitkiler için besin maddesi olarak görev yapmalarına rağmen, yüksek derişimlerde fitotoksik etki gösterirler. Kadmiyum (Cd), krom (Cr), cıva (Hg) ve kurşun (Pb)'un ise bitki beslenmeyle ilgili fizyolojik etkiye sahip bulunmadıkları sanılmaktadır. Bazı ağır metallerin zararlılıkları etki dozlarına bağlı olup, sınır değerini aşmalarıyla bitki ve insanlarda toksisite gösterebilmektedirler (Zincirlioğlu, 2013).

Ağır metaller doğal ve antropojenik olmak üzere iki ana kaynaktan meydana gelir. Çevrenin ağır metallerle antropojenik kirliliği en yaygın biçimde dağıtılanı ve zararlı olanıdır (Abdu vd., 2017). Ağır metaller madencilik, enerji ve yakıt üretimi, aşırı pestisit ve gübre kullanımı gibi endüstriyel aktiviteler sonucu önemli miktarlarda çevreye yayılmaktadır. Topraktaki metal konsantrasyonu tipik olarak 1 ila  $100000 \text{ mg kg}^{-1}$  arasında değişmektedir. Ağır metallerin yüksek seviyeleri toprak kalitesinin bozulmasına, ürünlerin verim ve kalitesinde azalmaya neden olmakta ve dolayısıyla insan ve diğer organizmalar için önemli tehlikelere yol açmaktadır (Terzi ve Yıldız, 2011).

İnsan sağlığını geniş çapta olumsuz yönde etkileyen metaller arasında yaygın olarak bulunan kurşun, kadmiyum, nikel, cıva, bakır, krom, vanadyum ve çinko önem taşımaktadır. Diğer metallerin bir kısmı insan yaşamında temel yönden önem taşır (Örneğin; Fe, Cu, Zn), diğer bir kısmının konsantrasyonu ise insan sağlığını tehdit edecek boyutta olmadığında zararsızdır. Ayrıca belirli limitlerin dışında bulunabilecek her türlü metal, insan sağlığı üzerinde toksik etki gösterir. Ağır metaller zararlı etkilerini genellikle yapısal proteinler, enzimler, nükleik asitler gibi canlı hücresel bileşenlere bağlanarak ve

onların fonksiyonlarını engelleyerek göstermektedirler. Ağır metaller özellikle sulu çözeltilerdeki iyonik formlarında toksik etkiye sahip olmaktadır (Yücel, 2010).

#### **1.4.1. Krom**

Krom, Nikel gibi serpantinli topraklarda fazla miktarda bulunur. Topraklarda bulunan kromun ve özellikle krom yönünden zengin toprakların kaynağı kromit adı verilen mineraldir. Toprakta bulunan Cr ve kromit minerali kimyasal yönden tamamen etkisiz (inert) durumdadır (Daşdemir, 2015).

Krom günümüzde sanayi ve endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarının başında paslanmaz çelik üretimi, çeşitli lehim ve pas engelleyicilerin üretimi ile ilgili metalürji endüstrisi, boya, cila, cam ve seramik malzemeleri, deri sanayi gelmektedir (Daşdemir, 2015). Krom içeren minerallerin endüstriyel oksidasyonu ve fosil yakıtların, ağaç ve kâğıt ürünlerin yanması sonucunda doğada (hexavalent) altı değerlikli krom oluşmaktadır. (Poyraz, 2016)

Krom düşük derişimlerde, bitki büyümesi için teşvik edici olabilir, fakat krom fazlalığı hayvan ve bitkilerde zehirli etkiler gösterebilir. Krom bileşikleri deride alerjik reaksiyonlara neden olabilir (Poyraz, 2016). Bununla birlikte insanlarda ülsere, cilt bozukluklarına ve kansere neden olabilmektedir. Cr<sup>3</sup> vücudun şekeri, proteini ve yağları kullanabilmesi için gereklidir. Cr<sup>6</sup> ile temas deri hastalıklarına yol açmakla birlikte yüksek miktarda Cr<sup>6</sup> solunması ise; burunda tahrişlere, burun kanamalarına, ülsere, böbrek ve karaciğerde rahatsızlıklara ve sonuçta da ölümlere yol açabilir. Bazı insanlar Cr<sup>6</sup> ve Cr<sup>3</sup>'e karşı duyarlıdırlar. Endüstride CrO<sub>3</sub> için havada eşik limit değeri 0,05 mg m<sup>-3</sup>'tür (Yücel, 2010).

#### **1.4.2. Nikel**

Topraklarda Nikel'in temel kaynağı bazik kayalar içerisinde çoklukla bulunan Pentlandit (Fe,Ni)<sub>8</sub>S<sub>8</sub> mineralidir. Nikel az ya da çok bütün tarım topraklarında bulunmaktadır (Daşdemir, 2015).

Nikel demir üretiminde, diğer metallerin alaşımlarında, metallerin elektrolizle kaplanmasında katalizör olarak, paranın basılması sırasında, bazı bataryalarda, elektronik aksam pillerinde, propilen ve renkli camların boyanmasında kullanılır (Boğa, 2007). Nikel kirliliği; başta endüstriyel faaliyetler olmak üzere, mineral ve organik gübreler, kimyasal ilaçlar, Ni katkılı dizel yakıtlar ve motor yağlarının egzozla yayılması, endüstri, rafineri ve kanalizasyon atıklarından kaynaklanmaktadır. Bu atıklardaki Ni ağır metali toprağa ve havaya dağılmakta böylece gıdalara geçişi kolay olabilmektedir (Türközü ve Şanlıer, 2012).

Havadaki nikel bileşiklerinin solunması sonucunda, solunum savunma sistemi ile ilgili olarak; solunum borusu tahribatı, immünolojik değişim, alveolar makrofaj hücre sayısında artış, silia aktivitesi ve immünite baskısında azalma gibi anormal fonksiyonlar meydana gelir. Nikelin insan sağlığındaki en yaygın karşıt etkisi alerjik reaksiyonlardır. Bu reaksiyonlar temas edildiği noktalarda deri dökülmesi şeklinde olur (Yücel, 2010). Nikel fazlalığında insanlarda akciğer kanseri, cilt hastalıkları, astım, merkezi sinir sistemi bozuklukları gibi olumsuz belirtiler görülmektedir (Sarı, 2009).

### **1.4.3. Demir**

Demir doğada diğer metallere göre yüksek oranlarda bulunurken element halinde bulunmaz. Element halindeki demire sadece meteorların yapısında rastlanır. Buna karşın bileşikleri doğada bol ve yaygındır. Tabiatta oksit, sülfür ve karbonat bileşikleri şeklinde bulunur. Doğal olarak toprakta bulunan demir akarsular ile deniz ve göllere taşınmaktadır. Ayrıca endüstriyel atıklarda kirletici kaynakları oluşturmaktadır. Demir, insan organizmasında özellikle kırmızı kan hücrelerinin yapısında bulunan hemoglobinin fonksiyonel bir parçası olması bakımından önemlidir (Deveci, 2012).

İnsan vücudunda gıdalardan enerjinin üretimi ve kullanılması hücrelerde ve dokularda demirin bulunmasına bağlıdır. Demirsiz kan pigmenti oluşmaz. Fakat fazla demir alımı karaciğerde tahribe neden olur. Demirin sağlık açısından toksidite değeri düşüktür. Sınır değerleri 4–6 mg/m<sup>3</sup> olan her FeO için aşırı doz yüklemesinin enfeksiyonlara karşı duyarlılığı artırdığı belirlenmiştir (Yücel, 2010).

#### 1.4.4. Bakır

Bakır, yer kabuğunda bulunan kayalarda doğal bakır veya bakır içeren sülfür ve karbonat mineralleri halinde bulunur (Poyraz, 2016). Bakır iyonları  $Cu^{2+}$  ve  $Cu^+$  olmak üzere iki oksidasyon durumunda bulunabilir (Akdemir, 2014).

Endüstriyel önemi yüksek pirinç, bronz gibi alaşımların yapısında bulunması ve elektriği gümüşten sonra en iyi ileten metal olması sebebiyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Makine yapımında, elektrik endüstrisi, inşaat ve ulaşım sektörlerinde, silah yapımında metal ya da alaşım olarak kullanılmaktadır (Akdemir, 2014).

İnsanlar için vücut fonksiyonları açısından önemli olan bakır özellikle saç, derinin esnek kısımları, kemik ve bazı iç organların temel bileşeni konumundadır. Erişkin insanlarda ortalama 50-120 mg civarında bulunan bakır, aminoasitler, yağ asitleri ve vitaminlerin normal koşullarda metabolizmadaki reaksiyonlarının temel ögesidir. Bakır birçok enzim ve proteinin yapısında da bulunur. Bütün bunların yanında demirin fonksiyonlarını yerine getirmesinde aktivatör görevi de üstlenir. Bakır eksikliğinde insanlarda ve hayvanlarda büyümede gecikme, solunum sistemi enfeksiyonları, kemik erimesi, anemi, saç ve deride renk kaybı gibi ciddi sağlık problemleri oluşur (Deveci, 2012). Bakırın fazlası ise zehirleyicidir. 15 mg dan daha fazla elementel bakır yutulması halinde, bulantı, kusma, ishal, karın ağrısı, yaygın kas ağrıları gibi belirtiler ortaya çıkar. Zihinsel kusurlar ile koma ve ölüm de görülebilir (Özbolat ve Tuli, 2016).

#### 1.4.5. Çinko

Çinko'nun genel yapısı  $ZnS$  şeklindedir. Havalanma işlemleri sırasında özellikle asit oksitleyici çevrelerde  $Zn$  mineralinin çözünmesiyle mobil  $Zn^{2+}$  oluşur.  $Zn$  mineral ve organik maddelerce kolayca adsorbe olması nedeniyle tüm toprak çeşitlerinde yüzeyde birikim gösterir (Esmeray, 2012).

Çinkonun kullanım alanları; metalik çinkonun %50'sinden fazlası demir veya çeliği galvanizlemede kullanılmaktadır. Çinko oksit boya maddesi olarak plastiklerde, kozmetiklerde, fotokopi ve duvar kâğıtlarında, yazıcı mürekkeplerinde, seramiklerde,

kauçuk sanayinde, gübrelerde kullanılmaktadır. Çinko oksit ayrıca tıbbi ilaçlarda deri ve kas yaşlanmasını önlemek amacıyla da kullanılmaktadır (Deveci, 2012).

Çinko, insanlar, hayvanlar ve bitkiler için mutlak gerekli bir elementtir. Özellikle enzim faaliyetlerinde rol oynamakta ve enzimlerin yapısında yer almaktadır. Başlıca görevleri: RNA, DNA, protein sentezi, insülinin aktivasyonu, Vitamin-A'nın hücrelere taşınması ve kullanımı, yaraların iyileşmesi, hücrelerin bölünerek çoğalabilmesidir. Ayrıca tat alma, sperm yapımı, bağışıklık sisteminin güçlendirilmesi, davranış ve öğrenme performansının artışı, anne karnındaki ve doğmuş bebek ve çocukların büyüme ve gelişimi, kanda yağların taşınması gibi birçok olayla görev almaktadır (Sarı, 2009). En önemli özelliklerinden biri de, fizyolojik miktardaki çinkonun Hg, Pb, Cd ve Sn gibi diğer ağır metal iyonlarının zehirleyici etkisini azaltmasıdır (Esmeray, 2012).

Çinko insan vücuduna yetersiz miktarda alındığı takdirde iştah kaybı, tat ve koku duyularında azalma, yara iyileşmesinde gecikme, bağışıklık sisteminde zayıflama, gençlerde büyüme sorunları, deri sorunları ve en önemlisi doğan bebeklerde doğum esnasında ve sonrasında sağlık sorunları meydana getirmektedir. Çinkonun gerekenden fazla alınması durumunda iştah ve bağışıklık sistem aktivitesinin azalması, yaraların geç iyileşmesi, derideki aşırı hassasiyetler, kolesterolün yükselmesi, karın ağrısı, ishal, sindirim sisteminde rahatsızlıklarına neden olur (Deveci, 2012).

Diğer taraftan Zn eksikliği, Türkiye ve Dünya'da en sık gözlenen mineral element eksikliklerinden birisidir. Ülkemizde tarım yapılan topraklardaki yarıyıllık Zn miktarı yüksek değildir ve eksikliği söz konusudur (toprakların % 49,83'ünde alt sınır olarak belirlenen 0,5 mg kg<sup>-1</sup>'dan düşüktür ve % 32,76'sında 0,5-1,0 mg kg<sup>-1</sup> arasındadır). Dünyada ise Zn eksikliği yaklaşık olarak % 30 dolayındadır (Sarı, 2009).

#### **1.4.6. Arsenik**

Arsenik, metalloid özellik gösteren, yer kabuğunda çok az olarak bulunan ve geniş bir dağılımı olan elementtir. Arsenik bulunabilen en toksik maddelerden biridir. İnsanlar arseniğe gıdalar, su, havayolu ve toprak ile maruz kalabilirler (Akarsu, 2013).

Endüstride arseniğin en bilinen uygulamaları yarı iletken teknolojilerinde ve lazer üretimindedir. Madencilik, demir-dışı metallerin ergitilmesi ve fosil yakıtların yanması gibi büyük endüstriyel süreçler arseniğin hava, su ve toprağa yayılarak kirlenmesine sebep olmaktadır. Arsenik içeren tarımsal ilaçların kullanılması ve kereste muhafazasında arsenik kullanılması çevre kirliliğine neden olmaktadır (Güven vd., 2004).

Arseniğin hemen hemen tüm bileşikleri zehirlidir. Ayrıca havadan alınan arseniğin de kanserojen olduğu kesin ispatlanmıştır. Arsenik organizmalarda; karaciğerde, böbreklerde, deri, tırnak ve saçta birikir ve idrarla atılır. Sağlıklı insan idrarında  $0,17 \text{ mg lt}^{-1}$  arsenikoksit bulunur ve bu değer zehirlenme görülmeden  $0,8 \text{ mg lt}^{-1}$  ye kadar yükselebilir. Vücutta yüksek dozlarda birikimi zehir etkisi gösterebildiği gibi, böbrek yetmezliği, deri, akciğer kanseri ve zihinsel düzensizliklere de yol açabilmektedir (Yücel, 2010).

#### **1.4.7. Kurşun**

Kurşun ağır metali doğada hem organik hem de inorganik halde bulunabilmektedir. İnorganik kurşun atmosferde partiküller halinde bulunurken, organik kurşun uçucu olup çoğunlukla gıda maddeleri ve içme suyuna karışmaktadır. Bu nedenle organik kurşun inorganik kurşuna göre canlı yaşamı üzerinde daha fazla öneme sahiptir. Kurşun çoğunlukla insan faaliyetleri ile çevreye ve doğal kaynaklara en fazla zarar veren ağır metallere olma özelliğindedir. Diğer taraftan kurşun, atmosfer kirliliğinde de önemli bir yer tutmaktadır (Daşdemir, 2015).

Kullanım alanları kutu kapakları, kurşun, kalay alaşım kaplar, seramik sırları, böcek ilaçları, aküler, kurşunlu benzin, boya sanayi ve sigaradır (Esmeray, 2012). Kozmetik malzemelerde bulunan birçok pigment ve diğer ana maddelerde kurşun bulundurulur. Endüstriyel olarak kuyumculuk sektöründe altın rafinasyon ve geri kazanımı esnasında uygulanan “Kal” işlemi illegal olarak önemli oranda kurşunun oksit halinde atmosfere atılmasına neden olmaktadır. Yapılan çalışmalarda çevre kirliliğine sebep olan kurşunun %98’inin egzoz gazlarından kaynaklandığı tespit edilmiştir (Karayer, 2013).

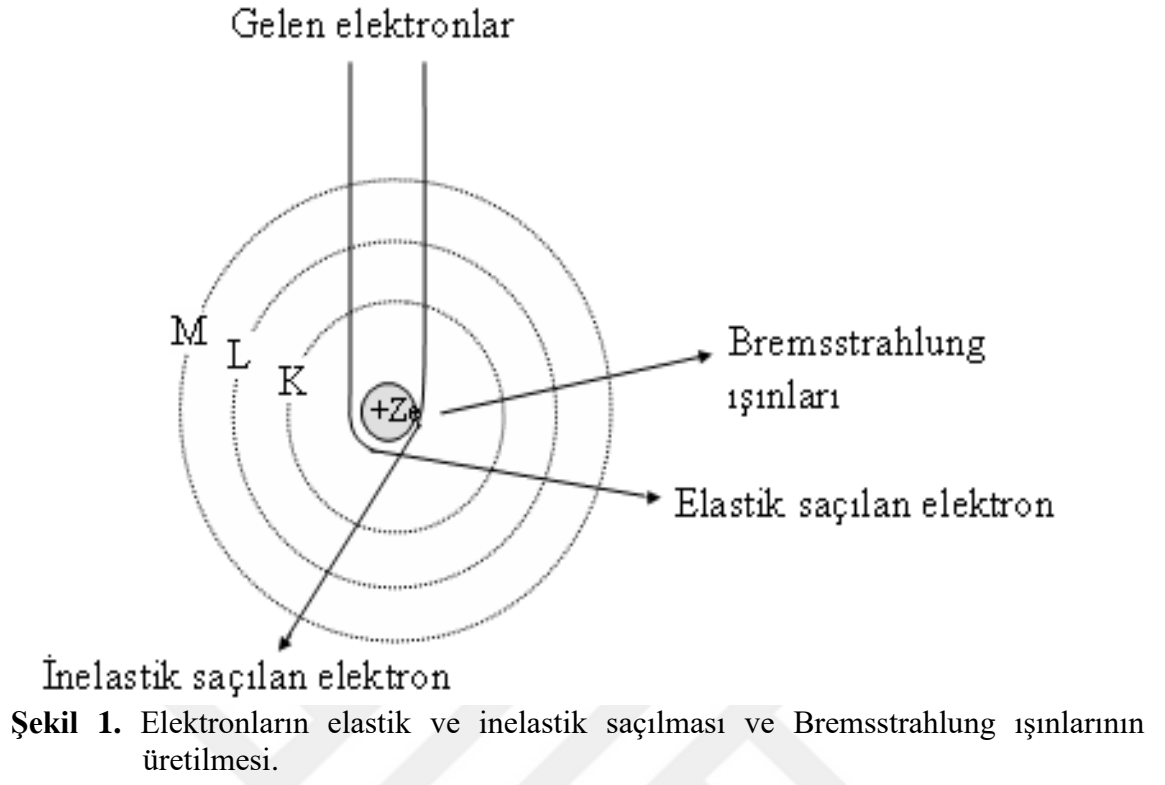


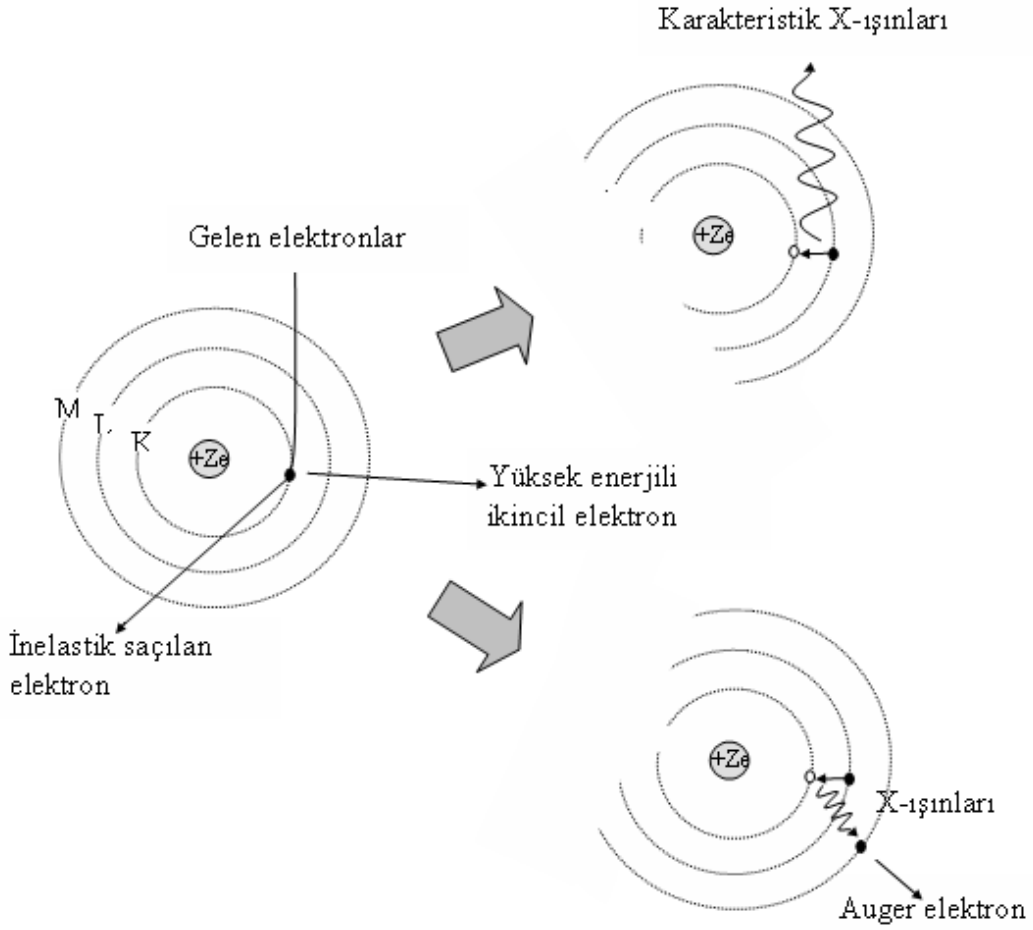
İnsan sağlığını tehdit eden en önemli ağır metallere dendir (Özbolet ve Tuli, 2016). İnsanların hava, besin maddeleri ve içme suyu ile günlük Pb alımlarının 0.3-0.6 mg olduğu tahmin edilmektedir. Katı besin maddeleri yoluyla günlük olarak vücuda giren Pb miktarının 600 mg değerini aşmaması gerektiği bildirilmektedir (Sarı, 2009). Düşük dozda alındığında akut belirtiler hissedilemez. Akut zehirlenme durumunda ağızda metalik tat, mide ağrısı, kusma, ishal, sinirsel belirtiler, koma, solunum durması ve ölüm görülür. Kronik zehirlenmede zekâ ve hafıza bozuklukları, kalp, böbrek ve karaciğer üzerine olumsuz etkiler, demir eksikliği anemisi ve buna bağlı iştahsızlık, sindirim bozuklukları, kabızlık, ağrılı yutma gibi belirtiler meydana gelir. Önlem alınmayan durumlarda felç, körlük, hafıza kaybı, zekâ geriliği, kısırlık, karaciğer yetmezliği ve ölüm şekillenebilir (Daş ve Aksoy, 2015).

### 1.5. X-Işınlarının Oluşumu ve Enerji Seviyeleri

X-ışınları  $10^{-5} - 10^2$  Å aralığında kısa dalga boylarına sahip elektromanyetik dalgalardır. Bunlar yüksek enerjili elektronların yavaşlatılması ya da atomun iç yörüngelerinde oluşan boşluklara elektron geçişlerinden meydana gelirler. Yüksek enerjili elektronların madde içerisinde adım adım yavaşlaması neticesinde meydana gelen X-ışınlarına, sürekli X-ışınları veya Bremsstrahlung ışınları adı verilmektedir.  $\beta$  ışınları, iç dönüşüm elektronları, Compton geri tepme elektronları ve Auger elektronları sürekli X-ışını spektrumu verirler (Baltaş, 2006).

Atomun bağlı iç yörünge elektronları, hızlandırılmış elektronlarla, protonlarla, nötron ve  $\alpha$ -parçacıklarıyla, X-ışını tûpünden yayınlanan X-ışınları ile radyoizotop kaynak tarafından yayımlanan fotonlarla ve sekonder X-ışınları gibi uyarıcılarla dış yörüngelere uyarılması neticesinde çekirdeğe yakın bir kabukta meydana gelen boşluk daha dış kabuklardaki elektronlarca  $10^{-12}$ - $10^{-14}$  s içerisinde doldurulur. Bu geçişten bir foton yayınlanır. İç tabakalar arasındaki elektron geçişlerinden yayınlanan bu fotona, o elementin karakteristik X-ışını fotonu veya karakteristik X-ışını adı verilmektedir. Şekil 1'de pozitif yüklü çekirdek tarafından elektronların elastik ve inelastik saçılmaya uğratılması ve Bremsstrahlung ışınlarının üretilmesi, Şekil 2'de ise karakteristik X-ışınlarının üretilmesi ve Auger elektronunun meydana gelmesi gösterilmiştir (Baltaş, 2006).



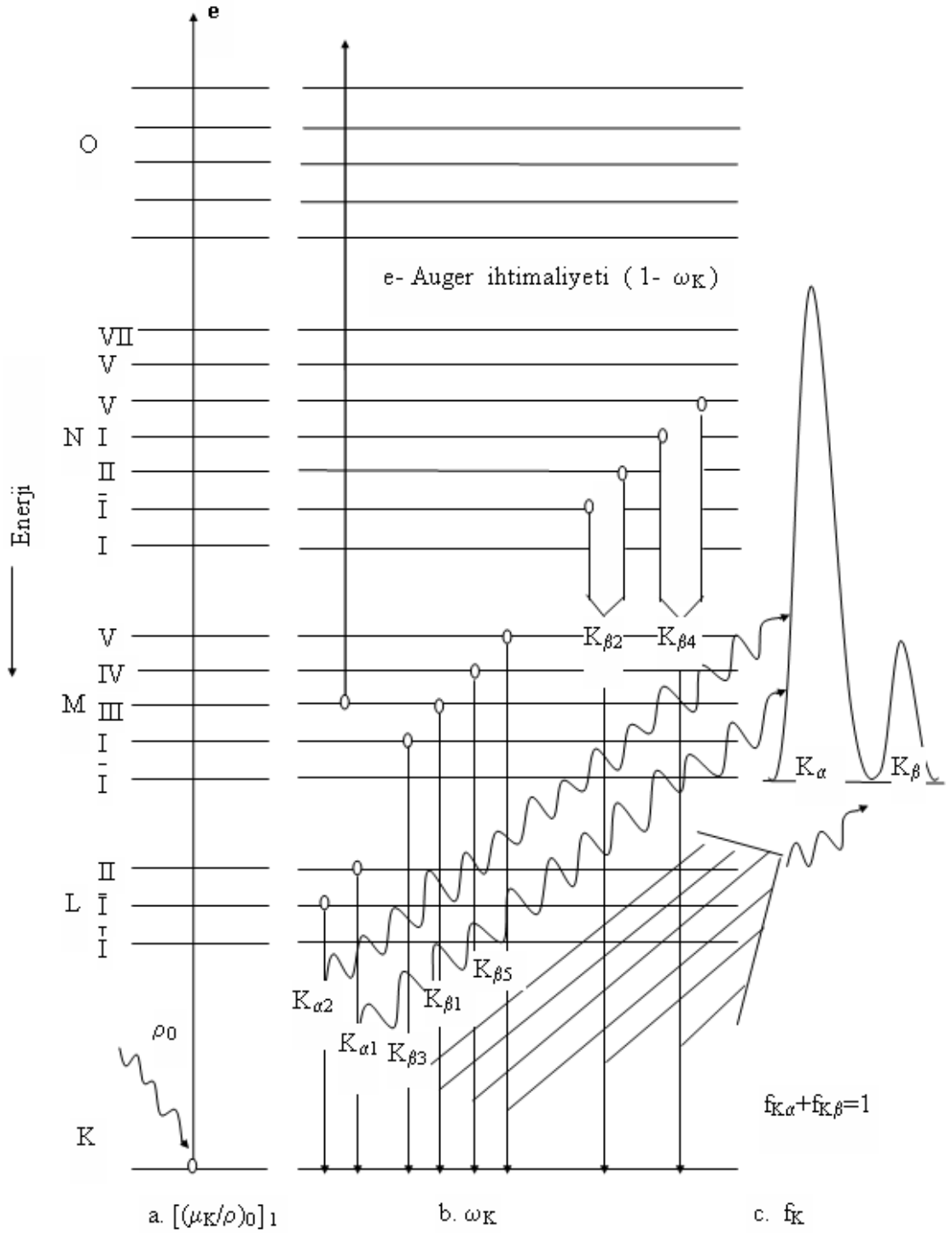


**Şekil 2.** Karakteristik X-ışınlarının ve Auger elektronunun meydana gelmesi.

Bir foton tarafından, atomun K tabakasından bir elektron söküldüğünde meydana gelen boşluk L, M, N,... üst tabakalarındaki elektronlar tarafından doldurulur. Bu boşluk L tabakasından doldurulursa meydana gelen karakteristik X-ışını  $K_{\alpha}$ , diğer üst tabaka elektronları tarafından doldurulursa  $K_{\beta}$  X-ışını olarak adlandırılır. L karakteristik çizgileri de benzer şekilde meydana gelir. K kabuğundaki boşluk diğer kabukların alt kabuklarındaki elektronlar tarafından doldurulduğunda yayımlanan fotonlar Siegbahn ve International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) gösterimlerine göre Tablo 1’de gösterilmiştir. Şekil 3’te ise atomlarda elektron geçişleri ve karakteristik X-ışını yayımlanması şematik olarak gösterilmiştir. Burada, (a.) soğurulmayı, (b.) karakteristik X-ışını yayımlanma ihtimaliyetini, (c.) herhangi bir karakteristik X-ışını çizgisinin yayımlanma yüzdesini temsil etmektedir (Baltaş, 2006).

**Tablo 1.** X-ışını diyagram çizgilerinin eski (Siegbahn) ve yeni (IUPAC) gösterimleri.

| Siegbahn         | IUPAC                                 | Siegbahn         | IUPAC                              |
|------------------|---------------------------------------|------------------|------------------------------------|
| $K_{\alpha 1}$   | K-L <sub>III</sub>                    | $L_{\beta 17}$   | L <sub>II</sub> -M <sub>III</sub>  |
| $K_{\alpha 2}$   | K-L <sub>II</sub>                     | $L_{\gamma 1}$   | L <sub>II</sub> -N <sub>IV</sub>   |
| $K_{\beta 1}$    | K-M <sub>III</sub>                    | $L_{\gamma 2}$   | L <sub>I</sub> -N <sub>II</sub>    |
| $K_{\beta 2}'$   | K-N <sub>III</sub>                    | $L_{\gamma 3}$   | L <sub>I</sub> -N <sub>III</sub>   |
| $K_{\beta 2}''$  | K-N <sub>II</sub>                     | $L_{\gamma 4}$   | L <sub>I</sub> -O <sub>III</sub>   |
| $K_{\beta 3}'$   | K-M <sub>II</sub>                     | $L_{\gamma 4}'$  | L <sub>I</sub> -O <sub>II</sub>    |
| $K_{\beta 4}'$   | K-N <sub>V</sub>                      | $L_{\gamma 5}$   | L <sub>II</sub> -N <sub>I</sub>    |
| $K_{\beta 4}''$  | K-N <sub>IV</sub>                     | $L_{\gamma 6}$   | L <sub>II</sub> -O <sub>IV</sub>   |
| $K_{\beta 5}'$   | K-M <sub>V</sub>                      | $L_{\gamma 8}$   | L <sub>II</sub> -O <sub>I</sub>    |
| $K_{\beta 5}''$  | K-M <sub>IV</sub>                     | $L_{\gamma 8}'$  | L <sub>II</sub> -O <sub>6</sub>    |
| $K_{\beta 5}'''$ | K-N <sub>III</sub>                    | $L_{\gamma 13}$  | L <sub>I</sub> -P <sub>II</sub>    |
| $L_I$            | L <sub>III</sub> -M <sub>I</sub>      | $L_{\gamma 13}'$ | L <sub>I</sub> -P <sub>III</sub>   |
| $L_{\alpha 1}$   | L <sub>III</sub> -M <sub>V</sub>      | $L_{\eta}$       | L <sub>II</sub> -M <sub>I</sub>    |
| $L_{\alpha 2}$   | L <sub>III</sub> -M <sub>IV</sub>     | $L_{\lambda}$    | L <sub>III</sub> -M <sub>I</sub>   |
| $L_{\beta 1}$    | L <sub>II</sub> -M <sub>IV</sub>      | $L_S$            | L <sub>III</sub> -M <sub>III</sub> |
| $L_{\beta 2}$    | L <sub>III</sub> -N <sub>V</sub>      | $L_t$            | L <sub>III</sub> -M <sub>II</sub>  |
| $L_{\beta 3}$    | L <sub>I</sub> -M <sub>III</sub>      | $L_U$            | L <sub>II</sub> -N <sub>IV</sub>   |
| $L_{\beta 4}$    | L <sub>I</sub> -M <sub>II</sub>       | $L_v$            | L <sub>II</sub> -N <sub>VI</sub>   |
| $L_{\beta 5}$    | L <sub>III</sub> -O <sub>IV,V</sub>   | $M_{\alpha 1}$   | M <sub>V</sub> -N <sub>VII</sub>   |
| $L_{\beta 6}$    | L <sub>III</sub> -N <sub>I</sub>      | $M_{\alpha 2}$   | M <sub>V</sub> -N <sub>VI</sub>    |
| $L_{\beta 7}$    | L <sub>III</sub> -O <sub>I</sub>      | $M_{\beta}$      | M <sub>IV</sub> -N <sub>VI</sub>   |
| $L_{\beta 7}'$   | L <sub>III</sub> -N <sub>VI-VII</sub> | $M_{\gamma}$     | M <sub>III</sub> -N <sub>V</sub>   |
| $L_{\beta 9}$    | L <sub>I</sub> -M <sub>V</sub>        | $M_{\xi 1}$      | M <sub>V</sub> -N <sub>III</sub>   |
| $L_{\beta 10}$   | L <sub>I</sub> -M <sub>IV</sub>       | $M_{\xi 2}$      | M <sub>IV</sub> -N <sub>II</sub>   |
| $L_{\beta 15}$   | L <sub>III</sub> -N <sub>IV</sub>     |                  |                                    |



**Şekil 3.** Atomlarda elektron geçişleri ve karakteristik x-ışını yayımlanmasının şematik olarak gösterimi.

## 1.6. EDXRF Spektrometreleri

X-Işını Floresans yöntemleri (XRF): Bir X-ışını tüpünde numuneyi hedef alana yerleştirerek X-ışınları yayımlama (emisyon) spektrumunu elde etmek uygun gibi görünmekle birlikte, bunun birçok materyale uygulanmasındaki zorluklar nedeniyle çok başvurulan bir yöntem değildir. Bunun yerine, numunenin ışınlanması daha yaygın olarak X-ışınları tüpünden veya radyoaktif kaynaktan sağlanan X-ışını demetiyle yapılır. Bu durumda birincil X-ışınları numunedeki elementler tarafından soğrulurlar ve kendi karakteristik X-ışını floresansını yayarlar. Bu işlem X-ışınları floresans veya yayım yöntemi olarak adlandırılır. X-ışını floresansı (XRF), atom numarası oksijenden büyük (8) olan elementlerin kalite analizinde en çok kullanılan analitik yöntemlerden biridir (Tuzluca, 2007).

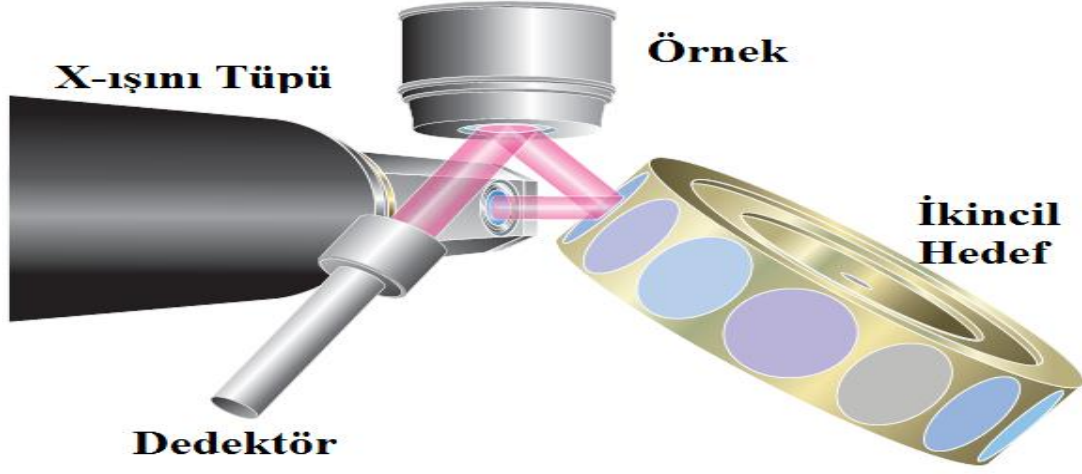
Enerji Dağılımlı X-ışını Floresans “EDXRF” yöntemi birçok materyalin kimyasal bileşenlerinin saptanması için basit, doğru, ekonomik ve analitik bir metottur. XRF tekniği zararsız ve güvenilir olması sebebiyle çevre kirliliği, arkeoloji, tıp, adli tıp, kozmetik, endüstri, kalite kontrol laboratuvarları, madencilik, eczacılık, kimya, astronomi vs. birçok alanda kullanılmaktadır. Geniş bir kullanım sahasının yanı sıra X-ışını floresans teknolojisinin bir diğer avantajı da çok az veya hiç denilecek kadar az numune hazırlığı gerektiriyor olmasıdır. Bu teknolojiyle konsantrasyonlar eş zamanlı ve kolay bir şekilde %100'e yakın bir değerde ölçülebilir (Tuzluca, 2007).

EDXRF spektrometreleri numuneden gelen farklı enerjili karakteristik X-ışınlarını ölçebilen bir detektöre sahiptir. Dedektör, numune içerisindeki elementlerden yayımlanan karakteristik ışınları ayırma özelliğine sahiptir. Bu olaya enerji dispersiyonu (ayırımı) denir (Demirezen, 2014).

## 1.7. 3D Optikli EDXRF Spektrometreleri

Şekil 4, bir EDXRF spektrometresinde 3D optik kullanımını gösterir. X-ışını yolu bir düzlemde değil birbirine dik iki düzlemedir ve optikler için spektrometrenin bu tipi 3D optikli olarak isimlendirilir. Tüp ikincil bir hedefi ışınlar bu karakteristik X-ışınları yayımlar ve gelen X-ışınlarının bir kısmı saçılır. Hedeften gelen radyasyon numuneyi

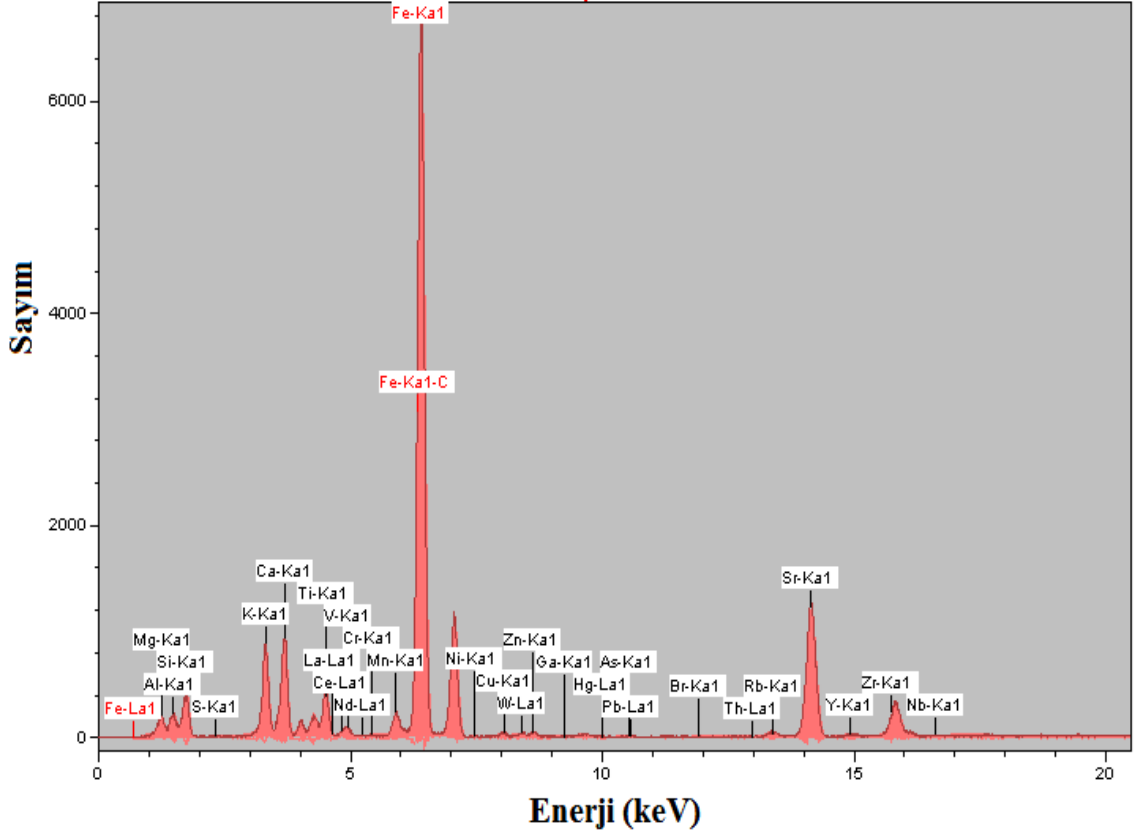
ışınlamada kullanılabilir bu yüzden hedef, numune için bir kaynak gibi hareket eder. Numune bir enerji ayırmalı detektör tarafından ölçülebilen karakteristik radyasyonunu yayınlar (Tuzluca, 2007).



Şekil 4. Doğrudan uyarmsız ve 3D optikli enerji dağıtıcı spektrometre (Brouwer, 2003).

Bu geometrinin avantajı, saçılan tüp radyasyonu polarizasyondan dolayı detektöre erişemez. Dedektöre erişmek için tüp radyasyonu iki dik yönde saçılmalıdır, ancak X ışınları iki düşey yansıma sonrasında kaybolur. Bu nedenle tüpten gelen radyasyon detektöre erişemez. Spektrum da, çok düşük bir temel saymaya yol açacak ve çok düşük pikleri dedekte etmeyi ve bundan dolayı çok düşük şiddetleri tanımlamayı mümkün kılacaktır (Tuzluca, 2007).

Hedefin karakteristik radyasyonu numune tarafından kısmen saçılır ve dedektöre erişir. Bu radyasyon sadece bir yönde saçılır bu yüzden detektörde sayılacaktır. Şekil 5, 3D optikli bir EDXRF spektrometresi ile ölçülmüş bir katı numunenin tipik bir spektrumunu gösterir (Tuzluca, 2007).



Şekil 5. Toprak numunesi için EDXRF örnek spektrumu.

### 1.8. XRF Analizi

İyi bir analiz, iyi hazırlanmış bir numune ve iyi alınmış ölçülerle başlar. Numune ölçüldükten sonra analiz edilir. Bu iki basamakta yapılır, nitelik analizini sayısal analiz takip eder. Nitelik analizi ölçülen spektrumdan net şiddetleri ve hangi elementlerin olduğunu gösterir. Bütün alışlagelmiş durumlarda yalnız numunede bilinen elementlerin net şiddetlerinin tanımlanması gereklidir. Bu net şiddetler miktar analizinde, var olan elementlerin konsantrasyonu hesaplamak için kullanılır (Tuzluca, 2007).

**a. Kalitatif Analiz:** Analizi yapılacak maddenin, bileşenlerinin nelerden oluştuğunu ya da hangi fonksiyonel gruplardan meydana geldiğini belirlemek için yapılan analizdir (Tuzluca, 2007).

**b. Kantitatif Analiz:** Analizi yapılacak maddenin bileşenlerinin hangi miktarda veya hangi oranlarda bulunduğunu belirtmek için yapılan analizdir (Tuzluca, 2007).



## 1.9. EDXRF' de Nitelik Analizi

Analizde birinci basamakta çizgi profillerinin alanları ve en üstteki durumları tanımlanır. En üstteki durumlar elementlerin varlığını gösterir. Alanlar ise çizgi şiddetlerini verir. Öncelikli olarak, yalnız numunede bilinen elementlerin olduğu yerdeki şiddetin tanımlanması gereklidir. Miktar analizinde spektrumdan temel saymanın çıkartılması ve net şiddetin tanımlanması gereklidir (Tuzluca, 2007).



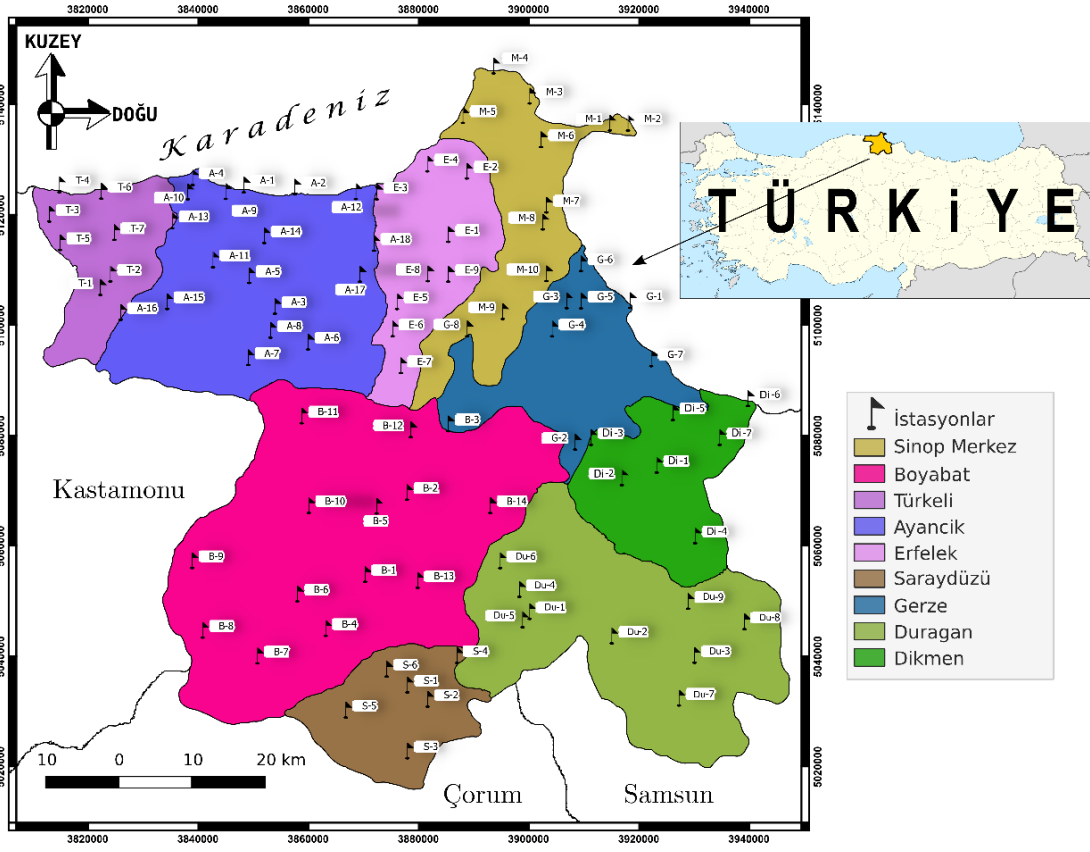
## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Çalışma Alanı

Türkiye'nin Orta Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Sinop ilinde; Merkez (10 örnek), Ayancık (18 örnek), Boyabat (14 örnek), Dikmen (7 örnek), Durağan (9 örnek), Erfelek (9 örnek), Gerze (8 örnek), Saraydüzü (6 örnek) ve Türkeli (7 örnek) ilçelerinden toplam 88 toprak örnekleme yapılmıştır. Örnekleme noktalarının haritası Şekil 6'da verilmiştir. Örnekleme sırasında GPS (Global Positioning System) cihazı ile tespit edilen örnekleme noktalarına ait enlem ve boylam noktaları Tablo 2'de verilmiştir.

Sinop, Orta Karadeniz Bölgesinde yer alan Karadeniz'in kıyı şeridi boyunca kuzeye doğru en çok sivrilerek uzanmış halde bulunan Boztepe Burnu ve Yarımadası üzerine kurulmuş,  $41^{\circ} 12'$  ve  $42^{\circ} 06'$  kuzey enlemleri ile  $34^{\circ} 14'$  ve  $35^{\circ} 26'$  doğu boylamları arasında yer almaktadır. Batısında Kastamonu, güneyinde Çorum ve güneydoğusunda Samsun illeri bulunup kuzeyinde ise Karadeniz ile çevrilidir. Sinop ili 475 km uzunluğunda sınırlara sahip olup, bu sınırların 300 km si kara sınırları, 175 km si ise deniz kıyısıdır (TÜİK, 2013).



Şekil 6. Sinop ilinde örnekleme yapılan istasyonlar.

**Tablo 2.** Sinop ili ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin örnekleme istasyonlarına ait koordinatlar ve yükseklikler.

|                | İstasyon                | İstasyon Kodu | Enlem (Derece, Dakika, Saniye) | Boylam (Derece, Dakika, Saniye) | Yükseklik (m) |
|----------------|-------------------------|---------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------|
| <b>MERKEZ</b>  | Sinop Merkez - 1        | M-1           | 42° 01' 795"                   | 35° 09' 579"                    | 66            |
|                | Sinop Merkez - 2        | M-2           | 42° 01' 768"                   | 35° 11' 440"                    | 163           |
|                | Hamsilos                | M-3           | 42° 03' 629"                   | 35° 02' 718"                    | 7             |
|                | İnceburun               | M-4           | 42° 05' 688"                   | 34° 56' 557"                    | 7             |
|                | Sarıkum                 | M-5           | 42° 01' 410"                   | 34° 55' 350"                    | 1             |
|                | Osmaniye                | M-6           | 41° 59' 556"                   | 35° 03' 141"                    | 117           |
|                | Demirci Köyü            | M-7           | 41° 55' 953"                   | 35° 03' 456"                    | 42            |
|                | Taşmanlı                | M-8           | 41° 53' 552"                   | 35° 03' 241"                    | 146           |
|                | Tingiroğlu              | M-9           | 41° 47' 225"                   | 34° 59' 290"                    | 455           |
|                | Kabalı                  | M-10          | 41° 50' 866"                   | 35° 03' 461"                    | 85            |
| <b>AYANCIK</b> | Ayancık Merkez          | A-1           | 41° 56' 375"                   | 34° 34' 907"                    | 33            |
|                | Aliköy                  | A-2           | 41° 56' 283"                   | 34° 39' 815"                    | 49            |
|                | Bakırlı Mevki           | A-3           | 41° 47' 455"                   | 34° 37' 113"                    | 477           |
|                | Çaylıoğlu               | A-4           | 41° 57' 940"                   | 34° 29' 838"                    | 42            |
|                | Karakestane Mevkii      | A-5           | 41° 50' 051"                   | 34° 34' 401"                    | 278           |
|                | Karapınar               | A-6           | 41° 45' 884"                   | 34° 40' 262"                    | 997           |
|                | İnaltı                  | A-7           | 41° 44' 062"                   | 34° 34' 344"                    | 1039          |
|                | Elemin Mahallesi        | A-8           | 41° 46' 039"                   | 34° 36' 453"                    | 738           |
|                | Ortalık                 | A-9           | 41° 56' 880"                   | 34° 32' 223"                    | 131           |
|                | Maden Mevki             | A-10          | 41° 56' 696"                   | 34° 28' 406"                    | 381           |
|                | Mestan Mevki            | A-11          | 41° 51' 924"                   | 34° 31' 843"                    | 200           |
|                | Tarakçı                 | A-12          | 41° 56' 836"                   | 34° 45' 658"                    | 52            |
|                | Topağaç                 | A-13          | 41° 54' 016"                   | 34° 27' 863"                    | 164           |
|                | Yenikonak               | A-14          | 41° 52' 555"                   | 34° 36' 841"                    | 134           |
|                | Babaköy                 | A-15          | 41° 48' 642"                   | 34° 26' 393"                    | 296           |
|                | Davutlu köyü            | A-16          | 41° 47' 192"                   | 34° 22' 660"                    | 668           |
|                | Göldağı Köyü Mevki      | A-17          | 41° 50' 611"                   | 34° 45' 303"                    | 721           |
|                | Baraj Gölü Girişi (DSİ) | A-18          | 41° 52' 217"                   | 34° 46' 528"                    | 411           |
| <b>BOYABAT</b> | Boyabat Merkez          | B-1           | 41° 28' 638"                   | 34° 46' 070"                    | 329           |
|                | Çulhalı                 | B-2           | 41° 34' 832"                   | 34° 50' 610"                    | 633           |
|                | Hıdırlı                 | B-3           | 41° 39' 983"                   | 34° 54' 904"                    | 934           |
|                | Kavacık Mevki           | B-4           | 41° 24' 847"                   | 34° 42' 935"                    | 814           |
|                | Maruf                   | B-5           | 41° 33' 777"                   | 34° 47' 835"                    | 430           |
|                | Çurguşlar Köyü          | B-6           | 41° 26' 404"                   | 34° 39' 232"                    | 848           |
|                | Kavacık Köyü            | B-7           | 41° 22' 683"                   | 34° 35' 297"                    | 1129          |
|                | Taşhanlı Köyü           | B-8           | 41° 24' 050"                   | 34° 30' 683"                    | 790           |
|                | Sarıyar Köyü            | B-9           | 41° 29' 755"                   | 34° 29' 634"                    | 963           |
|                | Hacıahmetli köyü        | B-10          | 41° 33' 997"                   | 34° 40' 301"                    | 339           |
|                | Gökçukur Köyü           | B-11          | 41° 39' 445"                   | 34° 39' 481"                    | 713           |
|                | Paşalıköy Mevkii        | B-12          | 41° 38' 434"                   | 34° 50' 293"                    | 1334          |
|                | Çatpınar Köyü           | B-13          | 41° 27' 402"                   | 34° 51' 925"                    | 258           |
|                | Kozkule Köyü            | B-14          | 41° 33' 965"                   | 34° 58' 160"                    | 855           |

Tablo 2'nin (devamı). Sinop ili ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin örnekleme istasyonlarına ait koordinatlar ve yükseklikler.

|                  | İstasyon         | İstasyon Kodu | Enlem (Derece, Dakika, Saniye) | Boylam (Derece, Dakika, Saniye) | Yükseklik (m) |
|------------------|------------------|---------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------|
| <b>DİKMEN</b>    | Dikmen Merkez    | Di-1          | 41° 36' 764"                   | 35° 14' 320"                    | 247           |
|                  | Bucak            | Di-2          | 41° 35' 126"                   | 35° 11' 750"                    | 410           |
|                  | Görümcek         | Di-3          | 41° 38' 937"                   | 35° 08' 731"                    | 1091          |
|                  | Yaykın Köyü      | Di-4          | 41° 30' 567"                   | 35° 18' 174"                    | 721           |
|                  | Çorak            | Di-5          | 41° 39' 587"                   | 35° 16' 717"                    | 156           |
|                  | Kerim            | Di-6          | 41° 41' 042"                   | 35° 23' 283"                    | 93            |
|                  | Küplüce          | Di-7          | 41° 38' 960"                   | 35° 20' 427"                    | 289           |
| <b>DURAĞAN</b>   | Durağan Merkez   | Du-1          | 41° 25' 230"                   | 35° 02' 696"                    | 209           |
|                  | Başağaç          | Du-2          | 41° 23' 350"                   | 35° 10' 903"                    | 288           |
|                  | Sarıyar          | Du-3          | 41° 22' 966"                   | 35° 18' 147"                    | 939           |
|                  | Sırnıkılınca     | Du-4          | 41° 27' 030"                   | 35° 01' 655"                    | 486           |
|                  | Yalnızkavak      | Du-5          | 41° 24' 462"                   | 35° 01' 253"                    | 207           |
|                  | Bayatsekisi Köyü | Du-6          | 41° 29' 704"                   | 34° 59' 143"                    | 558           |
|                  | Salarkolu Köyü   | Du-7          | 41° 19' 070"                   | 35° 16' 430"                    | 1048          |
|                  | Ayvacık Köyü     | Du-8          | 41° 24' 378"                   | 35° 23' 767"                    | 1284          |
|                  | Sarıkadı Köyü    | Du-9          | 41° 26' 789"                   | 35° 17' 363"                    | 1154          |
| <b>ERFELEK</b>   | Erfelek Merkez   | E-1           | 41° 53' 077"                   | 34° 54' 947"                    | 169           |
|                  | Başaran          | E-2           | 41° 57' 380"                   | 34° 55' 579"                    | 122           |
|                  | Hacılar Mevki    | E-3           | 41° 56' 651"                   | 34° 47' 984"                    | 135           |
|                  | İncirpınar       | E-4           | 41° 58' 937"                   | 34° 52' 604"                    | 160           |
|                  | Sorgun Köyü      | E-5           | 41° 48' 646"                   | 34° 49' 799"                    | 799           |
|                  | Avlağasöku Köyü  | E-6           | 41° 46' 664"                   | 34° 48' 425"                    | 821           |
|                  | Hürremşah Köyü   | E-7           | 41° 43' 253"                   | 34° 49' 305"                    | 1043          |
|                  | Kaldırayak Köyü  | E-8           | 41° 50' 840"                   | 34° 52' 984"                    | 499           |
|                  | Emirhalil Köyü   | E-9           | 41° 50' 615"                   | 34° 54' 882"                    | 424           |
| <b>GERZE</b>     | Gerze Merkez     | G-1           | 41° 48' 113"                   | 35° 11' 572"                    | 34            |
|                  | Çağlayan         | G-2           | 41° 37' 488"                   | 35° 06' 339"                    | 947           |
|                  | Karlı            | G-3           | 41° 48' 996"                   | 35° 05' 436"                    | 159           |
|                  | Sorkun           | G-4           | 41° 46' 636"                   | 35° 04' 186"                    | 551           |
|                  | Türkmenlioğlu    | G-5           | 41° 48' 917"                   | 35° 07' 823"                    | 64            |
|                  | Yaykıl           | G-6           | 41° 50' 524"                   | 35° 07' 745"                    | 102           |
|                  | Yenikent         | G-7           | 41° 43' 558"                   | 35° 14' 034"                    | 202           |
|                  | Tepealtı Köyü    | G-8           | 41° 46' 650"                   | 34° 56' 014"                    | 797           |
| <b>SARAYDÜZÜ</b> | Saraydüzü Merkez | S-1           | 41° 19' 586"                   | 34° 50' 928"                    | 417           |
|                  | Akbelen          | S-2           | 41° 18' 554"                   | 34° 52' 793"                    | 449           |
|                  | Hacıçayı Mevki   | S-3           | 41° 15' 743"                   | 34° 50' 922"                    | 635           |
|                  | Korucuk          | S-4           | 41° 22' 856"                   | 34° 55' 039"                    | 281           |
|                  | Uluköy           | S-5           | 41° 18' 748"                   | 34° 44' 777"                    | 556           |
|                  | Yenice           | S-6           | 41° 21' 859"                   | 34° 48' 758"                    | 387           |

Tablo 2'nin (devamı). Sinop ili ve ilçelerinden alınan toprak örneklerinin örnekleme istasyonlarına ait koordinatlar ve yükseklikler.

| İstasyon | İstasyon Kodu | Enlem (Derece, Dakika, Saniye) | Boylam (Derece, Dakika, Saniye) | Yükseklik (m) |     |
|----------|---------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------|-----|
| TÜRKELİ  | Çotakgeriş    | T-1                            | 41° 49' 785"                    | 34° 20' 721"  | 575 |
|          | Gökçealan     | T-2                            | 41° 50' 711"                    | 34° 21' 607"  | 476 |
|          | Kuşçular      | T-3                            | 41° 54' 294"                    | 34° 15' 677"  | 429 |
|          | Oymayaka      | T-4                            | 41° 56' 381"                    | 34° 16' 700"  | 130 |
|          | Sarmaşık Köyü | T-5                            | 41° 52' 251"                    | 34° 16' 967"  | 515 |
|          | Türkeli Sahil | T-6                            | 41° 56' 974"                    | 34° 20' 125"  | 3   |
|          | Yazıcı Köyü   | T-7                            | 41° 53' 919"                    | 34° 21' 287"  | 256 |

### 2.1.2. Araziden Örnekleme Çalışmaları

Tablo 2’de koordinatları verilen Sinop iline ait toprak örneklerinin örnekleme noktaları Mayıs 2017’de tek dönem olarak el çapası ve kürek yardımıyla 0-10 cm derinlikten alınmış (Qing vd., 2015) ve kapaklı temiz poşetlere konulmuştur (Şekil 7). Örneklerin alındığı istasyonlar ve koordinat bilgileri GPS cihazının hafızasına alınıp aynı zamanda küçük etiketlere yazılarak kapaklı temiz poşetler üzerine işlenmiştir.



Şekil 7. Araziden toprak örnekleme çalışması.

## 2.2. Toprak Örnekleri

Şekil 7’de gösterildiği gibi araziden alınan toprak örnekleri analiz işlemleri için laboratuvara getirilmiştir (Şekil 8).



**Şekil 8.** Laboratuvar ortamına getirilen toprak örnekleri.

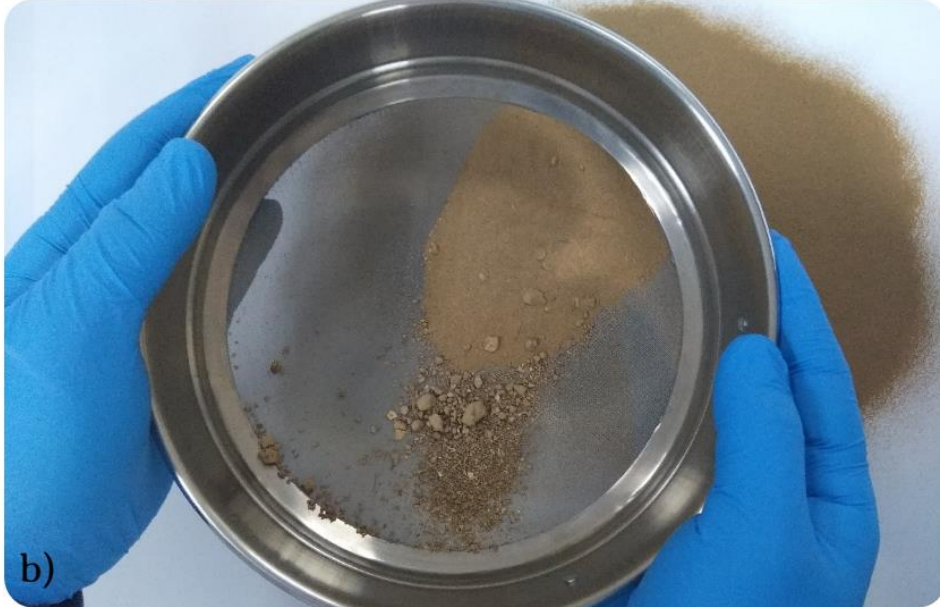
Laboratuvar ortamına getirilen toprak örneklerinin her birinin içerisinde bulunan iri taş parçacıkları ve diğer kirleticiler Şekil 9a’da gösterildiği gibi seçilerek ayıklanmıştır. Ayıklama işleminin ardından toprak örnekleri alüminyum kaplara doldurulup ağırlığını stabil tutabilmek için Şekil 9b’de gösterildiği gibi etüvde 24 saat boyunca 85°C de kurumaya bırakılmıştır.



**Şekil 9.** a) Toprak örneklerinden iri taş parçacıklarının ayıklanması. b) Toprak örneklerinin etüvde kurutulması.

Bütün toprak örnekleri parçacık boyutu etkisini yok etmek ve homojen dağılım elde edebilmek için porselen havanda öğütülmüş (Şekil 10a) ve daha sonra toprak örnekleri 63 µm'lik eleklerden geçirilerek toz haline getirilmiştir (Şekil 10b) (Baltaş vd., 2016).



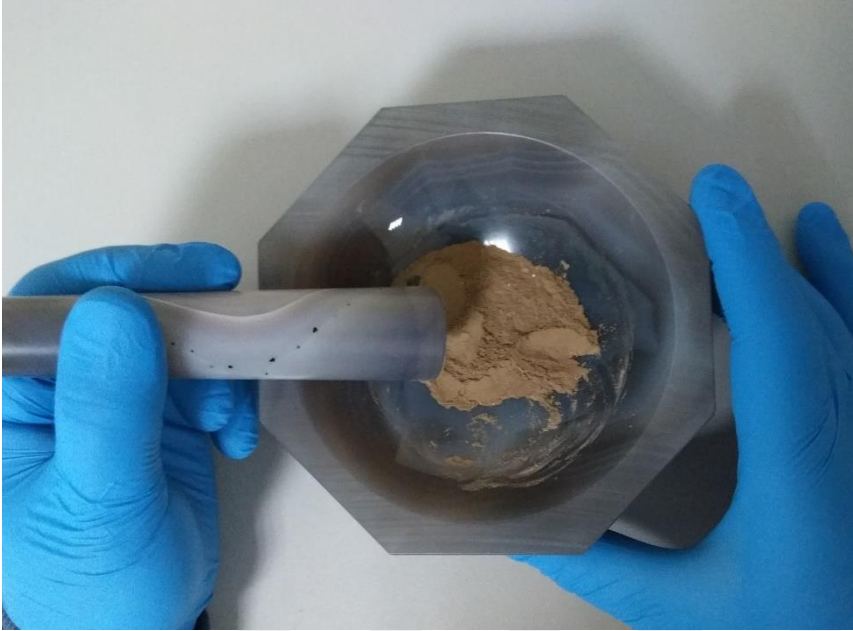


**Şekil 10.** Toprak örneklerinin a) havanda öğütülmesi. b) 63 µm'lik elekten geçirilmesi.

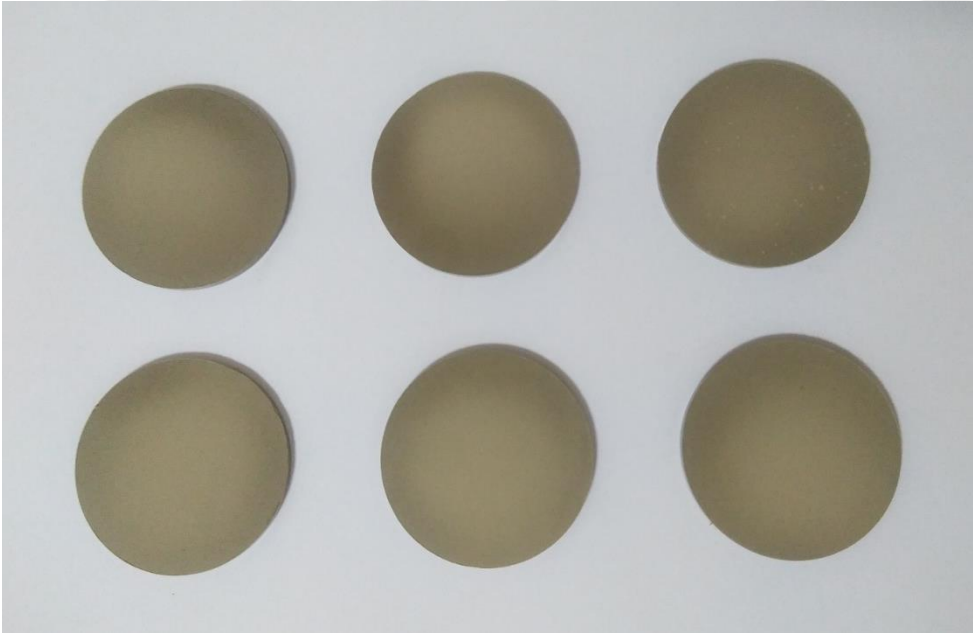
### 2.3. Toprak Örneklerinin Kimyasal Analizi İçin Hazır Hale Getirilmesi

Toz halinde getirilen toprak örneklerinin EDXRF spektrometresinde ağır metal konsantrasyon analizlerinin yapılabilmesi için; toprak örneklerini hassas terazide bağlayıcı bileşen (Wax) ilavesiyle yaklaşık (4g:0,5g) oranında tartılmıştır. Daha sonra agat havan içerisinde parçacık boyutu etkisini yok etmek için homojen hale getirilmiştir (Şekil 11). Homojen haline getirilen örnekler, hidrolik pres makinasında 20 s boyunca yaklaşık 7 tonluk basınç uygulanarak 40 mm çapında pellet haline getirilmiştir (Şekil 12)

(Yılmaz vd., 2011). Bu işlemler bütün toprak örneklerinde her bir istasyon için 3'er kez tekrarlanmıştır.



**Şekil 11.** Toprak örneklerinin bağlayıcı bileşen (Wax) ile (4g:0,5g) oranında agat havanda karıştırılması.



**Şekil 12.** EDXRF ölçümü için hazır hale gelen toprak örnekleri.

Ölçüm için hazır hale getirilmiş 264 toprak örneğinin ağır metal analizi için Üniversitemizin Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan EDXRF (Epsilon5, PANalytical, Almelo, the Netherlands) cihazı ile ölçülmüştür

(Şekil 13). Ölçüm sonucunda Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Pb elementlerinin konsantrasyonları dikkate alınmıştır. LOI değerleri ölçülerek (% 12) bütün metaller için hesaba katılmıştır.



Şekil 13. Epsilon 5, PANalytical EDXRF cihazı.

#### 2.4. Toprak Örneklerinin Ağır Metal Analizi

Toprak örneklerinin metal analizi için EDXRF (Epsilon 5, PANalytical, Almelo, the Netherlands) kullanılmıştır. Numuneler, 8 µm kalınlığında bir Be pencereye sahip sıvı nitrojen ile soğutulmuş PAN-32 Ge X-ışını ile bir vakum donanımı altındaki bir Gd tüpünden gelen X-ışınları dedektörü ile uyarılmıştır. Güç, aletin akımı ve yüksek voltajı sırasıyla 600 W, 6 mA ve 100 kV'dur. Sistemin yazılımı (Epsilon 5 software) numune spektrumunu otomatik olarak analiz eder ve ölçüm tamamlanır tamamlanmaz element piklerinin net yoğunluklarını belirler. Elementler birbiri üzerine bindiğinde, kesinlik, eser element analizi için zorunludur. Bu uygulamanın kalibrasyonu için ikincil standartların bir seti, PANalytical kullanıma aralığı kullanılmıştır. Tablo 3'te dedeksiyon limitler verilmiştir.

**Tablo 3.** Uygulama ölçüm zamanına bağlı dedeksiyon limitleri.

| Element  | Cr   | Fe   | Ni   | Cu   | Zn   | As   | Pb   |
|--|------|------|------|------|------|------|------|
| Dedeksiyon limitleri ( $\mu\text{g/g}$ )<br>(1000 s) | 3,35 | 0,43 | 0,47 | 0,52 | 0,20 | 0,34 | 1,37 |

EDXRF sistemi ile elde edilen dedeksiyon limitleri (DL) hesaplanmıştır. Buna göre;

$$DL = \frac{3C}{N_p} \sqrt{\frac{N_b}{t}} \quad (1)$$

Burada;  $C_i$ , i. elementin konsantrasyonunu,  $N_b$  background için sayım oranını,  $N_p$  sayım pikini ve t sayım zamanıdır ( Van Grieken ve Markowicz, 1993).

Epsilon 5 EDXRF cihazının kalibrasyonu yapıldıktan sonra, Referans Kimya Limitet şirketi aracılığı ile temin ettiğimiz sediment (NRCMESS-3) örneği sertifikalı referans malzemesi sistemde 3 tekrarlı olarak okutulmuş ve cihazın doğruluğu tespit edilmiştir. Sertifika edilmiş konsantrasyon değerleri ve EDXRF sisteminde bulunan değerler Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Sertifikalı referans malzeme sediment (NRCMESS-3) örneğinin kimyasal analiz sonuçları.

| Element | Sertifika Edilmiş Konsantrasyon ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) | Ölçülen Konsantrasyon ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) | Doğruluk (%) |
|---------|--|--|--------------|
| Cr      | 105 $\pm$ 4  | 108  | 102,9        |
| Fe      | % 4,34 (%4,23 - %4,45)                                   | % 4,40   | 101,4        |
| Ni      | 46,9 (44,7- 49,1)  | 45,1   | 96,2         |
| Cu      | 33,9 $\pm$ 1,6 (32,3 - 35,5)                             | 35,4   | 104,4        |
| Zn      | 159 $\pm$ 8 (151-159)                                    | 157  | 98,7         |
| As      | 21,2 (20,1 - 22,3)                                       | 21,4   | 100,9        |
| Pb      | 21,1 (20,4 - 21,8)                                       | 19,2   | 91,0         |

## 2.5. Toprak Örneklerinde Ağır Metal Kirlilik Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada topraklardaki ağır metal kirlilik seviyelerini belirlemek için Zenginleştirme faktörü (EF), Jeobirikim indeksi ( $I_{geo}$ ), Kirlilik faktörü ( $C_f$ ) ve Kirlilik yük indeksi (PLI) hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalarda referans değer olarak Taylor, (1964) tarafından belirlenen yer kabuğu değerleri kullanılmıştır (Tablo 5).

**Tablo 5.** Bazı jeolojik kayaçların referans ağır metal içerikleri.

| Element | Yerkabuğu Ortalaması ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) |
|---------|---|
| Cr      | 100   |
| Fe      | 56300   |
| Ni      | 75  |
| Cu      | 55  |
| Zn      | 70  |
| As      | 1,8   |
| Pb      | 12,5  |

### 2.5.1. Zenginleştirme Faktörü (EF)

Çalışma alanlarında insan kaynaklı kirlenme ve kirleticilere bağlı metal kirliliğinin değerlendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Normalizasyon işlemleri için özellikle Al ve Fe elementleri kullanılmaktadır. Zenginleştirme faktörü aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır (Hasan vd., 2013);

$$EF = \frac{(C_X/C_{Fe})_{\text{Toprak}}}{(C_X/C_{Fe})_{\text{referans}}} \quad (2)$$

Burada,  $(C_X/C_{Fe})_{\text{Toprak}}$ : Toprak örneğinde incelenilen metal konsantrasyonunun Fe konsantrasyonuna oranı,  $(C_X/C_{Fe})_{\text{Referans}}$ : Referans örneğinde incelenilen metal konsantrasyonunun Fe konsantrasyonuna oranı

Referans örneğin metal konsantrasyonu yer kabuğundaki elementlerin bolluğudur (Taylor, 1964). Örneklerden elde edilen EF değerleri Tablo 6'ya göre yorumlanmıştır.

**Tablo 6.** Zenginleşme Faktörü (EF) sınıflaması (Chen vd., 2007).

| EF     | Açıklama                                   |
|--------|--|
| <1     | Zenginleştirme yok                         |
| <3     | Küçük zenginleştirme var                   |
| =3-5   | Ortalama zenginleştirme var                |
| =5-10  | Ortalama-şiddetli arası zenginleştirme var |
| =10-25 | Şiddetli zenginleştirme var                |
| =25-50 | Çok şiddetli zenginleştirme var            |
| >50    | Çok fazla zenginleştirme var               |

### 2.5.2. Jeobirikim indeksi ( $I_{geo}$ )

Jeobirikim indeksi ( $I_{geo}$ ) toprak örneklerinde metal kirliliğini belirlemek için kullanılacaktır. Jeobirikim indeksinin formülü aşağıdaki gibi verilir.

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1.5 * B_n} \right) \quad (3)$$

Burada,  $C_n$  toprak örneğinde n. ağır metalin ölçülen konsantrasyonu,  $B_n$  ise n. elementin yer kabuğu ortalamasındaki jeokimyasal background (referans) değeri ve 1.5 litojenik etkilerden kaynaklanan background matris düzeltme faktörüdür (Al-haidarey vd., 2010).

Örneklerden elde edilen  $I_{geo}$  değerleri Tablo 7'ye göre yorumlanmıştır.

**Tablo 7.** Jeobirikim indeksinin ( $I_{geo}$ ) sınıflanması ( Loska vd., 1997).

| $I_{geo}$ Değeri  | $I_{geo}$ Sınıfı | Açıklama                                 |
|-------------------|------------------|--|
| $I_{geo} \leq 0$  | 0                | Kirlenme yok                             |
| $0 < I_{geo} < 1$ | 1                | Kirlenme yok ile ortalama kirlenme arası |
| $1 < I_{geo} < 2$ | 2                | Ortalama kirlenme var                    |
| $2 < I_{geo} < 3$ | 3                | Ortalama-şiddetli kirlenme var           |
| $3 < I_{geo} < 4$ | 4                | Şiddetli kirlenme var                    |
| $4 < I_{geo} < 5$ | 5                | Şiddetli-Çok şiddetli arası kirlenme var |
| $5 < I_{geo}$     | 6                | Çok fazla kirlenme var                   |

### 2.5.3. Kirlilik faktörü (C<sub>f</sub>)

Çalışma alanı toprak örneklerindeki ağır metal kirliliğinin boyutu ayrıca kirlilik faktörü (C<sub>f</sub>) yöntemi ile hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Buna göre her bir örnekleme noktasındaki metal içeriğinin o metale ait yerkabuğundaki elementin bolluk değerine oranı ile kirlilik faktörü (C<sub>f</sub>) hesaplanmıştır. C<sub>f</sub> aşağıda verilen denklem ile bulunmaktadır (Hakanson, 1980).

$$C_f = \frac{C_{\text{metal}}}{C_o} \quad (4)$$

C<sub>metal</sub>: Toprak örneğindeki metal konsantrasyonu,

C<sub>o</sub>: Yerkabuğundaki metalin bolluk değeri (Tablo 5).

Hesaplanacak C<sub>f</sub> değeri 4 ayrı kirlilik sınıfında incelenecektir (Tablo 8) (Hakanson, 1980).

**Tablo 8.** Kirlilik faktörü C<sub>f</sub> sınıflandırması.

| C <sub>f</sub> Değeri  | Açıklaması             |
|------------------------|------------------------|
| C <sub>f</sub> < 1     | Az kirlenme            |
| 1 < C <sub>f</sub> < 3 | Orta Kirlenme          |
| 3 < C <sub>f</sub> < 6 | Önemli ölçüde kirlenme |
| C <sub>f</sub> > 6     | Çok yüksek kirlenme    |

### 2.5.4. Kirlilik yük indeksi (PLI)

Kirlilik yük indeksi (PLI), farklı yerlerin kirlilik durumlarını karşılaştırmak, kirlilik boyutunu ve farklı numune istasyonları boyunca değişimi belirlemek için Tomlinson vd., (1980) tarafından oluşturulmuş bir indekstir. Tomlinson vd., (1980) tarafından geliştirilen kirlilik yük indeksi (PLI) aşağıdaki denklemle verilmektedir.

$$PLI = \sqrt[n]{C_{f1} \times C_{f2} \times C_{f3} \times \dots \times C_{fn}} \quad (5)$$

C<sub>f</sub>: Kirlilik faktörü

n: Metal sayısı

Chakravarty vd. (2009)'ne göre, elde edilen PLI değeri > 1 ise kirlilik var, PLI değeri < 1 ise kirlilik yok demektir.

## 2.6. İstatistiksel Analiz

Toprak örneklerinin metal konsantrasyon sonuçları  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak verilmiştir. Verilen bu değerler istasyonlara göre SPSS (IBM SPSS Statistics 21) ortamına aktarılmıştır. Belirlenen metal konsantrasyon değerlerinin normal dağılışa uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile test edilmiştir. İstasyonlar arası normallik sağlayan grupların önemlilik testi tek yönlü varyans analizini (ANOVA) izleyen Tukey testi ile değerlendirilmiştir. Normallik sağlamayan grupların önemlilik testi ise Kruskal-Wallis testini izleyen Mann-Whitney U testi ile değerlendirilmiştir. Bütün istatistiksel analizler bilgisayar ortamında SPSS paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Metal konsantrasyonlarında toprak örnekleri için istasyonlara göre, farklılıklar test edilmiştir. Ayrıca toprak örnekleri için tüm istasyonlardaki metal konsantrasyon değerleri arasındaki ilişkinin yönünü, derecesini ve önemini istatistiksel olarak ortaya koyan Pearson korelasyon analizleri de yapılmıştır.



### **3. BULGULAR**

#### **3.1. Toprak Örneklerinin Ağır Metal Konsantrasyonları**

Sinop ili ve ilçelerine ait istasyonların EDXRF spektrometresiyle ölçülmüş toprak örneklerindeki ağır metal konsantrasyon analizlerinin sonuçları Tablo 9-17 arasında verilmiştir.



**Tablo 9.** Sinop merkez istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$  SS).

| <b>İstasyon</b> | <b>Cr</b>                               | <b>Fe</b>                           | <b>Ni</b>                             | <b>Cu</b>                             | <b>Zn</b>                             | <b>As</b>                           | <b>Pb</b>                             |
|-----------------|---|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>M-1</b>      | 151,412 $\pm$ 3,735                     | 43493 $\pm$ 1134                    | 58,994 $\pm$ 2,544                    | 63,537 $\pm$ 1,402                    | 149,870 $\pm$ 4,253                   | 17,569 $\pm$ 0,480                  | 54,738 $\pm$ 2,181                    |
| <b>M-2</b>      | 110,374 $\pm$ 1,472                     | 58341 $\pm$ 1295                    | 27,302 $\pm$ 1,885                    | 96,404 $\pm$ 2,090                    | 60,951 $\pm$ 2,039                    | 4,571 $\pm$ 0,186                   | 21,174 $\pm$ 1,405                    |
| <b>M-3</b>      | 24,338 $\pm$ 1,107                      | 66983 $\pm$ 704                     | 21,214 $\pm$ 0,403                    | 87,782 $\pm$ 0,827                    | 48,824 $\pm$ 0,462                    | 2,656 $\pm$ 0,672                   | 32,716 $\pm$ 0,903                    |
| <b>M-4</b>      | 137,564 $\pm$ 8,353                     | 16870 $\pm$ 353                     | 11,390 $\pm$ 0,226                    | 12,641 $\pm$ 0,108                    | 16,095 $\pm$ 0,471                    | 5,510 $\pm$ 0,271                   | 17,945 $\pm$ 0,279                    |
| <b>M-5</b>      | 155,368 $\pm$ 8,189                     | 27993 $\pm$ 100                     | 40,459 $\pm$ 0,875                    | 26,496 $\pm$ 1,100                    | 47,397 $\pm$ 0,827                    | 7,181 $\pm$ 0,417                   | 19,021 $\pm$ 0,448                    |
| <b>M-6</b>      | 180,328 $\pm$ 2,192                     | 27500 $\pm$ 107                     | 47,318 $\pm$ 0,533                    | 24,278 $\pm$ 0,297                    | 48,227 $\pm$ 0,539                    | 6,739 $\pm$ 0,266                   | 16,326 $\pm$ 0,768                    |
| <b>M-7</b>      | 160,078 $\pm$ 3,494                     | 30243 $\pm$ 502                     | 59,308 $\pm$ 0,681                    | 37,139 $\pm$ 0,915                    | 52,980 $\pm$ 0,861                    | 7,176 $\pm$ 0,010                   | 22,979 $\pm$ 0,820                    |
| <b>M-8</b>      | 404,520 $\pm$ 4,603                     | 40348 $\pm$ 521                     | 129,710 $\pm$ 1,265                   | 34,136 $\pm$ 0,577                    | 49,886 $\pm$ 1,067                    | 7,100 $\pm$ 0,520                   | 12,731 $\pm$ 0,435                    |
| <b>M-9</b>      | 144,814 $\pm$ 1,861                     | 36191 $\pm$ 321                     | 71,810 $\pm$ 0,855                    | 43,446 $\pm$ 1,284                    | 79,473 $\pm$ 0,227                    | 6,706 $\pm$ 0,167                   | 21,089 $\pm$ 0,191                    |
| <b>M-10</b>     | 265,256 $\pm$ 1,568                     | 37206 $\pm$ 40                      | 105,103 $\pm$ 1,134                   | 40,393 $\pm$ 0,739                    | 75,375 $\pm$ 0,768                    | 5,476 $\pm$ 0,353                   | 21,650 $\pm$ 0,965                    |
| <b>Minimum</b>  | <b>24,338</b>                           | <b>16870</b>                        | <b>11,390</b>                         | <b>12,641</b>                         | <b>16,095</b>                         | <b>2,656</b>                        | <b>12,731</b>                         |
| <b>Maksimum</b> | <b>404,520</b>                          | <b>66983</b>                        | <b>129,710</b>                        | <b>96,404</b>                         | <b>149,870</b>                        | <b>17,569</b>                       | <b>54,738</b>                         |
| <b>Ortalama</b> | <b>173,405 <math>\pm</math> 100,654</b> | <b>38517 <math>\pm</math> 14936</b> | <b>57,261 <math>\pm</math> 37,177</b> | <b>46,625 <math>\pm</math> 27,512</b> | <b>62,908 <math>\pm</math> 35,135</b> | <b>7,068 <math>\pm</math> 3,961</b> | <b>24,037 <math>\pm</math> 11,978</b> |

**Tablo 10.** Ayancık istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$  SS).

| İstasyon        | Cr                                     | Fe                                 | Ni                                    | Cu                                   | Zn                                   | As                                  | Pb                                   |
|-----------------|--|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| A-1             | 267,638 $\pm$ 1,963                    | 41513 $\pm$ 356                    | 127,885 $\pm$ 1,795                   | 37,752 $\pm$ 1,029                   | 77,695 $\pm$ 0,621                   | 4,351 $\pm$ 0,820                   | 15,682 $\pm$ 1,383                   |
| A-2             | 252,636 $\pm$ 0,930                    | 42935 $\pm$ 266                    | 135,704 $\pm$ 0,381                   | 43,443 $\pm$ 1,031                   | 70,748 $\pm$ 0,750                   | 2,983 $\pm$ 0,212                   | 15,505 $\pm$ 0,817                   |
| A-3             | 88,649 $\pm$ 1,471                     | 36696 $\pm$ 303                    | 29,880 $\pm$ 0,813                    | 36,763 $\pm$ 2,019                   | 52,832 $\pm$ 0,699                   | 6,577 $\pm$ 0,793                   | 17,350 $\pm$ 1,298                   |
| A-4             | 203,984 $\pm$ 5,161                    | 38051 $\pm$ 156                    | 96,142 $\pm$ 1,473                    | 38,662 $\pm$ 1,079                   | 66,704 $\pm$ 0,868                   | 1,891 $\pm$ 0,800                   | 15,135 $\pm$ 1,224                   |
| A-5             | 100,703 $\pm$ 1,669                    | 32751 $\pm$ 333                    | 36,589 $\pm$ 0,606                    | 28,308 $\pm$ 0,572                   | 56,949 $\pm$ 0,769                   | 4,494 $\pm$ 0,338                   | 14,884 $\pm$ 0,768                   |
| A-6             | 95,051 $\pm$ 2,069                     | 41756 $\pm$ 235                    | 36,170 $\pm$ 1,355                    | 40,289 $\pm$ 1,025                   | 62,405 $\pm$ 0,491                   | 6,151 $\pm$ 0,932                   | 15,828 $\pm$ 0,711                   |
| A-7             | 91,954 $\pm$ 1,849                     | 27931 $\pm$ 229                    | 34,704 $\pm$ 0,675                    | 24,921 $\pm$ 0,350                   | 56,873 $\pm$ 0,795                   | 5,753 $\pm$ 0,352                   | 14,290 $\pm$ 0,446                   |
| A-8             | 55,271 $\pm$ 2,710                     | 35699 $\pm$ 448                    | 19,989 $\pm$ 0,820                    | 57,811 $\pm$ 1,699                   | 50,635 $\pm$ 0,474                   | 8,646 $\pm$ 0,332                   | 18,523 $\pm$ 0,500                   |
| A-9             | 260,209 $\pm$ 9,741                    | 41997 $\pm$ 203                    | 127,358 $\pm$ 1,153                   | 37,317 $\pm$ 0,391                   | 66,622 $\pm$ 0,483                   | 3,180 $\pm$ 0,150                   | 14,867 $\pm$ 0,705                   |
| A-10            | 137,159 $\pm$ 1,960                    | 37227 $\pm$ 157                    | 49,553 $\pm$ 0,887                    | 33,525 $\pm$ 0,712                   | 58,126 $\pm$ 0,263                   | 6,950 $\pm$ 0,140                   | 17,043 $\pm$ 0,435                   |
| A-11            | 189,032 $\pm$ 2,706                    | 37731 $\pm$ 937                    | 95,563 $\pm$ 3,246                    | 36,473 $\pm$ 0,424                   | 67,216 $\pm$ 1,970                   | 2,065 $\pm$ 1,057                   | 14,057 $\pm$ 0,871                   |
| A-12            | 189,121 $\pm$ 3,641                    | 24687 $\pm$ 168                    | 31,403 $\pm$ 0,204                    | 18,312 $\pm$ 0,796                   | 39,703 $\pm$ 0,196                   | 5,190 $\pm$ 0,521                   | 17,379 $\pm$ 0,336                   |
| A-13            | 161,935 $\pm$ 4,070                    | 32516 $\pm$ 393                    | 63,225 $\pm$ 2,416                    | 37,255 $\pm$ 0,560                   | 65,597 $\pm$ 1,182                   | 2,366 $\pm$ 0,266                   | 12,313 $\pm$ 0,390                   |
| A-14            | 258,166 $\pm$ 5,199                    | 42052 $\pm$ 570                    | 128,498 $\pm$ 3,092                   | 36,085 $\pm$ 0,700                   | 71,981 $\pm$ 1,336                   | 2,591 $\pm$ 0,129                   | 15,054 $\pm$ 0,543                   |
| A-15            | 87,360 $\pm$ 6,107                     | 26356 $\pm$ 235                    | 36,757 $\pm$ 1,177                    | 49,203 $\pm$ 0,188                   | 59,109 $\pm$ 0,390                   | 4,028 $\pm$ 0,439                   | 13,481 $\pm$ 0,274                   |
| A-16            | 77,040 $\pm$ 5,095                     | 19997 $\pm$ 50                     | 28,303 $\pm$ 0,866                    | 36,761 $\pm$ 0,724                   | 50,062 $\pm$ 0,228                   | 2,424 $\pm$ 0,272                   | 12,507 $\pm$ 0,259                   |
| A-17            | 123,636 $\pm$ 7,372                    | 28125 $\pm$ 225                    | 83,587 $\pm$ 1,544                    | 45,442 $\pm$ 0,821                   | 57,322 $\pm$ 0,520                   | 5,814 $\pm$ 0,287                   | 15,624 $\pm$ 0,117                   |
| A-18            | 402,422 $\pm$ 17,886                   | 35983 $\pm$ 665                    | 139,433 $\pm$ 2,772                   | 29,903 $\pm$ 0,123                   | 49,492 $\pm$ 1,358                   | 5,014 $\pm$ 0,221                   | 12,039 $\pm$ 0,771                   |
| <b>Minimum</b>  | <b>55,271</b>                          | <b>19997</b>                       | <b>19,989</b>                         | <b>18,312</b>                        | <b>39,703</b>                        | <b>1,891</b>                        | <b>12,039</b>                        |
| <b>Maksimum</b> | <b>402,422</b>                         | <b>42935</b>                       | <b>139,433</b>                        | <b>57,811</b>                        | <b>77,695</b>                        | <b>8,646</b>                        | <b>18,523</b>                        |
| <b>Ortalama</b> | <b>168,998 <math>\pm</math> 91,784</b> | <b>34667 <math>\pm</math> 6810</b> | <b>72,264 <math>\pm</math> 44,089</b> | <b>37,124 <math>\pm</math> 8,889</b> | <b>60,004 <math>\pm</math> 9,521</b> | <b>4,470 <math>\pm</math> 1,937</b> | <b>15,087 <math>\pm</math> 1,805</b> |

**Tablo 11.** Boyabat istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$  SS).

| <b>İstasyon</b> | <b>Cr</b>                               | <b>Fe</b>                           | <b>Ni</b>                               | <b>Cu</b>                             | <b>Zn</b>                             | <b>As</b>                           | <b>Pb</b>                            |
|-----------------|---|-------------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>B-1</b>      | 278,051 $\pm$ 8,649                     | 52565 $\pm$ 655                     | 122,241 $\pm$ 3,354                     | 46,847 $\pm$ 1,384                    | 60,816 $\pm$ 0,976                    | 3,287 $\pm$ 0,161                   | 16,910 $\pm$ 0,331                   |
| <b>B-2</b>      | 93,932 $\pm$ 0,585                      | 26388 $\pm$ 392                     | 28,849 $\pm$ 0,672                      | 19,638 $\pm$ 0,682                    | 53,916 $\pm$ 0,734                    | 4,096 $\pm$ 0,227                   | 13,367 $\pm$ 0,143                   |
| <b>B-3</b>      | 133,371 $\pm$ 2,576                     | 40841 $\pm$ 620                     | 62,084 $\pm$ 0,840                      | 42,283 $\pm$ 1,042                    | 65,397 $\pm$ 1,470                    | 4,338 $\pm$ 0,623                   | 17,897 $\pm$ 0,835                   |
| <b>B-4</b>      | 213,934 $\pm$ 3,207                     | 72506 $\pm$ 292                     | 80,461 $\pm$ 2,409                      | 93,469 $\pm$ 1,739                    | 96,988 $\pm$ 1,000                    | 4,102 $\pm$ 0,362                   | 14,854 $\pm$ 0,368                   |
| <b>B-5</b>      | 295,662 $\pm$ 5,660                     | 38831 $\pm$ 227                     | 140,062 $\pm$ 0,741                     | 32,070 $\pm$ 1,277                    | 59,241 $\pm$ 0,483                    | 5,281 $\pm$ 0,478                   | 12,309 $\pm$ 0,566                   |
| <b>B-6</b>      | 123,349 $\pm$ 3,477                     | 43017 $\pm$ 812                     | 48,823 $\pm$ 1,463                      | 48,628 $\pm$ 1,589                    | 70,597 $\pm$ 1,970                    | 7,758 $\pm$ 0,385                   | 22,761 $\pm$ 0,989                   |
| <b>B-7</b>      | 222,680 $\pm$ 1,205                     | 85513 $\pm$ 477                     | 82,535 $\pm$ 2,051                      | 55,449 $\pm$ 1,771                    | 72,614 $\pm$ 1,021                    | 5,611 $\pm$ 0,456                   | 8,637 $\pm$ 0,112                    |
| <b>B-8</b>      | 202,951 $\pm$ 6,755                     | 36884 $\pm$ 661                     | 104,616 $\pm$ 2,503                     | 41,353 $\pm$ 0,890                    | 69,641 $\pm$ 1,293                    | 7,911 $\pm$ 0,030                   | 17,542 $\pm$ 0,449                   |
| <b>B-9</b>      | 734,219 $\pm$ 7,076                     | 75507 $\pm$ 931                     | 706,273 $\pm$ 7,491                     | 78,202 $\pm$ 1,889                    | 72,027 $\pm$ 0,281                    | 1,734 $\pm$ 0,011                   | 13,268 $\pm$ 0,377                   |
| <b>B-10</b>     | 331,963 $\pm$ 3,860                     | 49468 $\pm$ 600                     | 161,932 $\pm$ 2,321                     | 49,418 $\pm$ 1,769                    | 78,329 $\pm$ 1,946                    | 4,070 $\pm$ 0,183                   | 12,763 $\pm$ 0,470                   |
| <b>B-11</b>     | 70,572 $\pm$ 1,299                      | 20824 $\pm$ 102                     | 33,625 $\pm$ 1,211                      | 37,958 $\pm$ 1,187                    | 52,500 $\pm$ 0,944                    | 3,534 $\pm$ 0,594                   | 11,515 $\pm$ 0,470                   |
| <b>B-12</b>     | 91,922 $\pm$ 0,521                      | 29436 $\pm$ 412                     | 40,356 $\pm$ 1,206                      | 27,421 $\pm$ 0,301                    | 56,566 $\pm$ 1,385                    | 8,949 $\pm$ 0,142                   | 18,902 $\pm$ 0,283                   |
| <b>B-13</b>     | 385,850 $\pm$ 30,562                    | 44065 $\pm$ 618                     | 138,617 $\pm$ 2,415                     | 43,351 $\pm$ 1,379                    | 56,966 $\pm$ 0,796                    | 3,765 $\pm$ 0,570                   | 16,357 $\pm$ 0,354                   |
| <b>B-14</b>     | 99,501 $\pm$ 1,366                      | 33440 $\pm$ 150                     | 45,372 $\pm$ 0,581                      | 33,989 $\pm$ 0,423                    | 68,171 $\pm$ 0,552                    | 8,623 $\pm$ 0,060                   | 18,709 $\pm$ 0,272                   |
| <b>Minimum</b>  | <b>70,572</b>                           | <b>20824</b>                        | <b>28,849</b>                           | <b>19,638</b>                         | <b>52,500</b>                         | <b>1,734</b>                        | <b>8,637</b>                         |
| <b>Maksimum</b> | <b>734,219</b>                          | <b>85513</b>                        | <b>706,273</b>                          | <b>93,469</b>                         | <b>96,988</b>                         | <b>8,949</b>                        | <b>22,761</b>                        |
| <b>Ortalama</b> | <b>234,140 <math>\pm</math> 174,771</b> | <b>46378 <math>\pm</math> 19239</b> | <b>128,275 <math>\pm</math> 171,996</b> | <b>46,434 <math>\pm</math> 19,378</b> | <b>66,698 <math>\pm</math> 11,755</b> | <b>5,219 <math>\pm</math> 2,232</b> | <b>15,414 <math>\pm</math> 3,697</b> |

**Tablo 12.** Dikmen istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$  SS).

| İstasyon | Cr                                    | Fe                                 | Ni                                    | Cu                                    | Zn                                   | As                                  | Pb                                   |
|----------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Di-1     | 68,594 $\pm$ 2,914                    | 37984 $\pm$ 48                     | 25,171 $\pm$ 1,251                    | 65,607 $\pm$ 0,695                    | 50,208 $\pm$ 0,541                   | 13,639 $\pm$ 0,112                  | 18,059 $\pm$ 0,773                   |
| Di-2     | 60,697 $\pm$ 1,381                    | 46174 $\pm$ 236                    | 20,100 $\pm$ 0,810                    | 84,012 $\pm$ 1,082                    | 52,980 $\pm$ 0,797                   | 15,147 $\pm$ 0,092                  | 20,097 $\pm$ 0,767                   |
| Di-3     | 23,640 $\pm$ 1,303                    | 33094 $\pm$ 300                    | 15,109 $\pm$ 0,516                    | 31,407 $\pm$ 1,007                    | 54,989 $\pm$ 0,392                   | 3,034 $\pm$ 0,439                   | 21,170 $\pm$ 0,437                   |
| Di-4     | 72,201 $\pm$ 1,646                    | 31217 $\pm$ 135                    | 20,395 $\pm$ 0,577                    | 44,743 $\pm$ 0,376                    | 52,878 $\pm$ 1,056                   | 8,461 $\pm$ 0,377                   | 16,675 $\pm$ 1,012                   |
| Di-5     | 143,783 $\pm$ 3,022                   | 39562 $\pm$ 271                    | 64,290 $\pm$ 0,728                    | 39,992 $\pm$ 1,249                    | 63,318 $\pm$ 0,418                   | 6,747 $\pm$ 0,369                   | 16,082 $\pm$ 0,443                   |
| Di-6     | 137,725 $\pm$ 5,545                   | 36957 $\pm$ 270                    | 88,671 $\pm$ 2,896                    | 57,596 $\pm$ 1,904                    | 71,350 $\pm$ 1,069                   | 3,341 $\pm$ 0,780                   | 15,226 $\pm$ 0,772                   |
| Di-7     | 155,741 $\pm$ 7,851                   | 41947 $\pm$ 897                    | 72,144 $\pm$ 1,989                    | 40,161 $\pm$ 0,507                    | 60,845 $\pm$ 1,756                   | 5,457 $\pm$ 0,351                   | 16,031 $\pm$ 0,797                   |
| Minimum  | <b>23,640</b>                         | <b>31217</b>                       | <b>15,109</b>                         | <b>31,407</b>                         | <b>50,208</b>                        | <b>3,034</b>                        | <b>15,226</b>                        |
| Maksimum | <b>155,741</b>                        | <b>46174</b>                       | <b>88,671</b>                         | <b>84,012</b>                         | <b>71,350</b>                        | <b>15,147</b>                       | <b>21,170</b>                        |
| Ortalama | <b>94,626 <math>\pm</math> 50,629</b> | <b>38133 <math>\pm</math> 5097</b> | <b>43,697 <math>\pm</math> 30,321</b> | <b>51,931 <math>\pm</math> 18,268</b> | <b>58,081 <math>\pm</math> 7,481</b> | <b>7,975 <math>\pm</math> 4,787</b> | <b>17,620 <math>\pm</math> 2,253</b> |

41

**Tablo 13.** Durağan istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$  SS).

| İstasyon | Cr                                     | Fe                                 | Ni                                    | Cu                                   | Zn                                   | As                                  | Pb                                   |
|----------|--|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Du-1     | 304,902 $\pm$ 7,636                    | 39931 $\pm$ 229                    | 151,050 $\pm$ 0,821                   | 31,158 $\pm$ 0,506                   | 60,153 $\pm$ 0,667                   | 4,045 $\pm$ 0,110                   | 13,304 $\pm$ 0,517                   |
| Du-2     | 136,939 $\pm$ 4,116                    | 43261 $\pm$ 419                    | 72,315 $\pm$ 0,614                    | 53,029 $\pm$ 0,539                   | 82,735 $\pm$ 1,037                   | 8,102 $\pm$ 0,453                   | 25,881 $\pm$ 0,852                   |
| Du-3     | 144,769 $\pm$ 4,477                    | 40803 $\pm$ 872                    | 71,102 $\pm$ 2,607                    | 41,262 $\pm$ 1,283                   | 69,802 $\pm$ 2,475                   | 3,056 $\pm$ 0,444                   | 14,574 $\pm$ 1,029                   |
| Du-4     | 100,216 $\pm$ 2,828                    | 33428 $\pm$ 824                    | 44,667 $\pm$ 1,967                    | 32,293 $\pm$ 1,279                   | 69,806 $\pm$ 2,199                   | 7,485 $\pm$ 0,465                   | 19,161 $\pm$ 0,627                   |
| Du-5     | 159,404 $\pm$ 3,031                    | 40031 $\pm$ 258                    | 67,001 $\pm$ 1,465                    | 45,854 $\pm$ 0,590                   | 71,790 $\pm$ 0,449                   | 10,822 $\pm$ 0,344                  | 23,822 $\pm$ 0,645                   |
| Du-6     | 99,740 $\pm$ 3,353                     | 30559 $\pm$ 176                    | 41,156 $\pm$ 0,360                    | 30,659 $\pm$ 0,869                   | 59,186 $\pm$ 1,012                   | 7,460 $\pm$ 0,044                   | 17,877 $\pm$ 0,432                   |
| Du-7     | 85,080 $\pm$ 1,374                     | 22683 $\pm$ 121                    | 33,178 $\pm$ 0,512                    | 50,706 $\pm$ 1,046                   | 60,608 $\pm$ 1,605                   | 2,895 $\pm$ 0,399                   | 10,728 $\pm$ 0,495                   |
| Du-8     | 111,584 $\pm$ 1,600                    | 33343 $\pm$ 163                    | 32,286 $\pm$ 0,651                    | 40,018 $\pm$ 0,532                   | 50,759 $\pm$ 0,559                   | 4,425 $\pm$ 0,174                   | 14,623 $\pm$ 0,278                   |
| Du-9     | 192,803 $\pm$ 6,598                    | 44590 $\pm$ 580                    | 98,388 $\pm$ 1,933                    | 41,400 $\pm$ 0,552                   | 61,994 $\pm$ 0,891                   | 6,095 $\pm$ 0,110                   | 17,486 $\pm$ 0,468                   |
| Minimum  | <b>85,080</b>                          | <b>22683</b>                       | <b>32,286</b>                         | <b>30,659</b>                        | <b>50,759</b>                        | <b>2,895</b>                        | <b>10,728</b>                        |
| Maksimum | <b>304,902</b>                         | <b>44590</b>                       | <b>151,050</b>                        | <b>53,029</b>                        | <b>82,735</b>                        | <b>10,822</b>                       | <b>25,881</b>                        |
| Ortalama | <b>148,382 <math>\pm</math> 67,809</b> | <b>36514 <math>\pm</math> 7067</b> | <b>67,905 <math>\pm</math> 38,084</b> | <b>40,709 <math>\pm</math> 8,235</b> | <b>65,204 <math>\pm</math> 9,320</b> | <b>6,043 <math>\pm</math> 2,660</b> | <b>17,495 <math>\pm</math> 4,917</b> |

**Tablo 14.** Erfelek istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$  SS).

| İstasyon        | Cr                                      | Fe                                 | Ni                                    | Cu                                   | Zn                                    | As                                  | Pb                                   |
|-----------------|---|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| E-1             | 393,049 $\pm$ 7,115                     | 37532 $\pm$ 463                    | 142,791 $\pm$ 2,600                   | 29,620 $\pm$ 0,774                   | 55,293 $\pm$ 0,865                    | 5,062 $\pm$ 0,194                   | 12,820 $\pm$ 0,394                   |
| E-2             | 385,474 $\pm$ 3,121                     | 45461 $\pm$ 321                    | 123,949 $\pm$ 2,034                   | 40,042 $\pm$ 0,570                   | 62,160 $\pm$ 0,852                    | 8,608 $\pm$ 0,267                   | 20,054 $\pm$ 0,910                   |
| E-3             | 212,319 $\pm$ 4,452                     | 35068 $\pm$ 652                    | 112,453 $\pm$ 3,200                   | 36,140 $\pm$ 1,050                   | 66,621 $\pm$ 1,661                    | 0,620 $\pm$ 0,224                   | 13,032 $\pm$ 0,345                   |
| E-4             | 237,569 $\pm$ 14,272                    | 39371 $\pm$ 332                    | 46,642 $\pm$ 1,669                    | 15,648 $\pm$ 0,689                   | 49,248 $\pm$ 0,987                    | 16,420 $\pm$ 0,617                  | 16,039 $\pm$ 0,310                   |
| E-5             | 130,986 $\pm$ 5,916                     | 28565 $\pm$ 404                    | 47,108 $\pm$ 1,558                    | 31,944 $\pm$ 0,173                   | 55,055 $\pm$ 1,808                    | 2,367 $\pm$ 0,215                   | 12,044 $\pm$ 0,649                   |
| E-6             | 104,419 $\pm$ 2,152                     | 36312 $\pm$ 370                    | 49,826 $\pm$ 1,971                    | 37,354 $\pm$ 0,907                   | 59,660 $\pm$ 0,615                    | 4,306 $\pm$ 0,082                   | 21,321 $\pm$ 0,291                   |
| E-7             | 97,685 $\pm$ 3,260                      | 43839 $\pm$ 314                    | 36,561 $\pm$ 1,183                    | 53,195 $\pm$ 1,132                   | 106,440 $\pm$ 1,328                   | 5,314 $\pm$ 0,367                   | 18,155 $\pm$ 0,313                   |
| E-8             | 335,245 $\pm$ 10,468                    | 41545 $\pm$ 1034                   | 158,123 $\pm$ 6,651                   | 34,729 $\pm$ 0,979                   | 67,820 $\pm$ 2,431                    | 3,354 $\pm$ 0,226                   | 12,581 $\pm$ 1,230                   |
| E-9             | 335,962 $\pm$ 10,115                    | 44208 $\pm$ 656                    | 161,691 $\pm$ 3,898                   | 34,732 $\pm$ 0,642                   | 61,813 $\pm$ 0,794                    | 4,446 $\pm$ 0,458                   | 12,561 $\pm$ 0,651                   |
| <b>Minimum</b>  | <b>97,685</b>                           | <b>28565</b>                       | <b>36,561</b>                         | <b>15,648</b>                        | <b>49,248</b>                         | <b>0,620</b>                        | <b>12,044</b>                        |
| <b>Maksimum</b> | <b>393,049</b>                          | <b>45461</b>                       | <b>161,691</b>                        | <b>53,195</b>                        | <b>106,440</b>                        | <b>16,420</b>                       | <b>21,321</b>                        |
| <b>Ortalama</b> | <b>248,079 <math>\pm</math> 119,149</b> | <b>39100 <math>\pm</math> 5391</b> | <b>97,683 <math>\pm</math> 52,300</b> | <b>34,823 <math>\pm</math> 9,849</b> | <b>64,901 <math>\pm</math> 16,643</b> | <b>5,611 <math>\pm</math> 4,607</b> | <b>15,401 <math>\pm</math> 3,610</b> |

**Tablo 15.** Gerze istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$  SS).

| İstasyon        | Cr                                     | Fe                                 | Ni                                    | Cu                                   | Zn                                    | As                                  | Pb                                   |
|-----------------|--|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| G-1             | 214,654 $\pm$ 8,129                    | 36367 $\pm$ 177                    | 104,577 $\pm$ 1,624                   | 38,864 $\pm$ 1,356                   | 68,716 $\pm$ 0,896                    | 6,735 $\pm$ 0,239                   | 23,352 $\pm$ 0,931                   |
| G-2             | 98,122 $\pm$ 4,917                     | 42706 $\pm$ 173                    | 40,093 $\pm$ 0,827                    | 45,195 $\pm$ 0,655                   | 69,040 $\pm$ 0,645                    | 5,786 $\pm$ 0,383                   | 17,608 $\pm$ 0,787                   |
| G-3             | 201,670 $\pm$ 0,949                    | 43454 $\pm$ 312                    | 107,298 $\pm$ 0,124                   | 41,026 $\pm$ 1,749                   | 69,589 $\pm$ 0,618                    | 3,466 $\pm$ 0,397                   | 17,929 $\pm$ 0,866                   |
| G-4             | 156,004 $\pm$ 5,598                    | 38327 $\pm$ 5                      | 74,417 $\pm$ 1,294                    | 38,963 $\pm$ 0,938                   | 71,841 $\pm$ 0,956                    | 7,016 $\pm$ 0,376                   | 15,762 $\pm$ 0,350                   |
| G-5             | 277,979 $\pm$ 11,941                   | 37362 $\pm$ 221                    | 125,012 $\pm$ 0,615                   | 34,582 $\pm$ 0,276                   | 61,998 $\pm$ 0,252                    | 3,596 $\pm$ 0,462                   | 15,089 $\pm$ 0,634                   |
| G-6             | 256,213 $\pm$ 6,437                    | 39213 $\pm$ 465                    | 105,514 $\pm$ 2,595                   | 39,842 $\pm$ 1,336                   | 82,593 $\pm$ 0,696                    | 5,190 $\pm$ 0,210                   | 24,375 $\pm$ 1,400                   |
| G-7             | 114,944 $\pm$ 6,697                    | 34848 $\pm$ 237                    | 43,906 $\pm$ 1,179                    | 41,973 $\pm$ 0,577                   | 106,259 $\pm$ 0,726                   | 7,941 $\pm$ 0,300                   | 20,979 $\pm$ 0,209                   |
| G-8             | 124,599 $\pm$ 3,049                    | 39978 $\pm$ 220                    | 52,915 $\pm$ 1,631                    | 38,781 $\pm$ 0,529                   | 67,430 $\pm$ 0,405                    | 8,863 $\pm$ 0,260                   | 17,408 $\pm$ 0,841                   |
| <b>Minimum</b>  | <b>98,122</b>                          | <b>34848</b>                       | <b>40,093</b>                         | <b>34,582</b>                        | <b>61,998</b>                         | <b>3,466</b>                        | <b>15,089</b>                        |
| <b>Maksimum</b> | <b>277,979</b>                         | <b>43454</b>                       | <b>125,012</b>                        | <b>45,195</b>                        | <b>106,259</b>                        | <b>8,863</b>                        | <b>24,375</b>                        |
| <b>Ortalama</b> | <b>180,523 <math>\pm</math> 67,250</b> | <b>39032 <math>\pm</math> 2973</b> | <b>81,717 <math>\pm</math> 33,086</b> | <b>39,903 <math>\pm</math> 3,049</b> | <b>74,683 <math>\pm</math> 14,013</b> | <b>6,074 <math>\pm</math> 1,942</b> | <b>19,063 <math>\pm</math> 3,446</b> |

**Tablo 16.** Saraydüzü istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$  SS).

| İstasyon | Cr                                      | Fe                                  | Ni                                     | Cu                                    | Zn                                    | As                                  | Pb                                   |
|----------|---|-------------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| S-1      | 216,180 $\pm$ 2,808                     | 52360 $\pm$ 789                     | 93,508 $\pm$ 1,954                     | 53,052 $\pm$ 1,059                    | 62,628 $\pm$ 0,913                    | 6,192 $\pm$ 0,431                   | 14,781 $\pm$ 0,784                   |
| S-2      | 311,866 $\pm$ 9,666                     | 48453 $\pm$ 163                     | 132,708 $\pm$ 0,732                    | 51,038 $\pm$ 1,222                    | 76,273 $\pm$ 0,206                    | 6,908 $\pm$ 0,131                   | 16,150 $\pm$ 0,759                   |
| S-3      | 245,895 $\pm$ 6,624                     | 94465 $\pm$ 587                     | 55,409 $\pm$ 0,834                     | 118,950 $\pm$ 0,965                   | 85,985 $\pm$ 0,996                    | 2,481 $\pm$ 0,030                   | 7,326 $\pm$ 0,271                    |
| S-4      | 245,546 $\pm$ 6,467                     | 44006 $\pm$ 490                     | 109,414 $\pm$ 0,737                    | 49,450 $\pm$ 0,467                    | 82,928 $\pm$ 2,220                    | 5,653 $\pm$ 0,238                   | 15,929 $\pm$ 0,700                   |
| S-5      | 368,700 $\pm$ 4,551                     | 49180 $\pm$ 335                     | 191,015 $\pm$ 1,164                    | 56,949 $\pm$ 1,987                    | 76,161 $\pm$ 1,341                    | 7,182 $\pm$ 0,488                   | 16,242 $\pm$ 0,868                   |
| S-6      | 761,359 $\pm$ 11,015                    | 62489 $\pm$ 501                     | 203,715 $\pm$ 1,776                    | 47,986 $\pm$ 0,263                    | 57,769 $\pm$ 0,945                    | 10,063 $\pm$ 0,419                  | 12,739 $\pm$ 0,476                   |
| Minimum  | <b>216,180</b>                          | <b>44006</b>                        | <b>55,409</b>                          | <b>47,986</b>                         | <b>57,769</b>                         | <b>2,481</b>                        | <b>7,326</b>                         |
| Maksimum | <b>761,359</b>                          | <b>94465</b>                        | <b>203,715</b>                         | <b>118,950</b>                        | <b>85,985</b>                         | <b>10,063</b>                       | <b>16,242</b>                        |
| Ortalama | <b>358,258 <math>\pm</math> 205,069</b> | <b>58492 <math>\pm</math> 18681</b> | <b>130,962 <math>\pm</math> 57,407</b> | <b>62,904 <math>\pm</math> 27,634</b> | <b>73,624 <math>\pm</math> 11,181</b> | <b>6,413 <math>\pm</math> 2,459</b> | <b>13,861 <math>\pm</math> 3,464</b> |

**Tablo 17.** Türkeli istasyonunun toprak örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyon değerleri ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ( $\pm$  SS).

| İstasyon | Cr                                      | Fe                                 | Ni                                    | Cu                                   | Zn                                    | As                                  | Pb                                   |
|----------|---|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| T-1      | 66,488 $\pm$ 1,405                      | 21745 $\pm$ 156                    | 27,711 $\pm$ 0,373                    | 37,722 $\pm$ 0,408                   | 54,938 $\pm$ 0,334                    | 2,766 $\pm$ 0,077                   | 11,173 $\pm$ 0,116                   |
| T-2      | 92,827 $\pm$ 3,564                      | 30134 $\pm$ 281                    | 32,701 $\pm$ 0,948                    | 34,292 $\pm$ 0,270                   | 58,464 $\pm$ 1,019                    | 5,135 $\pm$ 0,423                   | 16,241 $\pm$ 0,850                   |
| T-3      | 131,666 $\pm$ 3,213                     | 31654 $\pm$ 1617                   | 60,905 $\pm$ 3,801                    | 40,015 $\pm$ 3,073                   | 59,419 $\pm$ 3,916                    | 5,182 $\pm$ 0,181                   | 17,893 $\pm$ 1,499                   |
| T-4      | 348,971 $\pm$ 16,012                    | 37729 $\pm$ 407                    | 146,863 $\pm$ 1,211                   | 39,559 $\pm$ 0,881                   | 84,680 $\pm$ 0,615                    | 4,318 $\pm$ 0,185                   | 18,827 $\pm$ 0,406                   |
| T-5      | 119,060 $\pm$ 3,674                     | 38007 $\pm$ 112                    | 58,194 $\pm$ 0,838                    | 40,745 $\pm$ 2,064                   | 68,054 $\pm$ 0,961                    | 2,359 $\pm$ 0,501                   | 17,791 $\pm$ 0,446                   |
| T-6      | 199,988 $\pm$ 7,935                     | 37071 $\pm$ 130                    | 98,390 $\pm$ 0,655                    | 44,911 $\pm$ 0,517                   | 74,943 $\pm$ 0,848                    | 2,985 $\pm$ 0,159                   | 17,787 $\pm$ 0,472                   |
| T-7      | 299,044 $\pm$ 1,472                     | 41205 $\pm$ 541                    | 152,408 $\pm$ 2,583                   | 39,263 $\pm$ 0,652                   | 68,301 $\pm$ 0,829                    | 3,343 $\pm$ 0,670                   | 13,991 $\pm$ 0,769                   |
| Minimum  | <b>66,488</b>                           | <b>21745</b>                       | <b>27,711</b>                         | <b>34,292</b>                        | <b>54,938</b>                         | <b>2,359</b>                        | <b>11,173</b>                        |
| Maksimum | <b>348,971</b>                          | <b>41205</b>                       | <b>152,408</b>                        | <b>44,911</b>                        | <b>84,680</b>                         | <b>5,182</b>                        | <b>18,827</b>                        |
| Ortalama | <b>179,721 <math>\pm</math> 107,746</b> | <b>33935 <math>\pm</math> 6607</b> | <b>82,453 <math>\pm</math> 51,351</b> | <b>39,501 <math>\pm</math> 3,200</b> | <b>66,971 <math>\pm</math> 10,443</b> | <b>3,727 <math>\pm</math> 1,150</b> | <b>16,243 <math>\pm</math> 2,737</b> |



### 3.2. Toprak Örneklerinde Hesaplanan Kirlilik Parametreleri

Toprak örneklerinin ağır metal kirlilik seviyelerinin belirlenmesi için istasyonlara göre hesaplanan Zenginleştirme faktörü (EF), Jeobirikim indeksi ( $I_{geo}$ ), Kirlilik faktörü ( $C_f$ ), Kirlilik yük indeksi (PLI) değerleri Tablo 18-20'de verilmiştir.



**Tablo 18.** Toprak örneklerinin ilçelere göre zenginleştirme faktörleri (EF).

| EF        | Merkez<br>(N=10) | Ayancık<br>(N=18) | Boyabat<br>(N=14) | Dikmen<br>(N=7) | Durağan<br>(N=9) | Erfelek<br>(N=9) | Gerze<br>(N=8) | Saraydüzü<br>(N=6) | Türkeli<br>(N=7) |      |
|-----------|------------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|--------------------|------------------|------|
| <b>Cr</b> | <b>Min.</b>      | 0,20              | 0,87              | 1,47            | 0,40             | 1,69             | 1,25           | 1,29               | 1,47             | 1,72 |
|           | <b>Mak.</b>      | 5,64              | 6,30              | 5,47            | 2,10             | 4,30             | 5,90           | 4,19               | 6,86             | 5,21 |
|           | <b>Ort.</b>      | 2,95              | 2,71              | 2,75            | 1,39             | 2,25             | 3,53           | 2,63               | 3,61             | 2,84 |
| <b>Ni</b> | <b>Min.</b>      | 0,24              | 0,42              | 0,72            | 0,33             | 0,73             | 0,63           | 0,70               | 0,44             | 0,81 |
|           | <b>Mak.</b>      | 2,41              | 2,91              | 7,02            | 1,80             | 2,84             | 2,86           | 2,51               | 2,92             | 2,92 |
|           | <b>Ort.</b>      | 1,20              | 1,51              | 1,86            | 0,85             | 1,35             | 1,86           | 1,58               | 1,84             | 1,72 |
| <b>Cu</b> | <b>Min.</b>      | 0,77              | 0,76              | 0,66            | 0,97             | 0,80             | 0,41           | 0,95               | 0,79             | 0,98 |
|           | <b>Mak.</b>      | 1,69              | 1,91              | 1,87            | 1,86             | 2,29             | 1,24           | 1,23               | 1,29             | 1,78 |
|           | <b>Ort.</b>      | 1,16              | 1,13              | 1,06            | 1,38             | 1,19             | 0,92           | 1,05               | 1,09             | 1,23 |
| <b>Zn</b> | <b>Min.</b>      | 0,59              | 1,11              | 0,68            | 0,92             | 1,12             | 1,01           | 1,29               | 0,73             | 1,33 |
|           | <b>Mak.</b>      | 2,77              | 2,01              | 2,03            | 1,55             | 2,15             | 1,95           | 2,45               | 1,52             | 2,03 |
|           | <b>Ort.</b>      | 1,35              | 1,42              | 1,28            | 1,24             | 1,48             | 1,34           | 1,56               | 1,08             | 1,62 |
| <b>As</b> | <b>Min.</b>      | 1,24              | 1,55              | 0,72            | 2,83             | 2,34             | 0,55           | 2,49               | 0,82             | 1,94 |
|           | <b>Mak.</b>      | 12,63             | 7,58              | 9,51            | 11,23            | 8,46             | 13,04          | 7,13               | 5,04             | 5,33 |
|           | <b>Ort.</b>      | 6,56              | 4,20              | 4,24            | 6,44             | 5,21             | 4,39           | 4,93               | 3,77             | 3,57 |
| <b>Pb</b> | <b>Min.</b>      | 1,42              | 1,51              | 0,45            | 1,72             | 1,50             | 1,28           | 1,82               | 0,35             | 1,53 |
|           | <b>Mak.</b>      | 5,67              | 3,17              | 2,89            | 2,88             | 2,69             | 2,64           | 2,89               | 1,63             | 2,55 |
|           | <b>Ort.</b>      | 3,01              | 2,03              | 1,75            | 2,11             | 2,17             | 1,79           | 2,22               | 1,19             | 2,19 |

N: Örneklem Sayısı

**Tablo 19.** Toprak örneklerinin ilçelere göre Jeobirikim indeksi ( $I_{geo}$ ) değerleri.

| $I_{geo}$ |      | Merkez<br>(N=10) | Ayancık<br>(N=18) | Boyabat<br>(N=14) | Dikmen<br>(N=7) | Durağan<br>(N=9) | Erfelek<br>(N=9) | Gerze<br>(N=8) | Saraydüzü<br>(N=6) | Türkeli<br>(N=7) |
|-----------|------|------------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|--------------------|------------------|
| Cr        | Min. | -2,62            | -1,44             | -1,09             | -2,67           | -0,82            | -0,62            | -0,61          | 0,53               | -1,17            |
|           | Mak. | 1,43             | 1,42              | 2,29              | 0,05            | 1,02             | 1,39             | 0,89           | 2,34               | 1,22             |
|           | Ort. | -0,06            | -0,03             | 0,33              | -0,90           | -0,12            | 0,54             | 0,17           | 1,11               | 0,03             |
| Fe        | Min. | -2,32            | -2,08             | -2,02             | -1,44           | -1,90            | -1,56            | -1,28          | -0,94              | -1,96            |
|           | Mak. | -0,33            | -0,98             | 0,02              | -0,87           | -0,92            | -0,89            | -0,96          | 0,16               | -1,04            |
|           | Ort. | -1,23            | -1,31             | -0,97             | -1,16           | -1,24            | -1,12            | -1,12          | -0,58              | -1,34            |
| Ni        | Min. | -3,30            | -2,49             | -1,96             | -2,90           | -1,80            | -1,62            | -1,49          | -1,02              | -2,02            |
|           | Mak. | 0,21             | 0,31              | 2,65              | -0,34           | 0,43             | 0,52             | 0,15           | 0,86               | 0,44             |
|           | Ort. | -1,29            | -0,92             | -0,41             | -1,69           | -0,91            | -0,42            | -0,58          | 0,09               | -0,72            |
| Cu        | Min. | -2,71            | -2,17             | -2,07             | -1,39           | -1,43            | -2,40            | -1,25          | -0,78              | -1,27            |
|           | Mak. | 0,22             | -0,51             | 0,18              | 0,03            | -0,64            | -0,63            | -0,87          | 0,53               | -0,88            |
|           | Ort. | -1,06            | -1,19             | -0,94             | -0,74           | -1,05            | -1,31            | -1,05          | -0,48              | -1,07            |
| Zn        | Min. | -2,71            | -1,40             | -1,00             | -1,06           | -1,05            | -1,09            | -0,76          | -0,86              | -0,93            |
|           | Mak. | 0,51             | -0,43             | -0,11             | -0,56           | -0,34            | 0,02             | 0,02           | -0,29              | -0,31            |
|           | Ort. | -0,93            | -0,83             | -0,67             | -0,86           | -0,70            | -0,73            | -0,51          | -0,53              | -0,66            |
| As        | Min. | -0,02            | -0,51             | -0,64             | 0,17            | 0,10             | -2,12            | 0,36           | -0,12              | -0,19            |
|           | Mak. | 2,70             | 1,68              | 1,73              | 2,49            | 2,00             | 2,60             | 1,71           | 1,90               | 0,94             |
|           | Ort. | 1,23             | 0,59              | 0,82              | 1,33            | 1,03             | 0,62             | 1,10           | 1,13               | 0,41             |
| Pb        | Min. | -0,56            | -0,64             | -1,12             | -0,30           | -0,81            | -0,64            | -0,31          | -1,36              | -0,75            |
|           | Mak. | 1,55             | -0,02             | 0,28              | 0,18            | 0,47             | 0,19             | 0,38           | -0,21              | 0,01             |
|           | Ort. | 0,24             | -0,32             | -0,32             | -0,10           | -0,15            | -0,32            | 0,00           | -0,49              | -0,23            |

N: Örnekleme Sayısı

**Tablo 20.** Toprak örneklerinin ilçelere göre Kirlilik faktör ( $C_f$ ) ve Kirlilik yük indeksi (PLI) değerleri.

| $C_f$ -PLI | Merkez<br>(N=10) | Ayancık<br>(N=18) | Boyabat<br>(N=14) | Dikmen<br>(N=7) | Durağan<br>(N=9) | Erfelek<br>(N=9) | Gerze<br>(N=8) | Saraydüzü<br>(N=6) | Türkeli<br>(N=7) |      |
|------------|------------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|--------------------|------------------|------|
| <b>Cr</b>  | Min.             | 0,24              | 0,55              | 0,71            | 0,24             | 0,85             | 0,98           | 0,98               | 2,16             | 0,66 |
|            | Mak.             | 4,05              | 4,02              | 7,34            | 1,56             | 3,05             | 3,93           | 2,78               | 7,61             | 3,49 |
|            | Ort.             | 1,73              | 1,69              | 2,34            | 0,95             | 1,48             | 2,48           | 1,81               | 3,58             | 1,80 |
| <b>Fe</b>  | Min.             | 0,30              | 0,36              | 0,37            | 0,55             | 0,40             | 0,51           | 0,62               | 0,78             | 0,39 |
|            | Mak.             | 1,19              | 0,76              | 1,52            | 0,82             | 0,79             | 0,81           | 0,77               | 1,68             | 0,73 |
|            | Ort.             | 0,68              | 0,62              | 0,82            | 0,68             | 0,65             | 0,69           | 0,69               | 1,04             | 0,60 |
| <b>Ni</b>  | Min.             | 0,15              | 0,27              | 0,38            | 0,20             | 0,43             | 0,49           | 0,53               | 0,74             | 0,37 |
|            | Mak.             | 1,73              | 1,86              | 9,42            | 1,18             | 2,01             | 2,16           | 1,67               | 2,72             | 2,03 |
|            | Ort.             | 0,76              | 0,96              | 1,71            | 0,58             | 0,91             | 1,30           | 1,09               | 1,75             | 1,10 |
| <b>Cu</b>  | Min.             | 0,23              | 0,33              | 0,36            | 0,57             | 0,56             | 0,28           | 0,63               | 0,87             | 0,62 |
|            | Mak.             | 1,75              | 1,05              | 1,70            | 1,53             | 0,96             | 0,97           | 0,82               | 2,16             | 0,82 |
|            | Ort.             | 0,85              | 0,67              | 0,84            | 0,94             | 0,74             | 0,63           | 0,73               | 1,14             | 0,72 |
| <b>Zn</b>  | Min.             | 0,23              | 0,57              | 0,75            | 0,72             | 0,73             | 0,70           | 0,89               | 0,83             | 0,78 |
|            | Mak.             | 2,14              | 1,11              | 1,39            | 1,02             | 1,18             | 1,52           | 1,52               | 1,23             | 1,21 |
|            | Ort.             | 0,90              | 0,86              | 0,95            | 0,83             | 0,93             | 0,93           | 1,07               | 1,05             | 0,96 |
| <b>As</b>  | Min.             | 1,48              | 1,05              | 0,96            | 1,69             | 1,61             | 0,34           | 1,93               | 1,38             | 1,31 |
|            | Mak.             | 9,76              | 4,80              | 4,97            | 8,42             | 6,01             | 9,12           | 4,92               | 5,59             | 2,88 |
|            | Ort.             | 3,93              | 2,48              | 2,90            | 4,43             | 3,36             | 3,12           | 3,37               | 3,56             | 2,07 |
| <b>Pb</b>  | Min.             | 1,02              | 0,96              | 0,69            | 1,22             | 0,86             | 0,96           | 1,21               | 0,59             | 0,89 |
|            | Mak.             | 4,38              | 1,48              | 1,82            | 1,69             | 2,07             | 1,71           | 1,95               | 1,30             | 1,51 |
|            | Ort.             | 1,92              | 1,21              | 1,23            | 1,41             | 1,40             | 1,23           | 1,53               | 1,11             | 1,30 |
| <b>PLI</b> | Min.             | 0,55              | 0,68              | 0,73            | 0,62             | 0,77             | 0,82           | 1,06               | 1,31             | 0,68 |
|            | Mak.             | 1,92              | 1,34              | 2,02            | 1,16             | 1,40             | 1,59           | 1,43               | 1,91             | 1,46 |
|            | Ort.             | 1,16              | 1,02              | 1,25            | 1,02             | 1,12             | 1,17           | 1,24               | 1,55             | 1,08 |

N: Örnekleme Sayısı

## 4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

### 4.1. Metal Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

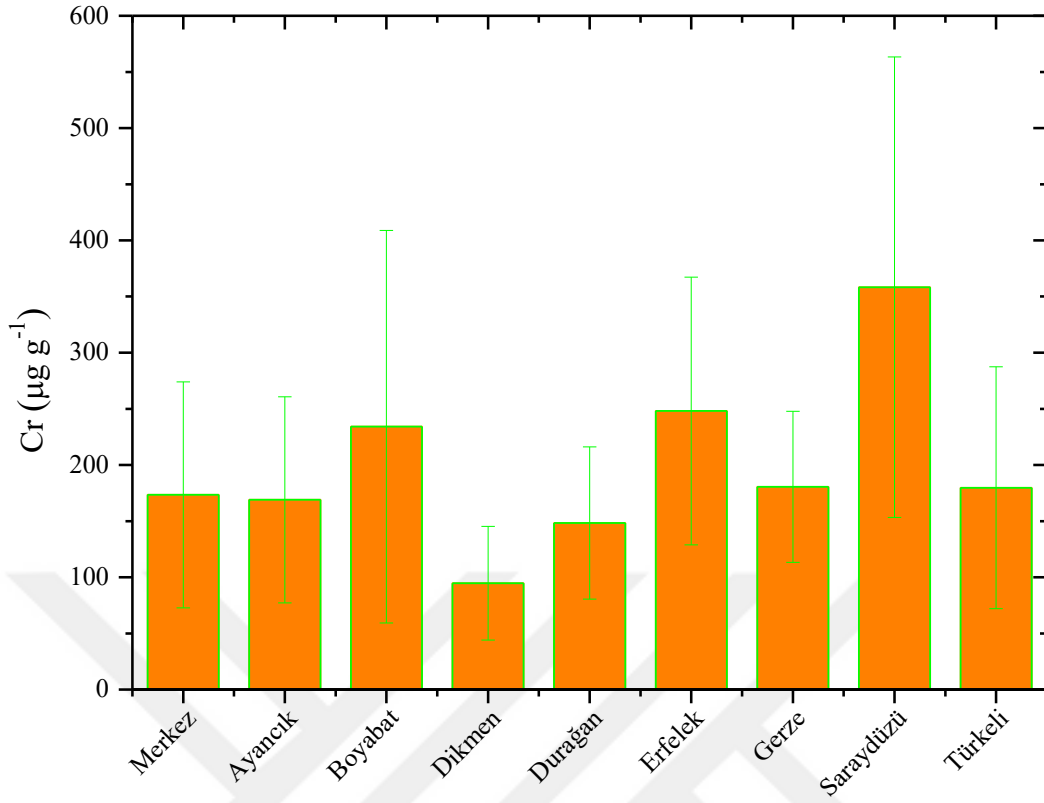
#### 4.1.1. Krom (Cr)

Toprak örneklerinde Cr konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimine bakıldığında (Şekil 14) en yüksek ortalama konsantrasyonun  $358,258 \mu\text{g g}^{-1}$  ile Saraydüzü istasyonunda ve en düşük ortalama konsantrasyonun  $94,626 \mu\text{g g}^{-1}$  ile Dikmen istasyonunda olduğu görülmüştür. Tablo 21’de, Kruskal-Wallis testinin sonucuna göre Cr konsantrasyonlarındaki istasyonlar arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

**Tablo 21.** Toprak örneklerinde istasyonlara göre ortalama Cr konsantrasyonları ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

| İstasyon  | Cr Konsantrasyonu     |
|-----------|-----------------------|
| Merkez    | 173,405 <sup>ab</sup> |
| Ayancık   | 168,998 <sup>b</sup>  |
| Boyabat   | 234,140 <sup>bc</sup> |
| Dikmen    | 94,626 <sup>a</sup>   |
| Durağan   | 148,382 <sup>ab</sup> |
| Erfelek   | 248,079 <sup>bc</sup> |
| Gerze     | 180,523 <sup>b</sup>  |
| Saraydüzü | 358,258 <sup>c</sup>  |
| Türkeli   | 179,721 <sup>ab</sup> |

<sup>abc</sup> harfleri istasyonlar arasındaki verilerde  $p<0,05$  düzeyinde önemlidir.



**Şekil 14.** Cr konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimi.

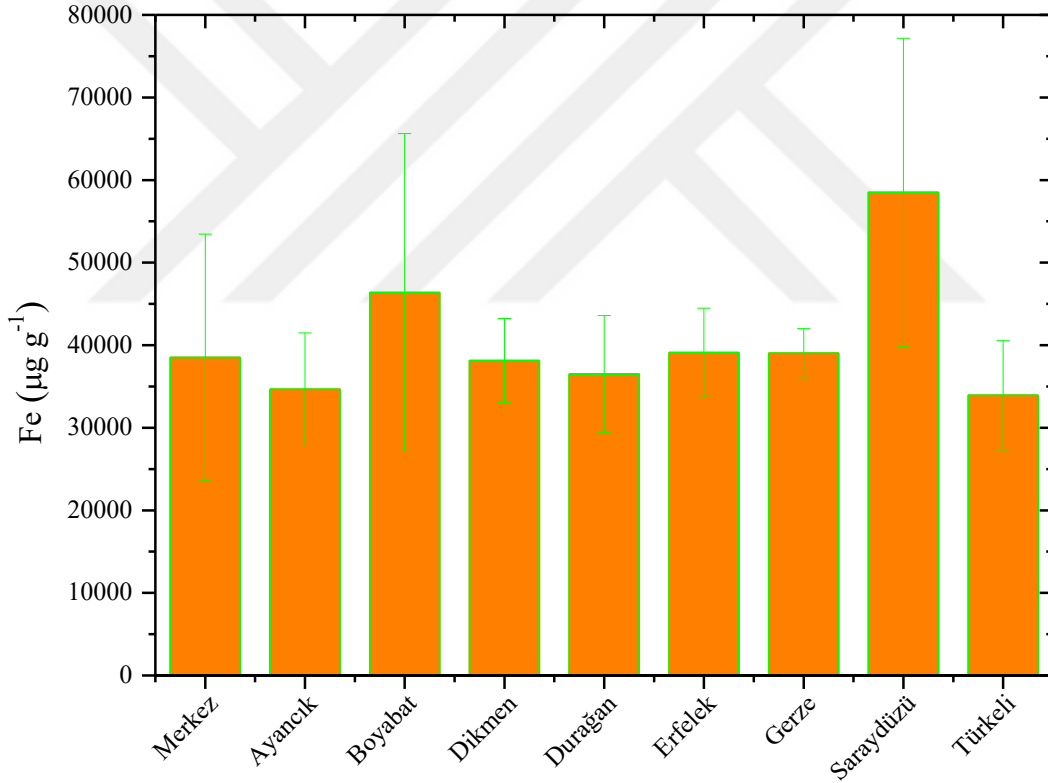
#### 4.1.2. Demir (Fe)

Toprak örneklerinde Fe konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimine bakıldığında (Şekil 15) en yüksek ortalama konsantrasyonun 58492  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Saraydüzü istasyonunda ve en düşük ortalama konsantrasyonun 33935  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Türkeli istasyonunda olduğu görülmüştür. Tablo 22’de, Kruskal-Wallis testinin sonucuna göre Fe konsantrasyonlarındaki istasyonlar arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ).

**Tablo 22.** Toprak örneklerinde istasyonlara göre ortalama Fe konsantrasyonları ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

| İstasyon  | Fe Konsantrasyonu   |
|-----------|---------------------|
| Merkez    | 38517 <sup>ac</sup> |
| Ayancık   | 34667 <sup>c</sup>  |
| Boyabat   | 46378 <sup>ab</sup> |
| Dikmen    | 38133 <sup>ac</sup> |
| Durağan   | 36514 <sup>ac</sup> |
| Erfelek   | 39100 <sup>ac</sup> |
| Gerze     | 39032 <sup>ac</sup> |
| Saraydüzü | 58492 <sup>b</sup>  |
| Türkeli   | 33935 <sup>ac</sup> |

<sup>abc</sup> harfleri istasyonlar arasındaki verilerde  $p < 0,05$  düzeyinde önemlidir.



**Şekil 15.** Fe konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimi.

#### 4.1.3. Nikel (Ni)

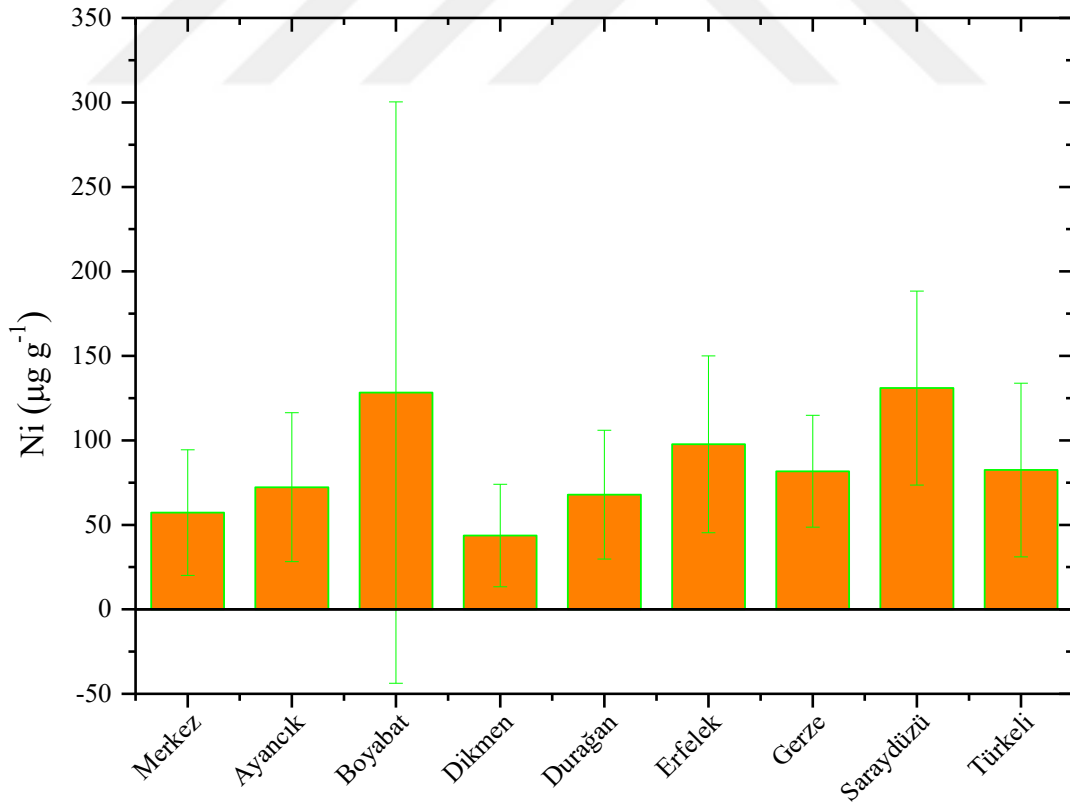
Toprak örneklerinde Ni konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimine bakıldığında (Şekil 16) en yüksek ortalama konsantrasyonun  $130,962 \mu\text{g g}^{-1}$  ile Saraydüzü istasyonunda ve en düşük ortalama konsantrasyonun  $43,697 \mu\text{g g}^{-1}$  ile Dikmen

istasyonunda olduğu görülmüştür. Tablo 23'te, Kruskal-Wallis testinin sonucuna göre Ni konsantrasyonlarındaki istasyonlar arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ( $p>0,05$ ).

**Tablo 23.** Toprak örneklerinde istasyonlara göre ortalama Ni konsantrasyonları ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

| İstasyon  | Ni Konsantrasyonu    |
|-----------|----------------------|
| Merkez    | 57,261 <sup>a</sup>  |
| Ayancık   | 72,264 <sup>a</sup>  |
| Boyabat   | 128,275 <sup>a</sup> |
| Dikmen    | 43,697 <sup>a</sup>  |
| Durağan   | 67,905 <sup>a</sup>  |
| Erfelek   | 97,683 <sup>a</sup>  |
| Gerze     | 81,717 <sup>a</sup>  |
| Saraydüzü | 130,962 <sup>a</sup> |
| Türkeli   | 82,453 <sup>a</sup>  |

<sup>a</sup> harfleri istasyonlar arasındaki verilerde  $p>0,05$  düzeyinde önemlidir.



**Şekil 16.** Ni konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimi.



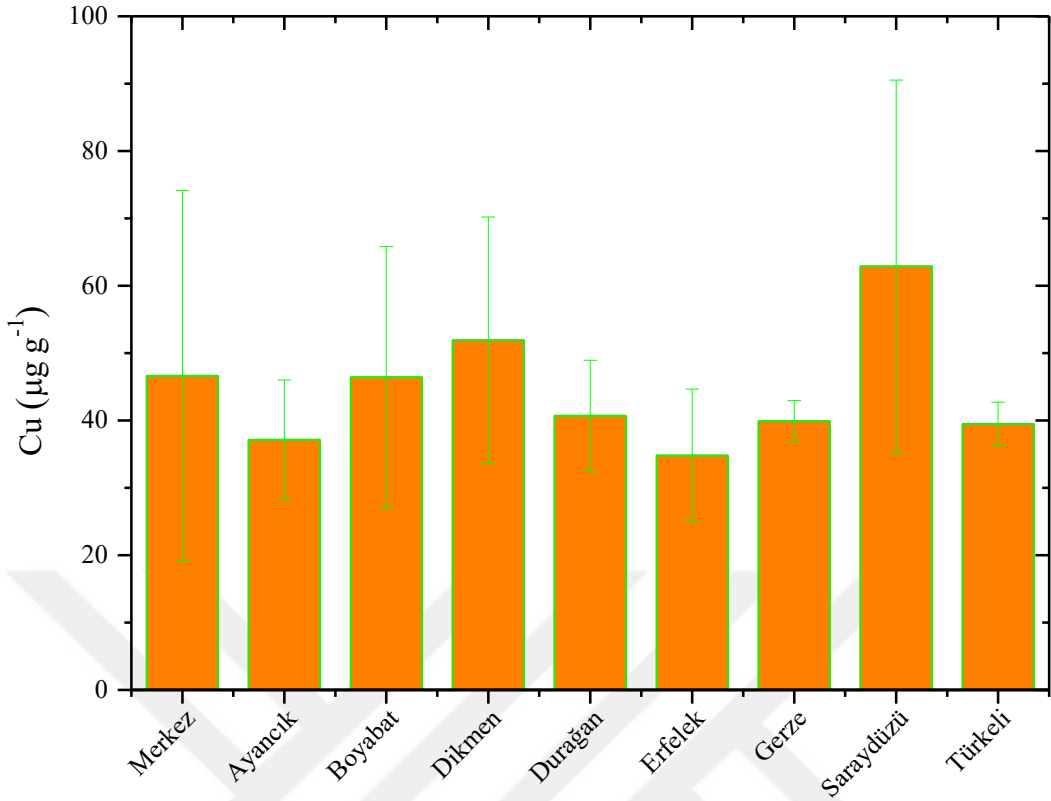
#### 4.1.4. Bakır (Cu)

Toprak örneklerinde Cu konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimine bakıldığında (Şekil 17) en yüksek ortalama konsantrasyonun 62,904  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Saraydüzü istasyonunda ve en düşük ortalama konsantrasyonun 34,823  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Erfelek istasyonunda olduğu görülmüştür. Tablo 24’de, Kruskal-Wallis testinin sonucuna göre Cu konsantrasyonlarındaki istasyonlar arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

**Tablo 24.** Toprak örneklerinde istasyonlara göre ortalama Cu konsantrasyonları ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

| İstasyon  | Cu Konsantrasyonu     |
|-----------|-----------------------|
| Merkez    | 46,625 <sup>abc</sup> |
| Ayancık   | 37,124 <sup>a</sup>   |
| Boyabat   | 46,434 <sup>ab</sup>  |
| Dikmen    | 51,931 <sup>bc</sup>  |
| Durağan   | 40,709 <sup>ab</sup>  |
| Erfelek   | 34,823 <sup>a</sup>   |
| Gerze     | 39,903 <sup>ab</sup>  |
| Saraydüzü | 62,904 <sup>c</sup>   |
| Türkeli   | 39,501 <sup>ab</sup>  |

<sup>abc</sup> harfleri istasyonlar arasındaki verilerde  $p<0,05$  düzeyinde önemlidir.



Şekil 17. Cu konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimi.

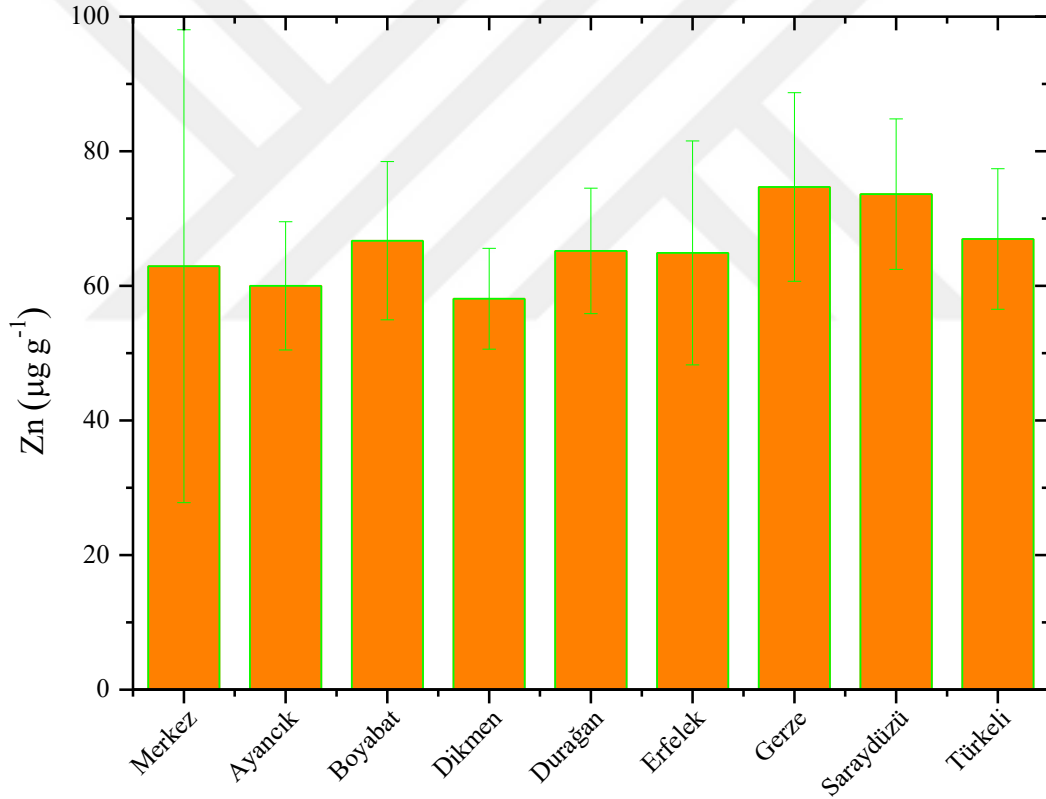
#### 4.1.5. Çinko (Zn)

Toprak örneklerinde Zn konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimine bakıldığında (Şekil 18) en yüksek ortalama konsantrasyonun 74,683 µg g<sup>-1</sup> ile Gerze istasyonunda ve en düşük ortalama konsantrasyonun 58,081 µg g<sup>-1</sup> ile Dikmen istasyonunda olduğu görülmüştür. Tablo 25'te, Anova testinin sonucuna göre Zn konsantrasyonlarındaki istasyonlar arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır (p>0,05).

**Tablo 25.** Toprak örneklerinde istasyonlara göre ortalama Zn konsantrasyonları ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

| İstasyon  | Zn Konsantrasyonu   |
|-----------|---------------------|
| Merkez    | 62,908 <sup>a</sup> |
| Ayancık   | 60,004 <sup>a</sup> |
| Boyabat   | 66,698 <sup>a</sup> |
| Dikmen    | 58,081 <sup>a</sup> |
| Durağan   | 65,204 <sup>a</sup> |
| Erfelek   | 64,901 <sup>a</sup> |
| Gerze     | 74,683 <sup>a</sup> |
| Saraydüzü | 73,624 <sup>a</sup> |
| Türkeli   | 66,971 <sup>a</sup> |

<sup>a</sup> harfleri istasyonlar arasındaki verilerde  $p>0,05$  düzeyinde önemlidir.



**Şekil 18.** Zn konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimi.

#### 4.1.6. Arsenik (As)

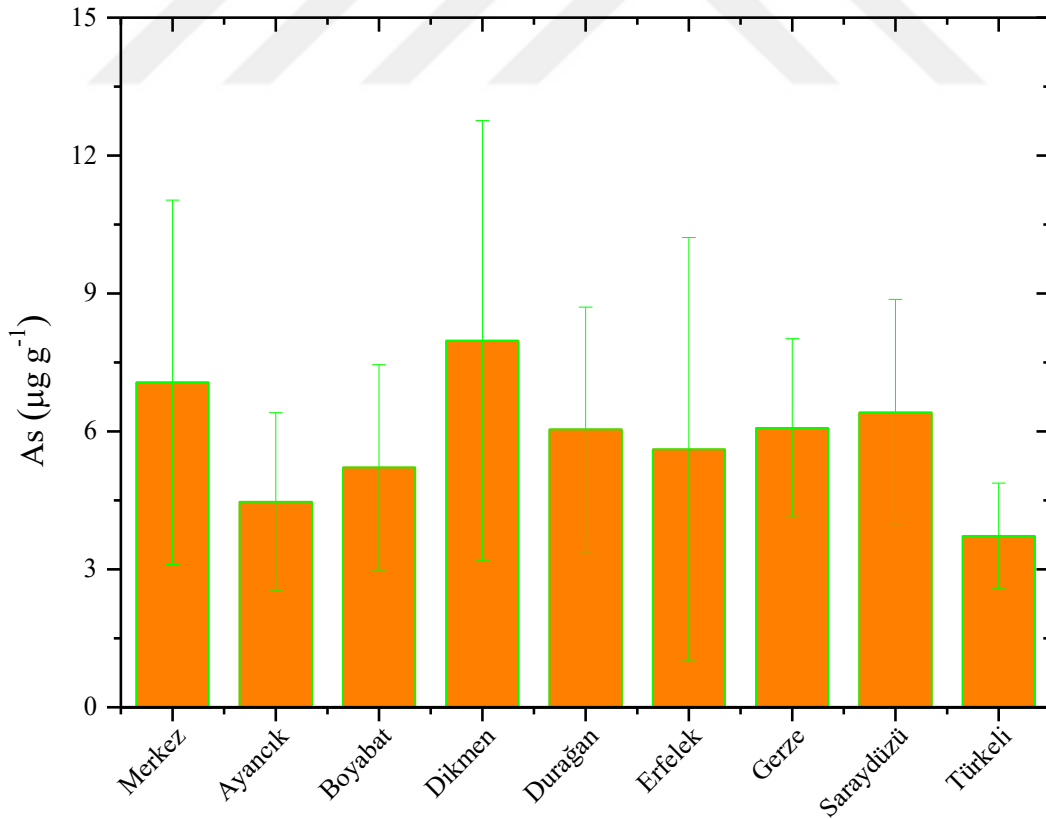
Toprak örneklerinde As konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimine bakıldığında (Şekil 19) en yüksek ortalama konsantrasyonun  $7,975 \mu\text{g g}^{-1}$  ile Dikmen istasyonunda ve en düşük ortalama konsantrasyonun  $3,727 \mu\text{g g}^{-1}$  ile Türkeli istasyonunda

olduğu görülmüştür. Tablo 26'da, Anova testinin sonucuna göre As konsantrasyonlarındaki istasyonlar arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ( $p>0,05$ ).

**Tablo 26.** Toprak örneklerinde istasyonlara göre ortalama As konsantrasyonları ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

| İstasyon  | As Konsantrasyonu  |
|-----------|--------------------|
| Merkez    | 7,068 <sup>a</sup> |
| Ayancık   | 4,470 <sup>a</sup> |
| Boyabat   | 5,219 <sup>a</sup> |
| Dikmen    | 7,975 <sup>a</sup> |
| Durağan   | 6,043 <sup>a</sup> |
| Erfelek   | 5,611 <sup>a</sup> |
| Gerze     | 6,074 <sup>a</sup> |
| Saraydüzü | 6,413 <sup>a</sup> |
| Türkeli   | 3,727 <sup>a</sup> |

<sup>a</sup> harfleri istasyonlar arasındaki verilerde  $p>0,05$  düzeyinde önemlidir.



**Şekil 19.** As konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimi.

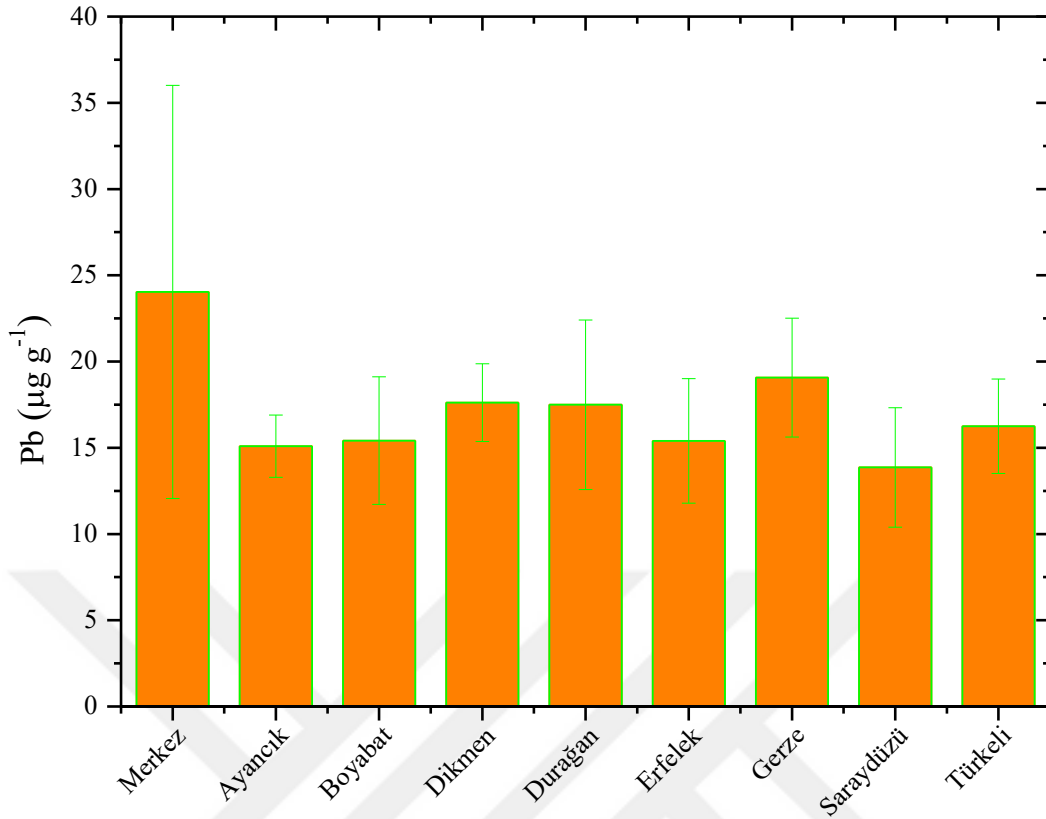
#### 4.1.7. Kurşun (Pb)

Toprak örneklerinde Pb konsantrasyonunun istasyonlara göre değişimine bakıldığında (Şekil 20) en yüksek ortalama konsantrasyonun 24,037  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Merkez istasyonunda ve en düşük ortalama konsantrasyonun 13,861  $\mu\text{g g}^{-1}$  ile Saraydüzü istasyonunda olduğu görülmüştür. Tablo 27’de, Kruskal-Wallis testinin sonucuna göre Pb konsantrasyonlarındaki istasyonlar arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

**Tablo 27.** Toprak örneklerinde istasyonlara göre ortalama Pb konsantrasyonları ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

| İstasyon  | Pb Konsantrasyonu     |
|-----------|-----------------------|
| Merkez    | 24,037 <sup>a</sup>   |
| Ayancık   | 15,087 <sup>b</sup>   |
| Boyabat   | 15,414 <sup>bc</sup>  |
| Dikmen    | 17,620 <sup>ac</sup>  |
| Durağan   | 17,495 <sup>abc</sup> |
| Erfelek   | 15,401 <sup>bc</sup>  |
| Gerze     | 19,063 <sup>ac</sup>  |
| Saraydüzü | 13,861 <sup>b</sup>   |
| Türkeli   | 16,243 <sup>bc</sup>  |

<sup>abc</sup> harfleri istasyonlar arasındaki verilerde  $p<0,05$  düzeyinde önemlidir.



Şekil 20. Pb konsantrasyonlarının ortalama değerlerinin istasyonlara göre değişimi.

#### 4.2. Korelasyon Analiz Sonuçları

Toprak örneklerinde korelasyon analiz sonuçları incelendiğinde, Cr-Fe ( $r=0,443$ ), Cr-Ni ( $r=0,824$ ), Fe-Ni ( $r=0,420$ ), Fe-Cu ( $r=0,741$ ), Fe-Zn ( $r=0,373$ ), Cu-Zn ( $r=0,386$ ), Zn-Pb ( $r=0,451$ ), As-Pb ( $r=0,510$ ) arasında pozitif yönde kuvvetli bir ilişki olduğu ve Cr-Pb ( $r=-0,235$ ), Cr-Yükseklik ( $r=-0,229$ ), Ni-As ( $r=-0,217$ ), Pb-Yükseklik ( $r=-0,225$ ) arasında negatif yönde bir ilişki görülmüştür (Tablo 28).

**Tablo 28.** Toprak örneklerinde elementler arası korelasyon katsayıları.

|           | Cr      | Fe      | Ni      | Cu      | Zn      | As      | Pb      | Yükseklik |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| Cr        | 1       |         |         |         |         |         |         |           |
| Fe        | 0,443** | 1       |         |         |         |         |         |           |
| Ni        | 0,824** | 0,420** | 1       |         |         |         |         |           |
| Cu        | 0,049   | 0,741** | 0,153   | 1       |         |         |         |           |
| Zn        | 0,101   | 0,373** | 0,165   | 0,386** | 1       |         |         |           |
| As        | -0,089  | -0,024  | -0,217* | 0,031   | 0,143   | 1       |         |           |
| Pb        | -0,235* | -0,025  | -0,176  | 0,151   | 0,451** | 0,510** | 1       |           |
| Yükseklik | -0,229* | 0,076   | -0,057  | 0,084   | -0,014  | -0,034  | -0,225* | 1         |

\*\* Korelasyon 0,01 değerinde önemli.

\* Korelasyon 0,05 değerinde önemli.

### 4.3. Toprak Örneklerinin Kirlilik Parametrelerinin Değerlendirilmesi

#### 4.3.1. Zenginleştirme faktör (EF)

Toprak örneklerinde ağır metaller için hesaplanan zenginleştirme faktör değerleri Tablo 18’de verilmiştir. Ortalama değerler göz önüne alınarak Tablo 6’daki sınıflandırmalara göre değerlendirilmiştir. Tablo 29’da görüldüğü üzere ağır metallerden kaynaklanan toprak kirliliğinin genel olarak Dikmen ve Erfelek ilçelerinde litojenik kaynaklı zenginleştirmenin olduğu, diğer ilçelerde ise antropojenik kaynaklı küçük, ortalama ve ortalama-şiddetli arası zenginleştirmenin olduğu görülmüştür.

**Tablo 29.** Toprak örneklerinin ağır metal zenginleştirme faktör (EF) değerlerinin istasyonlara göre dağılımı.

| İstasyon  | EF |                    |        |       |
|-----------|----|--------------------|--------|-------|
|           | <1 | <3                 | =3-5   | =5-10 |
| Merkez    |    | Cr, Ni, Cu, Zn,    | Pb     | As    |
| Ayancık   |    | Cr, Ni, Cu, Zn, Pb | As     |       |
| Boyabat   |    | Cr, Ni, Cu, Zn, Pb | As     |       |
| Dikmen    | Ni | Cr, Cu, Zn, Pb     |        | As    |
| Durağan   |    | Cr, Ni, Cu, Zn, Pb |        | As    |
| Erfelek   | Cu | Ni, Zn, Pb         | Cr, As |       |
| Gerze     |    | Cr, Ni, Cu, Zn, Pb | As     |       |
| Saraydüzü |    | Ni, Cu, Zn, Pb     | Cr, As |       |
| Türkeli   |    | Cr, Ni, Cu, Zn, Pb | As     |       |

#### 4.3.2. Jeobirikim indeksi ( $I_{geo}$ )

Toprak örneklerinde her bir ağır metal için hesaplanan jeobirikim indeks değerleri Tablo 19’da verilmiştir. Ortalama değerler göz önüne alınarak Tablo 7’de verilen sınıflandırmalarla değerlendirilmiştir. Bu değerlerin ilçelere göre ağır metaller ile ilişkisi Tablo 30’da gösterilmiştir. Genel olarak, As için; Merkez, Dikmen, Durağan, Gerze ve Saraydüzü, Cr için; Saraydüzü istasyonunda antropojenik, diğer metaller için litojenik kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 30.** Toprak örneklerinin ağır metal jeobirikim indeksi ( $I_{geo}$ ) değerlerinin istasyonlara göre dağılımı.

| İstasyon         | $I_{geo}$              |        |        |
|------------------|------------------------|--------|--------|
|                  | $\leq 0$               | 0-1    | 1-2    |
| <b>Merkez</b>    | Cr, Fe, Ni, Cu, Zn,    | Pb     | As     |
| <b>Ayancık</b>   | Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb | As     |        |
| <b>Boyabat</b>   | Fe, Ni, Cu, Zn, Pb     | Cr, As |        |
| <b>Dikmen</b>    | Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb |        | As     |
| <b>Durağan</b>   | Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb |        | As     |
| <b>Erfelek</b>   | Fe, Ni, Cu, Zn, Pb     | Cr, As |        |
| <b>Gerze</b>     | Fe, Ni, Cu, Zn, Pb     | Cr     | As     |
| <b>Saraydüzü</b> | Fe, Cu, Zn, Pb         | Ni     | Cr, As |
| <b>Türkeli</b>   | Fe, Ni, Cu, Zn, Pb     | Cr, As |        |

#### 4.3.3. Kirlilik faktörü ( $C_f$ )

Toprak örneklerinde ağır metaller için hesaplanan kirlilik faktör değerleri Tablo 20’de verilmiştir. Ortalama değerler göz önüne alınarak Tablo 8’deki sınıflandırmalara göre değerlendirilmiştir. Tablo 31’de görüldüğü üzere ağır metallerden kaynaklanan toprak kirliliğinin genel olarak, As için; Merkez, Dikmen, Durağan, Erfelek, Gerze ve Saraydüzü, Cr için; Saraydüzü istasyonunda antropojenik, diğer metaller için litojenik kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.



**Tablo 31.** Toprak örneklerinin ağır metal kirlilik faktör ( $C_f$ ) değerlerinin istasyonlara göre dağılımı.

| İstasyon  | $C_f$              |                    |        |
|-----------|--------------------|--------------------|--------|
|           | <1                 | 1-3                | 3-6    |
| Merkez    | Fe, Ni, Cu, Zn     | Cr, Pb             | As     |
| Ayancık   | Fe, Ni, Cu, Zn     | Cr, As, Pb         |        |
| Boyabat   | Fe, Cu, Zn         | Cr, Ni, As, Pb     |        |
| Dikmen    | Cr, Fe, Ni, Cu, Zn | Pb                 | As     |
| Durağan   | Fe, Ni, Cu, Zn     | Cr, Pb             | As     |
| Erfelek   | Fe, Cu, Zn         | Cr, Ni, Pb         | As     |
| Gerze     | Fe, Cu             | Cr, Ni, Zn, Pb     | As     |
| Saraydüzü |                    | Fe, Ni, Cu, Zn, Pb | Cr, As |
| Türkeli   | Fe, Cu, Zn         | Cr, Ni, As, Pb     |        |

#### 4.3.4. Kirlilik yük indeksi (PLI)

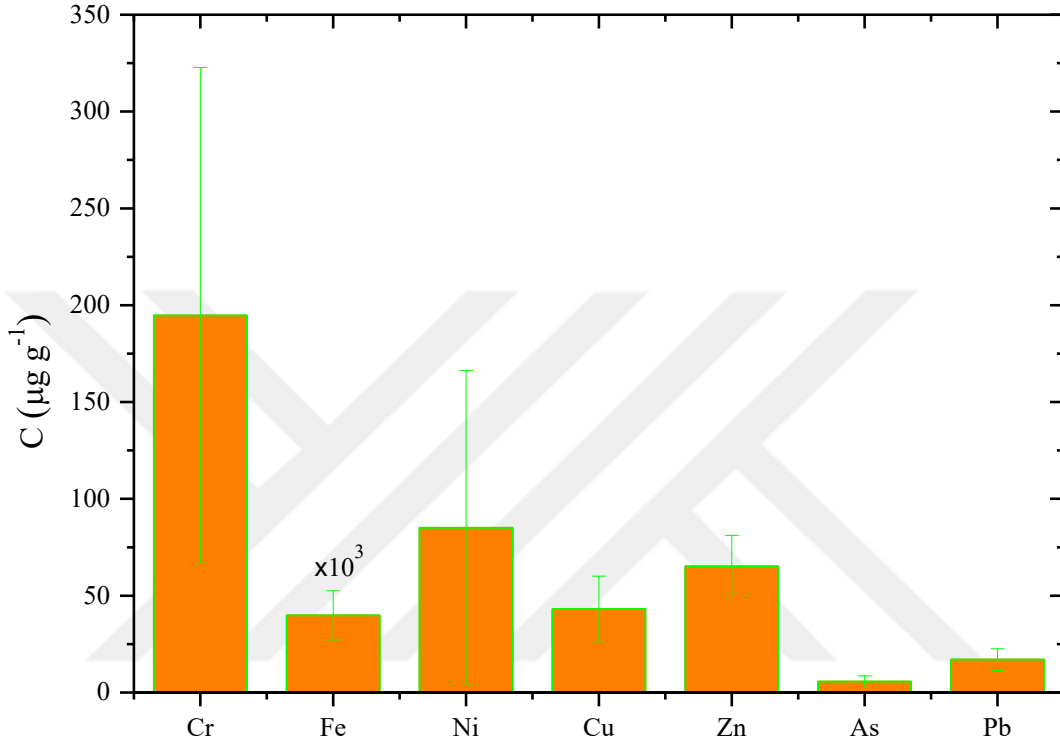
Kirlilik yük indeksi (PLI) değerleri Tablo 20’de verilmiştir. Tablo 32’ye göre bütün istasyonlarda kirliliğin olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 32.** Toprak örneklerinin ağır metal kirlilik yük indeksi (PLI) değerlerinin istasyonlara göre dağılımı.

| İstasyon  | PLI |    |
|-----------|-----|----|
|           | <1  | 1< |
| Merkez    |     | X  |
| Ayancık   |     | X  |
| Boyabat   |     | X  |
| Dikmen    |     | X  |
| Durağan   |     | X  |
| Erfelek   |     | X  |
| Gerze     |     | X  |
| Saraydüzü |     | X  |
| Türkeli   |     | X  |

#### 4.4. Sonuçların Diğer Çalışmalarla Karşılaştırılması

Şekil 21’de Sinop ili metallerin ortalama konsantrasyon değerleri karşılaştırıldığında en yüksek Fe, en düşük ise As olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 21. Sinop ili toprak örneklerinde metal konsantrasyonlarının ortalaması (N=88).

Cr için; toprak örneklerinde ortalama konsantrasyon değeri en yüksek Saraydüzü’nde en düşük Dikmen’de gözlemlenmiştir. Hesaplanan kirlilik parametre (EF,  $I_{geo}$ , Cf) değerlerine göre Cr metalinin insan kaynaklı (antropojenik) olduğu tespit edilmiştir. Tablo 33’te Sinop ili için Cr ortalama konsantrasyon değerinin literatürde yapılan Kütahya’daki çalışmadan düşük, yapılan diğer çalışmalardaki sonuçlardan yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)’nun belirlemiş olduğu izin verilebilir seviyenin üstünde olduğu gözlemlenmiştir.

Fe için; toprak örneklerinde ortalama konsantrasyon değeri en yüksek Saraydüzü’nde en düşük Türkeli’nde gözlemlenmiştir. Hesaplanan kirlilik parametre (EF,  $I_{geo}$ , Cf) değerlerine göre Fe metalinin doğal kaynaklı (litojenik) olduğu tespit edilmiştir. Tablo 33’te Sinop ili için Fe ortalama konsantrasyon değerinin literatürde

yapılan çalışmalardan yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nun belirlemiş olduğu izin verilebilir seviyenin altında olduğu gözlemlenmiştir.

Ni için; toprak örneklerinde ortalama konsantrasyon değeri en yüksek Saraydüzü'nde en düşük Dikmen'de gözlemlenmiştir. Hesaplanan kirlilik parametre (EF,  $I_{geo}$ , Cf) değerlerine göre Ni metalinin insan kaynaklı (antropojenik) olduğu tespit edilmiştir. Tablo 33'te Sinop ili için Ni ortalama konsantrasyon değerinin literatürde yapılan Kütahya'daki çalışmadan düşük, yapılan diğer çalışmalardaki sonuçlardan yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nun belirlemiş olduğu izin verilebilir seviyenin üstünde olduğu gözlemlenmiştir.

Cu için; toprak örneklerinde ortalama konsantrasyon değeri en yüksek Saraydüzü'nde en düşük Erfelek'te gözlemlenmiştir. Hesaplanan kirlilik parametre (EF,  $I_{geo}$ , Cf) değerlerine göre Cu metalinin insan kaynaklı (antropojenik) olduğu tespit edilmiştir. Tablo 33'te Sinop ili için Cu ortalama konsantrasyon değerinin literatürde yapılan Gebze'deki çalışmadan düşük, yapılan diğer çalışmalardaki sonuçlardan yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nun belirlemiş olduğu izin verilebilir seviyenin altında olduğu gözlemlenmiştir.

Zn için; toprak örneklerinde ortalama konsantrasyon değeri en yüksek Gerze'de en düşük Dikmen'de gözlemlenmiştir. Hesaplanan kirlilik parametre (EF,  $I_{geo}$ , Cf) değerlerine göre Zn metalinin insan kaynaklı (antropojenik) olduğu tespit edilmiştir. Tablo 33'te Sinop ili için Zn ortalama konsantrasyon değerinin literatürde yapılan Gebze, İzmit Körfezi ve Adana'daki çalışmalardan düşük, yapılan diğer çalışmalardaki sonuçlardan yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nun belirlemiş olduğu izin verilebilir seviyenin altında olduğu gözlemlenmiştir.

As için; toprak örneklerinde ortalama konsantrasyon değeri en yüksek Dikmen'de en düşük Türkeli'nde gözlemlenmiştir. Hesaplanan kirlilik parametre (EF,  $I_{geo}$ , Cf) değerlerine göre As metalinin insan kaynaklı (antropojenik) olduğu tespit edilmiştir. Tablo 33'te Sinop ili için As ortalama konsantrasyon değerinin literatürde yapılan çalışmalardan düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nun belirlemiş olduğu izin verilebilir seviyenin altında olduğu gözlemlenmiştir.

Pb için; toprak örneklerinde ortalama konsantrasyon değeri en yüksek Merkez en düşük Saraydüzü istasyonunda gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak, Sinop şehir merkezinde nüfusun yoğunluğu, sanayi, trafik ve insan kaynaklı atıklar olarak yorumlanabilir. Ayrıca, benzinli araçlar kuşun kirliliğinin ana kaynağı olmakla birlikte, kurşun üretimi ve işletme tesisleri dışında atık gaz arıtma sistemleri, batarya yapımı, atık batarya geri dönüşüm tesisleri, termik santraller ve demir çelik endüstrisi kurşunun diğer kaynaklarıdır (Yaylalı Abanuz, 2011). İstatistiksel analiz açıdan korelasyon değerleri incelendiğinde yükseklik ile kurşun metali arasında negatif bir ilişki, yani yükseklik artarken kurşun seviyesinin azalması (Tablo 28) ve hesaplanan kirlilik parametre ( $EF$ ,  $I_{geo}$ ,  $C_f$ ) sonuçlarının kurşun metalinin insan kaynaklı (antropojenik) olduğunun tespit edilmesi bu yorumu desteklemektedir. Tablo 33'te Sinop ili için Pb ortalama konsantrasyon değerinin literatürde yapılan diğer çalışmalardaki sonuçlardan düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nun belirlemiş olduğu izin verilebilir seviyenin altında olduğu gözlemlenmiştir.

**Tablo 33.** Toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonlarının diğer çalışmalarla karşılaştırılması ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

| Referans             | Çalışma Alanı  | Cr      | Fe    | Ni     | Cu     | Zn     | As    | Pb     |
|----------------------|----------------|---------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Coşkun vd., 2006     | Trakya Bölgesi | 173     | 26900 | 50     | 20     | 45     | 8     | 33     |
| Özkul, 2016          | Kütahya        | 288     |       | 558    | 19,6   | 57,9   | 28,1  | 21,2   |
| Yalçın vd., 2010     | Adana          | 136,100 | 1,657 |        |        | 70,700 |       | 91,425 |
| Yılmaz vd., 2003     | İzmit Körfezi  | 61      | 31000 | 37     | 33     | 72     |       | 37     |
| Yaylalı Abanuz, 2011 | Gebze          | 118     |       |        | 95,88  | 632    | 9,53  | 246    |
| Chiroma vd., 2014    | WHO            | 100     | 50000 | 50     | 100    | 300    | 20    | 100    |
| Bu çalışma           | Sinop          | 194,730 | 39849 | 85,023 | 43,193 | 65,096 | 5,660 | 17,006 |

Sonuç olarak:

1-Sinop ili toprak örneklerinde istasyonlar arasında genel olarak Saraydüzü ilçesinde ağır metal seviyelerinin en yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

2- Kirlilik parametrelerine göre genel olarak metal kirliliğinin insan kaynaklı (antropojenik) olduğu gözlemlenmiştir.

3- İstatistiksel olarak metaller arasındaki yüksek korelasyonlar Sinop ili topraklarındaki kirleticiler ve tehlikeli metallerin kaynağının benzer olduğunu göstermektedir (Yaylalı Abanuz, 2011).

4- Bu çalışmada, metallerin ortalama konsantrasyon değerlerinin Cr ve Ni hariç diğer metaller için dünya sağlık örgütünün belirlemiş olduğu izin verilebilir limit değerinin altında olduğu gözlemlenmiştir.

## 5. ÖNERİLER

Araştırılan bölgede toprak örneklemelerinin yapıldığı yerden bitki örnekleme yapılarak, topraktan bitkiye geçen ağır metallerin transfer faktörü değerleri hesaplanabilir.

Toprak örneklerinde ağır metaller için farklı spektroskopik yöntemlerle ölçümler gerçekleştirilebilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir.

Her yıl tarım yapılan arazilerle, tarım yapılmayan arazilerden toprak örnekleme yapılarak sonuçlar karşılaştırılabilir. Ayrıca, tarım yapılan arazilerde ilaçlama ve gübreleme gibi insan kaynaklı girdilerin sebep olduğu metal birikimleri değerlendirilebilir.

## KAYNAKLAR

- Abdu, N., Abdullahi, A.A. and Abdulkadir A., 2017.** Heavy metals and soil microbes. *Environmental Chemistry Letters*, 15, 65-84. DOI: 10.1007/s10311-016-0587-x
- Adriano, D.C., 1986.** Heavy metals in the terrestrial environment. Springer- Verlag, New York. 1 Edition Number, ISBN: 978-1-4757-1907-9, 533 p.
- Ağar, O., 2016.** Bazı toprak numunelerinde ağır metal konsantrasyonlarının fotoaktivasyon analizi ile belirlenmesi. Doktora Tezi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, Türkiye, 95s., 1.
- Akarsu, T., 2013.** Tokat ili bölgesi eser elementleri (Selenyum, Çinko, Bakır) referans aralıkları. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, 120 s., 12.
- Akdemir, F., 2014.** XRF ve ICP-OES teknikleri ile Van Gölü'nün su ve sedimentinin eser element analizi. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye, 125 s., 10.
- Al-haidarey, M.J.S., Hassan, F.M., Al-kubaisey, A.R A., ve Douabul, A.A.Z., 2010.** The geoaccumulation index of some heavy metals in Al-Hawizeh Marsh, Iraq. *E. Journal of Chemistry*, 7, 157–162.
- Ali, I.H. and Ateeg, A.A., 2015.** Study of soil pollutants in omdurman industrial area, sudan, using X-ray fluorescence technique. *International Journal of Environmental Research.*, 9(1), 291-294.
- Alloway, B.J., 1995.** The origins of heavy metals in soils. In: Alloway, B.J. (Ed.), *Heavy metals in soils*. Blackie Academic and Professional, London, pp. 38–57.
- Baltas, H., Kiris, E., Dalgic, G. ve Cevik, U., 2016.** Distribution of <sup>137</sup>Cs in the Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*) in Eastern Black Sea Coast of Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 107, 402–407. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.03.032
- Baltaş, H., 2006.** YBaCuO ve BiPbSrCaCuO süperiletkenlerinin soğurma katsayılarının incelenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 88 s., 15-19.
- Başçı, N., 2009.** Cr (VI) iyonunun süs bitkileri kullanılarak topraktan gideriminin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye, 87 s., 2.
- Bilge, U. ve Çimrin, K.M., 2013.** Viranşehir-Kızıltepe karayolu kenarındaki topraklarda motorlu taşıtlardan kaynaklanan ağır metal kirliliği. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 19, 323-329.



- Boğa, A., 2007.** Ağır metallerin özellikleri ve etki yolları. Arşiv, 16, 218-234.
- Brouwer, P., 2003.** Theory of XRF, PANanalytical B.V., Lelyweg 1,7602 EA Almelo. Netherlands, ISBN: 90-9016758-7 s.
- Chakravarty, I.M. and Patgiri, A.D., 2009.** Metal pollution assessment in sediments of the dikrong river, N.E. India Journal of Human Ecology, 27(1), 63-67.
- Chen, C.W., Kao, C.M., Chen, C.F., and Dong, C.D., 2007.** Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung harbor, Taiwan, Chemosphere, 66(8), 1431-1440.
- Chiroma T. M., Ebewe R. O., and Hymore F.K., 2014.** Comparative assesment of heavy metal levels in soil, vegetables and urban grey waste water used for irrigation in Yola and Kano. International Refereed Journal of Engineering and Science, 3, 01-09 ISSN: 2319-183X
- Coşkun, M., Steinnes, E., Frontasyeva, V.M., Sjobakk, T.E. and Demkina, S., 2006.** Heavy metal pollution of surface soil in the Thrace Region, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 119, 545-556. DOI: 10.1007/s10661-005-9042-3
- Daş, Y.K. ve Aksoy, A., 2015.** Yemlerde toksikolojik açıdan oluşabilecek doğal olmayan risk faktörleri. Türkiye Klinikleri Journal of Animal Nutrition and Nutritional Diseases-Special Topics. 1, 43-53.
- Daşdemir, A., 2015.** İstanbul Avrupa yakası otoban kenarlarındaki tarım arazilerinde ağır metal kirliliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Türkiye, 59 s., 10-11. 13.
- Demirezen, B., 2014.** Polimerik azometin bileşikleri ve geçiş metal komplekslerinin XRF ve XRD ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye, 67 s., 19.
- Deveci, T., 2012.** Gaziantep'te atık sulardan etkilenen toprak ve bitkilerde eser element (Cu, Co, Mn ve Zn) ve Fe konsantrasyonlarının ICP-MS ile tayini. Yüksek Lisans Tezi. Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis, Türkiye, 60 s., 4-5.
- Ekmekyapar, F., Sabudak, T. and Seren, G., 2012.** Assessment of heavy metal contamination in soil and Wheat (*Triticum Aestivum L.*) plant around the Çorlu-Çerkezköy highway in Thrace Region, Global Nest Journal, 14, 496-504.
- Ene, A., Boşneagă, A. and Georgescu, L., 2010.** Determination of heavy metals in soils using XRF technique, Romanian Journal of Physics, 55, 815-820.
- Esmeray, E., 2012.** Bazı ağır metallerin topraktaki taşınımının belirlenmesine yönelik modelleme çalışması. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, 150 s., 15-17.

- Gomes, P.C., Fontes, M.P.F., Da silva, A.G., Mendonça, E.S. and Netto, A.R., 2001.** Selectivity sequence and competitive adsorption of heavy metals by Brazilian soils. *Soil Science Society American Journal*, 65, 1115–1121. DOI: 10.2136/sssaj2001.6541115x
- Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G. ve Timur, S., 2004.** Metallerin çevresel etkileri-III. *Metalurji Dergisi*, 138 s., 64-71.
- Hakanson, L., 1980.** An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach. *Water Research*, 14(8), 975–1001.
- Hasan, B.A., Kabir, S., Selim, R.A.H.M., Zaman, M.N., Ahsan, A. and Rashid, M., 2013.** Enrichment factor and geo-accumulation index of trace metals in sediments of the ship breaking area of Sitakund Upazilla (Bhatiary–Kumira), Chittagong, Bangladesh, *Journal of Geochemical Exploration*, 125, 130-137.
- Kabata Pendias, A. and Pendias H., 2001.** Trace elements in soils and plants. CRC Press, 3rd edition, ISBN: 0-8493-1575-1, 331 p.,
- Karaca, A. ve Turgay O.C., 2012.** Toprak kirliliği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 1, 13-19.
- Karayer, A., 2013.** Kırka (Eskişehir) ve çevresindeki bazı tarım alanlarındaki topraklarda ve bitkilerde ağır metal içeriklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 114 s., 18.
- Katahira, K., Yoneda, M. and Morisawa, S., 2000.** Characteristics of metal element distribution in urban surface soil and plants: observations in kyoto city area and stochastic analysis, *Environmental Technology*, 21, 505-513. DOI: 10.1080/09593332108618089
- Loska, K., Cebula, J., Pelczar, J., Wiechula, D. and Kwapulinski, J., 1997.** Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the bybnik water reservoir in Poland, *Water, Air And Soil Pollution*, 93, 347–365.
- Lund, L.J., Page, A.L. and Nelson, C.O., 1976.** Movement of heavy metals below sewage disposal ponds. *Journal of Environmental Quality*, 5, 330–334. DOI: 10.2134/jeq1976.00472425000500030023x
- Mehr, M.R., Keshavarzi, B., Moore, F., Sharifi, R., Lahijanzadeh, A. and Kermani, M., 2017.** Distribution, source identification and health risk assessment of soil heavy metals in urban areas of Isfahan Province, Iran, *Journal Of African Earth Sciences*, 132, 16-26. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2017.04.026
- Özbaş, E.E., 2011.** Heavy metals in surface soils of groves: A study from Istanbul, Turkey. *Scientific Research And Essays*, 6, 1667-1672. DOI: 10.5897/SRE11.270

- Özbek, Z., 2010.** Topraktaki ağır metaller için sınır değerlerin uygulanabilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 201 s., 2.
- Özbolat, G. ve Tuli, A., 2016.** Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. Arşiv Kaynak Tarama Dergisi, 25, 502-521. DOI: 10.17827/aktd.253562
- Özkul, C., 2008.** İzmit (Kocaeli) civarında endüstrileşmenin toprak ağır metal derişimine etkisi. Uygulamalı Yerbilimleri, 2, 1-9.
- Özkul, C., 2016.** Heavy metal contamination in soils around the Tunçbilek Thermal Power Plant (Kütahya, Turkey). Environ. Monit. Assess., 284 DOI: 10.1007/s10661-016-5295-2
- Poyraz, G., 2016.** Aydın Buharkent yöresinde jeotermal sularla sulanan toprak ve bitki örneklerinde bazı kirletici parametrelerin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın, Türkiye, 117 s., 27. 28.
- Qing, X., Yutong, Z. and Shenggao, L., 2015.** Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China, Ecotoxicology And Environmental Safety, 120, 377-385. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2015.06.019
- Sarı, T., 2009.** Edirne ve çevresinde otoban kenarlarındaki topraklarda bazı ağır metal kirliliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Türkiye, 62 s., 10. 12. 15.
- Şahmetlioğlu, N., 2004.** Asit özellikteki topraklarda kireçlemenin topraktaki ağır metal (Cd, Cr, Ni, Pb, Cu) konsantrasyonuna ve yulaf bitkisinin verimine etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, Türkiye, 86 s., 1.
- Taylor, S.R., 1964.** Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. Geochimica et Cosmochimica Acta, 28, 1273-1285.
- Terzi, H. ve Yıldız, M., 2011.** Ağır metaller ve fitoremediasyon: fizyolojik ve moleküler mekanizmalar. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11, 1-22.
- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G, Harris, C.R. and Jeffrey, D.W., 1980.** Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. Helgoländer Meeresuntersuchungen, 33, 566-575. DOI: 10.1007/BF02414780
- Tuzluca, F.N., 2007.** Bazı elementlerin L tabakasından M ve N tabakasına boşluk geçiş ihtimallerinin ölçülmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye, 63s., 1, 15-17.
- TÜİK, 2013.** Seçilmiş göstergelerle Sinop. Ankara, Türkiye, 4274, 188 s.
- Türközü, D. ve Şanher, N., 2012.** Gıdalardaki ağır metal kontaminasyonları: Güncel bakış. Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 26, 73-80.

- Van Grieken, R. and Markowicz, A.A., 1993.** Handbook of X-ray spectrometry, marcell dekker, New York, 704.
- Yalcin, M.G., Tumuklu, A., Sonmez, M. and Erdag, D.S., 2010.** Application of multivariate statistical approach to identify heavy metal sources in bottom soil of the Seyhan river (Adana), Turkey, Environmental Monitoring and Assessment, 164, 311-322. DOI: 10.1007/s10661-009-0894-9
- Yaylılı Abanuz, G., 2011.** Heavy metal contamination of surface soil around Gebze industrial area, Turkey, Microchemical Journal, 99, 82-92, DOI: 10.1016/j.microc.2011.04.004
- Yılmaz, E., Baltas, H., Kırıs, E., Ustabas, I., Cevik, U. and El-Khayatt, A.M., 2011.** Gamma ray and neutron shielding properties of some concrete materials. Annals of Nuclear Energy, 38, 2204-2212.
- Yılmaz, F., Yılmaz, Y.Z., Ergin, M., Erkol, A.Y., Muftuoglu, A.E. and Karakelle, B., 2003.** Heavy metal concentrations in surface soils of Izmit Gulf Region, Turkey. Journal of Trace and Microprobe Techniques, 21, 523-531, DOI: 10.1081/TMA-120023068
- Yücel, D., 2010.** Sakarya ili sanayi bölgesinin yakın çevresinde ve şehir merkezinde oluşturduğu atmosferik ağır metal birikim seviyelerinin bir biyomonitör karayosunu (*Hypnum Cupressiforme Hedw.*) ve toprak örnekleri üzerinden araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye, 103s., 11-14.
- Zincirlioğlu, N., 2013.** Manisa-Akhisar yöresinde bulunan kimi tarım arazilerinin ağır metal içeriklerinin araştırılması. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi., 50(3), 333-339.

## ÖZGEÇMİŞ

Emre GÖKBAYRAK 19.05.1988 tarihinde Artvin’ de doğdu. İlköğretimini 2002 yılında Artvin’nin Şavşat ilçesinde Şavşat Atatürk İlköğretim Okulu’nda, Ortaöğretimini 2005 yılında Artvin’nin Şavşat ilçesinde Şavşat Çok Programlı Lisesinde tamamladı. 2008 tarihinde başladığı lisans eğitimini 2015 tarihinde Karabük Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü’nde tamamladı. 2015 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda başladığı Yüksek Lisans öğrenimini halen devam ettirmektedir.

