BÜNYAMİN BODUR

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ - CERRAHPAŞA
ADLİ TIP VE ADLİ BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL-2020

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ - CERRAHPAŞA
ADLİ TIP VE ADLİ BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ SELDA MERCAN

İSTANBUL'DAKİ BAZI OTOYOL KENARI TOPRAK ÖRNEKLERİNİN AĞIR METAL PROFİLLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

FEN BİLİMLERİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BÜNYAMİN BODUR

İSTANBUL-2020

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ - CERRAHPAŞA
ADLİ TIP VE ADLİ BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ SELDA MERCAN

İSTANBUL'DAKİ BAZI OTOYOL KENARI TOPRAK ÖRNEKLERİNİN AĞIR METAL PROFİLLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

FEN BİLİMLERİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BÜNYAMİN BODUR

İSTANBUL-2020

TEŞEKKÜR

Bilgi ve tecrübeleriyle tez çalışmamın her aşamasında beni destekleyen değerli danışmanım İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü öğretim üyesi Dr. Öğr. Üyesi Selda MERCAN'a,

Tez çalışmam için numunelerin toplanması aşamasında yardımlarını esirgemeyen sevgili kuzenim Hakan KÖSE'ye,

Laboratuvarda geçirdiğim süre boyunca özverili ve samimi yardımlarından dolayı Biy. Murat YAYLA'ya,

Çalışmalarımın her aşamasında hiçbir zaman desteğini esirgemeyen sevgili eşim Esra ve oğlum Ali Kerem'e,

Her zaman ve her koşulda yanımda olduklarını hissettiğim, vermiş oldukları maddi ve manevi destekle bu aşamaya gelmemde büyük emekleri olan AİLEME sonsuz teşekkür ederim.

Bünyamin BODUR

İstanbul, Haziran 2020

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: 30917

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....İİ
İÇİNDEKİLER.....İV
TABLOLAR LİSTESİ.....Vİ
ŞEKİLLER LİSTESİ.....Vİİ
SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ.....X
ÖZET.....Xİ
ABSTRACT.....Xİİİ
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....1
2. GENEL BİLGİLER.....3
2.1 Toprağın Yapısı ve Bileşenleri.....3
2.1.1 Toprağın katı fazı.....4
2.1.1.1 İnorganik maddeler.....4
2.1.1.2 Organik maddeler.....4
2.1.2 Toprağın sıvı fazı.....4
2.1.3 Toprağın gaz fazı.....5
2.2 Toprağın Türleri.....5
2.2.1 Zonal (yerli) topraklar.....5
2.2.2 İntrazonal topraklar.....6
2.2.3 Azonal (taşınmış) topraklar.....7
2.3 Adli Bilimlerde Toprak.....7
2.4 Çevre Toksikolojisinde Toprak.....9
2.5 Ağır Metal Toksikolojisi.....10
2.5.1 Ağır metallerin insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri.....11
2.6 Adli Toprak Analizi.....11
2.6.1 Toprağın morfolojik analizi.....12
2.6.2 Toprağın minerolojik analizi.....13
2.6.3 Toprağın kimyasal analizi.....14
2.6.4 Toprağın elementel analizi.....14
2.6.4.1 XRF sistemi.....15
2.6.4.2 AAS sistemi.....15

2.6.4.3 ICP-MS sistemi....16
3. GEREÇ VE YÖNTEM....18
3.1 Kullanılan Ekipmanlar....18
3.2 Kullanılan Kimyasallar....19
3.3 ICP-MS Sistemi Analiz Parametreleri....20
3.4 Kalibrasyon Bilgileri....21
3.4.1 Sertifikalı referans materyal....23
3.4.2 Çalışmada kullanılan çözeltilerin hazırlanması....24
3.4.3 İç standart çözeltisi (2 μg/mL In + Ga)....24
3.4.4 Numune hazırlama çözeltisi (%2 HNO_3)....24
3.4.5 Örnek ekstraksiyon çözeltisi (0,43 mol/L asetik asit)....24
3.5 Yöntem....25
3.5.1 Numunelerin toplanması....25
3.5.2 Örnek hazırlama....27
3.5.3 Numunelerin ICP-MS sistemi ile analizi....29
3.5.4 Geçerlilik Çalışmaları....30
4. BULGULAR....33
5. TARTIŞMA....56
6. SONUÇ....62
KAYNAKLAR....64
ÖZGEÇMİŞ....70

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo I. Çalışmada kullanılan ekipmanlar 18
Tablo II. Çalışmada kullanılan kimyasallar 19
Tablo III. ICP-MS sistemi analiz parametreleri 20
Tablo IV. Kalibrasyon çözeltilerinin hazırlanması 21
Tablo V. Tam kantitatif ve yarı kantitatif analiz edilen inorganik elementler 22
Tablo VI. Sertifikalı referans toprak materyalinin sertifika değerleri 23
Tablo VII. Toplanan numunelerin bölge ve mesafeye bağlı olarak kodlanması 26
Tablo VIII. Ham sonuçların hesaplanması için kullanılan excel tablosu 32
Tablo IX. ICP-MS sistemi performans değerleri 42
Tablo X. Sistem geri kazanım ve tekrar edilebilirlik sonuçları 43
Tablo XI. Sonuçların sertifikalı referans değerler ile karşılaştırılması 43
Tablo XII. E80 Tem otoyolu yol kenarı toprağı inorganik element içerikleri 44
Tablo XIII. KMO'u yol kenarı toprağı inorganik element içerikleri 45
Tablo XIV. E80 ve KMO'u Mg, K, Ca, Ni, Cu, Cr, Zn, As, Sr, Cd, Ba ve Pb konsantrasyonları 59

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2-1. Toprağın bileşenleri (8) 3
Şekil 2-2. Toprak tipleri (12) 5
Şekil 2-3. Adli toprak bilimi şematik gösterimi (22) 8
Şekil 2-4. Toprak kirletici tipleri (29) 9
Şekil 2-5. Ağır metallerin hücre içi etkileri (33) 10
Şekil 2-6. Munsell renk kataloğu (37) 12
Şekil 2-7. XRD sistemi çalışma mekanizması (42) 14
Şekil 2-8. XRF çalışma esası şematik gösterimi 15
Şekil 2-9. Atomoik absorpsiyon spektrometresinin kısımları 16
Şekil 2-10. ICP-MS kullanım alanları (51) 16
Şekil 2-11. ICP-MS sistemi şematik görünümü (54) 17
Şekil 3-1. Numunelerin toplanması ve zarflara konulması 25
Şekil 3-2. Etüvde kurutulmaya bırakılmış örneklerin görüntüsü 27
Şekil 3-3. Precisa XB 220 A analitik terazi ve falcon tüplere alınmış toprak çözeltisi .. 27
Şekil 3-4. GFL 3017 marka çalkalayıcı 28
Şekil 3-5. Hettic Universal 320 R model soğutmalı santrifüj 28
Şekil 3-6. ICP-MS sisteminin görüntüsü 29
Şekil 3-7. Numunelerin hazırlanması ve analiz edilmesi 30
Şekil 3-8. Hesplama yönteminde kullanılan formül 31
Şekil 4-1. Li elementi kalibrasyon eğrisi 33
Şekil 4-2. Be elementi kalibrasyon eğrisi 34
Şekil 4-3. Mg elementi kalibrasyon eğrisi 34
Şekil 4-4. Al elementi kalibrasyon eğrisi 35
Şekil 4-5. Ca elementi kalibrasyon eğrisi 35
Şekil 4-6. Cr elementi kalibrasyon eğrisi 36
Şekil 4-7. Mn elementi kalibrasyon eğrisi 36
Şekil 4-8. Co elementi kalibrasyon eğrisi 37
Şekil 4-9. Ni elementi kalibrasyon eğrisi 37
Şekil 4-10. Cu elementi kalibrasyon eğrisi 38
Şekil 4-11. Zn elementi kalibrasyon eğrisi 38
Şekil 4-12. As elementi kalibrasyon eğrisi 39

Şekil 4-13. Sr elementi kalibrasyon eğrisi 39
Şekil 4-14. Cd elementi kalibrasyon eğrisi 40
Şekil 4-15. Ba elementi kalibrasyon eğrisi 40
Şekil 4-16. Pb elementi kalibrasyon eğrisi 41
Şekil 4-17. U elementi kalibrasyon eğrisi 41
Şekil 4-18. Li metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması 46
Şekil 4-19. Be metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması 46
Şekil 4-20. Mg metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması 47
Şekil 4-21. Al metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması 47
Şekil 4-22. K metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması 48
Şekil 4-23. Ca metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması 48
Şekil 4-24. Cr metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması 49
Şekil 4-25. Mn metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması 49
Şekil 4-26. Co metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması 50
Şekil 4-27. Ni metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması 50
Şekil 4-28. Cu metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması 51
Şekil 4-29. Zn metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması 51
Şekil 4-30. As metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması 52
Şekil 4-31. Rb metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması 52

Şekil 4-32. Sr metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması..... 53
Şekil 4-33. Cd metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması..... 53
Şekil 4-34. Ba metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması..... 54
Şekil 4-35. Pb metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması..... 54
Şekil 4-36. U metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması..... 55

SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ

kg	:	Kilogram
mg	:	Miligram
mg/kg	:	Miligram/Kilogram
mL	:	Mililitre
mm	:	Milimetre
µ	:	Mikron
µg/g	:	Mikrogram/Gram
ng/mL	:	Nanogram/Mililitre
p	:	İstatiksel anlamlılık değeri
Rpm	:	Dakikadaki devir sayısı
MS	:	Kütle spektrometresi
RSD	:	Bağıl standart sapma
AAS	:	Atomik absorpsiyon spektrometresi
XRD	:	X-ışını kırınımı
XRF	:	X-ışını floresans spektrometresi
ICP-MS	:	İndüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi
CRM	:	Sertifikalı referans materyal
LOD	:	Gözlenebilme sınırı
LOQ	:	Tayin sınırı
E80-B	:	E80 Tem Otoyolu Bahçeşehir mevkii
E80-M	:	E80 Tem Otoyolu Mahmutbey mevkii
KMO-A	:	Kuzey Marmara Otoyolu Arnavutköy mevkii
KMO-O	:	Kuzey Marmara Otoyolu Odayeri mevkii

ÖZET

Toprak, adli vakalarda olay yerinden veya herhangi bir şekilde suçlu ile taşınarak elde edilebilen, içeriğinde adli bir olayı aydınlatacak bilgileri barındıran ve suç-fail-olay yeri arasında bağlantı kurulmasını sağlayacak en önemli deliller arasındadır. Bu amaçla farklı bölgelerde bulunan toprak tiplerinin inorganik içerikleri araştırılmalı ve bu bölgelerde toprak kirliliğine sebep olan çevresel faktörlerin, toprak içeriğindeki inorganik element profilini nasıl etkilediği incelenmelidir.

Bu çalışmada, İstanbul'da bulunan bazı otoyol kenarı toprak örneklerinin analizleri yapılarak, toprak içeriğinde bulunan ve araç emisyonlarından kaynaklı inorganik elementlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, trafik yoğunlukları farklı olan, E80 Tem Otoyolu ve Kuzey Marmara Otoyolunun (KMO) toplamda 4 farklı bölgesinden yol kenarına 0 m, 10 m ve 25 m uzaklıktan ve (0-5 cm) yüzey toprağından numuneler toplanmıştır. Bu örnekler üzerinde, İndüktif Eşleşmiş Plazma- - Kütle Spektrometresi (ICP-MS) sistemi kullanılarak 24 adet elementin inorganik analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada araç emisyonlarından kaynaklanan ve toprak kirliliğine sebep olan inorganik element konsantrasyonlarının, yol kenarı mesafesi ve trafik yoğunluğu ile olan bağlantıları incelenmiştir. Elde edilen veriler kaydedilerek otoyol kenarı topraklarının inorganik element profilleri oluşturulmuş ve bu verilerin adli bilimler açısından önemine değinilmiştir.

ICP-MS sistemi kullanılarak yapılan analizler sonucunda tüm elementler için korelasyon katsayıları >0.997 olarak bulunmuştur. Tespit limiti (LOD) tüm konsantrasyonlar için 0.01 – 3.94 ng/mL aralığında ve tayin limiti (LOQ) 0.03 – 13.40 ng/mL aralığında bulunmuştur. Elde edilen tüm veriler için bağıl standart sapma (RSD) değerleri %20'nin altındadır. Geri kazanım değerleri %64.0 - %114.95 aralığında tespit edilmiştir. Her iki otoyol için, yol kenarından uzaklaşıldıkça toprak içeriğinde bulunan magnezyum (Mg), kalsiyum (Ca), krom (Cr), mangan (Mn), bakır (Cu), çinko (Zn) ve kurşun (Pb) konsantrasyonlarında belirgin şekilde azalma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca trafik yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde, trafik yoğunluğunun az olduğu bölgelere oranla daha fazla miktarda magnezyum (Mg), potasyum (K), kalsiyum (Ca), krom (Cr), mangan (Mn), nikel (Ni), bakır (Cu), çinko (Zn), arsenik (As), stronsiyum

(Sr), kadmiyum (Cd), baryum (Ba) ve kurşun (Pb) tespit edilmiştir. Çalışmada ICP-MS sistemini kullanılmasının nedeni, tek analizle 24 adet elementin aynı anda analizinin gerçekleştirilmesine olanak sağlaması, yüksek duyarlılık ve düşük tespit limitlerinde sonuçlar vermesidir.

Anahtar Kelimeler: Adli toprak, Ağır metal, Yol kenarı toprağı, Adli toksikoloji, Çevre toksikolojisi.

ABSTRACT

Soil is one of the most important evidences that can be obtained from the crime scene or in any way by moving with the criminal in criminal cases, which contains information to illuminate a forensic incident and to establish a connection between the criminal and the crime scene. For this purpose, the inorganic contents of soil types in different regions should be investigated and the environmental factors causing soil pollution in these regions should be examined how the inorganic element content in the soil content affects.

In this study, it was aimed to analyze some highway edge soil samples in Istanbul and to determine inoragnic elements in the soil content and arising from vehicle emissions. In this context, samples were collected from 4 different regions of the E80 Tem Highway and Northern Marmara Highway (KMO), with different traffic densities, at a distance of 0 m, 10 m and 25 m from the roadside (0-5 cm) and surface soil. On these samples, inorganic analysis of 24 elements was performed using an Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) system.

In the study, the connections of inorganik element concentrations resulting from vehicle emissions and causing soil pollution with roadside distance and traffic density were investigated. By recording the obtained data, inorganik element profiles of highway edge soils were formed and the importance of these data in terms of forensic science was mentioned.

As a result of the analyzes made using the ICP-MS system, the correlation coefficients for all elements were found to be >0.997. The detection limit (LOD) was in the range of 0.01 to 3.94 ng/mL for all concentrations and the detection limit (LOQ) was in the range of 0.03 to 13.40 ng/mL. Relative standard deviation (RSD) values for all data obtained are below 20%. Recovery values were determined in the range of 64.01 % - 114.95 %. For both highways, it was determined that there was a significant decrease in the concentrations of magnesium (Mg), calcium (Ca), chromium (Cr), manganese (Mn), copper (Cu), zinc (Zn) and lead (Pb) contained in the soil content as we moved away from the roadside. In addition, in areas with high traffic density, compared to regions with low traffic density more magnesium (Mg), potassium (K), calcium (Ca), chromium (Cr), manganese (Mn), nickel (Ni), copper (Cu), zinc (Zn),

arsenic (As), strontium (Sr), cadmium (Cd), barium (Ba) and lead (Pb) were detected. The reason we use the ICP-MS system in the study is that it allows the simultaneous analysis of 24 elements with a single analysis, giving results at high sensitivity and low detection limits.

Keywords: Forensic soil, Heavy metal, Roadside soil, Forensic toxicology, Environmental toxicology.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Toprak, jeoloji bilimi ile birlikte literatüre giren magmatik, metamorfik ve sedimanter süreçlerle oluşan kayaçların, atmosferik etkilerle parçalanması sonucu meydana gelen, içeriğinde belirli oranlarda organik ve inorganik maddeler bulunduran karmaşık yapıya sahip bir materyaldir (1).

Günlük hayatımızda önemli bir yere sahip olan motorlu taşıtlar, hava kirliliğinin %50'sini oluşturmaktadır. Taşıtlardan salınan ve zararlı etkiye sahip egzoz emisyonları, yoğun trafiğin yaşandığı kavşaklar ve ana yolları etrafında tehlikeli seviyelere ulaşabilmektedir (2). Karayolu trafiği faaliyetleri yol kenarındaki topraklara yönelik ağır metal emisyonunun ana kaynağıdır ve en yoğun ağır metal kirliliği, yoğun trafik bulunan bölgelerde gözlenmektedir. Bu nedenle, karayolu trafiğinin yol açtığı ağır metal birikimi ile ilgili çalışmalar bölgenin çevre koruma ve insan sağlığı/güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Daha önce de yapılmış birçok çalışmada yol kenarındaki topraklarda ağır metal konsantrasyonları üzerindeki taşıt emisyonlarının etki mekanizması araştırılmış ve genellikle trafik kirliliğini değerlendirmek için, bakır (Cu), çinko (Zn), kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) elementleri kullanılmıştır (3).

Ağır metaller vücuda toprak, hava ve toz içerisinde, dermal, oral veya inhalasyon yoluyla girebilir ve düşük dozlarda bile ağır metaller insanlarda ciddi hastalıklara neden olabilir (4). Örneğin, insan sağlığı için en tehlikeli ağır metallerden biri olan Cd elementine yüksek dozda maruz kalınması kanserin yanı sıra böbrek, kalp, iskelet ve üreme sistemi üzerine olumsuz etkilere neden olabilir. Pb zehirlenmesi nörolojik ve davranışsal bozukluklara neden olabilir ve kan Pb seviyesini etkileyebilir. Cu ve Zn insan vücudundaki temel elementler olmasına karşın aşırı dozları hastalıklara neden olur (5).

Son zamanlardaki teknolojik ve bilimsel araştırmalar sonucunda, çevresel kaynaklı zehirlenmelerde ve adli vakalarda toprak incelemelerinin önemi artmıştır. Toprak içeriğinde bulunan ağır metaller, toprakta yetişen bitkiler ve bu bitkileri tüketen canlıların vücudunda birikerek tehlikeli seviyelere ulaşabilir (6).

Yol kenarı toprağının inorganik element açısından kirli olması bu bölgede solunan havanın da aynı ölçüde kirli olduğunun bir göstergesidir. Bu veri, gerek

sürücüler ve trafik görevlileri için gerekse karayolu çalışanları için mesleki maruziyet kaynağı olabilmektedir. Yol kenarı toprak kirliliği halk sağlığı ve işçi sağlığı açısından önemli olduğu kadar, toprağın karkateristik özelliklerinin belirlenmesi ve ayırt edilmesi açısından da önem arz etmektedir. Şöyle ki; trafik yoğunluğunun fazla olduğu bir olay yerinden alınan toprak örneğindeki inorganik içeriğin, mukayese örneklerinden daha yüksek olması, adli bir olayın aydınlatılmasında yol gösterici olabilmektedir.

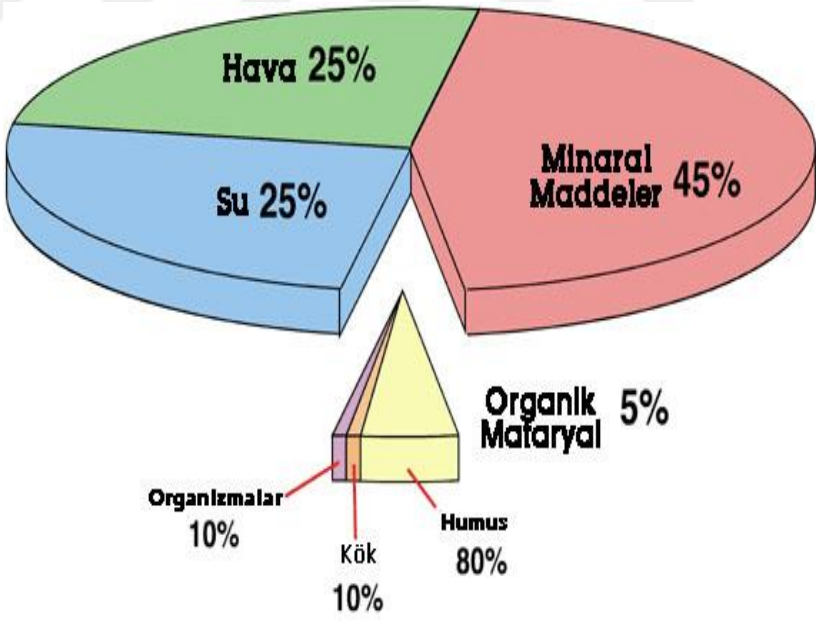
Fail veya kurbanla ya da herhangi bir alet, araç vb. ile taşınan toprak numunesi sayesinde aydınlatılan pek çok kriminal dava olduğundan, toprak örneği, kriminal araştırmalarda yol gösterici bir kanıt olarak önemli bilgiler sağlayabilmektedir (7). Toprak örnekleri gerek olay yerinden direkt olarak, gerekse ilgili kanıtlardan dolaylı olarak elde edilebilir ve içeriğinde olayı aydınlatmada katkı sağlayabilecek herhangi bir yabancı maddenin, karakteristik özelliklerin, ayırt etme gücü yüksek herhangi bir materyalin analizi yapılabilir. Bu amaçla farklı bölgelerdeki toprak tiplerinin, toprağın farklı biyolojik materyalleri tutma yeteneğinin ve çevresel koşulların toprağın fiziksel, mikrobiyolojik, organik ve inorganik yapısına olan etkilerinin araştırılması gerekmekedir. Her ne kadar dünya genelinde toprak numunelerinin farklılık gösterdiği bölgelere göre sınıflandırılmasına ve ayırım gücünün belirlenmesine dair araştırmalar yapılsa da ülkemizde buna yönelik bir araştırma bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, toprağın adli bilimler açısından önemli bir delil olduğunu göstermektir. İstanbul'da bulunan iki farklı otoyol olan Kuzey Marmara Otoyolu (KMO) ve E80 Tem Otoyolu'nun farklı bölgelerinden ve yol kenarına belirli uzaklıklardan alınacak toprak numunelerinin inorganik içerik bakımından aralarında anlamlı fark olup olmadığı, trafik yoğunluğu ve artan yol kenarı mesafesinin, bu fark üzerinde ne gibi etkileri olduğu araştırılarak elde edilen veriler adli bilimler çerçevesinde değerlendirilecektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Toprağın Yapısı ve Bileşenleri

Toprak katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç ayrı kısımdan oluşmuştur. Organik ve inorganik bileşikler katı fazı, toprak suyu sıvı fazı ve havadan oluşan bölüm ise gaz fazını oluşturan kısmlardır. İnorganik ve organik maddelerin topraktaki miktarları ağırlık bakımından birçok çok faktöre göre değişikenlik gösterebilmektedir. Örnek verilecek olursa kumlu bir toprakta inorganik materyaller %100 olabileceği gibi organik oluşumlu topraklarda inorganik materyaller %5 oranlarına kadar inebilmektedir. Ancak orta ve verimli bir toprağın inorganik materyal içeriğinin %95 oranında, organik materyal içeriğinin ise %5 oranında olduğu söylenebilir (8). Şekil 2.1'de toprak bileşenleri ve bu bileşenlerin toprak içeriğinde bulunma oranları gösterilmiştir.



Şekil 2-1. Toprağın bileşenleri (8)

2.1.1 Toprağın katı fazı

Toprağın katı fazı, inorganik ve oganik olmak üzere iki gruba ayrılır.

2.1.1.1 İnorganik maddeler

Toprak içeriğinde bulunan inorganik maddelerin esas kaynağı anataş veya anamateryaldir. Taşların ayrışmasından çakıllar, çakılların ayrışmasından kum ve tozlar meydana gelir. Ayrışma sonucunda oluşan kum ve tozlar da kimyasal çözünmeye uğrayarak kendilerini meydan getiren minerallere ve bu mineraller de elementlerine ayrışır (9).

Doğada bulunan bütün elementler toprakta bulunabilir. Fakat O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Ti, P, Mn, S, Cl ve C olmak üzere 14 element yeryüzü kabuğunun %99.8'ini oluştururlar. Bu elementler içerisinden yalnızca O, Si, Al ve Fe toprak inorganik bileşiminin %90'ını meydana getiriler. Diğer elementlerin topraktaki miktarları oldukça azdır (8).

2.1.1.2 Organik maddeler

Orgnik maddeler toprakta bulunan canlı organizmalarla birlikte bitki ve hayvan artıklarının toprakta birikmesi ile oluşur. Toprağa düşen yaprak, kök ve çeşitli bitki atıkları ile bunlardan ayrışan her türlü maddeler organik madde olarak tanımlanır. Toprakta yaşayan mikroorganizmaların toprağa düşen bütün organik maddeleri parçalayıp ayrıştırması sonucu organik atıklar meydana gelir (10).

2.1.2 Toprağın sıvı fazı

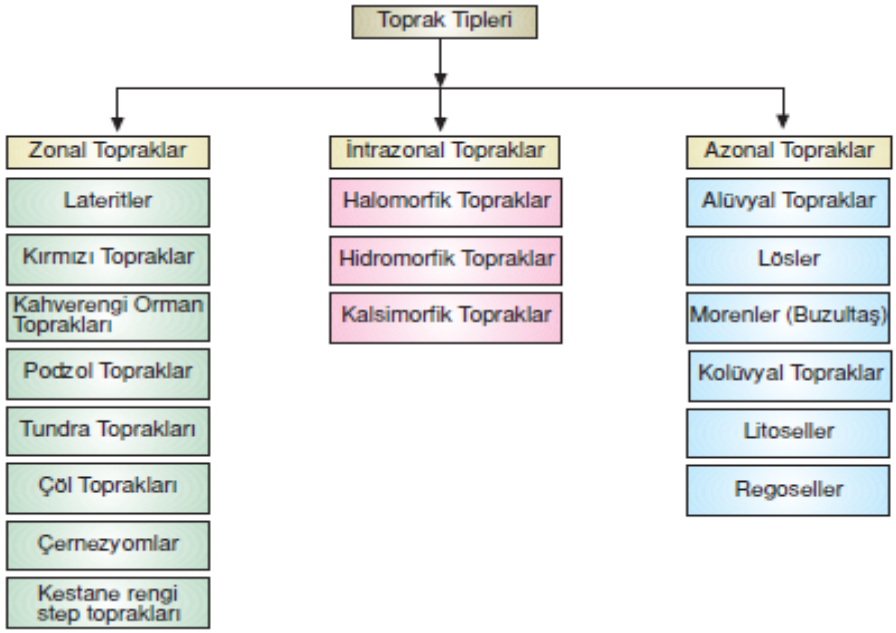
Toprağın sıvı fazı, içeriğinde besin tuzları ve birçok iyon bulunduran toprak suyu veya toprak çözeltisi olarak adlandırılan kısımdır. Toprak suları, bitkilerin yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmeleri için gerekli olan besinleri ve organik maddeleri bünyelerinde barındırırlar (11).

2.1.3 Toprağın gaz fazı

Toprak canlı bir varlık olduğu için solunum yapar, bu sebeple de havaya ihtiyacı vardır. Toprak tanecikleri arasında kalan boşluklara hava ve su tanecikleri yerleşir. Toprakta bulunan bitki kökleri ve mikroorganizmaların solunumu ile birlikte çok miktarda CO_2 açığa çıkar. Bu sebeple toprak havası, atmosferik havaya oranla CO_2 bakımından çok daha zengindir. Aynı şekilde su buharı bakımından da daha doygundur. Oksijen bakımından toprak havasındaki oksijen oranı atmosferdekinden daha düşüktür (9).

2.2 Toprağın Türleri

Başlıca toprak türleri Şekil 2.2'de görüldüğü üzere zonal, intrazonal ve azonal topraklar olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır.



Şekil 2-2. Toprak tipleri (12)

2.2.1 Zonal (yerli) topraklar

Bir bölgenin iklim şartları, bitki örtüsü ve çevresel etkilerle kayaçların parçalanması ile oluşan topraklardır. Aynı zamanda yerli topraklar olarakda da adlandırılır ve normal bir toprak özelliğine sahiptirler. Başlıca türleri; laterit topraklar, kırmızı topraklar, kahverengi orman toprağı, podzol topraklar, tundra toprakları, çöl

toprakları, bozkır (step) toprakları ve çernezyom (kara) topraklarıdır (13). Laterit topraklar besin maddeleri bakımından yeterince zengin değildir. Bu topraklar üzerinde tarım yapılabilmesi için sürekli gübrelenmelidir. Laterit topraklar bitki örtüsü yönünden çıplaklaşması çölleşmeye yol açmaktadır ve verim bakımından çöl bölgelerine benzemektedir. Kırmızı topraklar akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü kızılçam ve maki örtüsü altında gelişmiş topraklardır. Bu toprakların kırmızı renkte olmasının sebebi demirin iyi oksitlenmesinden (Fe_2O_3) kaynaklanmaktadır. Kahverengi orman toprağı nemli-ılıman iklimlerde yaprağını döken ormanlar altında görülür. Organik maddeler üst toprakla karışmış durumdadır. İklim şekli ve yağış miktarına göre kireçli kahverengi orman toprağı ve asit reaksiyonlu orman toprağı şekilleri mevcuttur. Podzol topraklar soğuk ve nemli iklim koşullarında oluşan topraklardır. İklimin soğuk olması nedeniyle, bitkisel atıkların toprak yüzeyinde toplanmasıyla birkaç cm kalınlığında keçemsi organik bir tabaka bulunur. Tundra topraklar daha çok Kuzey Yarım Küre'de oluşan topraklardır. Ayrışmanın yavaş olmasından dolayı toprak organik madde yönünden zayıftır. Çöl toprakları yağışın çok az olduğu bölgelerde görülür ve alt katında karbonatların birikmesiyle kaliş denilen sert bir tabaka yer alır. Bozkır (step) toprakları kurakçıl ve yarı kurak iklim kuşağı altında oluşur. Bu topraklar besin maddeleri yönünden orta dercede zengindir. Buğday ve arpa gibi tahılların yetişmesine elverişli topraklardır. Çernezyom (kara) topraklar besin yönünden zengin topraklardır ve tarım için elverişlidir. Daha çok Karadeniz'in kuzeyi, Kanada, Arjantin ve Avustralya'da görülür (14).

2.2.2 İntrazonal topraklar

İntrazonal topraklar, zonal topraklar arasında oluşan ve çevresel özelliklere göre şekillenen topraklardır. İntrazonal toprakların meydana gelmesinde daha çok kayaçların yapısı ve coğrafi şekiller etkili olmaktadır. Başlıca intrazonal toprak türleri; halomorfik (tuzlu) topraklar, hidromorfik (bataklık) topraklar ve kalsimorfik topraklardır (15). Halomorfik topraklar kurak ve yarı kurak iklimlerde, su içerisinde erimiş halde bulunan tuz ve karbonatların, suyun buharlaşması ile toprak yüzeyinde veya değişik derinliklerde birikmesi ile oluşur. Tuzlu topraklar ve alkali topraklar olmak üzere iki farklı türü bulunur. Hidromorfik topraklar bataklık alanlarda ve tabanda bulunan su seviyesinin yüksek olduğu bölgelerde oluşan toprak türüdür. Kalsimorfik topraklar

yumuşak ve killi kireç taşları depolarının üst kısımlarında oluşan toprak türleridir. Vertisoller ve Rendzinalar olmak üzere iki gruba ayrılırlar (16).

2.2.3 Azonal (taşınmış) topraklar

Sürekli taşkına uğrayan bölgelerde, ana materyalin taşınması sebebiyle ayrışma ve toprak horizonları meydana gelmemektedir. Bu nedenle bu tür topraklara azonal, yani horizonlaşma göstermeyen topraklar denir. Başlıca azonal toprak türleri; alüvyal topraklar, kolüvyal topraklar, regosol topraklar ve litosol topraklardır (17). Alüvyal topraklar; akarsular aşındırma gücünün fazla olduğu bölgelerde kayaçları küçük parçalara ayırıp kendi bünyesine katar. Bünyesinde ki bu parçalar akarsu hızının azladığı bölgelerde üst üste çökerek alüvyal toprakları oluşturur. Kolüvyal topraklar; eğimli veya yamaçlı dağlardan kopan toprak parçalarının eğimin azaldığı bölgelerde birikmesi ile oluşan topraklardır. Regosol topraklar; volkanik dağların eteklerinde biriken kolüvyal toprakların üzerine volkanik patlamalara bağlı olarak küçük boyutlarda biriken taneler regosol toprakları oluşturur. Litosol topraklar; dağlık bölgelerin yamaçlarında bulunan kayaçlardan kopan malzemeyle oluşan topraklardır (18).

2.3 Adli Bilimlerde Toprak

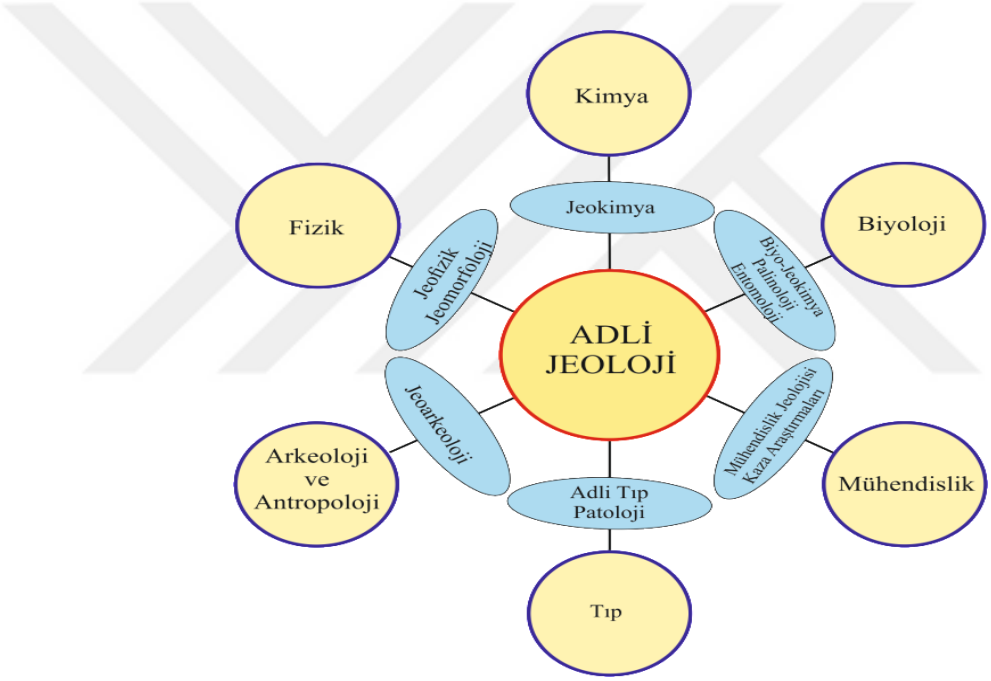
Yaklaşık yüz yıl önce 1904 yılında Georg Propp adında bir adli bilimciden bir cinayet davasının kanıtlarını incelemesi istenmiştir. Davada Almanya'da yaşayan Karl Laubach adındaki şüphelinin kömür yakılan bir gaz istasyonunda çalıştığı bilinmekteydi. Propp, şüphelinin tırnaklarının altında kömür ve mineral taneleri buldu ve şüphelinin pantolonlarından çıkarılan toprak ile cesedin bulunduğu yerden toplanan bir örnekte bulunan mineralle kaşılaştırma yapmıştır. Toprak kanıtlarıyla karşı karşıya kalan Karl Laubach suçunu itiraf etmiştir. Böylece Georg Propp toprak kanıtını kullanarak bir cinayeti aydınlatan ilk bilim insanı olmuştur (19).

Takip eden dönemlerde bilim ve teknoloinin gelişmesiyle birlikte, adli toprak biliminde önemli gelişmeler sağlanmıştır. Ülkemizde toprak materyallerin kullanılması 2000'li yılların başlarına denk gelmektedir. Bu tarihlerde toprak incelemelerini özel bilirkişiler veya üniversite öğretim üyeleri yapmaktayken, 2010 yılından itibaren Adli Tıp Kurumu Başkanlığı içerisinde Adli Mineraloji laboratuvarı kurulmuştur ve

günümüzde mineralojik incelemeler savcılıkların talebi ile bu laboratuvarlarda yapılmaktadır (1).

Toprak, bir kişiyi veya eşyayı bir suç mahalline bağlayan değerli bir adli delil olma potansiyeline sahiptir (20). Şüpheli kişinin, arabanın, aletin olayla ilişkisi olup olmadığı hakkında ipuçları vermektedir. Dünyada tüm gelişmiş adli laboratuvarlarda toprak ile ilgili yapılan araştırmalar önemli bir yere sahiptir (21).

Toprak incelemeleri, kayıp ceset aramaları ve gömülü mühimmatların bulunması gibi geniş bir kullanım alanına sahipken, olay yerinde ve suçlu-maktulden elde edilen toprak materyalleri fiziksel delil olarak da kullanılmaktadır (22). Şekil 2.3'de adli toprak biliminin diğer disiplinlerle ilişkileri gösterilmiştir.



Şekil 2-3. Adli toprak bilimi şematik gösterimi (22)

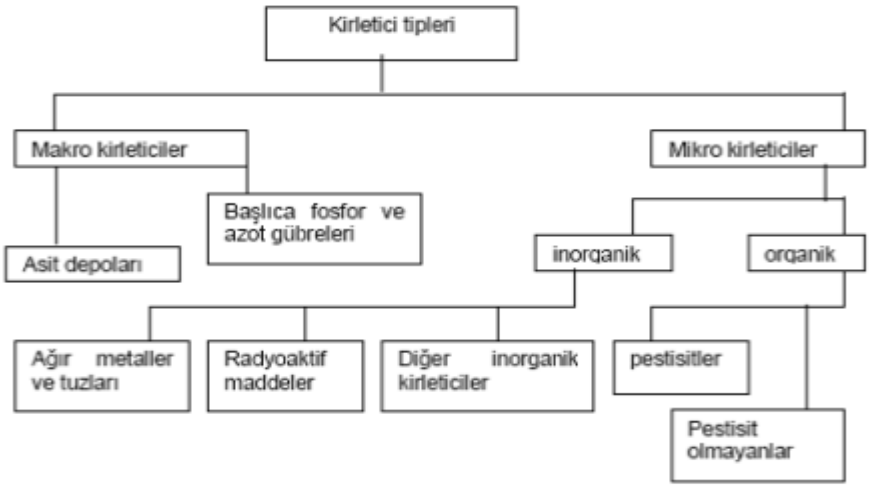
Adli topak analizi, adli toprak uzmanları ve kolluk kuvvetleri tarafından adli bir olayın aydınlatılmasına yardımcı olacak kanıtları sağlamak için kullanılmaktadır. Toprak kanıtı; parmak izi, kan örneği veya görgü şahidinin olmadığı büyük suçlarda, kolluk kuvvetlerinin soruşturmalarını belirli bir şüpheliye veya yere doğru çekmesine yardımcı olur ve diğer destekleyici kanıtlarla birlikte daha da değerli olabilir (23).

Adli toprak analizinin amacı, ayakkabı, giysi, kürek veya araç gibi bir öğeden alınan toprak, kaya veya mineral örneklerini belirli bir konumla ilişkilendirmektir.

Toprak malzemeleri, cezai soruşturmada yardımcı olmak için güçlü, belki de ideal, temas izi kanıtlarıdır (24).

2.4 Çevre Toksikolojisinde Toprak

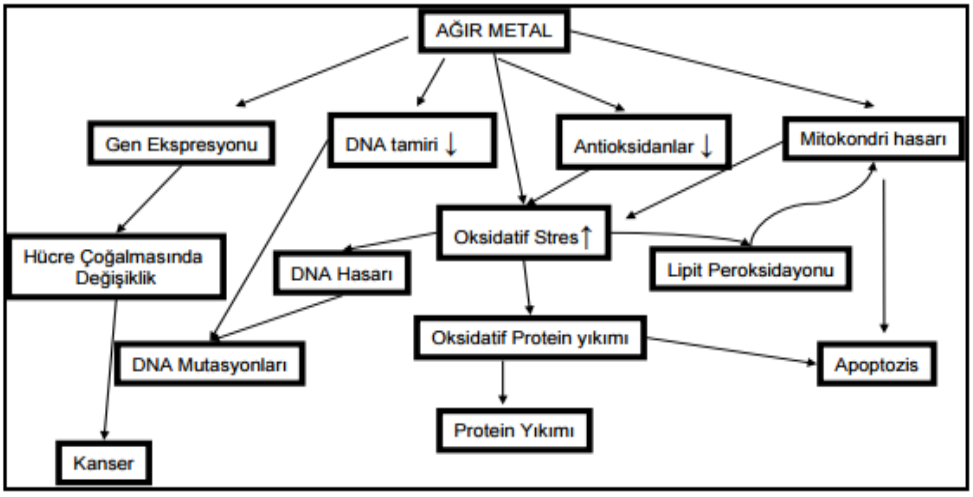
Çevresel toksikoloji, çeşitli kimyasal, biyolojik ve fiziksel ajanların canlı organizmalar üzerindeki zararlı etkilerinin araştırılmasıyla ilgili bir bilim dalıdır. (25). Çevre toksikolojisinde, çevreyi kirleten etmenlerin insan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri incelenir. Çevre toksikolojisinin alt dalı olan ekotoksikoloji ise; çevresel kirleticilerin ekosistemler, bitkiler, hayvanlar, yabancıl yaşam ve bunların birbirleri ile etkileşimlerinden meydana gelen zararlı etkileri incelenir (26). Toprak toksikolojisi, endüstriyel faaliyetlerden, tarım kimyasallarından ve atıkların ayrıştırılmadan gelişigüzel atılmasından kaynaklanır (27). Başlıca toprak kirleticileri, ağır metaller, pestisitler, hormonlar, organik bileşikler ve radyoaktif yanma ürünleri olmak üzere sıralanabilir. Başlıca toprak kirletici ağır metaller Cd, Cr, Hg, Pb, Cu, ve Zn'dur. Bu ağır metaler bitki dokularında birikerek hayvan yemi ve gıdalar aracılığıyla besin zincirine girmektedir. Ağır metal bulaşan bitkiler de hayvanların besin zincirine girerek hayvan etine ve sütüne de geçerek dolaylı yönden gıdalara dahil olmaktadır (28). Şekil 2.4'de çeşitli toprak kirleticileri şematize edilerek gösterilmiştir.



Şekil 2-4. Toprak kirletici tipleri (29)

2.5 Ağır Metal Toksikolojisi

Ağır metaller, düşük miktarlarda bile zehirli etki gösterebilen elementlerdir (30). Metaller yeryüzünde doğal olarak bulunurlar. Fakat metaller sanayileşmenin artması ile atmosfere, suya, toprağa ve bitkilere daha fazla geçerek zehirlenmelere neden olmaktadır (31). Toksisiteleri, doz, maruz kalma yolu ve kimyasal türler ile maruz kalan bireylerin yaşı, cinsiyeti ve beslenme durumu gibi çeşitli etmenlere bağlıdır. Yüksek toksisite sebebiyle, arsenik, kadmiyum, krom, kurşun ve cıva halk sağlığı açısından önem taşıyan tehlikeli ağır metallerdir. Bu metaller, düşük maruziyetlerde bile çoklu organ hasarına sebep olabilen zehirli maddeler olarak kabul edilir (32). Şekil 2.5'te ağır metallerin hücre içi etki mekanizması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2-5. Ağır metallerin hücre içi etkileri (33)

Ağır metaller vücuda ağız, solunum ve deri yolu ile alınır. Çoğu zaman özel bir yardım olmadan boşaltım yolları ile vücuttan atılamazlar. Bu sebeple ağır metallerin büyük kısmı, biyolojik organizmalarda birikirler. Canlıların bünyesinde biriken bu metaller, etkili dozlara ulaştıklarında, ciddi hastalıklara hatta ölümlere neden olabilirler (30).

2.5.1 Ağır metallerin insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri

İnsan sağlığı için en tehlikeli ağır metallerden biri olan Cd elementine yüksek dozda maruz kalınması böbrek, kalp, iskelet ve üreme sistemi üzerine olumsuz etkilere neden olabildiği gibi kansere ve ölüme de sebebiyet verebilir. Cu ve Zn insan vücudundaki temel elementler olmasına karşın aşırı dozları hastalıklara neden olabilir (5). İnsanlarda Pb zehirlenmelerinde beyin hasarı ve ölüm olabildiği gibi, küçük yaştaki maruziyetlerde zeka geriliği, öğrenme bozuklukları, kronik anemi ve periferik sinir hasarı görülebilmektedir. As zehirlenmelerinde, yutma güçlüğü, kusma, ishal, kas krampları, koma ve ölüm görülmektedir. Yüksek dozda Ni elementine maruz kalma sonucu bulantı, kusma, ishal, nefes darlığı ve alerjik reaksiyonlar oluşabilmektedir. Fazla miktarda Cr elementi maruziyeti sonucu kanama bozukluğu, nöbetler ve kalp damar sisteminde şoka bağlı ölüm görülebilmektedir (28).

2.6 Adli Toprak Analizi

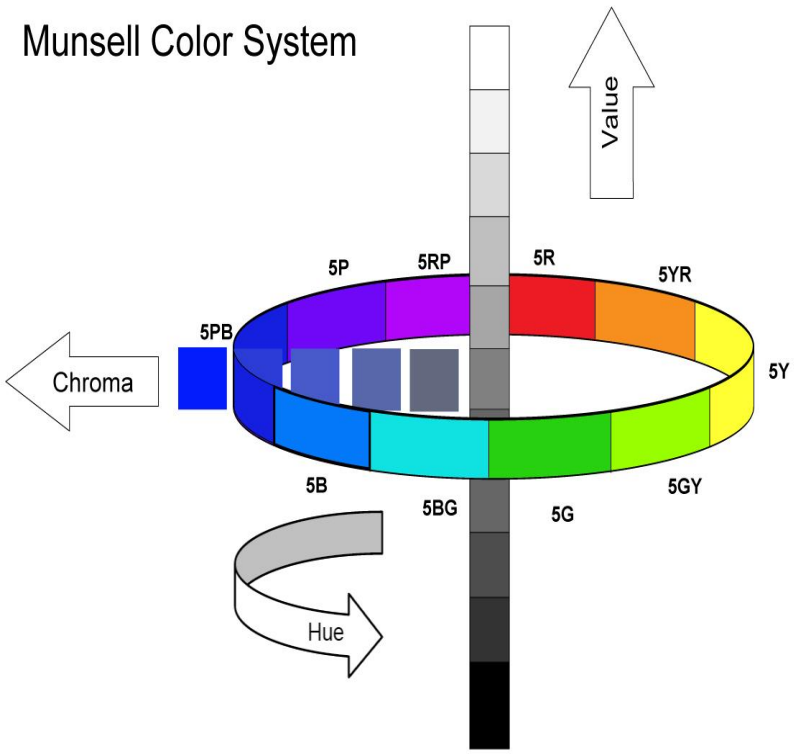
Topraktaki mineral bileşimlerinin analizi, toprağın her yerde bulunması ve mevcut olabilecek bileşimlerin çeşitliliği göz önüne alındığında, güçlü bir adli araç olabilir. Bir şüpheli, olay mahallinden farklı bölgelere eser miktarda toprak taşıyabilir. Bu eser toprak numuneleri, başka hiçbir kanıt bulunmadığında şüpheli ile olay yeri arasında ilişki kurmamıza yarımcı olabilir (34).

Toprak, çeşitli mineralojik, kimyasal, biyolojik ve fiziksel özelliklere sahip karmaşık bir yapıdadır. Bu karmaşıklık göz önüne alındığında, adli tıp amaçları için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Mineraller toprakların önemli bir bileşeni olduğu için, adli toprak tanımlamasında minerolojik inceleme şarttır. Ayrıca toprağın ayırt edici özelliklerini göstermek için bir çok farklı inceleme yöntemleri kullanılabilir (35).

Adli bilimlerde yararlanılmakta olan başlıca toprak analizlerini; Makroskobik ve mikroskobik analizler (renk, tanecik yapısı, yabancı madde içeriği gibi), kimyasal analizler (pH, $CaCO_3$, NH_3), elementel analizler (Al, Mg, Mn, Li, Na, N, C, Ca vb), biyolojik analizler (DNA), mikrobiyolojik analizler (bakteri, mantar, vb sayım ve bunların aktiviteleri) ve entomolojik analizler olarak sıralayabiliriz (1).

2.6.1 Toprağın morfolojik analizi

Toprak analizinin ilk adımı renk mukayesesidir. Toprağın renginin ıslakken daha koyu olduğu unutulmamalıdır. Bu sebeple renk mukayesesi bütün toprak numunelerinin aynı şartlarda kurutulmasıya yapılmalıdır. Doğal ışık altında gözlemleme yapılmalıdır. Mukayese edilecek toprak numunelerinin parçalarının aynı büyüklükte olmasına dikkat edilmelidir (20). Toprak nemi ve toprak tekstürü toprağın rengi üzerinde dolaylı bir şekilde etkili olmaktadır. Toprağın rengi üzerinde doğrudan etkili olan faktörler toprağı oluşturan inorganik ve organik maddelerdir. Örnek olarak; humin maddeleri, gri, esmer, siyah , demir bileşikleri, sarı, kahverengi, kırmızı, mavimsi ve yeşilimsi, kil mineralleri, beyaz, gri ve kırmızı renkler verirler (9). Toprağın tam olarak ne renk olduğunu belirlemek için toprak rengi Munsell renk tablosuyla karşılaştırılır. Munsell renk sistemi, üç renk özelliğine dayalı renkleri belirleyen bir renk alanıdır (36). Şekil 2.6'de Munsell'in renk kataloğu görülmektedir.



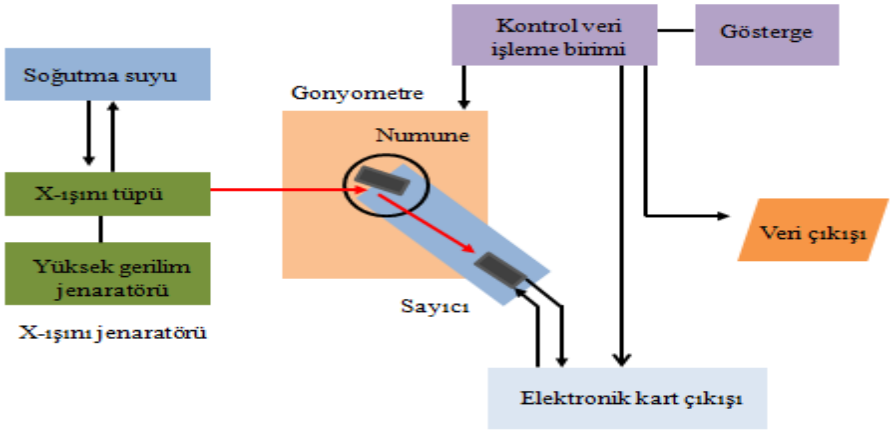
Şekil 2-6. Munsell renk kataloğu (37)

Munsell renk sisteminde, renklerin tonu (Hue), açıklık koyuluk derecesi (Value) ve karışım derecesi (Chroma) gibi verilerden yaralanılmaktadır (21). Hue; bir rengi diğer renklerden ayırt etmek için kullanılan bileşendir ve iki ayrı şekilde ifade edilebilir. Birincisi, renklerin tonu 1-100 arasındaki sayılar ile belirtilir. İkincisi sayı ve harflerin bir arada kullanıldığı anlatım biçimidir. Value; bir rengin açıklık ve koyuluğunu gösteren bileşendir ve 0-10 arasında bir rakam ile gösterilir. Burada 0 saf siyahı 10 saf beyazı gösterir. Chroma; bir rengin içeriğindeki gri miktarını gösteren bileşendir. Chroma derecesi sıfırdan başlar ancak belli bir üst sınırı yoktur. Yirmi sayısı, tüm türler için ortalama üst sınır kabul edilir (38). Örn. 10YR 6/4, burada 6, rengin açık olduğunu, 4 ise renk karışım derecesini gösterir. Burada 10YR 6/4 açık kahverengimsi sarı rengi ifade etmektedir (21).

2.6.2 Toprağın minerolojik analizi

Toprak mineralleri incelemesi, toprağı oluşturan bileşiklerin araştırılması ve toprak-bitki etkileşim amacı için gerekli olan küçük ve eser elementlerin tayini açısından hayati önem taşımaktadır. X-ışını kırınımı (XRD), farklı örnek tipleri analizi için popüler bir tekniktir ve incelenen toprakta nitel olarak mevcut olan mineraller hakkında fikir sahibi olmak için kullanılır (39).

XRD yöntemi, her bir kristal fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınları karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Şekil 2.7'da XRD sistemi temel bileşenleri ve çalışma mekanizması gösterilmiştir. Her bir kristalin kırınım şekilleri o kristalin bir çeşit parmak izi gibidir. X-ışını kırınım analiz metodu ile çok düşük miktardaki örnekler ile dahi çalışılabilir ve numuneyi tahrip etmez (40). XRD yöntemi ile mineral tanımlaması yapılır ve tüm kayaç içerisindeki mineralleri çözümlemede çok işe yarayan bir yöntemdir. Özellikle kil minerallerinin analizinde kesin sonuçlar verebilmektedir. Analiz sonuclarını grafik olarak verir ve bu grafik üzerinde tüm kayaç kimyası yarı kantitatif olarak hesaplanabilir (41).



Şekil 2-7. XRD sistemi çalışma mekanizması (42)

2.6.3 Toprağın kimyasal analizi

Analitik kimyada analiz teknikleri klasik ve aletli metodlar olmak üzere ikiye ayrılır. Eser elementlerin kalitatif analizi için klasik, kantitatif analizi için aletli metodların kullanımı tercih edilmektedir. Aletli metodlarla element analizi elementlerin bazı ayırt edici özelliklerinin ölçülmesi esasına dayanır (43). Geleneksel olarak kullanılan laboratuvar yöntemlerine alternatif olarak son zamanlarda kullanılmaya başlanan mortötesi, görülebilir ve kızılötesi yöntemleri, toprağın pH, organik karbon, su içeriği, parçacık büyüklüğü dağılımı ve daha bir çok toprak özelliğinin hızlı bir şekilde tespit edilmesine olanak sağlamaktadır (44).

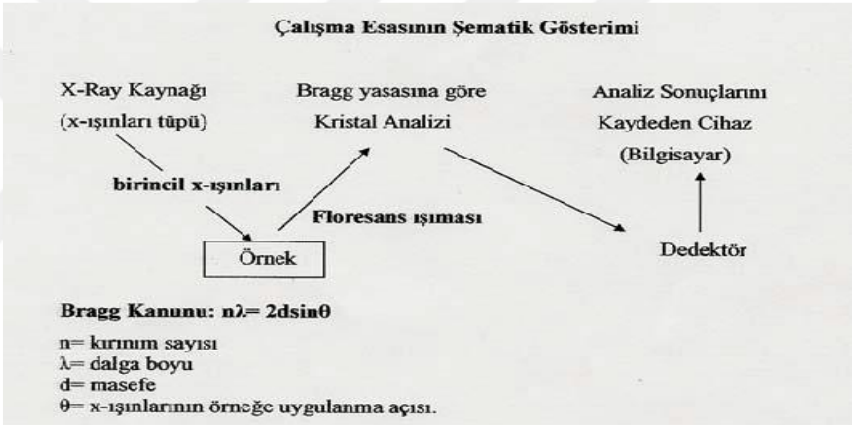
2.6.4 Toprağın elementel analizi

Toprak inorganik bileşenleri belirlemek için sıklıkla kullanılan enstrümantal teknikler X-ışını floresans spektrometresi (XRF), atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) ve indüktif eşleşmiş plazma (ICP) spektrometereleridir (45).

Bu tez çalışmasında İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) kullanılmıştır.

2.6.4.1 XRF sistemi

XRF spektrometresi, elementel analizde kullanılan önemli yöntemlerden biridir. Bu yöntemle bir çok elementin nicel analizini yapmak mümkündür. XRF çalışma prensibi Şekil 2.8'de şematik olarak gösterilmiştir. Temel prensip atoma yüksek enerjili bir X-ışını fotonu düşürülürse, atomdan fotoelektronlar koparılacaktır. Bu şekilde atomun orbitallerinde bir veya daha fazla elektron boşlukları oluşacaktır. Kararsız hale geçen atom dış orbitallerdeki elektronların boşlukları doldurması ile kararlı hale gelecektir. Her bir elektron boşluğunu doldururken, atom orbital enerji farkı ile orantılı bir şekilde foton yayacaktır. Bu şekilde oluşacak karakteristik foton enerjileri algılanarak kimyasal bileşenler nitel ve nicel olarak hesaplanabilir (46).



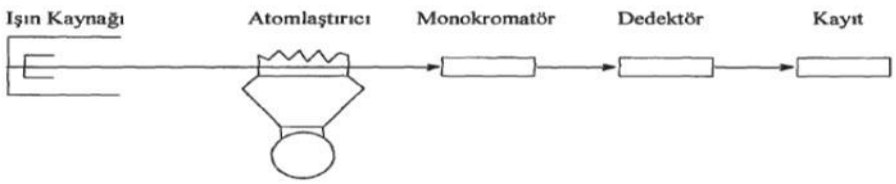
Şekil 2-8. XRF çalışma esası şematik gösterimi

2.6.4.2 AAS sistemi

AAS ile metallerin çoğunun ve ametallerin bir kısmının analizi mümkündür. AAS'de element elementel forma geldikten sonra buharlaştırılır ve ışın kaynağından gelen ışın demetine tabi tutulur ve bu elementin ışınları absorplanır. Sulu numune bir alev içine gaz karışımı ile püskürtülür. Bu yöntemle yetmiş civarında elementin analizi yapılabilir (46).

AAS metodu; temel haldeki atomun bir ışın kaynağından, atomlaştırma ortamına gönderilen kendi karakteristik yapısına özel ışın demetini kısmen soğurması ile geride kalan karakteristik ışın demetinin şiddetinde meydana gelen azalmayı ölçme esasına dayanır. AAS cihazı, ışın kaynağı, atomlaştırıcı, monokromatör, dedektör ve kayıt kısmı

olmak üzere beş parçadan meydana gelir. Şelil 2.9 de AAS'nin kısımları görülmektedir (47).

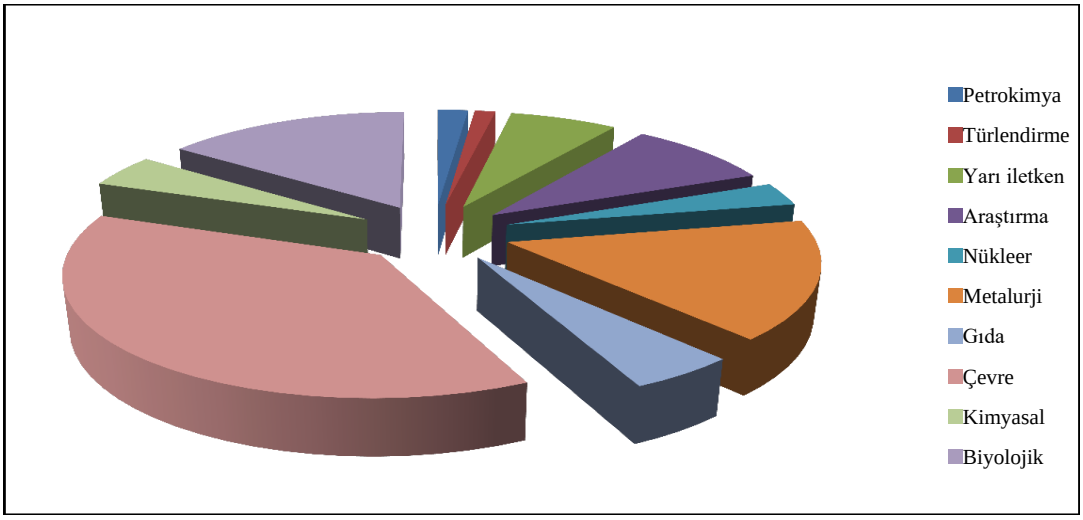


Şekil 2-9. Atomoik absorpsiyon spektrometresinin kısımları

2.6.4.3 ICP-MS sistemi

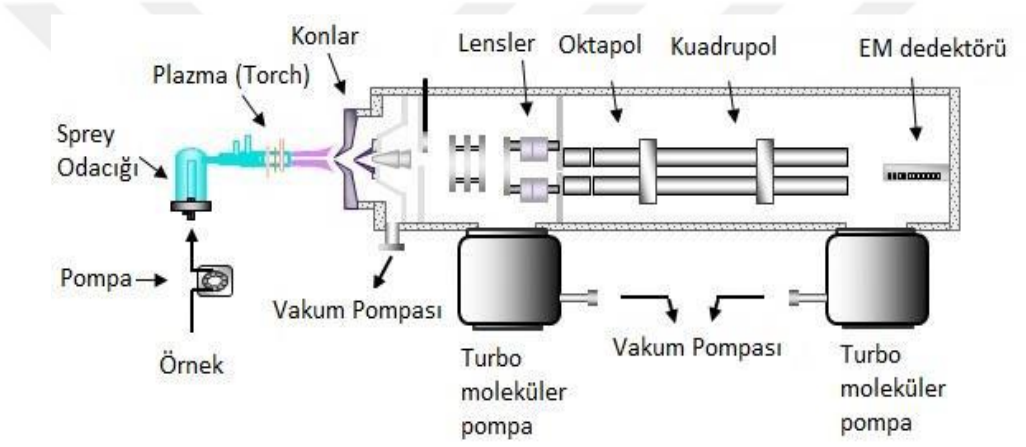
ICP-MS sistemi ilk olrak 1983 yılında Pittsburgh Konferansında Perkin Elmer tarafından sunulmuştur (48). ICP-MS sistemi elementel tayinler için kullanılan analitik bir tekniktir. Jeokimyasal analiz laboratuvarları, özellikle nadir toprak elementlerinin analizi için üstün yeteneğe sahip olan ICP-MS sistemini ilk fark eden laboratuvarlardandır. (49).

ICP-MS; toprak, çevre, yaşam ve adli bilimler gibi birçok araştırma alanında ve gıda, malzeme, kimya, yarı iletken ve nükleer endüstrilerde kullanılmakadır. Eser elementlerin verimli bir şekilde tespit edilmesinde, tanımlanmasında ve güvenilir bir şekilde ölçülmesinde ICP-MS sistemi rakipsiz bir performansa sahiptir (50). Şekil 2.10'da ICP-MS sisteminin kullanım alanları ve kullanım oranları gösterilmiştir.



Şekil 2-10. ICP-MS kullanım alanları (51)

İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi elementleri kalitatif ve kantitatif olarak tayin edebilen bir tür kütle spektrometresidir. Çözelti halinde bulunan numune plazma ile iyonize edilir ve daha sonra bu iyonları ayırmak ve ölçmek için için kütle spektroskometresi kullanılır. ICP-MS için biçok elementin tayin sınırı milyarda birden daha düşüktür. (52). Analiz edilecek örnek plazmaya düzgün aerosol damlaları halinde gelir. ICP-MS, ICP ile kütle spektromeresinin (MS) bileşiminden oluşur. ICP tarafından oluşturulan iyonlar, iyonları kütle/yük oranına göre ayıran yere, MS kütle spektrometresine yönlendirir. Böylece seçilmiş kütle/yük oranlı iyonlar tayin edilip ölçülebilir (53). Şekil 2.11'de ICP-MS sistemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2-11. ICP-MS sistemi şematik görünümü (54)

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Kullanılan Ekipmanlar

Bu çalışmada kullanılan ekipman listesi Tablo I'de listelenmiştir.

Tablo I. Çalışmada kullanılan ekipmanlar

Cihaz Adı	**Markası ve Modeli**
Vorteks	GFL 3017
Elek	İnce Gözenekli
Soğutmalı Santrifüj	Hettich Universal 320R
Analitik Terazi	Precisa XB 220A
Etüv	Nüve
Mikropipetler	Eppendorff 10.0mL, 10.0µL, 100.0µL
ICP-MS	Thermo Elemental X Series 2 Model

3.2 Kullanılan Kimyasallar

Bu çalışmada kullanılan kimyasallar Tablo II'de gösterilmiştir.

Tablo II. Çalışmada kullanılan kimyasallar

KULLANIM AMACI	MARKA	STANDART /ÇÖZELTİ
Sertifikalı referans materyal (toprak)	European Commission	Organikçe Zengin Toprak BCR-700
Multi Kalibrasyon Stok Çözelti	High-Purity Standards	ICP-MS Kalibrasyon Standardı-Değiştirilmiş (10 µg/mL in %2 HNO_3 + Tr HF)
Standart Kalibrasyon Çözeltisi		Zn (1000 µg/mL in %2 HNO_3)
		Mg (1000 µg/mL in %2 HNO_3)
		Ca (1000 µg/mL in %2 HNO_3)
		K (1000 µg/mL in %2 HNO_3)
İç Standart	Absolute Grade	In (1000 µg/mL in%2 HNO_3)
		Ga(1000µg/mL in%2 HNO_3)
Numune Hazırlama Çözeltisi (%2 Nitrik Asit)	Merck	Suprapure Nitrik Asit %65
Örnek Ekstraksiyon Çözeltisi (0,43 mol/L Asetik asit)		Asetik Asit (glasial) %100

3.3 ICP-MS Sistemi Analiz Parametreleri

Toprak numunelerinin analiz edildiği ICP-MS sisteminin analiz parametreleri Tablo III'de verilmiştir.

Tablo III. ICP-MS sistemi analiz parametreleri

ICP-MS CİHAZ ANALİZ PARAMETRELERİ		
Nebulizer	Concentric nebulizer	
Spray Chamber	Pyrex, Conıcal , QD Draın	
Mass Analizator	Quadruple	
RF Power	1350 W	
Ar gas flow rates	0,88	
Plasma coll	13	
Auxiliary	0,8	
Lens 1 Voltage	-1420	
Lens 2 Voltage	-86,3	
Lens 3 Voltage	-197,6	
Scanning mode	Peak jumping	
Dwell time	0,6 ms	
Sample Uptake rate	45 sn	
Isotopes	7Li	75As
	9Be	82Se
	24Mg	83Kr
	27Al	85Rb
	39K	88Sr
	44Ca	111Cd
	51V	118Sn
	52Cr	121Sb
	55Mn	133Cs
	56Fe	137Ba
	59Co	208Pb
	60Ni	238U
	65Cu	
	66Zn	

3.4 Kalibrasyon Bilgileri

Miktar tayini yapılan elementler için oluşturulan kalibrasyon çözeltilerinin hazırlanmasına dair detaylı bilgi Tablo IV'de verilmiştir. Kalibrasyon aralığı blank (kör) numune ile başlayıp 0.1-400 ng/mL arasında artan konsantrasyonlarda hazırlanmıştır. Çalışmada 1 µg/mL konsantrasyondaki çoklu element çözeltisi, Zn, Mg, Ca ve K elementlerinin 10 µg/mL konsantrasyondaki karışımını içeren çözelti ve iç standart çözeltisi kullanılmıştır.

Tablo IV. Kalibrasyon çözeltilerinin hazırlanması

Tüp NO	**Multi Element Kons. (ng/mL)**	**Multi Cal.Çöz. (1 µg/mL)**	**Zn,Mg,Ca,K (10 µg/mL)**	**İç Standart In+Ga (2 µg/mL)**	
1	Blank	---	---	100 µL	Kalibrasyon için hazırlanan bütün tüpler %2 HNO_3 ile 10 mL'ye tamamlanır, vortekslenir.
2	0.1	1 µL	---		
3	0.2	2 µL	---		
4	0.5	5 µL	---		
5	1	10 µL	---		
6	2	20 µL	---		
7	5	50 µL	---		
8	10	100 µL	---		
9	20	200 µL	---		
10	50	500 µL	---		
11	100	1000 µL l	---		
12	150	1500 µL l	---		
13	200	---	200 µL		
14	250	---	250 µL		
15	300	---	300 µL		
16	400	---	400 µL l		

Bu çalışmada analizi gerçekleştirilen inorganik elementlerden tam kantitatif ve yarı kantitatif olanlar Tablo V'de listelenmiştir.

Tablo V. Tam kantitatif ve yarı kantitatif analiz edilen inorganik elementler

Element adı	**Kalibrasyon yöntemi**	**Element adı**	**Kalibrasyon yöntemi**
Li	Tam Kantitatif	**K**	Yarı Kantitatif
Be	Tam Kantitatif	**V**	Yarı Kantitatif
Mg	Tam Kantitatif	**Ga**	Yarı Kantitatif
Al	Tam Kantitatif	**Rb**	Yarı Kantitatif
Ca	Tam Kantitatif	**In**	Yarı Kantitatif
Cr	Tam Kantitatif	**Sn**	Yarı Kantitatif
Mn	Tam Kantitatif	**Cs**	Yarı Kantitatif
Fe	Tam Kantitatif		
Co	Tam Kantitatif		
Ni	Tam Kantitatif		
Cu	Tam Kantitatif		
Zn	Tam Kantitatif		
As	Tam Kantitatif		
Cd	Tam Kantitatif		
Se	Tam Kantitatif		
Sr	Tam Kantitatif		
Sb	Tam Kantitatif		
Ba	Tam Kantitatif		
Pb	Tam Kantitatif		
U	Tam Kantitatif		

3.4.1 Sertifikalı referans materyal

Bu çalışmada asetik asit ekstraksiyon yöntemi için kullanılan sertifikalı toprak referans materyalinin sertifika değerleri Tablo VI'da verilmiştir.

Tablo VI. Sertifikalı referans toprak materyalinin sertifika değerleri

ORGANİKÇE ZENGİN TOPRAK			
	Kuru Kütleye Dayalı Ekstrakte Edilebilir Kütle Oranı		Kabul Edilen Veri Seti Sayısı p
	Sertifika Değeri [mg/kg]	Belirsizlik [±mg/kg]	
Cd	67.5	2.8	16
Cr	19.0	1.1	15
Cu	36.3	1.6	16
Ni	99.0	5.1	16
Pb	4.85	0.38	14
Zn	719	24	16

3.4.2 Çalışmada kullanılan çözeltilerin hazırlanması

A. Multi element, kalibrasyon çözeltisi (1 µg/mL)

ICP-MS Calibration Standard-Modified (10 µg/mL in %2 HNO_3 + Tr HF) stok çözeltiden 3 mL alınırak ve %2 HNO_3 ile 30 mL'ye tamamlandı.

B. Zn, Mg, Ca, K için- 10 µg/mL kalibrasyon çözeltisi

Ca (1000 µg/mL in %2 HNO_3), Zn (1000 µg/mL in %2 HNO_3), Mg (1000 µg/mL in %2 HNO_3), K (1000 µg/mL in %2 HNO_3), stok çözeltilerinin her birinden 300 µL alınarak, %2 HNO_3 ile 30 mL'ye tamamlandı.

3.4.3 İç standart çözeltisi (2 µg/mL In + Ga)

İndium standardı ve Gallium stok standartları (1000 µg/mL) (Absolute standartds, %99.999 saflıkta, %2 HNO_3 içinde) her birinden 100 µL alınarak, %2 HNO_3 ile 50 mL'ye tamamlandı.

3.4.4 Numune hazırlama çözeltisi (%2 HNO_3)

%65 Suprapur Nitrik Asit çözeltisinden 20 mL alınarak ultra saf su ile 1 litreye tamamlandı.

3.4.5 Örnek ekstraksiyon çözeltisi (0,43 mol/L asetik asit)

%100 Asetik asit (glasial) çözeltisinden, 25.8 mL alınarak ultra saf su ile 1 litreye tamamlandı.

3.5 Yöntem

3.5.1 Numunelerin toplanması

İstanbul'da bulunan E80 Tem Otoyolu'nun Mahmutbey ve Bahçeşehir mevkilerinden, Kuzey Maramara Otoyolu'nun ise Arnavutköy ve Odayeri mevkilerinden olmak üzere toplamda 4 faklı noktadan toprak numuneleri alınması kararlaştırıldı. E80 Tem Otoyolu'nun yapım tarihinin daha eski olması ve daha uzun yıllardır kullanılıyor olması sebebiyle, yol kenarına yakın mesafelerde çok fazla yerleşim yeri bulunmaktadır. Fakat Kuzey Marmara Otoyolu'nun yapım tarihi itibariyle daha yeni olması nedeniyle, yol kenarı çevresinde yerleşim yeri yoktur ve orman arazisi içerisinde kalmaktadır. Belirlemiş olduğumuz bölgelerden otoban kenarına 0 m, 10 m ve 25 m mesafelerden olacak şekilde 3 ayrı noktadan ve herbir bölgeden 3'er adet olmak üzere toplamda 36 adet numune zarflara konulmak suretiyle toplandı. Toplanan numunelerin 0 cm ile 5 cm arasındaki yüzey toprağı olmasına ve kaba malzemelerden (çakıl, bitki…vb) arındırılarak toplanmasına dikkat edildi (Şekil 3.1).



Şekil 3-1. Numunelerin toplanması ve zarflara konulması

Toplanan toprak numuneleri kağıt zarflara konulup laboratuvara getirildikten sonra, alınmış oldukları bölgeye ve otoban kenarına olan uzaklığa bağlı olarak numaralandırılıp tablo haline getirilmiştir (Tablo VII).

Tablo VII. Toplanan numunelerin bölge ve mesafeye bağlı olarak kodlanması

Kod	Numune	Metre	Bölge	Kod	Numune	Metre	Bölge
1.1	1	0	E80 TEM MAHMUTBEY	7.1	1	0	KMO ARNAVUTKÖY
1.2	2	0	E80 TEM MAHMUTBEY	7.2	2	0	KMO ARNAVUTKÖY
1.3	3	0	E80 TEM MAHMUTBEY	7.3	3	0	KMO ARNAVUTKÖY
2.1	1	10	E80 TEM MAHMUTBEY	8.1	1	10	KMO ARNAVUTKÖY
2.2	2	10	E80 TEM MAHMUTBEY	8.2	2	10	KMO ARNAVUTKÖY
2.3	3	10	E80 TEM MAHMUTBEY	8.3	3	10	KMO ARNAVUTKÖY
3.1	1	25	E80 TEM MAHMUTBEY	9.1	1	25	KMO ARNAVUTKÖY
3.2	2	25	E80 TEM MAHMUTBEY	9.2	2	25	KMO ARNAVUTKÖY
3.3	3	25	E80 TEM MAHMUTBEY	9.3	3	25	KMO ARNAVUTKÖY
4.1	1	0	E80 TEM BAHÇEŞEHİR	10.1	1	0	KMO ODAYERİ
4.2	2	0	E80 TEM BAHÇEŞEHİR	10.2	2	0	KMO ODAYERİ
4.3	3	0	E80 TEM BAHÇEŞEHİR	10.3	3	0	KMO ODAYERİ
5.1	1	10	E80 TEM BAHÇEŞEHİR	11.1	1	10	KMO ODAYERİ
5.2	2	10	E80 TEM BAHÇEŞEHİR	11.2	2	10	KMO ODAYERİ
5.3	3	10	E80 TEM BAHÇEŞEHİR	11.3	3	10	KMO ODAYERİ
6.1	1	25	E80 TEM BAHÇEŞEHİR	12.1	1	25	KMO ODAYERİ
6.2	2	25	E80 TEM BAHÇEŞEHİR	12.2	2	25	KMO ODAYERİ
6.3	3	25	E80 TEM BAHÇEŞEHİR	12.3	3	25	KMO ODAYERİ

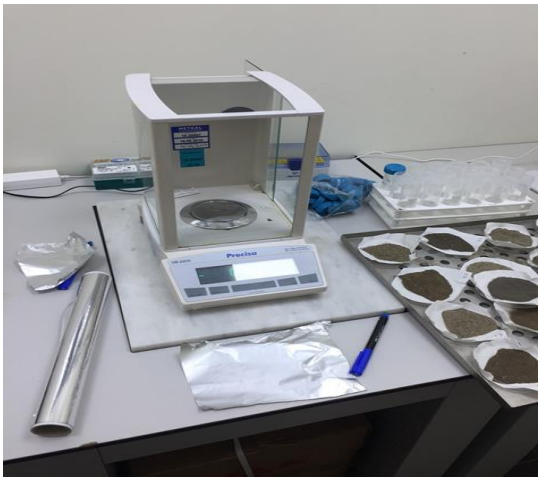
3.5.2 Örnek hazırlama

Toplanan numuneler ince elekten geçirilip elendikten sonra petri kaplarına konularak bir gece boyunca 60°C'de etüvde kurutuldu (Şekil 3.2).



Şekil 3-2. Etüvde kurutulmaya bırakılmış örneklerin görüntüsü

Kurutulmuş toprak örnekleri Precisa XB 220A model analitik terazi ile 0.5g tartılarak 50 mL'lik falcon tüplere konuldu ve üzerine 20 mL, 0.43 mol/L asetik asit çözeltisi eklendi (Şekil 3.3).





Şekil 3-3. Precisa XB 220 A analitik terazi ve falcon tüplere alınmış toprak çözeltisi

GFL 3017 marka çalkalayıcıda 75 rpm de 16 saat boyunca bekletildi (Şekil 3.4).



Şekil 3-4. GFL 3017 marka çalkalayıcı

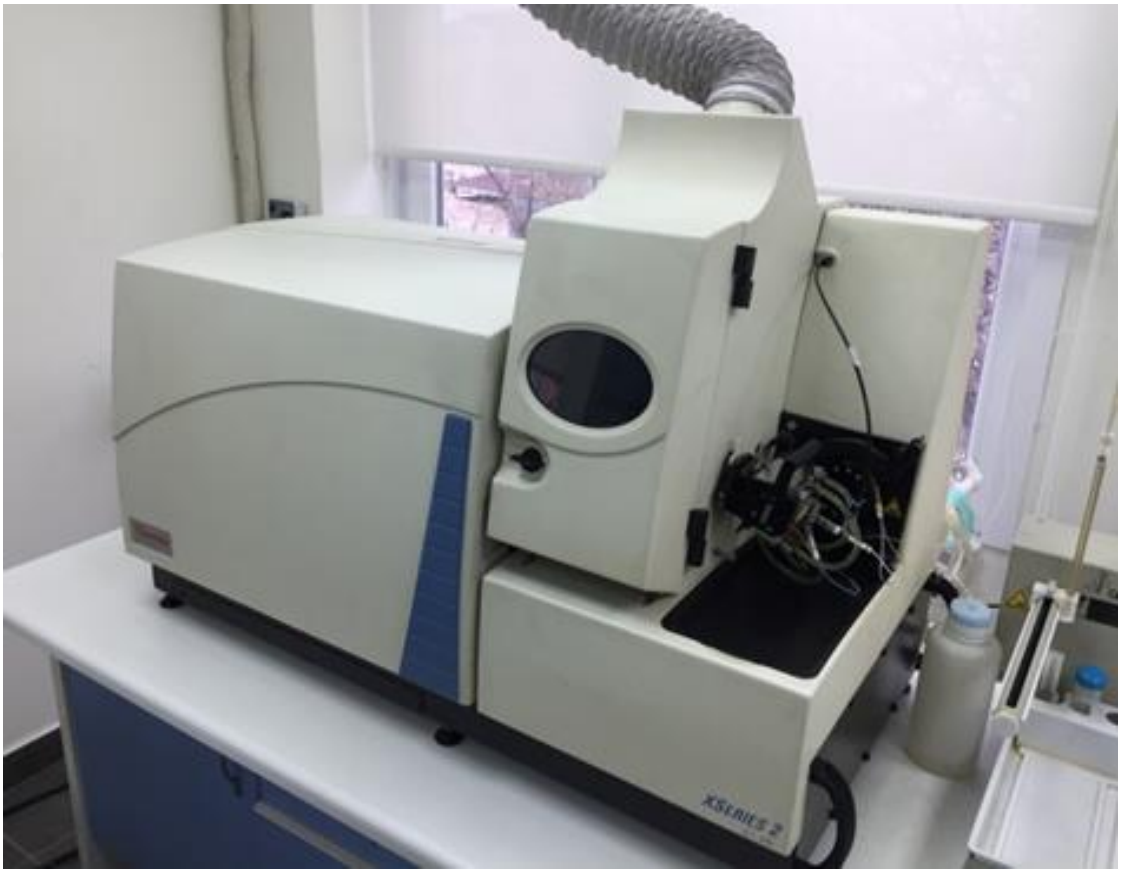
Hettic Universal 320 R model soğutmalı santrifüjde 5000 rpm de 5 dk boyunca santrifüj edilerek analize hazır halde getirildi (Şekil 3.5).



Şekil 3-5. Hettic Universal 320 R model soğutmalı santrifüj

3.5.3 Numunelerin ICP-MS sistemi ile analizi

Analizler İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü Adli Toksikoloji Laboratuvarında bulunan Thermo Elemental X series-2 ICP-MS sistemi kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3-6. ICP-MS sisteminin görüntüsü

Asetik asit ekstraksiyon prosedürü uygulanarak hazırlanan ve santrifüj edilen numunelerin supernatant (süzüntü) sıvısından 1 mL alınarak 15 mL'lik falkon tüplere aktarıldı ve her bir numuneye iç standart (In ve Ga) çözeltisinden 100 µL eklendi. %2 HNO_3 çözeltisi ile 10 mL'ye tamamlanıp seyreltme yapılarak ICP-MS sistemi ile analiz işlemi gerçekleştirildi (Şekil 3.7).



Şekil 3-7. Numunelerin hazırlanması ve analiz edilmesi

3.5.4 Geçerlilik Çalışmaları

Yöntemin geçerliliğini kanıtlamak üzere tekrar edilebilirlik ve geri kazanım çalışmaları üç farklı konsantrasyonda (20, 50 100 ng/mL) hazırlanan 6'şar toprak numunesinin analizi ile gerçekleştirilmiştir. Toprak numunelerinin içerisine element karışım çözeltisinden son hacimde sırasıyla 20, 50 ve 100 ng/mL olacak şekilde katılmış ve yukarıda anlatıldığı şekilde analiz edilmiştir. Geri kazanım çalışmaları için katım yapılan toprak numunesinin içerisinde Mg, Al, Ca, Cr, As, Se, Cd, Sb, Ba ve Pb elementleri yüksek konsantrasyonlarda bulundukları için ve K, V, Rb, Sn ve Cs elementleri yarı kantitatif analiz edildiği için bu elementler geri kazanım hesaplaması yapılırken değerlendirmeye alınmamıştır. Li, Be, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Sr ve U elementleri için elde edilen geri kazanım bulguları gerçek değerlerle karşılaştırılmış, % geri kazanım, ortalama, standart sapma ve bağıl standart sapma (%RSD) değerleri hesaplanmıştır.

3.6 Hesaplama Yöntemi

ICP-MS sistemi ile yapılan analiz sonucunda elde edilen ham sonuçlar ng/mL olarak elde edilmiş ve µg/g konsantrasyona dönüştürülmek üzere geri hesaplama yapılmıştır. Numune sıvısı hazırlanırken uygulanan seyrelteme faktörleri ham sonuçlara dahil değildir. Gerçek sonuçlara ulaşabilmek için uygulanan seyreltme faktörleri ve kullanılan numune miktarı (kuru ağırlık) dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır.

İlk olarak ng/mL cinsinden elde edilen sonucu 1000'e bölerek, µg/mL cinsinden sonuç elde edildi. Sonrasında seyreltme faktörleri hesaplandı. Kuru ağırlığı 0.5 g olan toprak numunesi üzerine 1.seyreltme faktörü olarak 20 mL, 0.43 mol/L asetik asit çözeltisi eklendi (asetik asit yoğunlu 1.05 g/cm^3). Böylece 0.5 g toprak numunesi 40 kat seyreltilmiş oldu. Daha sonra 20 mL'lik asetik asit çözeltisinden 1 mL alınarak, %2'lik HNO_3 (nitrik asit) çözeltisiyle 10 mL'ye tamamlandı. Böylece 2. seyreltme faktörü uygulanarak numune tekrar 10 kat seyreltilmiş oldu ve analizde kullanılacak en son hacim elde edildi. Seyreltme faktörlerinden sonra elde edilen formül Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

$$\frac{\frac{(ng/mL)}{1000}}{\frac{0.5x1x1}{20x10}} = (\mu g/g) \Leftrightarrow \frac{(ng/mL)x2}{5} = (\mu g/g) \text{veya } (mg/kg)$$

Şekil 3-8. Hesplama yönteminde kullanılan formül

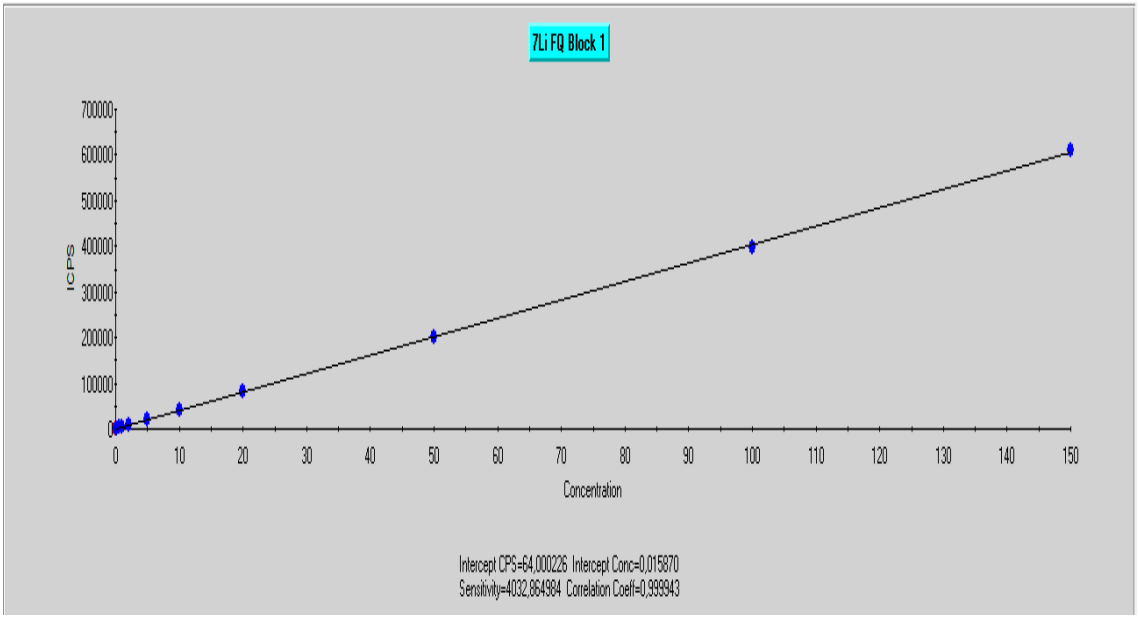
Çalışmada Tablo VIII'de gösterilen formülize edilmiş excel tablosu kullanılarak yapılan hesaplmada, seyreltme faktörleri hesaplamaya dahil edilerek mg/kg cinsinden sonuçlar elde edildi.

Tablo VIII. Ham sonuçların hesaplanması için kullanılan excel tablosu

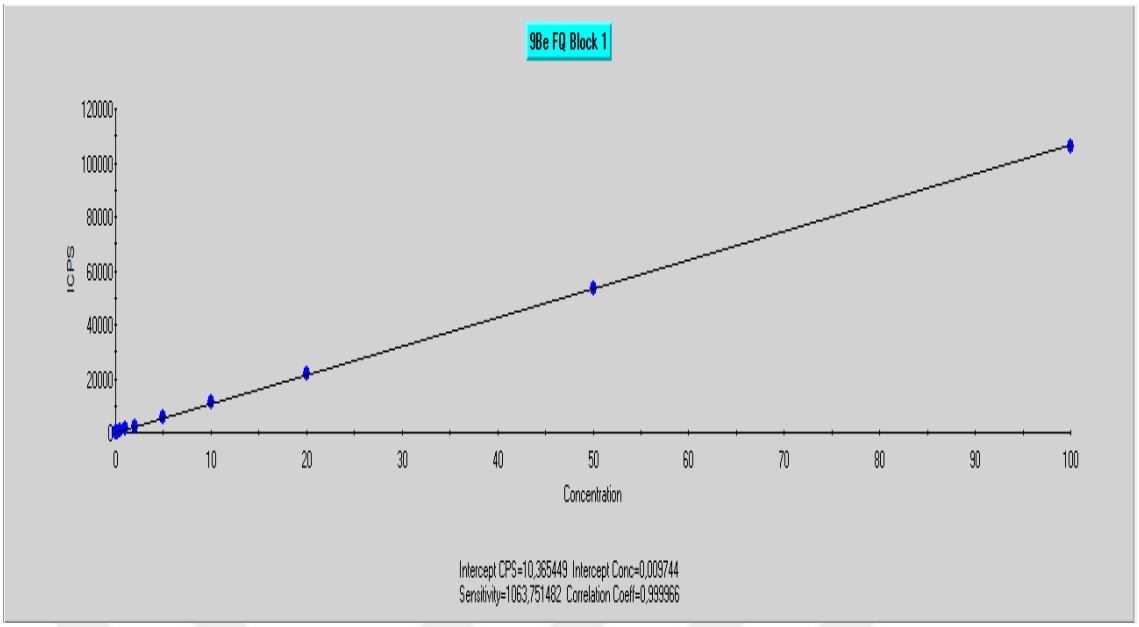
	SONUÇLAR							
	Ham Sonuç (ng/mL)	**ng/mL ise 1000**	**AGIRLIK (g)**	**SEY1**	**SEY1-1**	**SEY2**	**SEY2-2**	**Hesaplanan Sonuc mg/kg**
7Li		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
9Be		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
24Mg		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
27Al		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
39K		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
40Ca		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
51V		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
52Cr		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
55Mn		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
56Fe		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
59Co		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
60Ni		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
65Cu		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
66Zn		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
75As		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
82Se		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
85Rb		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
88Sr		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
111Cd		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
118Sn		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
121Sb		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
133Cs		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
137Ba		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
208Pb		1000	0,5	1	20	1	10	0,000
238U		1000	0,5	1	20	1	10	0,000

4. BULGULAR

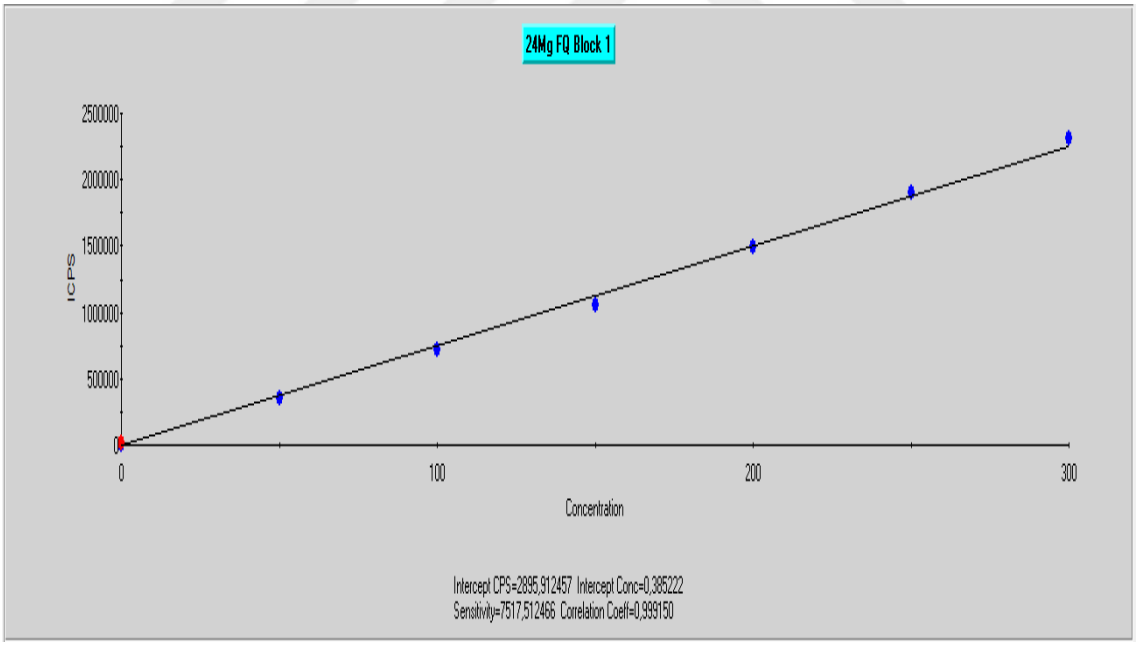
Çalışmada otoyol kenarı toprak numuneleri içeriğinde bulunan 24 adet elementin ICP-MS sistemi ile analizi yapıldı. Herbir element için artan konsantrasyonlarda hazırlanan kalibrasyon çözeltilerinin analizi sonrasında doğrusal kalibrasyon eğrileri elde edildi (Şekil 4.1- 4.17).



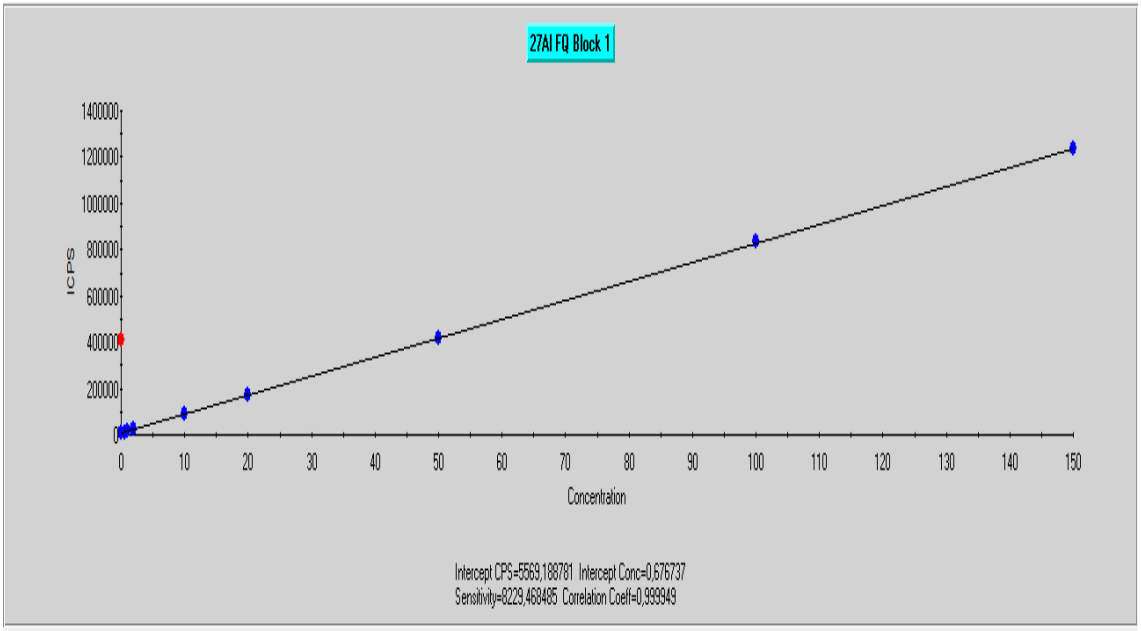
Şekil 4-1. Li elementi kalibrasyon eğrisi



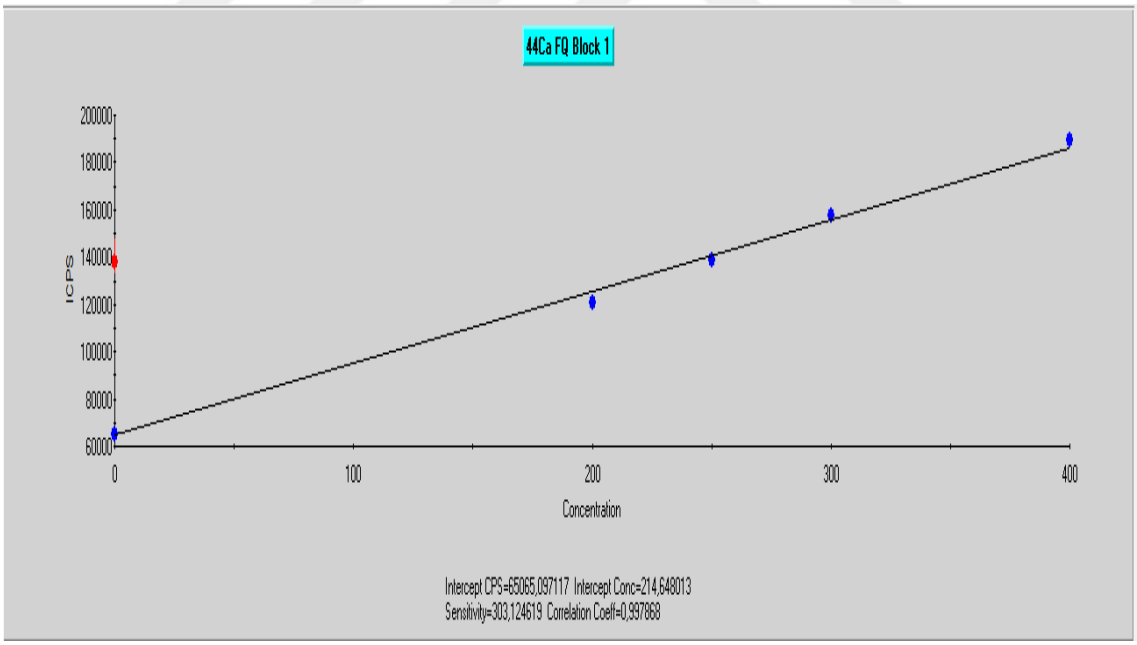
Şekil 4-2. Be elementi kalibrasyon eğrisi



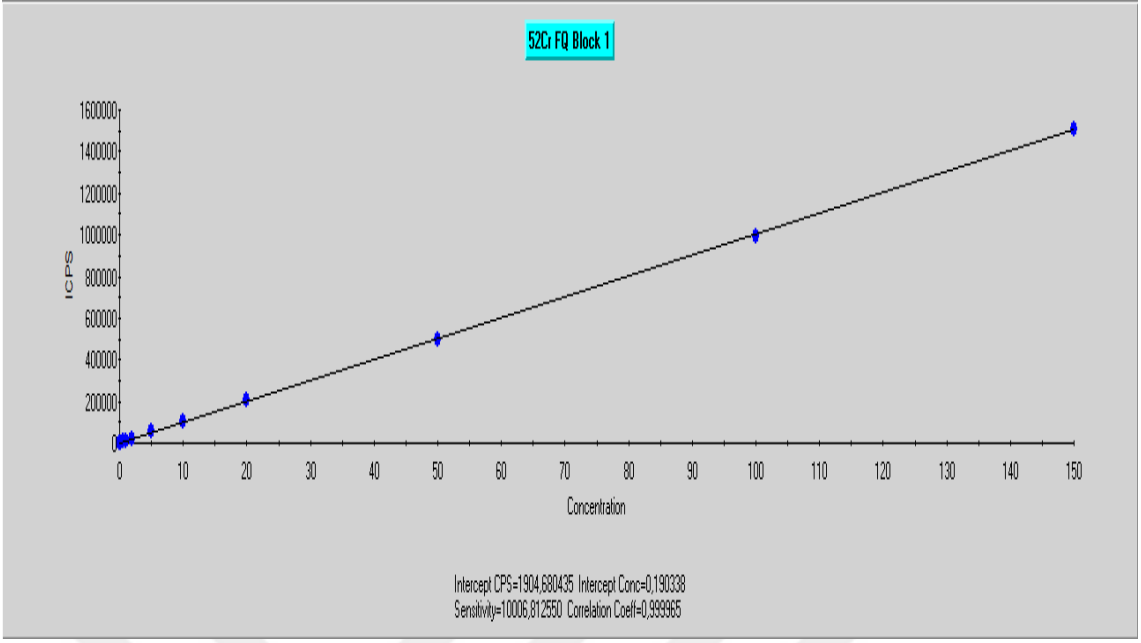
Şekil 4-3. Mg elementi kalibrasyon eğrisi



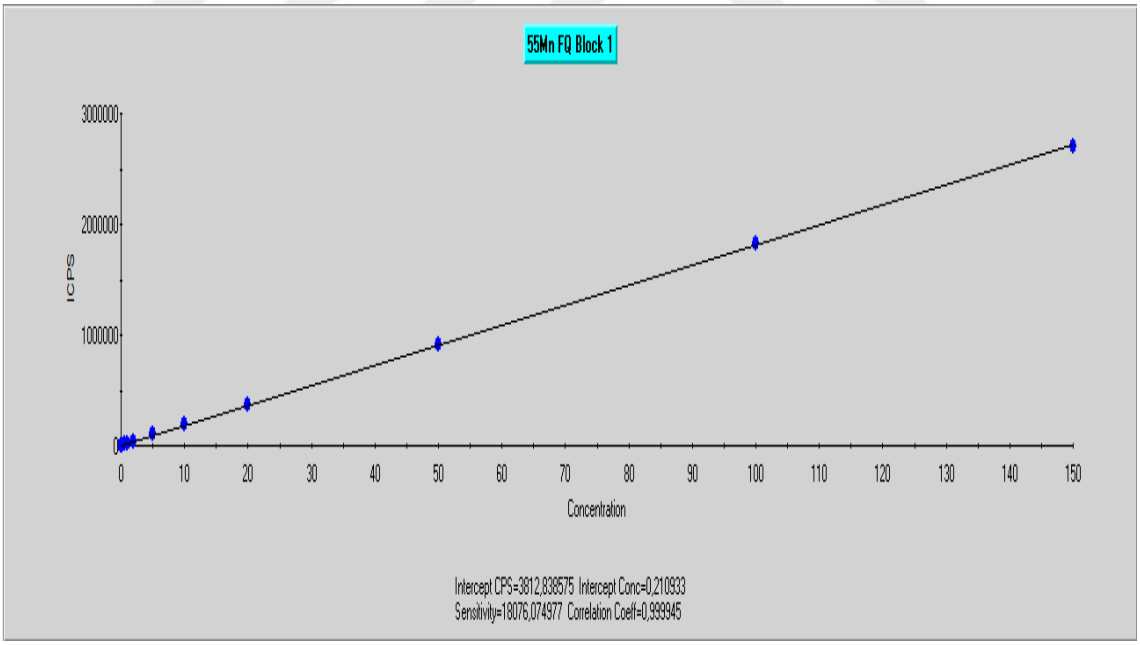
Şekil 4-4. Al elementi kalibrasyon eğrisi



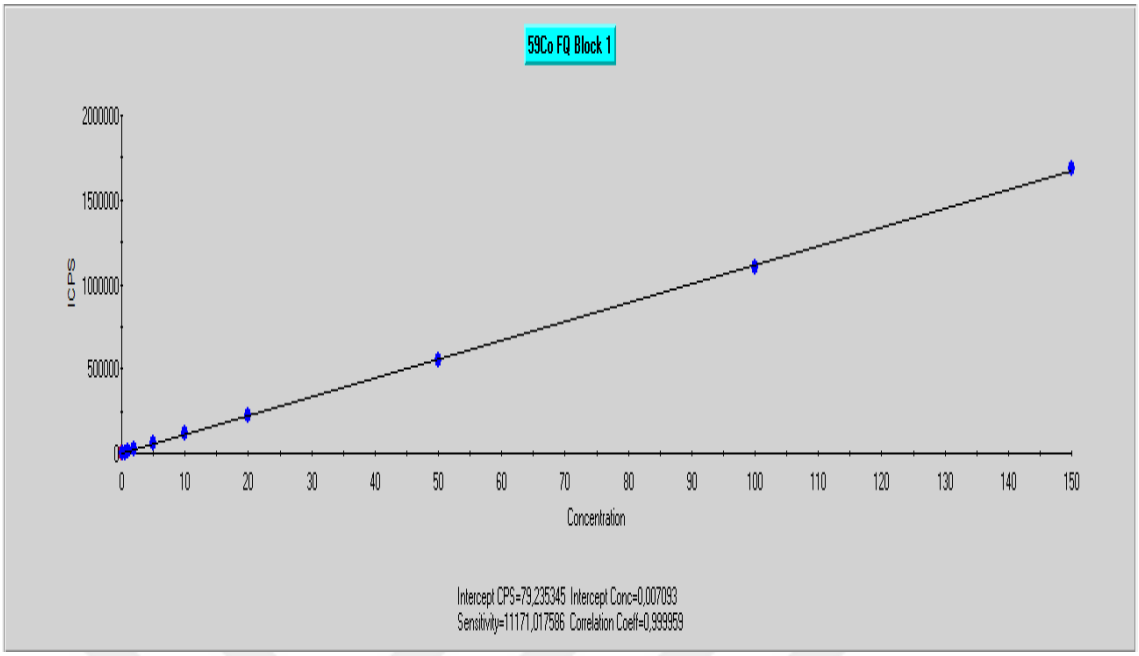
Şekil 4-5. Ca elementi kalibrasyon eğrisi



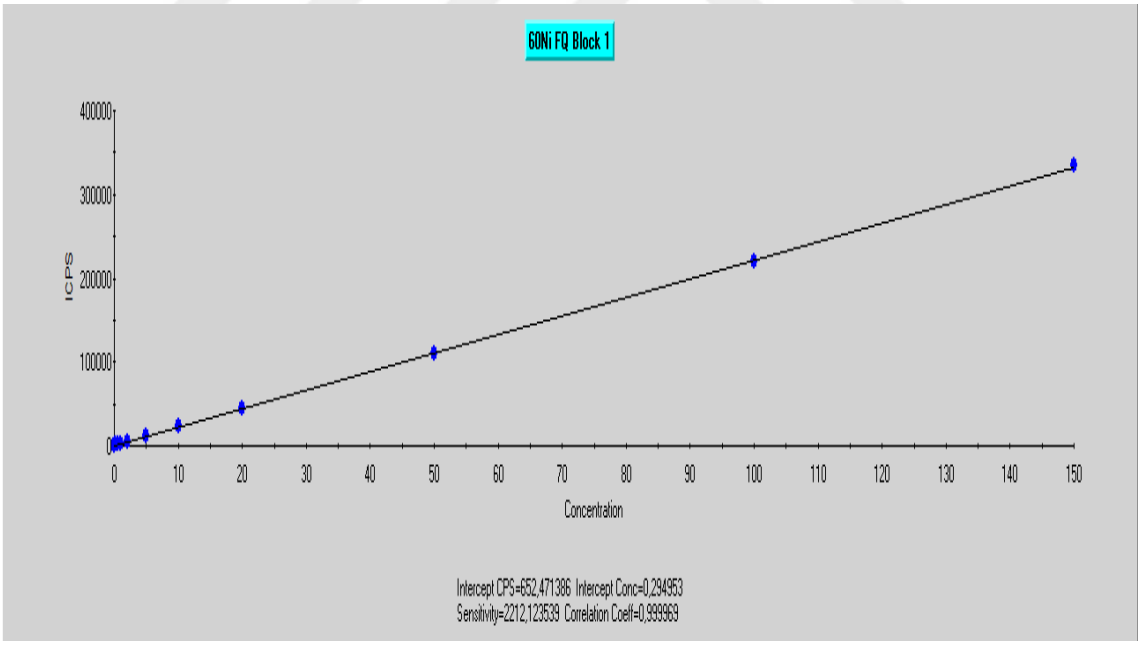
Şekil 4-6. Cr elementi kalibrasyon eğrisi



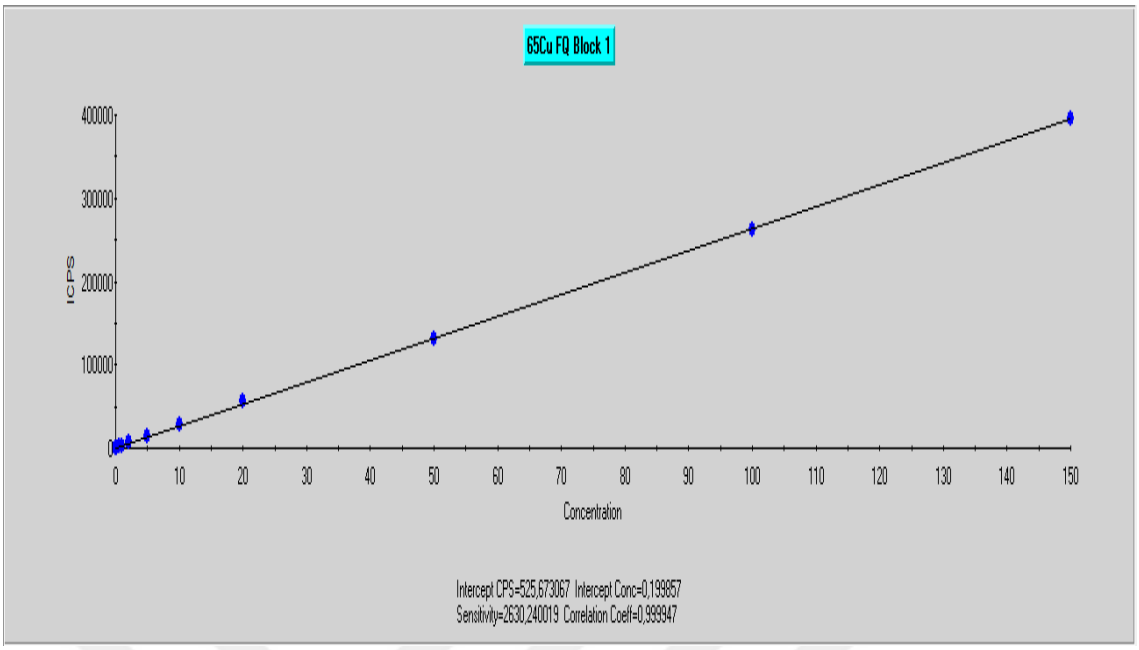
Şekil 4-7. Mn elementi kalibrasyon eğrisi



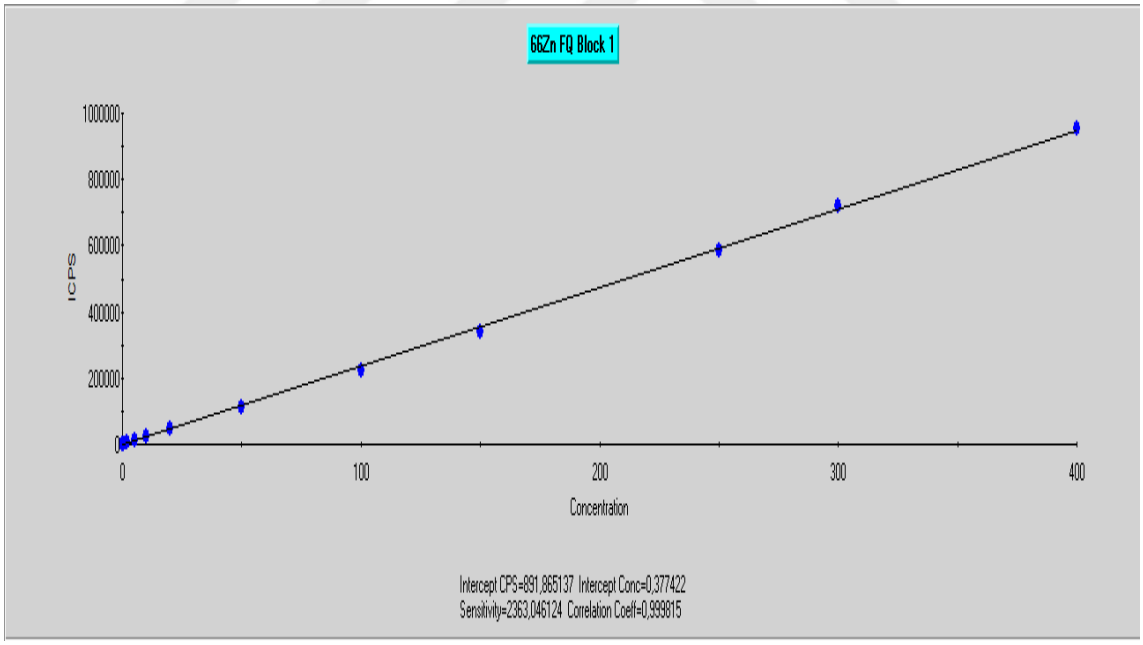
Şekil 4-8. Co elementi kalibrasyon eğrisi



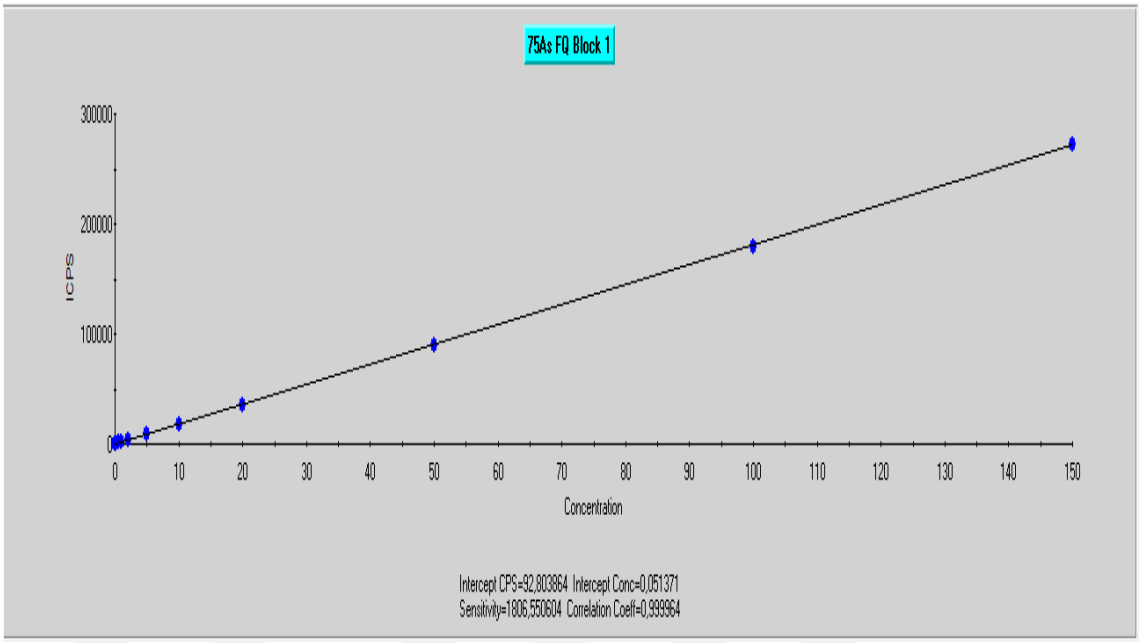
Şekil 4-9. Ni elementi kalibrasyon eğrisi



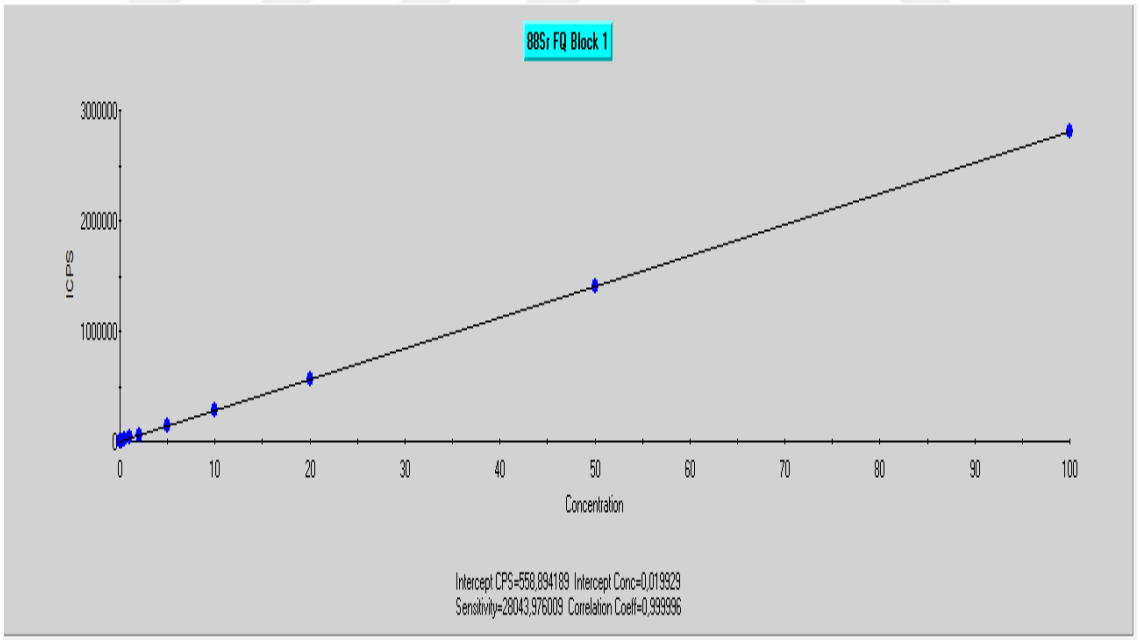
Şekil 4-10. Cu elementi kalibrasyon eğrisi



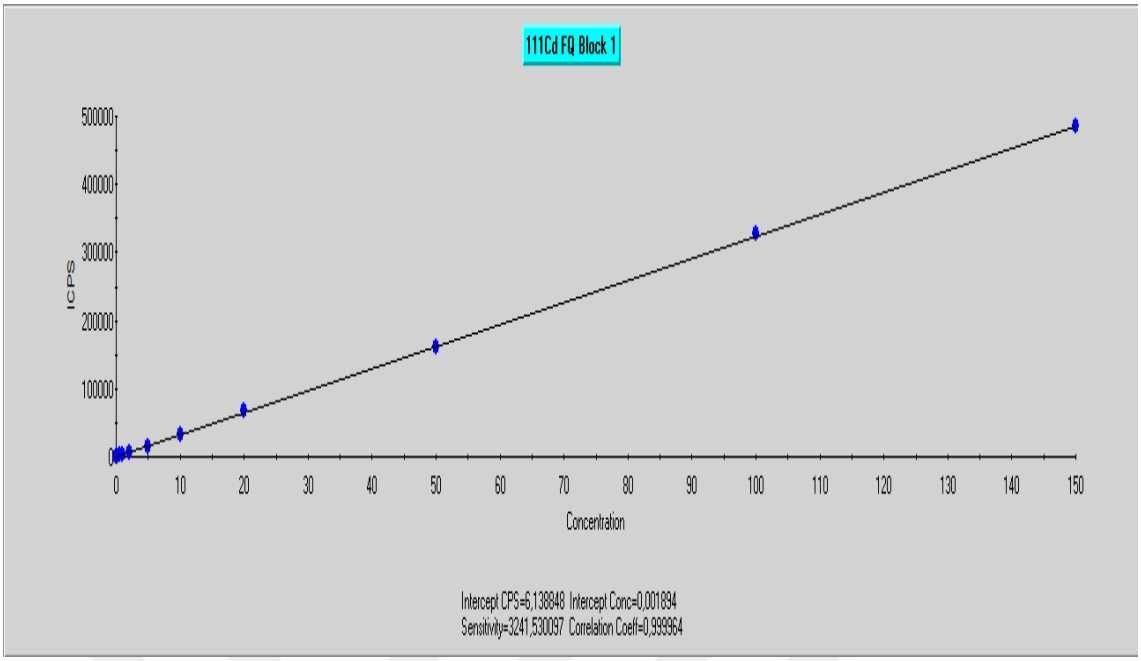
Şekil 4-11. Zn elementi kalibrasyon eğrisi



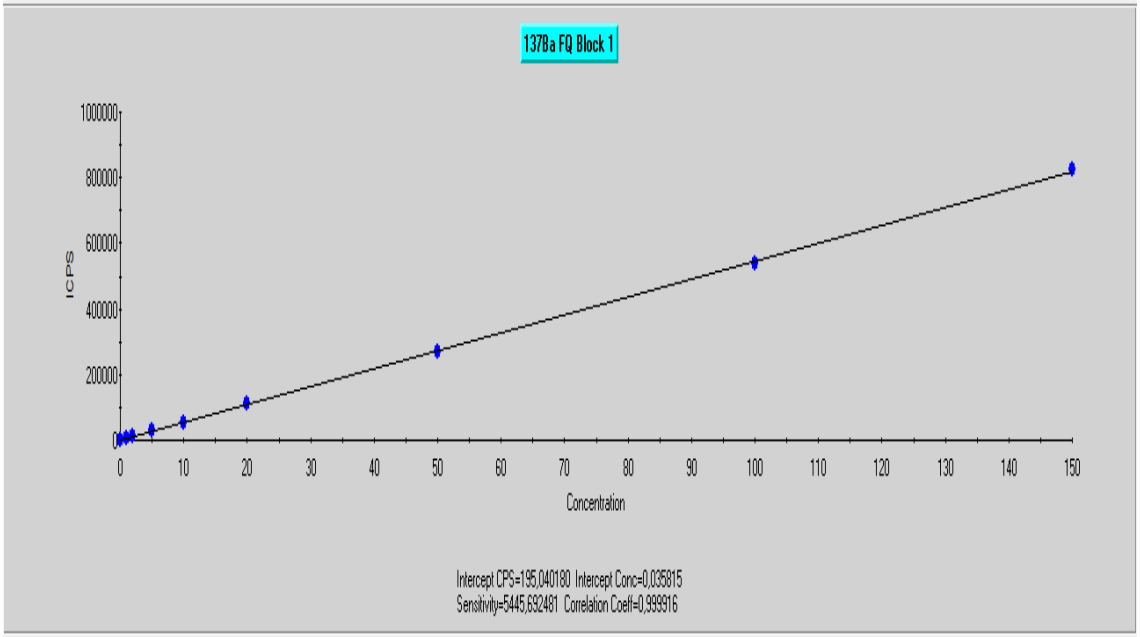
Şekil 4-12. As elementi kalibrasyon eğrisi



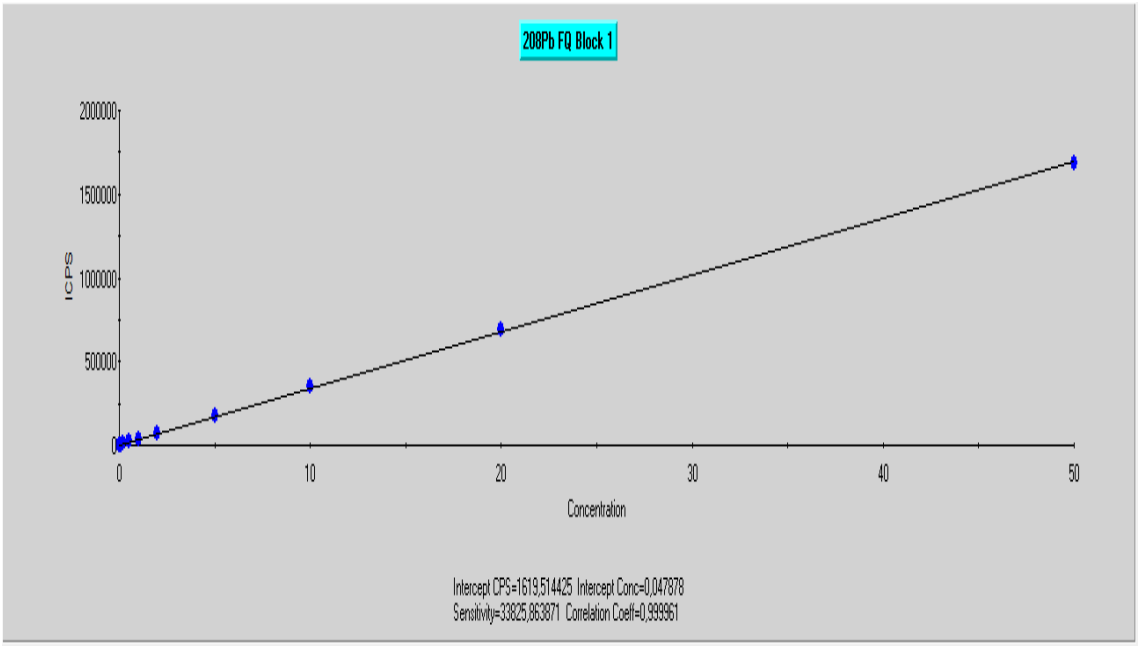
Şekil 4-13. Sr elementi kalibrasyon eğrisi



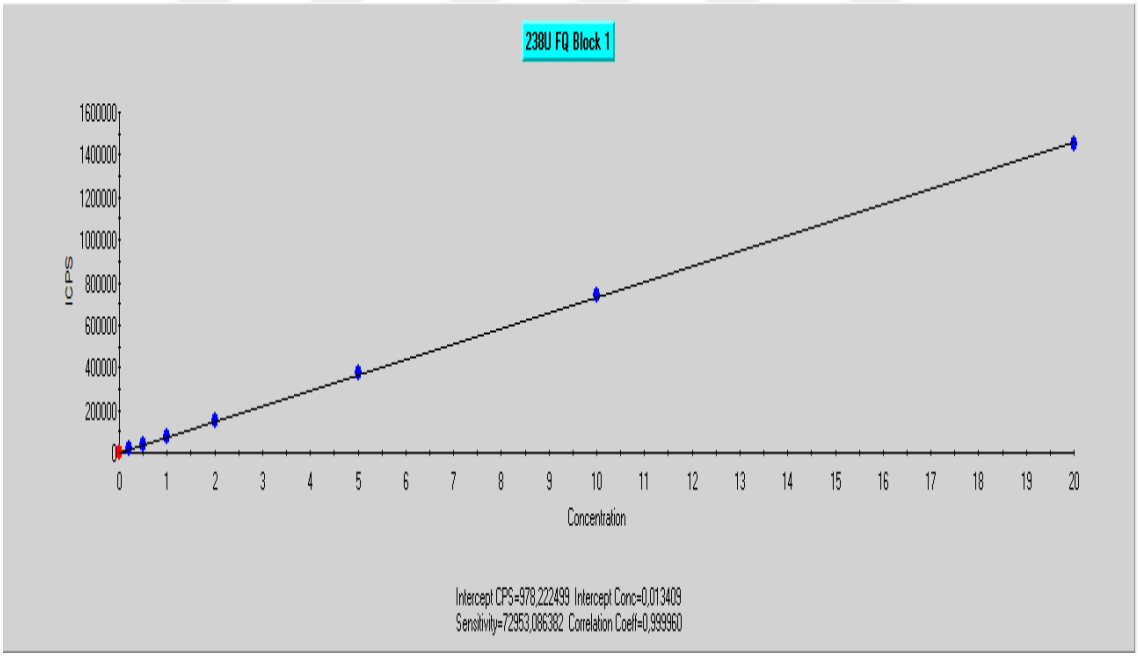
Şekil 4-14. Cd elementi kalibrasyon eğrisi



Şekil 4-15. Ba elementi kalibrasyon eğrisi



Şekil 4-16. Pb elementi kalibrasyon eğrisi



Şekil 4-17. U elementi kalibrasyon eğrisi

ICP-MS sistemi ile yapılan analizler sonucu elde edilen tüm kalibrasyon eğrilerinin korelasyon katsayısı >0.997 olarak bulundu. Tespit limiti (LOD) ve tayin limiti (LOQ) hesaplamaları için, 10 farklı blank numune analiz edildi ve standart sapmaları hesaplandı. LOD değeri, standart sapmanın 3 katı alınarak, LOQ değeri ise standart sapmanın 10 katı alınarak hesaplandı. Tablo IX'da liste halinde verilen parametrelere bakıldığında, ICP-MS sisteminin düşük limitlerde hassas ölçüm kabiliyeti olduğu ve geniş doğrusal aralıkta yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğu görülmektedir.

Tablo IX. ICP-MS sistemi performans değerleri

	LOD (ng/mL)	**LOQ (ng/mL)**	**Doğrusallık Aralığı (ng/mL)**	**Korelasyon Katsayısı**
Li	0,01	0,05	0.1 - 150	>0.999
Be	0,02	0,06	0.1 - 100	>0.999
Mg	0,88	2,92	0.1 - 300	>0.999
Al	2,29	7,64	0.1 - 150	>0.999
K	Yarı Kantitatif			
Ca	3,94	13,40	0.1 - 400	>0.997
V	Yarı Kantitatif			
Cr	0,02	0,07	0.1 - 150	>0.999
Mn	0,12	0,39	0.1 - 150	>0.999
Co	0,01	0,03	0.1 - 150	>0.999
Ni	0,07	0,23	0.1 - 150	>0.999
Cu	0,13	0,42	0.1 - 150	>0.999
Zn	0,21	0,70	0.1 - 400	>0.999
As	0,02	0,08	0.1 - 150	>0.999
Se	0,04	0,14	0.1 - 150	>0.999
Rb	Yarı Kantitatif			
Sr	0,05	0,15	0.1 - 100	>0.999
Cd	0,00	0,01	0.1 - 150	>0.999
Sn	Yarı Kantitatif			
Sb	0,02	0,08	0.1 - 150	>0.999
Cs	Yarı Kantitatif			
Ba	0,02	0,06	0.1 - 150	>0.999
Pb	0,01	0,03	0.1 - 50	>0.999
U	0,04	0,13	0.1 - 20	>0.999

Uygulanan yöntemin geçerlilik çalışmaları için hesaplanan geri kazanım ve tekrar edilebilirlik sonuçları Tablo X'da verilmiştir ve tüm parametrelerin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür. ICP-MS sistemini kullanarak uygulanan yöntemde, geri kazanımı %64.01-%114.95 arasında, tekrar edilebilirlik sınırını <20 %RSD olarak tespit ederek, kullanılan yöntemin güvenilir, tekrar edilebilir ve hassas tayin limitlerine sahip olduğu gösterilmiştir.

Tablo X. Sistem geri kazanım ve tekrar edilebilirlik sonuçları

	20 ng/mL	**% Geri Kazanım**	**%RSD**	**50 ng/mL**	**% Geri Kazanım**	**%RSD**	**100 ng/mL**	**% Geri Kazanım**	**%RSD**
Li	16,82	84,08	2,38	39,11	78,21	4,18	74,47	74,47	2,75
Be	15,70	78,48	2,83	37,13	74,27	3,28	68,68	68,68	1,48
Mn	22,99	114,95	3,02	50,02	100,05	19,59	81,03	81,03	5,00
Co	15,99	79,95	2,19	37,38	74,77	3,65	68,44	68,44	1,39
Ni	15,76	78,80	2,64	36,22	72,43	3,45	66,21	66,21	1,49
Cu	14,25	71,25	2,44	35,00	70,00	3,87	65,43	65,43	1,36
Zn	14,84	74,20	3,53	34,48	68,95	4,29	64,20	64,20	3,80
Sr	16,38	81,92	4,46	38,15	76,31	4,48	70,90	70,90	1,98
U	14,01	70,07	1,82	32,01	64,01	6,32	67,87	67,87	2,41

Yapılan analiz yöntemini desteklemek amacıyla sertifikalı toprak referans materyali kullanılmıştır. Çalışmada içerik değerleri bilinen ve ticari olarak satın alınan organikçe zengin toprak örnekleri, uygulanan yöntem ile analiz edilmiştir. Elde edilen bulguların Zn hariç Tablo XI'de görüldüğü gibi sertifakalı değerlere çok yakın sonuçlar olduğu görülmüştür. Zn'deki %63 doğruluk değerinin ise 0.1 – 400 ng/mL olan kalibrasyon aralığının sertifika değerinin altında olması ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Tablo XI. Sonuçların sertifikalı referans değerler ile karşılaştırılması

	Sertifika Değeri (mg/kg)	**Bulunan Değer (mg/kg)**	**% Doğruluk**
Cr	19.0±1.1	17.35±0.58	91
Ni	99.0±5.1	88.92±2.81	90
Cu	36.3±1.6	33.60±1.34	93
Zn	719±24	455.20±27.71	63
Cd	67.5±2.8	67.04±1.4	99
Pb	4.85±0.38	4.35±0.02	90

İstanbul'da bulunan E80 Tem otoyolu ve KMO'unun dört farklı bölgesinden, yol kenarına 0 m, 10 m ve 25 m olacak şekilde toplanan toprak örneklerinin, ICP-MS sistemi ile yapılan analizleri sonucu, 24 adet elementin miktar tayinleri yapılmıştır (Tablo XII–Tablo XIII).

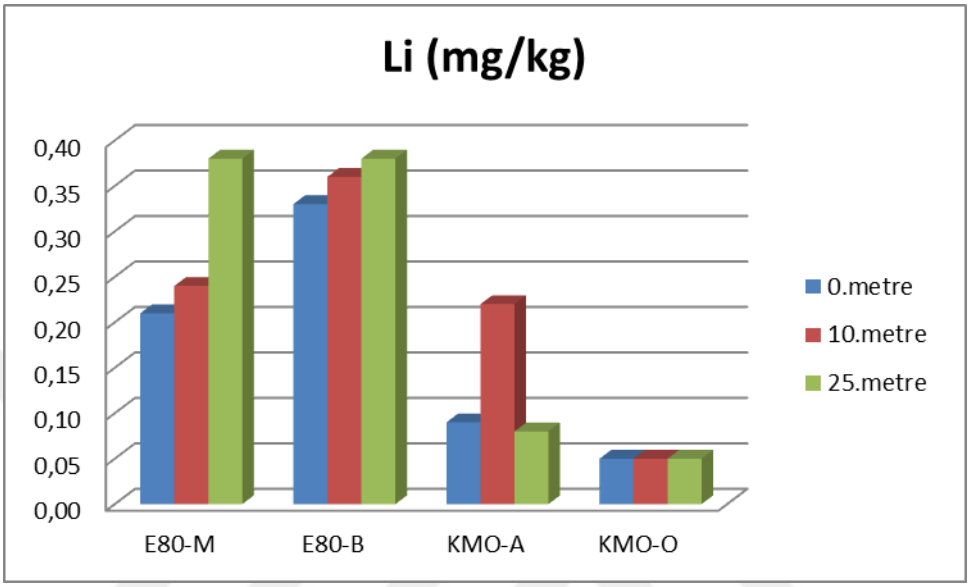
Tablo XII. E80 Tem otoyolu yol kenarı toprağı inorganik element içerikleri

	E80-M (mg/kg)			**E80-B (mg/kg)**		
	0 m	**10 m**	**25 m**	**0 m**	**10 m**	**25 m**
Li	0,21	0,24	0,38	0,33	0,36	0,38
Be	0,13	0,15	0,16	0,10	0,13	0,12
Mg	1065,47	603,60	407,95	1778,00	591,47	576,13
Al	83,39	75,57	79,23	89,32	78,75	77,31
K	165,56	234,97	263,43	226,41	362,43	348,91
Ca	38622,67	15429,33	10313,33	78186,67	56666,67	53933,33
V	<LOQ	<LOQ	0,03	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Cr	1,39	0,58	0,30	1,47	1,19	1,29
Mn	107,28	73,24	49,93	201,53	131,53	120,16
Co	1,80	1,21	0,84	1,96	1,24	1,52
Ni	4,02	2,99	2,66	5,08	4,46	3,78
Cu	3,33	1,46	0,42	16,67	0,92	0,88
Zn	30,44	11,63	2,98	113,04	3,68	2,01
As	0,28	0,32	0,33	0,29	0,33	0,61
Se	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Rb	0,13	0,17	0,17	0,17	0,19	0,21
Sr	74,77	41,70	37,48	149,65	203,25	227,73
Cd	0,13	0,07	0,05	0,59	0,18	0,26
Sn	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Sb	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,29	<LOQ	<LOQ
Cs	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Ba	42,38	37,84	46,21	55,79	52,68	65,87
Pb	2,80	1,30	0,99	14,77	1,63	2,33
U	0,26	<LOQ	<LOQ	0,28	0,30	0,45

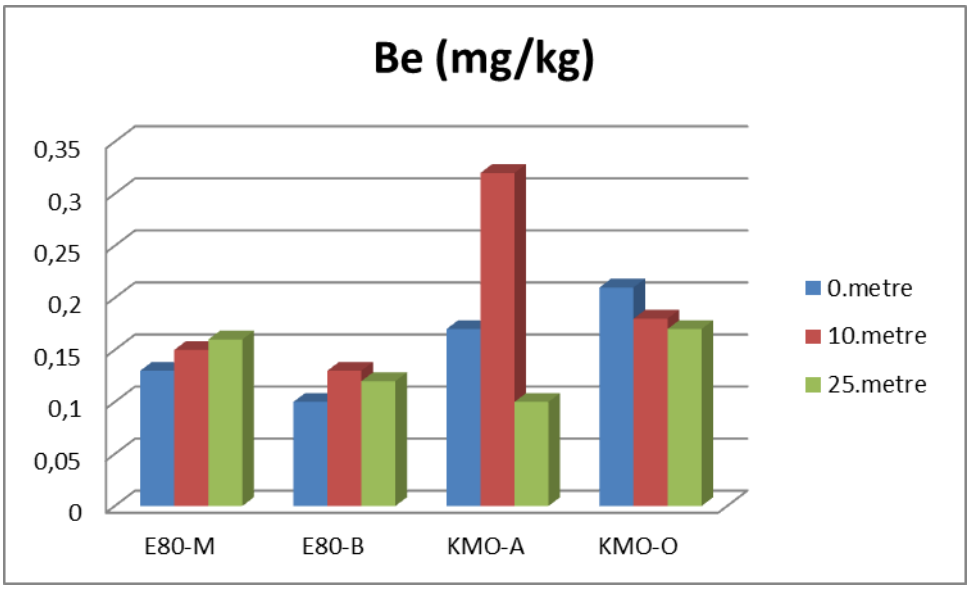
Tablo XIII. KMO'u yol kenarı toprağı inorganik element içerikleri

	KMO-A (mg/kg)			KMO-O (mg/kg)		
	0 m	**10 m**	**25 m**	**0 m**	**10 m**	**25 m**
Li	0,09	0,22	0,08	0,05	0,05	0,05
Be	0,17	0,32	0,10	0,21	0,18	0,17
Mg	642,71	235,08	185,59	161,15	193,45	273,39
Al	105,43	86,33	75,33	94,00	77,42	82,53
K	97,92	96,40	55,97	64,79	74,61	61,97
Ca	9397,20	720,40	322,21	789,07	786,27	518,53
V	<LOQ	<LOQ	0,02	0,02	0,01	<LOQ
Cr	0,53	0,19	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Mn	91,67	58,65	23,38	71,17	79,92	44,05
Co	1,87	1,29	1,24	1,01	1,18	0,88
Ni	1,77	0,98	0,88	0,95	1,12	0,57
Cu	9,25	0,78	0,58	0,65	0,71	0,51
Zn	24,99	2,17	2,48	1,55	2,23	1,09
As	<LOQ	0,15	<LOQ	<LOQ	0,02	<LOQ
Se	<LOQ	0,20	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Rb	0,10	0,16	0,13	0,15	0,13	0,18
Sr	23,21	5,73	2,03	4,31	4,71	4,47
Cd	0,02	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,02	<LOQ
Sn	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Sb	<LOQ	0,10	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Cs	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Ba	19,58	16,63	13,01	29,47	29,79	27,02
Pb	1,10	0,44	0,23	0,31	0,30	0,65
U	0,17	0,24	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ

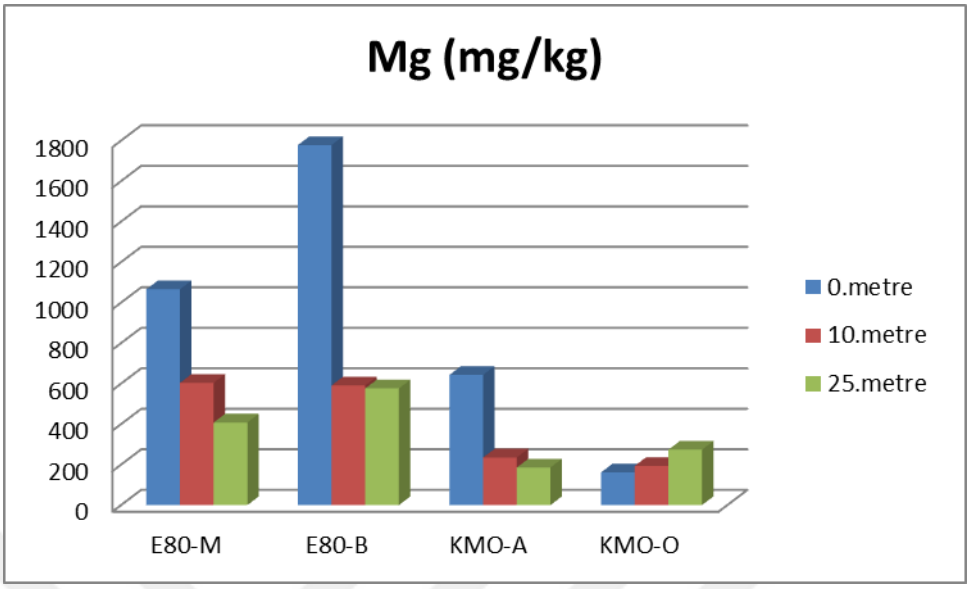
ICP-MS sistemi ile yapılan analizler sonucu elde edilen veriler, iki farklı otoban ve dört farklı bölgeden, yol kenarına mesafeleri 0 m, 10 m ve 25 m olacak şekilde karşılaştırmalı olarak Şekil 4.18 – Şekil 4.36 arasında grafiksel olarak gösterilmiştir.



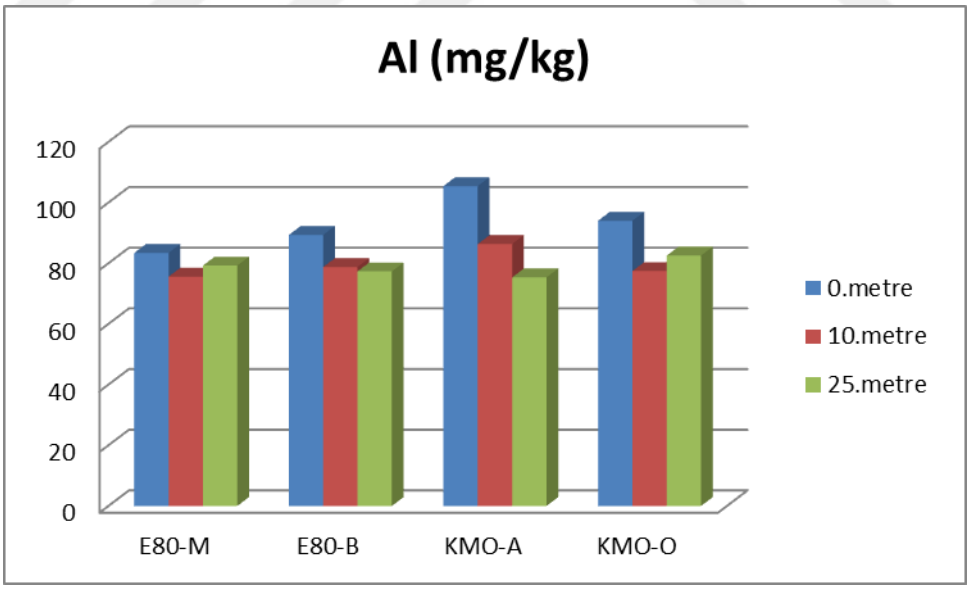
Şekil 4-18. Li metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



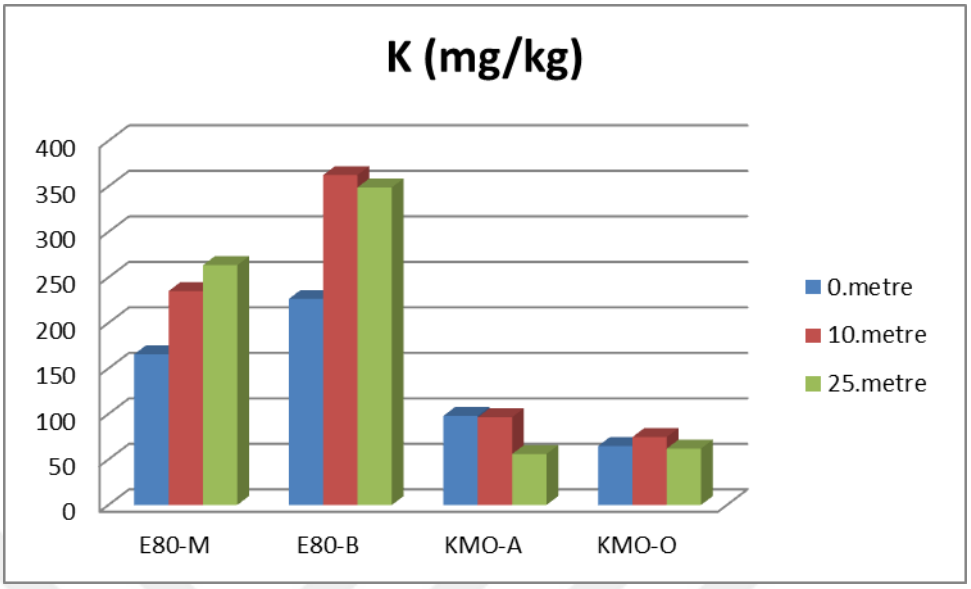
Şekil 4-19. Be metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



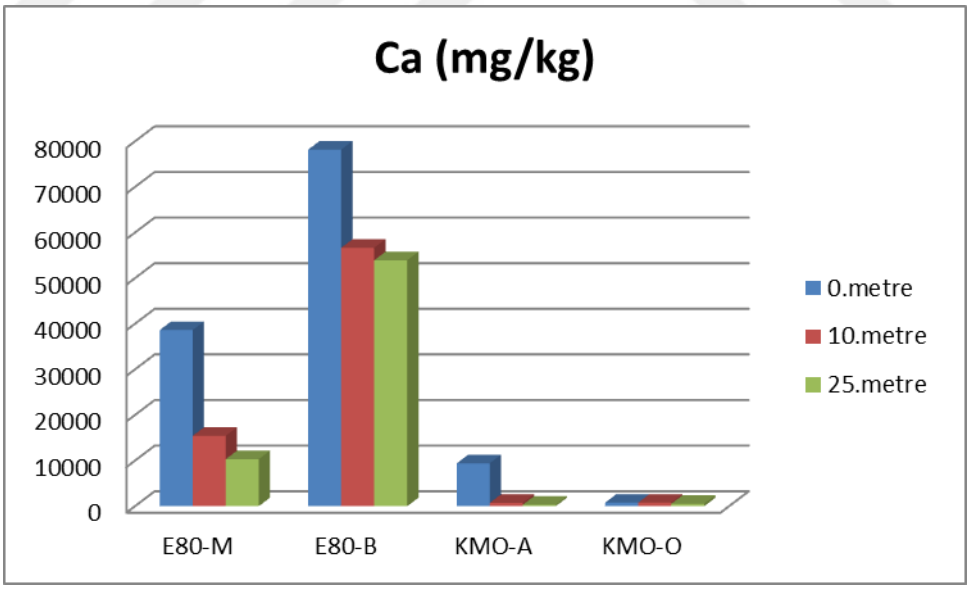
Şekil 4-20. Mg metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



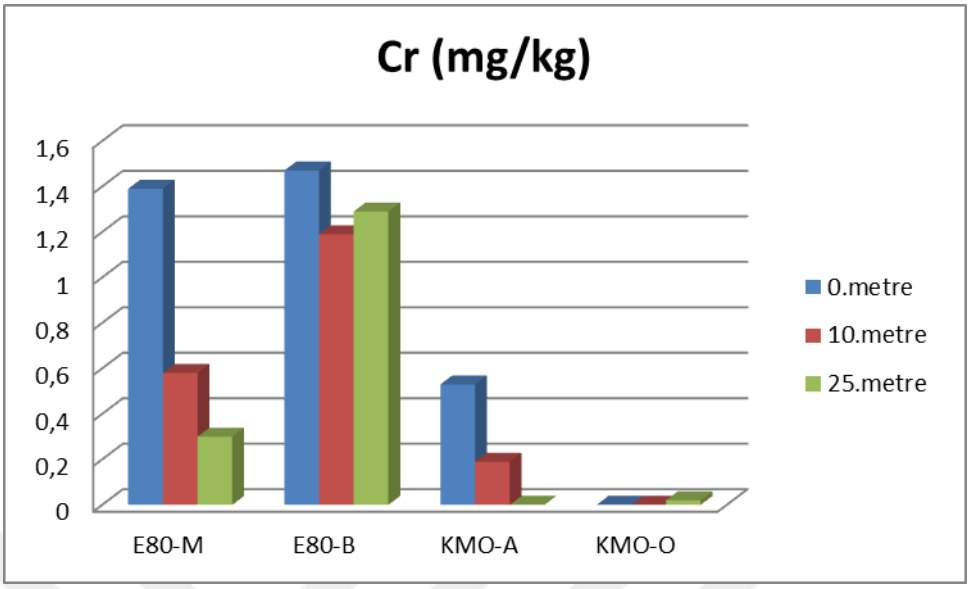
Şekil 4-21. Al metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



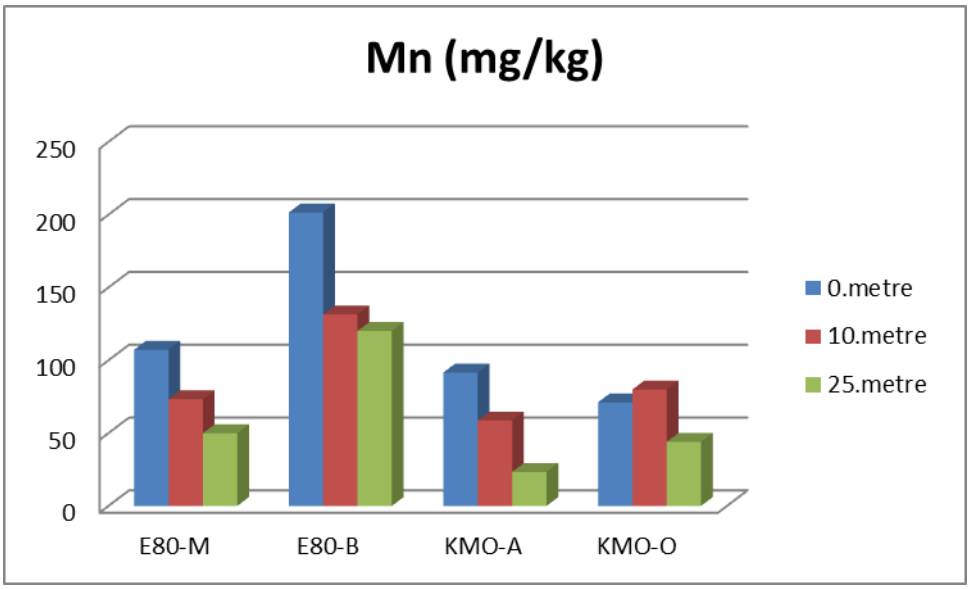
Şekil 4-22. K metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



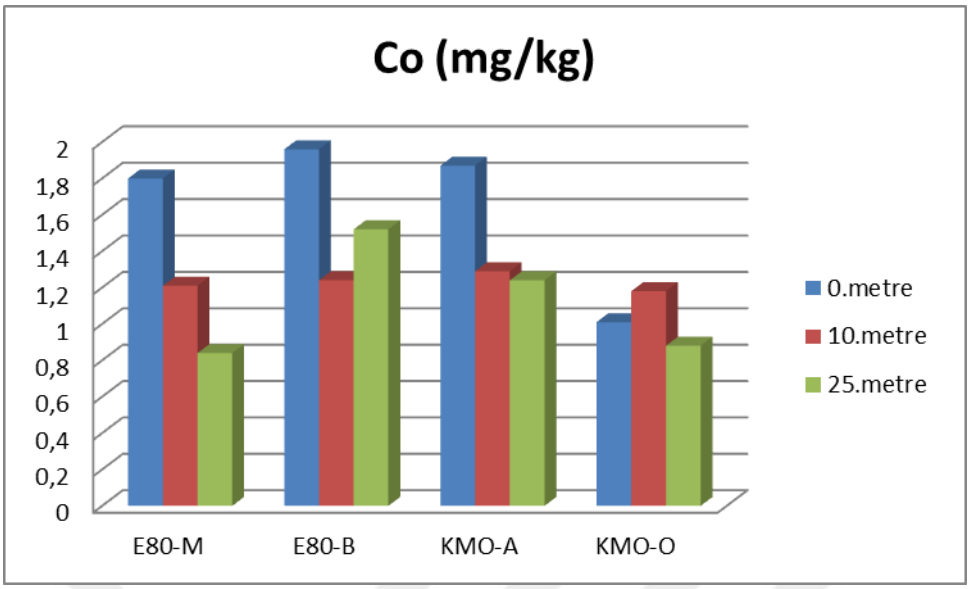
Şekil 4-23. Ca metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



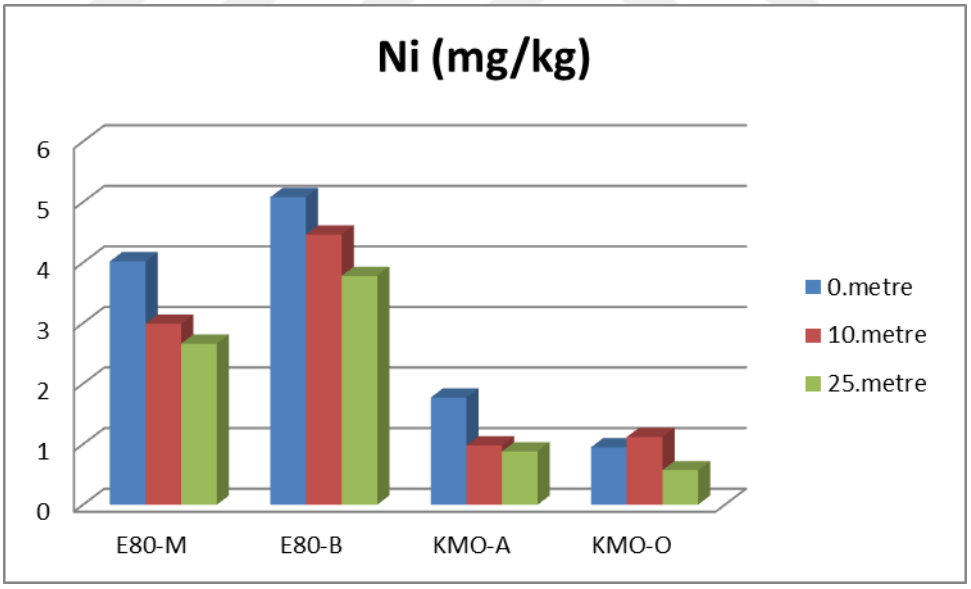
Şekil 4-24. Cr metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



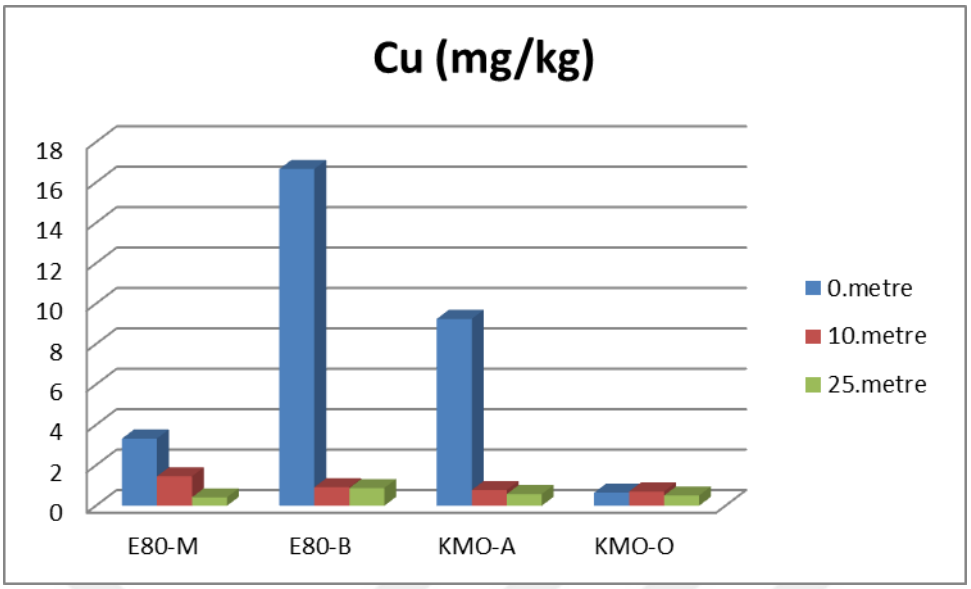
Şekil 4-25. Mn metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



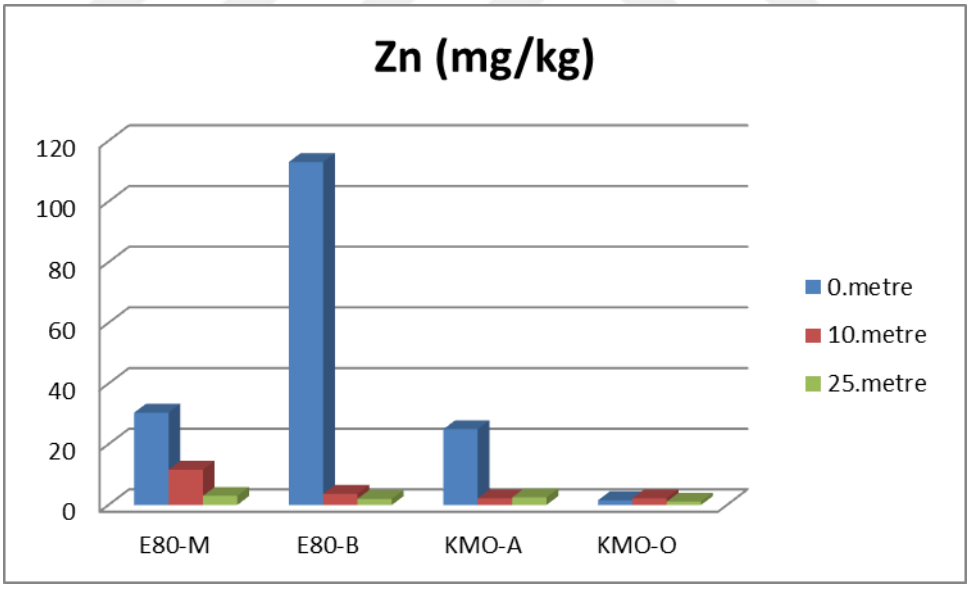
Şekil 4-26. Co metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



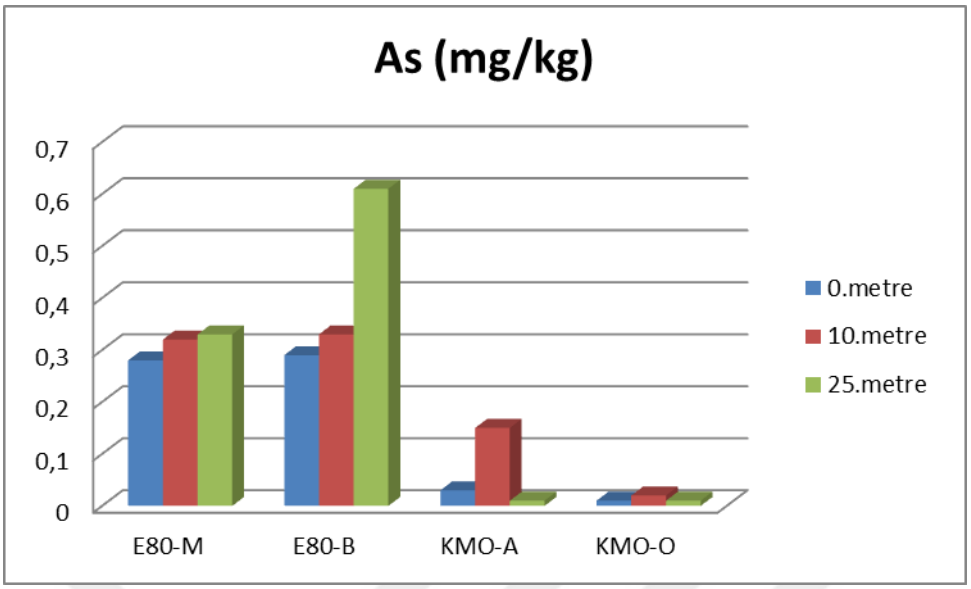
Şekil 4-27. Ni metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



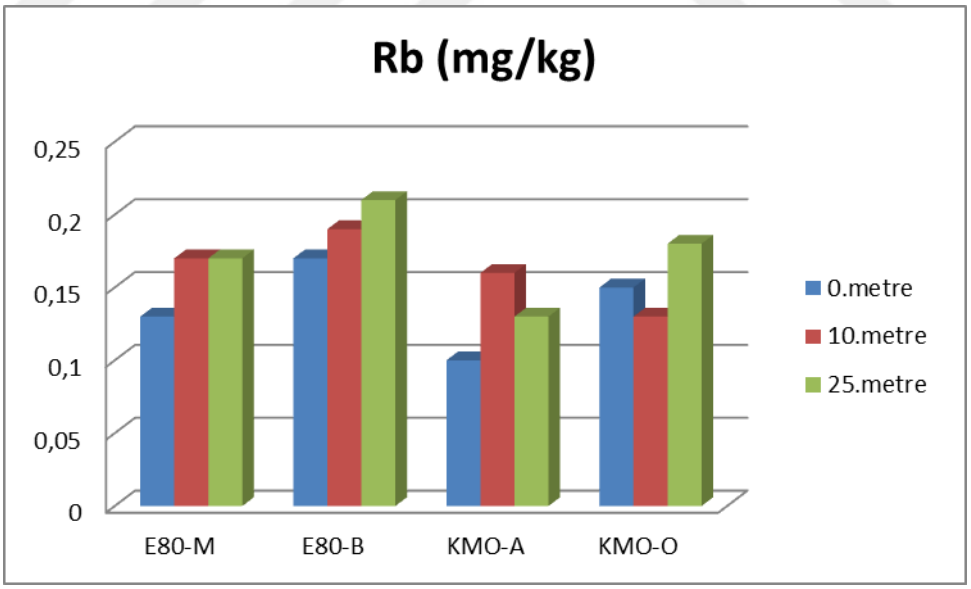
Şekil 4-28. Cu metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



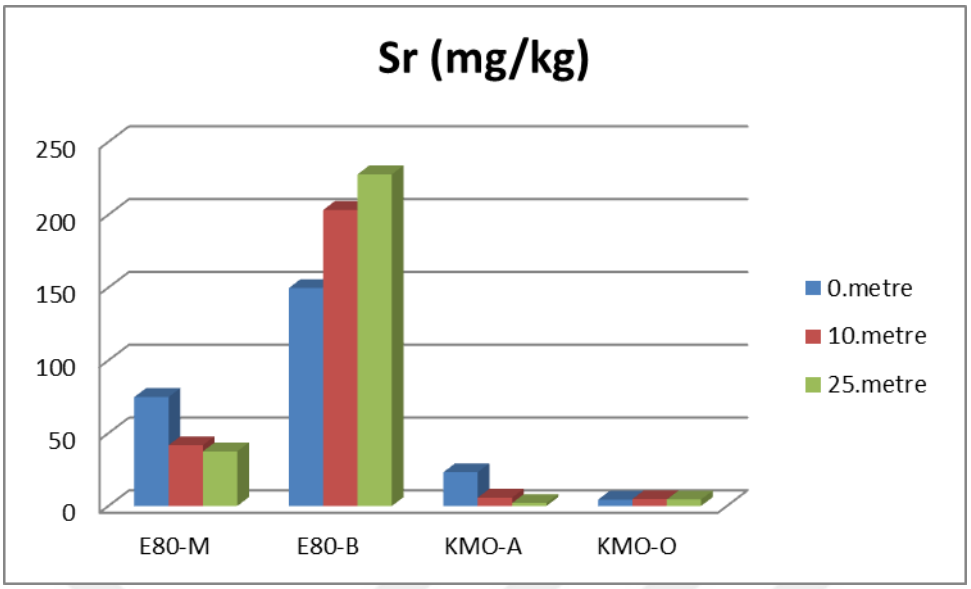
Şekil 4-29. Zn metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



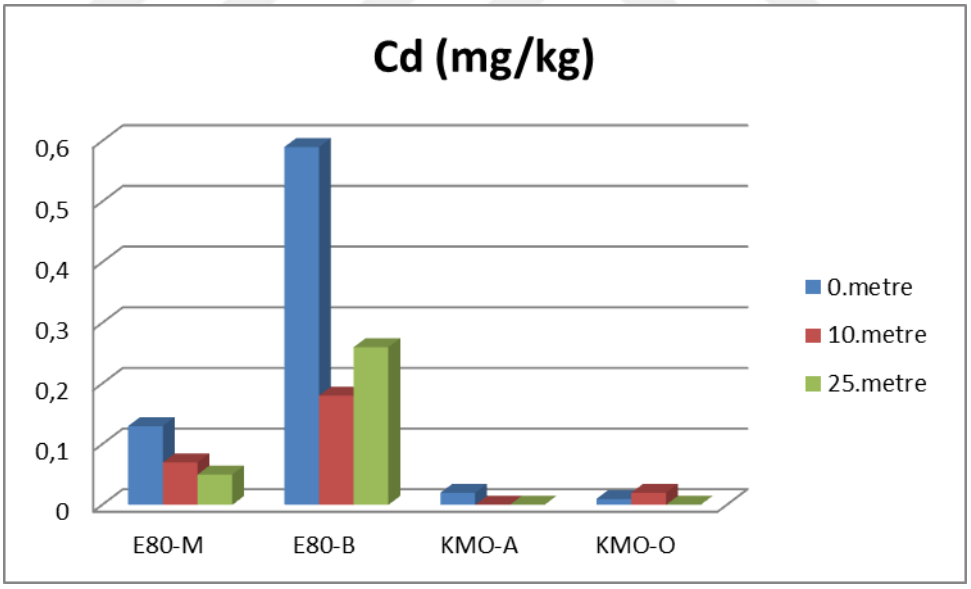
Şekil 4-30. As metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



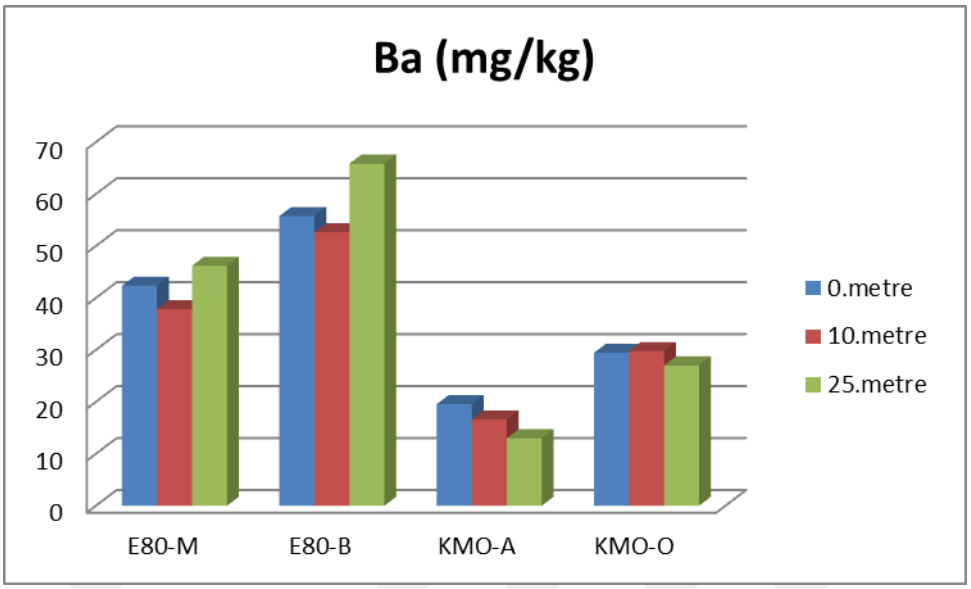
Şekil 4-31. Rb metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



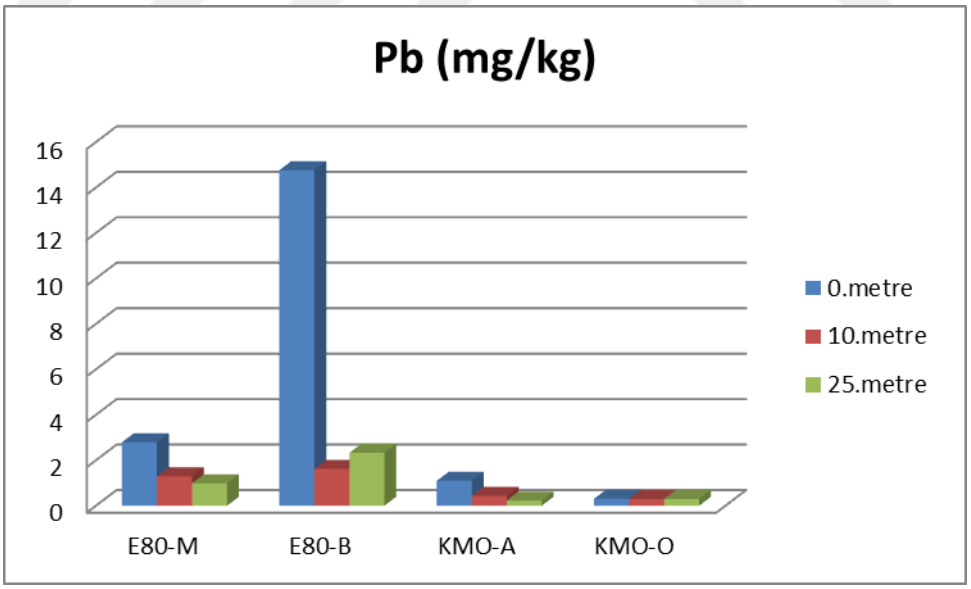
Şekil 4-32. Sr metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



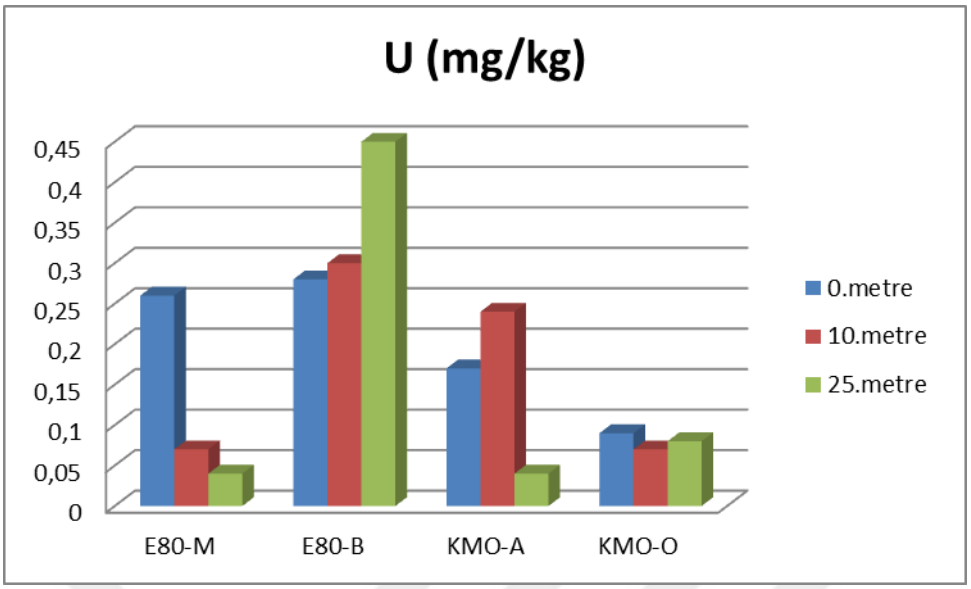
Şekil 4-33. Cd metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



Şekil 4-34. Ba metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



Şekil 4-35. Pb metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması



Şekil 4-36. U metalinin iki farklı otobanın iki farklı bölgesinde ve farklı uzaklıklarda tespit edilen miktarlarının karşılaştırılması

5. TARTIŞMA

Son zamanlarda toprak örnekleri sayesinde aydınlatılmış adli vakalara bakıldığında, toprağın adli bilimler açısından önemli bir delil olduğunu söyleyebiliriz. Toprak örnekleri olaydan sonra elde edilebilir ve içeriğinde adli bir olayı aydınlatabilecek bilgileri barındırabilir. Elde edilen toprak delillerinin analizi sonrası olay yeri - fail arasında bağlantı kurmamız ve gizemli bir olayı aydınlatmamız mümkündür. Bu amaçla farklı bölgelerdeki toprak tiplerinin inorganik içeriklerinin araştırılması ve bu bölgelerdeki toprak kirliliğine sebep olan çevresel etmenlerin toprak kirliliği üzerindeki etkilerinin incelenmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında İstanbul'da bulunan bazı otoyol kenarı topraklarında, araç emisyonlarından kaynaklı inorganik element konsantrasyonları üzerinde durulmuştur. Trafik yoğunluğu farklı olan iki otoban kenarının, dört farklı bölgesinden ve yol kenarına farklı uzaklıklardan toplanan toprak örneklerinin, inorganik analizi gerçekleştirilmiştir. E80 TEM Otoyolu Mahmutbey mevki (E80-M), E80 TEM Otoyolu Bahçeşehir mevki (E80-B), Kuzey Marmara Otoyolu Arnavutköy mevki (KMO-A) ve Kuzey Marmara Otoyolu Odayeri mevki (KMO-O) olmak üzere dört farklı bölgeden yol kenarına 0, 10 ve 25 m uzaklıktan olacak şekilde (0-5 cm) yüzey toprağından toplanan numuneler ICP-MS sistemi ile analiz edilerek 24 adet inorganik elementin miktar tayini yapılmıştır. Çalışma, İstanbul'da bulunan otoyol kenarı toprak örnekleri içerisinde, karşılaştrmalı olarak 24 adet inorganik element analizinin aynı anda yapıldığı tek çalışma olması nedeniyle literatüre önemli katkı sağlayacaktır.

Yol kenarındaki topraklara yönelik ağır metal emisyonun ana kaynağı karayolu trafik faaliyetleridir ve en fazla metal yoğunluğu yoğun trafik bulunan bölgelerde bulunabilir. Daha önce yapılmış bir çok çalışmada, yol kenarındaki topraklarda ağır metal konsantrasyonları üzerindeki taşıt emisyonlarının etki mekanizmaları araştırılmıştır. Genellikle trafik kirliliğini değerlendirmek için kullanılan elementler Cu, Zn, Cd ve Pd'dir. İnorganik element konsantrasyonlarının artan yol kenarı mesafesine göre azalmış olduğu gözlemlenmektedir. Çeşitli yollarla toprağa giren metaller, yağmur suyu ve çeşitli yöntemlerle nehir suları ve göllere ulaşabilir. Toprak, su ve bitkilerin bünyesinde bulunan ağır metaller, hayvan ve insan vücudunda birikebilir. Bu nedenle halk sağlığı için ciddi tehditler oluşturabilir. Ağır metallerin son derece düşük dozlarda

bile insan vücudu için ciddi hastalıklara hatta ölüme neden olabileceği bilinmektedir (3).

Zhang ve ark. yapmış olduğu çalışmada yol kenarının 0, 10, 30, 50 ve 100 m mesafelerden alınan toprak numunelerinin yapılan inorganik analizi sonucu; Cu elementi için sırasıyla 19.75 mg/kg, 19.98 mg/kg, 20.53 mg/kg, 19.32 mg/kg ve 20.39 mg/kg, Zn elementi için sırasıyla 69.52 mg/kg, 81.28 mg/kg, 81.74 mg/kg, 71.42 mg/kg ve 77.49 mg/kg, Cd elementi için sırasıyla 0.38 mg/kg, 0.35 mg/kg, 0.36 mg/kg, 0.36 mg/kg ve 0.33 mg/kg ve Pb elementi için sırasıyla 28.83 mg/kg, 22.91 mg/kg, 22.23 mg/kg, 17.67 mg/kg ve 21.67 mg/kg olarak tespit edilmiştir (5).

Yan ve ark. yapmış olduğu benzer çalışmada yol kenarına 0, 10 ve 50 m uzaklıktan alınan toprak numunelerinin yapılan analizi sonucu elde edilen veriler; Cu elementi için sırasıyla 24.2 mg/kg, 23.1 mg/kg ve 20,6 mg/kg, Zn elementi için 99.6 mg/kg, 97.7 mg/kg ve 89.5 mg/kg, Cd elementi için sırasıyla 0.28 mg/kg, 0.23 mg/kg ve 0.21 mg/kg ve Pb elementi için sırasıyla 28.4 mg/kg, 23.0 mg/kg ve 20.5 mg/kg olarak elde edilmiştir. Cu, Zn, Cd ve Pb konsantrasyonlarının yol kenarı mesafesiyle azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda bu çalışmada trafik yoğunluğuna göre ağır metal analizi yapılmıştır. Çok yoğun, orta ve az yoğun trafikte toplanan yol kenarı toprak örneklerinin incelenmesi sonucu elde edilen verilere bakıldığında Cu, Zn, Cd ve Pb konsantrasyonlarının trafik yoğunluğunun azalmasıyla birlikte azaldığı gözlemlenmiştir (3).

Chen ve ark. Pekin'de bulunan otoyol kenarlarından topladıkları topraklardaki ağır metal konsantrasyonlarını incelemek için yapmış oldukları çalışmada, 10 farklı otoyol kenarından 80 adet üst toprak örneği toplamışlardır. İncelenen ağır metal konsantrasyonlarının analitik sonuçlarına baktığımızda As, Cd, Cr , Cu, Ni, Pb ve Zn ortalamaları sırasıyla 8.1 mg/kg, 0.215 mg/kg, 61.9 mg/kg, 29.7 mg/kg, 26.7 mg/kg, 35.4 mg/kg ve 92.1 mg/kg olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda Cd, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonlarının yoldan uzaklaştıkça azalan bir eğilim gösteriken, As, Cr ve Ni konsantrasyonları için bu eğilim tespit edilememiştir. En yüksek trafik hacmine sahip bölgeden alınan toprak örneklerinin, en yüksek ağır metal konsantrasyonlarına sahip olduğu gözlenmiştir. Çin'in toprak yönergesi değerlerine göre, Cd'un yol kenarı topraklarında önemli kirlenme sebebi olduğu düşünülürken, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonun daha az kirlenme sebebi olduğu ve yol kenarı mesafesinin, trafik

yoğunluğu ile doğrudan bağlantılı olduğu tespit edilmiştir. Ancak As, Ni ve Cr için böyle bir sonuca varılamamıştır (55).

Bentum ve ark. yapmış oldukları çalışmada Gana Accra metropolünde Obansandjo yolu boyunca, üç farklı bölgeden yol kenarı toprak ve bitki numuneleri toplamışlardır. Toplanan toprak ve bitki numuneleri üzerinde Ni, Cu, Pb ve Zn gibi ağır metal seviyelerini araştırmışlar ve sırasıya ortalama 228.65 mg/kg, 35.98 mg/kg, 24.57 mg/kg ve 18.25 mg/kg seviyelerinde tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmada özellikle Ni seviyesinin kritik seviyenin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Örneklerin toplandığı bölgelerde endüstri kuruluşları ve sanayi bölgesi olmaması sebebiyle, toprak ve bitki içeriklerinde tespit edilen ağır metal miktarlarının büyük ölçüde otomobil emisyonlarından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (56).

Kırpık ve ark. yapmış oldukları çalışmada Adana-Ceyhan otoyol gişeleri ile Misis Organize Sanayi Bölgesi arasında kalan otoyol üzerinden topladıkları bitki örnekleri üzerinde ağır metal konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Cu, Zn, Mn, Cr, Ni ve Pb elementleri için saptanan konsantrasyonlar sırasıyla 13.9 mg/kg, 68.9 mg/kg, 71.3 mg/kg, 1.52 mg/kg, 62.06 mg/kg ve 7.3 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda; ağır metaller için tespit edilen değerlerin, izin verilen seviyelerden yüksek olması nedeniyle bu bitkilerin gıda amaçlı kullanımının enegellenmesi gerektiği aksi durumda ölümcül sağlık sorunlarına neden olabileceği gösterilmiştir (57).

Bu çalışmada E80 Tem Otoyolu ve KMO'dan alınan toprak numunelerindeki inorganik element konsantrasyonlarını incelediğimizde, her iki otoyolda da yol kenarından uzaklaşıldıkça toprak içeriğinde bulunan Mg, Ca, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn ve Pb miktarlarının belirgin şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca E80 Tem Otoyolu'ndaki Mg, K, Ca, Mn, Ni, Cu, Cr, Zn, As, Sr, Cd, Ba ve Pb konsantrasyonlarının, KMO'dan daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin E80 Tem Otoyolu trafik yoğunluğunun, KMO trafik yoğunluğuna göre daha fazla olmasının, aynı zamanda E80 Tem Otoyolunun, KMO'ya göre daha eski ve daha uzun zamandır kullanılmakta olmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Yan ve ark. (3) ile Chen ve ark. (55) yapmış oldukları çalışmada, Cd, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonlarının artan yol kenarı mesafesi ile azaldığını tespit etmişlerdir. Bizim çalışmamızda da benzer şekilde Cd, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonlarının artan yol kenarı mesafesi ile azaldığı tespit edilmiştir. Fakat Chen ve ark. yapmış olduğu çalışmada, As, Cr ve Ni konsantrasyonları için artan

yol kenarı mesafesi ile anlamlı bir değişim tespit edemedikleri halde bizim çalışmamızda As, Cr ve Ni konsantrasyonlarının artan yol kenarı mesafesi ile azaldığı tespit edilmiştir. Tablo XIV'de çalışmada elde edilen Mg, K, Ca, Ni, Cu, Cr, Zn, As, Sr, Cd, Ba ve Pb konsantrasyonları gösterilmiştir.

Tablo XIV. E80 ve KMO'u Mg, K, Ca, Ni, Cu, Cr, Zn, As, Sr, Cd, Ba ve Pb konsantrasyonları

	E80-M (mg/kg)			**E80-B (mg/kg)**		
	0 m	**10 m**	**25 m**	**0 m**	**10 m**	**25 m**
Mg	1065,47	603,60	407,95	1778,00	591,47	576,13
K	165,56	234,97	263,43	226,41	362,43	348,91
Ca	38622,67	15429,33	10313,33	78186,67	56666,67	53933,33
Cr	1,39	0,58	0,30	1,47	1,19	1,29
Mn	107,28	73,24	49,93	201,53	131,53	120,16
Ni	4,02	2,99	2,66	5,08	4,46	3,78
Cu	3,33	1,46	0,42	16,67	0,92	0,88
Zn	30,44	11,63	2,98	113,04	3,68	2,01
As	0,28	0,32	0,33	0,29	0,33	0,61
Sr	74,77	41,70	37,48	149,65	203,25	227,73
Cd	0,13	0,07	0,05	0,59	0,18	0,26
Ba	42,38	37,84	46,21	55,79	52,68	65,87
Pb	2,80	1,30	0,99	14,77	1,63	2,33
	KMO-A (mg/kg)			**KMO-B (mg/kg)**		
	0 m	**10 m**	**25 m**	**0 m**	**10 m**	**25 m**
Mg	642,71	235,08	185,59	161,15	193,45	273,39
K	97,92	96,40	55,97	64,79	74,61	61,97
Ca	9397,20	720,40	322,21	789,07	786,27	518,53
Cr	0,53	0,19	-0,02	-0,02	0,00	0,02
Mn	91,67	58,65	23,38	71,17	79,92	44,05
Ni	1,77	0,98	0,88	0,95	1,12	0,57
Cu	9,25	0,78	0,58	0,65	0,71	0,51
Zn	24,99	2,17	2,48	1,55	2,23	1,09
As	0,03	0,15	0,01	0,01	0,02	0,01
Sr	23,21	5,73	2,03	4,31	4,71	4,47
Cd	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00
Ba	19,58	16,63	13,01	29,47	29,79	27,02
Pb	1,10	0,44	0,23	0,31	0,30	0,65

Toprak, cezai soruşturmalar için taşınabilir delil olarak önemli bilgiler sağlayabilir. Çünkü birçok ceza davası, toprağın bir suçluya veya mağdura transfer olduğu şartlar altında gerçekleşir. Topraklar arasında farklılık olması, toprağı süpheli ve suç mahalli arasındaki bağalntıyı sağlamak için değerli bir kanıt haline getirir. Toprak, mineralojik, kimyasal, biyolojik ve fiziksel özelliklere sahip karmaşık bir yapıya sahiptir. Toprağın ayırt edici özelliğini arttırmak ve adli bilimlerin amacı doğrultusunda kullanmak üzere çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Ancak önemli olan, her türlü yöntemin kullanılması değil, toprak örneklerinin içeriklerini dikkate alarak uygun bir yöntem kombinasyonu seçilmesidir (35).

Toprak içeriğinde bulunan kaya, mineral gibi maddeler ve tuğla, cam gibi insan yapımı maddelerden elde edilen örnekler, zanlıları suç mahalleriyle ilişkilendirmek için mükemmel kanıtlar sağlar. Adli bilimciler toprak delillerini, cezai soruşturmalarda giderek daha popüler bir kanıt haline getirmek için gelişmiş teknikler kullanmaktadırlar. Adli toprak analizinin amacı, ayakkabı, giysi, kürek veya araç gibi herhangi bir nesneden alınan toprak örneklerini, taşınmış oldukları belirli bölgelerle ilişkilendirmektir. Toprak materyalleri, cezai soruşturmalara yardımcı olabilecek en ideal taşınabilir kanıtlardır (24).

Toprak bileşenleri, bir kişiyi veya nesneyi bir yere bağlayan deliller içerebilir. Toprak kanıtının önemi, her yerde bulunması ve kişilere veya nesnelere kolayca transfer olmasından kaynaklanır. Toprağın inorganik ve organik bileşenlerinin analizi, jeolojik kökeni, bitki örtüsü, yönetimi ve çevresi hakkında tanımlayıcı bilgiler edinmemizi sağlayabilir. Toprak analizinde bir çok yöntem kullanılmaktadır ve her yöntemin güçlü ve zayıf yönleri mevcuttur. Daha fazla yöntem dijital ve nicel hale geldikçe, toprak profillerinin daha doğru ve farklı ölçeklerde karakterize edilmesine yardımcı olacaktır. Bu sayede, mevcut veritabanları kullanılarak ve dahada geliştirilerek, polis laboratuvarında incelenen bir örneğin olası sebebini hassaslaştırmaya ve daraltmaya yardımcı olacaktır ve kanıtlar için daha sağlam örnek karşılaştırma imkanı sunacaktır (58).

Toprakların, adli bir karşılaştırma için karakterize edilmesi gerekmektedir. Bunun için morfolojik ve analitik yöntemler olmak üzere iki ana aşama kullanılmaktadır. Morfolojik yöntemde, tüm toprak ve kompozit toprak parcacıklarının hızlı bir şekilde karakterizasyonu sağlanır. Bu aşamada Munsell renk sistemi ve çeşitli

mikroskobik yöntemler kullanılarak toprağın rengi, yapısı ve dokusu hızlı bir şekilde tanımlanabilir. Adli toprak biliminde, toprak numunelerinin hem kalitatif hemde kantitatif analizleri için tartışmasız en önemli yöntem analitik tekniklerdir. Toprak inorganik ve organik bileşenleri ve eser elementlerin miktarları bu yöntemlerle tespit edilebilir. Adli bilimlerde kullanılan analitik yöntemler XRD, XRF ve ICP-MS vb. sistemleri gibi sıralanabilir (59).

Her ne kadar bu tez çalışmasının ülkemizde ilk kez 24 elementi kapsayan geniş spektrumlu bir çalışma olduğu düşünülse de bazı kısıtlılıkları da mevcuttur. Daha fazla sayıda otoyoldan örnekler alınarak, belli zaman aralıklarında aynı otoyollardan aynı mesafelerde toprak önrekleri toplanarak analizi tekrarlanarak ve elementler arasındaki ilişkiyi tespit etmek üzere ileri istatistik araştırmalar yaparak çalışmanın daha ileri boyuta taşınabileceği düşünülmektedir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada İstanbul'da bulunan farklı otoyol kenarı toprakları ağır metal konsantrasyonları ICP-MS sistemi ile incelenmiştir. Çalışmada ICP-MS sistemi ile 24 adet eser element analizi yapılmıştır. Bu sitemin kullanılmasının en önemli sebebi, tek analizle bir örnek içerisinde bulunan 24 elementin eş zamanlı tayin edilebilmesi, yüksek duyarlılığa sahip olması ve düşük tespit limitlerinde bile hassas sonuçlar vermesidir. Yapılan analizler sonucunda; genel olarak literatürlerle uyumlu şekilde artan yol kenarı mesafesi ile inorganik element miktarlarında (özellikle Mg, Cr, Cu, Zn ve Pb elementleri için) azalma olduğu ve trafik yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde, az olan bölgelere oranla daha fazla Mg, K, Ca, Ni, Cu, Cr, Zn, As, Sr, Cd, Ba ve Pb elementlerinin birikmesi olduğu gözlemlenmiştir. Bu da çevresel etmenlerin (araç emisyonları, sanayi atıkları vb. gibi) toprak üzerinde önemli ölçüde kirlenme sebebi olduğunu göstermektedir.

Toprak, adli vakalarda olay yeri ve şüpheli arasında bağlantı kurulmasını sağlayacak en önemli deliller arasındadır. Şüpheli üzerinde bulunan elbise, ayakkabı, her türlü kesici, delici ve yaralayıcı alet veya şüphelinin kullanmış olduğu otomobil lastiği ile taşınan toprak parçaları, adli vakaların aydınlatılması açısından yol gösterici olacaktır. Şöyle ki; şüpheliyle birlikte taşınan toprak örnekleri ile olay yerinden elde edilen toprak örnekleri arasında karşılaştırma yapılabilir. Toprak numuneleri üzerinde yapılacak morfolojik, minerolojik ve analitik incelemeler sonucunda, karşılaştırma yapılan her iki toprağın da benzer karakteristik özellik gösterip göstermediği, aynı bölgeye ait olup olmadığı ve içeriğindeki organik ve inorganik madde miktarlarının aynı oranlarda olup olmadığı belirlenerek, şüpheli ile olay yeri arasında bağlantı kurulması mümkün hale gelecektir.

Yapılan bu çalışmayla İstanbul'da bulunan bazı otoyol kenarı topraklarının inorganik element profilleri çıkarılmıştır. Bilgimiz dahilinde bu çalışma İstanbul ilinde ana otoyol kenarlarındaki toprağın inorganik profilinin incelendiği ilk çalışma olması sebebiyle diğer çalışamlara rehber olacak niteliktedir. Bu tür araştırmaların artması ile İstanbul ilinde bulunan, özellikle adli vakaların fazla olduğu bölgelerin toprak profilleri çıkarılarak bir veri tabanı oluşturulabilir. Böylece ülkemizdeki uzun yargılama süreci dikkate alındığında, suçlunun daha hızlı bir şekilde tespit edilmesi ve yargılama

süresinin kısaltılması mümkün hale gelebilecektir. Bunun için adli tıp kurumu ve polis kriminal laboratuvarında toprak veri bankaları kurulması ve belli zaman aralıklarında güncellenmesi önerilmektedir. Böylece şüpheli üzerinden alınan toprak delilleri, bu kurumların önerilen veri tabanındaki toprak profilleri ile karşılaştırılarak, şüpheli - olay yeri arasında daha hızlı bağlantı kurulmasına ve toprak delilinin adalete hizmet etmesine katkı sunacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Namlı A, Mert M. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 2012. Sayı: 1 Sayfa: 40-46.

2. Dülgeroğlu A. Trafik ve Çevre Etkisi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri A.B.D.

3. Yan X, Zhang F, Gao D, Zeng C, Xiang W and Zhang M. Accumulations of Heavy Metals in Roadside Soils Close to Zhaling, Eling and Nam Co Lakes in the Tibetan Plateau. Int. J. Environ. Res. Public Helath 2013, 10, 2384-2400; doi:10.3390/ijerph10062384

4. Wang H, Nie L, Xu Y, Lv Y, The Effect of Highway on Heavy Metal Accumulation in Soil in Turfy Swamps, Northeastern China. Water Air Soil Pollut (2017) 228:292 doi:10.1007/s11270-017-3486-2

5. Zhang F, Yan X, Zeng C, Zhang M, Shrestha S, Devkota L ve ark., Influence of Traffic Activity on Heavy Metal Concentrations of Roadside Farmland Soil in Mountainous Areas. International Journal of Environmental Research and Public Health 2012, 9, 1715, 1731 doi:10.3390/ijerph9051715

6. Mert M, Gürleyik E, Kayaaltı Z. Toksik İncelemelerde Toprağın Rolü. 11. Uluslararası Anadolu Adli Bilimler Kongresi 23-25 Ekim 2014, Bayburt

7. Shahzad, M.S., (2009) Toprağa Dökülmüş Kan Örneklerinin Toprak Bileşimine Etkisi ve Farklı Topraklara Dökülen Kan Lekelerinin DNA Miktarlarının Tayini ve Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Fen Bilimleri A.B.D, Adli Tıp Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi

8. Alıntı: https://www.turktob.org.tr/tr/toprak-kimyası/501 Erişim: (04.02.2020)

9. Çepel N. Orman Topraklarının Karakteristikleri, Toprakların Oluşumu, Özellikleri ve Ekolojik Bakımdan Değerlendirmesi (1988) [PDF belgesi]. Alıntı: http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/15_01_05_c44d2.pdf Erişim: (12.02.2020)

10. Tezcan Y. Toprak-Bitki-Su İlişkileri (2018-2019) [PDF Belgesi]. Alıntı:www.aves.akdeniz.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=61&USER=1436 Erişim: (04.02.2020)

11. Sağlam M. Toprak Bilimine Giriş [PDF belgesi]. Alıntı:https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mustafa.saglam/69056/Topra%C4%9F%C4%B1n%20Tan%C4%B1m%C4%B1%20ve%20Genel%20Yap%C4%B1s%C4%B1.pdf Erişim: (04.02.2020)

12. Alıntı: https://www.bilgicik.com/yazi/toprak-olusumu-ve-cesitleri-konu-anlatimi/ Erişim: (18.04.2020)

13. Alıntı: https://www.kadirhoca.com/baslica-toprak-tipleri/ Erişim:(07.02.2020)

14. Kezik U. Toprak Tipleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Mühendisliği Bölümü/Toprak İlmi ve Ekoloji A.B.D. Alıntı: https://aves.ktu.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=5&USER=3490 Erişim: (09.02.2020)

15. Alıntı: https://www.cografyaci.gen.tr/topraklarin-siniflandirilmasi-toprak-turleri/ Erişim: (07.02.2020)

16. Alıntı:https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/121801/mod_resource/content/0/Konu%2012.pdf Erişim: (10.02.2020)

17. Ünal M. (2011), Toprak Oluşumu ve Ülkemizde Çeşitleri, Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim, S.134, ss.12-18

18. Ilgar R. Pedoloji Toprak Coğrafyası, ÇOMÜ - Coğrafya [PDF belgesi] Alıntı:www.cografyam.org/dersnot/akademik/pedoloji%20toprak%20coğrafyası.pdf Erişim: (05.02.2020)

19. Murray RC, Tedrow JC, (1975) Forensic Geology: Earth Sciences and Criminal Investigation. Rutgers University Press, New Brunswick.

20. Jesmok EM, Hopkins JM, Foran DR, (2016), Next Generation Sequencing of the Bacterial 16S rRNA Gene for Forensic Soil Comparision: A Feasibility Study. J Forensic Sci. 2016 May;61(3):607-17

21. Üner B, Aşçıoğlu F. (2011), Toprağın Adli Karakteristiği, Journal of Istanbul University Law Faculty 55(2011): 451-464

22. Mert M, (2014) Adli Bilimlerde Toprak İncelemeleri Alıntı: https://adlibilimler.net/2014/03/adli-bilimlerde-toprak-incelemeleri/109-adli-toprak-2/ Erişim: (28.02.2020)

23. Murray KR, Fltzpatrick RW, Bottrill Rs, Berry R, Kobus H, (2016) Soil Transference Patterns on Bras: İmage Processing and Laboratory Dragging Experiments, Forensic Science International, 2016 258 pp. 88-100

24. Fitzpatrick RW, (2013) Soil: Forensic Analysis, Wiley Encyclopedia of Forensic Science, https://doi.org/10.1002/9780470061589.fsa096

25. Kafle A, Mohapatra S, Panigrahi S, Ganguly S, (2008), Environmental Toxicology, isbn = (978-93-87388-11-6), Sayfa 251-259.

26. Orhan H, Barlas N, Turgut C, Durmaz E, Özmen M, Çevre Toksikolojisi ve Ekotoksikoloji, Türk Toksikoloji Derneği. Alıntı. www.turktox.org.tr/workgroup?id=4 Erişim: (05.03.2020)

27. Princz J, Beaudette L, Scroggings R, Taylor L, (2013) Wildlife and Landscape Science Research Topics: Soil Toxicology. Alıntı: https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/wildlife-research-landscape-science/research-topics/soil-toxicology Erişim: (05.03.2020)

28. Çağlarırmak N, Hepçimen A.Z, (2010), Ağır Metal Toprak Kirliliğinin Gıda Zinciri ve İnsan Sağlığına Etkisi, Akademik Gıda 8 (2) (2010) 31-35 Celal Bayar Üniversitesi, Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkez Müdürlüğü.

29. Alıntı: https://umutyucel.wordpress.com/2013/06/29/toprak-yikama-yonteminde-edta-ve-felllcl-karsilastirilmasi-lisans-bitirme-tezi/ Erişim: (28.03.2020)

30. Özbolat G, Tuli A, (2016) Ağır Metal Toksisitesinin İnsan Sağlığına Etkileri. Arşiv Kaynak Tarama Dergisi, (2016;25(4):502-521), doi:10.17827/aktd.253562

31. Er A, (2016) Ruminantlarda Ağır Metal Toksikasyonu, Türkiye Klinikleri J Vet Sci Pharmacol Toxicol-Special Topics. 2016;2(3):11-9

32. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ, (2012), Heavy Metal Toxicity and the Environment, Molecular, Clinical and Environmental Toxicology. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6

33. İstanbulluoğlu H, (2011) Piyasada Satılan Süt ve Süt Ürünleinde Ağır Metal Kirliliği (Tıpta Uzmanlık Tezi). Ankara, Gülhane Askeri Tıp Akademisi.

34. Scheunemann J, Hanna H, Jones J, Singletary S, (2010) Forensic Soil Analysis: Creation of a Forensic Soil Database For Law Enforcement, Conference: 2010 Geological Society of America Annual Meeting, At: Denver, CO, USA Volume:42

35. Marumo Y, (2003) Forensic Examination of Soil Evidence, Article in Japanese Journal of Science and Technology for Identification 7(2):95-111

36. Essays UK, (2018) An İnvestigation into Forensic Soil Analysis. Alıntı: https://www.ukessays.com/essays/chemistry/an-investigation-into-forensic-soil-analysis.php Erişim: (15.03.2020)

37. Alıntı: https://www.justpaint.org/munsell-notations-for-golden-and-williamsburg-paints/ Erişim: (13.04.2020)

38. Eroğlu SC, (2011). Yapı Yüzü Renk Tasarımında Yararlanılabilecek Düzenlerin Belirlenmesi ve Uygulanmasına İlişkin Öneriler. [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

39. Singh V, Agrawal H, (2012), Qualitive Soil Mineral Analysis by EDXRF, XRD and AAS Probes, Radiation Physics and Chemitry. 81(12):1796-1803

40. Alıntı: https://www.selcuk.edu.tr/ileri_arge/birim/web/sayfa/ayrinti/5877/tr Erişim: (18.04.2020)

41. Alıntı: http://yebim.ankara.edu.tr/2013/04/25/x-isinlari-difraksiyonu-xrd/ Erişim: (18.04.2020)

42. Bayraç C, Akman E. X-Işını Difraktometresi (XRD). Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi. (PDF Dosayası). Alıntı:

http://dosya.kmu.edu.tr/biltem/userfiles/file/cihazlar/XRD.pdf Erişim: (18.04.2020)

43. Kocabaş A, (2008) Edirne'de Yol Kenarlarındaki Topraklarda Ağır Metal İçeriğinin Araştırılması [Yüksek Lisans Tezi]. Trakya Üniversitesi.

44. Günal H, Erşahin S, Akbaş F, Budak M, (2007) Toprak Biliminde Kızıl Ötesi Spektrometrenin Potansiyel Kullanımı. OMÜ Zir. Fak. Dergisi, 2007,22(2):219-226.

45. Parikh C.N, Suneetha V. (2016), Soil Forensic- Methods and Protocols of Soil Analysis for Criminal İnvestigations- A Brief Study. 7.82-89.

46. Aydal D. Jeokimya Uyguama Notları. Ankara Üniversitesi Mühendislik fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü. Alıntı: http://cv.ankara.edu.tr/duzenleme/kisisel/dosyalar/10032015081503.pd Erişim: (18.04.2020)

47. Enstrümental Analiz Laboratuarı Deney Föyü (2019). Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Analitik Kimya Anabilim Dalı. Alıntı: http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/kimya_7eaac.pdf Erişim: (18.04.2020)

48. Galazka R, (2011). Modern Analytical Methods in Environmental Analysis-ICP-MS Tecjnique. Doi: 10.13140/RG.2.1.3854.7686

49. Ruth E. Wolf. (2005) Ph.D., Research Chemist, USGS/CR/CICT March 2005.

50. Amman A, (2007), Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS): A Versatile Tool. Journal of Mass Spectrometry: JMS. 42.419-27.10.1002/jms.1206.

51. Caner M, (2014) ICP-MS İle Demir Analizlerindeki Girişim Etkilerinin Gıda, Cam ve Su Örneklerinde İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

52. İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektroskopisi (ICP-MS), Merkezi Araştıma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi. Alıntı: https://arum.ogu.edu.tr/Sayfa/Index/69/induktif-eslesmis-plazma-kutle-spektroskopisi-icp-ms Erişim: (28.03.2020)

53. Shahzad M.S., Toprağa Dökülmüş Kan Örneklerinin Toprak Bileşimine Etkisi ve Farklı Topraklara Dökülen Kan Lekelerinin DNA Miktarlarının Tayini ve Karşılaştırılması. (Yüksek Lisan Tezi). İstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü Fen Bilimleri Anabilim Dalı (2009).

54. Tatlıdil A, Su Örneklerinde ICP-MS ile Kükürt Tayini İçin Yeni Bir Yöntem Geliştirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı (2019).

55. Chen X, Xia X, Zhao Y, Zhang P. (2010). Heavy Metal Concentrations in Roadside Soils and Correlation with Urban Trrafic in Chine Journal of Hazardous Materials. 181.640-6. 10.1016/j.jhaznat.2010.05.060

56. Bentum JK, Essumang DK, Tuffuor JK and Agyakun I. (2010). Analysis of Heavy Metals in Roadside Soils and Crops Along the Obansandjo Way in the Accra Metropolis. International Journal of Biologicl and Chemical Sciences. 4. 10.4314/ijbcs.v4i3.60517

57. Kırpık M, Büyük G, İnan M ve Çelik A. (2017). The Heavy Metal Content of Some Herbal Plants on the Roadside of Adana-Gaziantep Highway. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. E-ISSN: 2147-8848 (2017) 34 (1), 129-136

58. Dawson LA, Hillier S. (2010). Measurement of Soil Caracteristics Applications. Research Article Doi: 10.1002/sia.3315

59. Fitzpatrick RW, Raven MD and Forrester ST. (2009). A Systematic Approach to soil Forensic: Criminal Case Studies Involving Transference from Crime Scene to Forensic Evidence.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı	Bünyamin	**Soyadı**	Bodur
Doğ.Yeri		**Doğ.Tar.**	
Uyruğu	T.C.	**TC Kim No**	
Email		**Tel**	

Eğitim Düzeyi

	Mezun Olduğu Kurumun Adı	**Mez. Yılı**
Doktora		
Yük.Lis.	İstanbul Üniversitesi	2020
Lisans	Abant İzzet Baysal Üniversitesi	2011

İş Deneyimi **(Sondan geçmişe doğru sıralayın)**

	Görevi	**Kurum**	**Süre (Yıl - Yıl)**
1.	Polis Memuru	Kamu	2012-
2.	Fizik Öğretmeni	Özel	2011-2012
3.			

Yabancı Dilleri	**Okuduğunu Anlama***	**Konuşma***	**Yazma***
İngilizce	İyi	İyi	İyi

***Çok iyi, iyi, orta, zayıf olarak değerlendirin

Bilgisayar Bilgisi

Program	**Kullanma becerisi***
Microsoft Office Programları	İyi
Matlab	İyi
Java	Orta

***Çok iyi, iyi, orta, zayıf olarak değerlendirin