



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**TOHUMLUK SEBZE ÜRETİMİ YAPILAN TARIM
TOPRAKLARINDA AĞIR METALLERİN JEOKİMYASAL
FRAKSİYONLARININ BELİRLENMESİ (KÖSELER/BALIKESİR)**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OZAN OYMAK

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. ALİ SUNGUR

ÇANAKKALE – 2024



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**TOHUMLUK SEBZE ÜRETİMİ YAPILAN TARIM TOPRAKLARINDA AĞIR
METALLERİN JEOKİMYASAL FRAKSİYONLARININ BELİRLENMESİ
(KÖSELER/BALIKESİR)**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OZAN OYMAK

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. ALİ SUNGUR

ÇANAKKALE – 2024



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ



LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ozan OYMAK tarafından Prof. Dr. Ali SUNGUR yönetiminde hazırlanan ve 30/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Tohumluk Sebze Üretimi Yapılan Tarım Topraklarında Ağır Metallerin Jeokimyasal Fraksiyonlarının Belirlenmesi (Köseler/Balıkesir)**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Ali SUNGUR

(Danışman)

Doç. Dr. Timuçin EVEREST

Doç. Dr. Orhan YÜKSEL

.....

.....

.....

Tez No : 10625173

Tez Savunma Tarihi : 30/01/2024

.....

Prof. Dr. Ahmet Evren ERGİNAL

Enstitü Müdürü

.././20..

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Ozan OYMAK

30/01/2024

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Ali SUNGUR, değerli hocalarım Prof. Dr. Hasan ÖZCAN ve Doç. Dr. Timuçin EVEREST'e, arazi ve laboratuvar çalışmalarımda yardımcı olan doktora öğrencisi Erdem TEMEL'e, çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen, hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Ozan OYMAK
anakkale, Ocak 2024

ÖZET

TOHURLUK SEBZE ÜRETİMİ YAPILAN TARIM TOPRAKLARINDA AĞIR METALLERİN JEOKİMYASAL FRAKSİYONLARININ BELİRLENMESİ (KÖSELER/BALIKESİR)

Ozan OYMAK

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ali SUNGUR

30/01/2024, 41

Bu çalışmada tohumluk sebze üretimi yapılan tarım alanlarından alınan toprak örneklerindeki ağır metal (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) konsantrasyonlarının ardışık ekstraksiyon yöntemleri ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda Balıkesir ili Altıeylül ilçesine bağlı Köseler kırsal mahallesinde tohumluk sebze üretimi yapılan 20 tarım alanından toprak örnekleri alınmıştır. Toprak örneklerinin toplam ağır metal konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla kral suyu yaş yakma metodu kullanılmıştır. Toprak örneklerinde ağır metallerinin jeokimyasal fraksiyonlarını belirlenmesinde BCR ardışık ekstraksiyon yöntemi kullanılmıştır. Yaş yakma ve BCR ardışık ekstraksiyon yönteminin doğruluğu standart referans maddeler ile test edilmiştir. Toprak örneklerinin ağır metal içeriklerinin mobilitesi: Cd (%64,44) > Pb (%60,12) > Cu (%38,32) > Zn (%31,51) > Ni (%28,47) şekilde oluşmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlar; Cd ve Pb elementlerinin mobilite seviyelerinin yüksek olması nedeniyle çalışma alanının bu elementlerce çevresel riski taşıdığını; ayrıca Cu ve Zn elementlerinin de takip edilmesinin gerekliliğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Toprak, Ağır metal, BCR ardışık ekstraksiyon, Tohumluk üretimi

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE GEOCHEMICAL FRACTIONATION OF HEAVY METALS IN VEGETABLE SEED PRODUCTION SOILS (KÖSELER/BALIKESİR)

Ozan OYMAK

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Soil Science and Plant Nutrition

Advisor: Prof. Dr. Ali SUNGUR

30/01/2024, 41

In this study, it was aimed to determine the concentration of heavy metals (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) in soil samples taken from agricultural fields where seed vegetable production was carried out by sequential extraction methods. Soil samples were taken from 20 agricultural fields where seed vegetables are produced in Köselier village of Altıeylül district of Balıkesir province. Aqua regia wet digestion method was used to determine the total heavy metal concentrations of soil samples. BCR sequential extraction method was used to determine the geochemical fractions of heavy metals in soil samples. The accuracy of wet digestion and BCR sequential extraction method was tested with standard reference materials. Mobility of heavy metal contents of soil samples: Cd (64.44%) > Pb (60.12%) > Cu (38.32%) > Zn (31.51%) > Ni (28.47%). The results indicate that the study area carries an environmental risk by Cd and Pb due to the high mobility levels of these elements; also Cu and Zn elements should be monitored.

Keywords: Soil, Heavy Metals, BCR sequential extraction, Seed Production

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
BİRİNCİ BÖLÜM	
GİRİŞ	
	1
İKİNCİ BÖLÜM	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	
	3
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	
MATERYAL YÖNTEM	
	8
3.1. Çalışma Alanı.....	8
3.2. Örneklerin Alınması ve analize Hazırlanması.....	10
3.3. Toprak Örneklerine Ait Fiziko-Kimyasal Analizler.....	11
3.4. Toprak Örneklerinin Toplam Ağır Metal Analizleri.....	11
3.5. Ağır Metal Fraksiyonlarının Belirlenmesi.....	12
3.6. Ağır Metallerin Çevresel Risk Değerlendirmesi.....	13

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM		15
ARAŞTIRMA BULGULARI		
4.1.	Toprak Örneklerinin Fiziko-Kimyasal Özellikleri.....	17
4.2.	Ağır Metal Analizlerinde Kullanılan Ekstraksiyon Yöntemleri İçin Doğruluk Testi.....	17
4.3.	Toprak Örneklerinin Ağır Metal İçerikleri.....	18
4.4.	Toprak Örneklerinde Ağır Metal Fraksiyonlarının Belirlenmesi.....	20
	4.4.1. Genel Bakış.....	20
	4.4.2. Kadmiyum (Cd).....	21
	4.4.3. Bakır (Cu).....	24
	4.4.4. Nikel (Ni).....	26
	4.4.5. Kurşun (Pb).....	29
	4.4.6. Çinko (Zn).....	31
4.5.	Ağır Metallerin Çevresel Risk Değerlendirmesi.....	33
BEŞİNCİ BÖLÜM		35
SONUÇ ve ÖNERİLER		
KAYNAKÇA		38

SİMGELER VE KISALTMALAR

Al	Alüminyum
BCR	Avrupa Birliği Referans Komisyonu (The European Community Bureau of Reference)
Ca	Kalsiyum
CaCO ₃	Kalsiyum Karbonat
Cd	Kadmiyum
cm	Santimetre
Co	Kobalt
Cu	Bakır
EC	Elektriksel iletkenlik
Fe	Demir
HCl	Hidroklorik asit
HNO ₃	Nitrik asit
kg	Kilogram
mg	Miligram
mL	Mililitre
mm	Milimetre
Mn	Mangan
Ni	Nikel
°C	Santigrat Derece
Pb	Kurşun
pH	Toprak Reaksiyonu (Hidrojen iyonlarının negatif logaritması)
Zn	Çinko

TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Risk değerlendirme indekslerine ait risk dereceleri	14
Tablo 2	Toprak örneklerinin fiziko-kimyasal analiz verileri	16
Tablo 3	Sertifikalı referans maddelere ait ölçülen metal konsantrasyonları ve geri kazanımları	17
Tablo 4	Toprak örneklerinin toplam ağır metal içerikleri ($\mu\text{g/g}$)	19
Tablo 5	Toprak numunelerinde Cd'un jeokimyasal fraksiyonlarda bulunan konsantrasyonları ($\mu\text{g/g}$)	22
Tablo 6	Toprak numunelerinde Cu'nun jeokimyasal fraksiyonlarda bulunan konsantrasyonları ($\mu\text{g/g}$)	25
Tablo 7	Toprak numunelerinde Ni'in jeokimyasal fraksiyonlarda bulunan konsantrasyonları ($\mu\text{g/g}$)	28
Tablo 8	Toprak numunelerinde Pb'un jeokimyasal fraksiyonlarda bulunan konsantrasyonları ($\mu\text{g/g}$)	30
Tablo 9	Toprak numunelerinde Zn'un jeokimyasal fraksiyonlarda bulunan konsantrasyonları ($\mu\text{g/g}$)	32
Tablo 10	Ağır metallere ait kirlilik faktörü (Cf) ve risk değerlendirme kodu (RAC), ekolojik risk (ER) değerleri	34

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No		Sayfa No
Şekil 1	Çalışma alanı	8
Şekil 2	Çalışma alanının jeolojisi	9
Şekil 3	Örnekleme noktaları	10
Şekil 4	Toprak örneklerinde ağır metallerin jeokimyasal fraksiyonlarının ortalama değerleri ve yüzde dağılımları	21
Şekil 5	Toprak örneklerinde Cd'un jeokimyasal fraksiyonlarının oransal dağılımı	23
Şekil 6	Toprak örneklerinde Cu'ın jeokimyasal fraksiyonlarının oransal dağılımı	26
Şekil 7	Toprak örneklerinde Ni'in jeokimyasal fraksiyonlarının oransal dağılımı	27
Şekil 8	Toprak örneklerinde Pb'un jeokimyasal fraksiyonlarının oransal dağılımı	31
Şekil 9	Toprak örneklerinde Zn'un jeokimyasal fraksiyonlarının oransal dağılımı	33

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Karasal ekosistemin en önemli bileşenlerinden biri olan toprak; ana materyal, topoğrafya, iklim, bitki örtüsü ve zaman faktörlerinin etkileşimi ile oluşmuş dinamik bir yapıdır. Hızlı nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme ile beraber tarım alanları nitelik ve nicelik olarak olumsuz etkilenmektedir. Artan nüfusun gıda ihtiyacını karşılamak mevcut koşullarda ancak üretimden elde edilen bitkisel ürünün verim ve kalitesini arttırmaya yönelik tarımsal üretimle mümkündür. Bu çerçevede tarımsal üretimde verimliliğin artması amacıyla yoğun kimyasal kullanımı, sanayileşme, madencilik faaliyetleri, kentleşme, trafik ve insan faaliyetleri ile beraber toprakların biyolojik, fiziksel ve kimyasal olarak bozulmasına/kirlenmesine ve sonuç olarak üretim alanlarının azalmasına sebep olmaktadır.

Toprak kirliliğinin önemli sebeplerinden olan ağır metaller ana materyal kaynaklı olabileceği gibi madencilik faaliyetleri, tarımda kullanılan kimyasallar, kentleşme, endüstri ve trafik gibi insan faaliyetleri sonucu tarım topraklarına ulaşabilmekte ve birikebilmektedir. Ağır metaller ayrışarak başka bileşikler oluşturamadıklarından dolayı topraktaki birikimleri giderilemeyen kirlilik olarak kabul edilmektedir (Seven vd., 2018). Tarım topraklarındaki ağır metal kirliliği son yıllarda oldukça dikkat çekmiş ve bu alandaki çalışmalar yoğunlaşmıştır. Kimyasal kirlilik olarak tanımlanan ağır metal kaynaklı toprak kirliliği toprağın işlevleri, çevre, tarımsal üretim, gıda güvenliği ve insan sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadır (Vacha, 2021). Toprakta biriken ağır metaller toprak biyolojik çeşitliliğine ve topraktaki mikrobiyal aktiviteye, toprak verimliliğine ve ürünlerde verim kayıplarına olumsuz etki etmektedir (Seven vd., 2018).

Son yıllarda, ağır metallerin hareketliliği, biyoyararlanımı ve toksisitesini belirlemek için toplam ağır metal miktarını tespit etmenin optimal bir yaklaşım olmadığı düşünülmektedir. Çünkü ağır metallerin hareketliliği/çözünürlüğü toprak sistemi içerisinde bağlanma durumuna göre değişiklik gösterebilmektedir. Ağır metaller ile ilgili yapılan çalışmaların çoğunluğunu ağır metallerin toplam konsantrasyonlarının belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalar oluşturmaktadır. Bu çalışmaların sonuçları ağır metallerin toprakta

birikimi/kirliliği hakkında bilgi sağlamasına rağmen ağır metallerin hareketliliği, çözünürlüğü, biyoalınabilirliği ve olası kaynakları hakkında yeterince bilgi vermemektedir. Ağır metallerin topraktaki çözünürlüğü, hareketliliği, alınabilirliği ve olası kaynaklarının ayrıntılı yorumlanabilmesi için ağır metallerin topraktaki jeokimyasal fraksiyonlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu kapsamda ağır metallerin topraktaki bağlanma Şekil ve formlarının belirlenmesi için ardışık ekstraksiyon yöntemleri geliŐtirilmiŐtir.

Tarımsal üretimin sağlıklı ve amacına uygun olarak ilerlemesinin diğer bir önemli koŐulu da tohumdur. Sebze tohumluk üretimi amacıyla yapılan bitkisel üretimde tohum verimliliği ve sağlıklı tohum elde etmek oldukça önemlidir. Diğer yandan sebze tohumu üretiminde kullanılan agrokimyasallar bitkisel üretim sonucu elde edilen taze sebzelerin tüketilmemesinden dolayı standart üretimden farklı ve nispeten fazladır. Bu uygulamaların tarımsal üretimi kısıtlayan en önemli ekolojik koŐullardan olan toprak sağlığını olumsuz etkileyeceği öngörülebilir bir durumdur. Ülkemizde standart sebze üretimine göre daha fazla tarımsal kimyasalların kullanıldığı tohum üretim alanlarında ağır metal birikiminin olabileceği düşünölmektedir. Bu alıŐma kapsamında Balıkesir ili Altieylöl ilçesi Köşeler Kırsal Mahallesi'nde tohumluk sebze üretimi yapılan alanlarda ağır metallerin jeokimyasal fraksiyonlarının ardışık ekstraksiyon yöntemleri kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tarımsal üretimde yüksek verim için gübre ve pestisit uygulamaları bir zorunluluk olarak kabul edilmektedir. Tarım toprakları; bitkisel üretimde verim artışı ve hastalık zararlı mücadelesi amacıyla miktar ve çeşitlilik olarak bilinçsiz kullanılan gübre ve pestisitler, arıtma çamuru, sulama sularının kirliliği, sanayi ve kentleşme gibi sebeplerden dolayı kirlenmektedir. Toprak kirliliği, günümüzde her geçen gün dikkat çeken çevresel problemlerden birisidir.

Üretimde verim artışı amacıyla yapılan gübreleme uygulamalarının kontrolsüz yapılması meyvelerde ağır metal akümülyasyonuna sebep olmaktadır. Bitkiler atmosfer, sulama suyu, gübre ve pestisitlerden kaynaklanan ağır metalleri kendi bünyelerinde veya son ürün olan meyvede biriktirme eğilimindedirler (Yağmur ve Okur, 2018). Bu durum besin zinciri yoluyla insan ve diğer canlıları da ağır metallerin negatif etkilerine maruz bırakmaktadır. Tarım alanlarında her yıl uygulanan gübre ve pestisitler uygulamaları toprakta başta kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), arsenik (As), nikel (Ni) ve bakır (Cu) olmak üzere ağır metal konsantrasyonlarının artmasına neden olabilmektedirler (Atafar vd., 2010; Sönmez vd., 2008). Bu ağır metallerin topraktaki birikimleri daha çok fosforlu gübrelerin kullanımının bir sonucu olduğu rapor edilmiştir (Sönmez vd., 2008). Kimyasal gübrelerin sadece tarımda kullanımlarından kaynaklanan olumsuzlukları dışında üretim periyodundaki ve üretim sonu atıklarının çevreye olan etkileri incelenmesi gereken bir diğer konudur. Örneğin fosfat kayalarının sülfürik asitle işlenmesi sonucu üretilen fosforik asit gübre sanayisinde çeşitli gübrelerde kullanılmaktadır. Bu işlem sonucu endüstriyel atık olarak açığa çıkan bir yan ürün olan fosfojipsin içeriğinde bulunan kirletici maddeler atmosfer, su ve toprak için önemli kirletici kaynaklardandır (Dartan ve Toröz, 2013).

Tarım alanlarında olası ağır metal kirliliği araştırmacılar tarafında önceki yıllarda da çalışılan bir konu olmuştur. Özkan (2017) yaptığı çalışmada Hatay İli Antakya-Cilvegözü uluslararası karayolu çevresindeki tarım alanlarının ve bu alanlarda yetişen bitkilerin trafik ve tarımsal uygulamalar kaynaklı ağır metal kirliliğini belirlemek, toprak ve bitkide ağır

metal birikiminin karayoluna olan uzaklık ile arasındaki muhtemel ilişkiyi belirlemeyi amaçlamıştır. Yapılan çalışma sonunda elde edilen veriler Türkiye’de ve Dünya’da toprakta izin verilen ağır metaller sınır değerlerini aşmadığını ortaya koymuştur.

Sümer vd. (2013) yaptıkları çalışmada, Çanakkale ili Karamenderes Havzası’nda bulunan tarım alanlarında bazı ağır metallerin kirlilik düzeylerini araştırmak amacıyla havzadaki 80 farklı alandan alından toprak örneklerinin Cr, Ni ve Pb konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Çalışma sonunda havzada Pb kirliliği tespit edilirken Cr ve Ni içeriklerinin izin verilebilir seviyede olduğu belirtilmiştir.

Özkul vd. (2018) yaptıkları çalışmada Kütahya ili Altıntaş ovasındaki tarım alanlarının ağır metal kirliliğini değerlendirmek amacıyla farklı ürün yetiştiriciliği yapılan tarım topraklarının 15 farklı noktasından 0-15 cm derinliğinde örnekleme yapmışlardır. Toprak örneklerinin ağır metal içeriklerinin ICP-MS ile analizleri yapılan çalışmada toprakların ağır metal içerikleri sırasıyla As 12,90-70,20 mg/kg, Cr 29,30-137,70 mg/kg, Sb 0,33-1,66 mg/kg, Hg 0,02-0,56 mg/kg, Ni 70,10-254,20 mg/kg, Pb 10,01-29,16 mg/kg, Zn 30,50-75,80 mg/kg aralığında saptanmıştır.

Dartan ve Toröz (2013) yaptıkları çalışmada tarımsal üretim yapılan alanlarda bulunan ağır metalleri araştırmış ve tespit edilen ağır metal değerlerinin yüksekliğinin sebepleri irdelenmiştir. Bunun için bölgede yapılan fosforik asit üretiminin yan ürünü olan fosfojipsin depolanma ve taşınma sürecinde meydana gelebilecek çevresel etkilerle beraber, tarımsal üretimde gübre amacıyla kullanılmış olmasının üzerinde durulmuştur. Çalışma sonunda Cd, Cu, Cr, Ni ve Zn ağır metallerinin konsantrasyonlarının dünya topraklarındaki ortalama konsantrasyonlarından yüksek oldukları belirlenmiştir.

Çığ vd. (2020) yaptıkları çalışma da Van ili şehir merkezi, Erciş, Gevaş, Gürpınar ve Muradiye ilçelerinde belirlenen 26 tarım alanından alınan toprak ve buğday bitkisindeki ağır metal konsantrasyonlarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla toprak örneklerinde Ni, Pb, Cd ve Cr ağır metal konsantrasyonları, örneklere ait fiziksel-kimyasal özelliklerle

beraber belirlenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen veriler çalışma alanının ağır metal kirliliği riski taşımadığı ortaya konmuş bitki örneklerinde ise sap ve tanelerinde araştırma konusu olan Pb, Cd ve Cr elementlerinin izin verilebilir sınırın altında olduğu, Ni elementinin ise bazı lokasyonlarda sınır değerinin altında bazı lokasyonlarda ise sınır değerinin üzerinde olduğu saptanmıştır.

Çalışkan (2017) yaptığı tez çalışmasında, Sapanca gölü sedimenti ve çevre topraklarında bulunan ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi amacıyla mevsimsel değişiklikler dikkate alınarak 3 aylık periyotlarda toplam 5 defa 10 sediment örneği ve göl çevresinden 10 adet toprak örneği almıştır. BCR ardışık ekstraksiyon yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn konsantrasyonları belirlenmiş, çalışma sonunda Al ve Fe'in göl havzası toprak ve sedimentindeki en yüksek konsantrasyonlara sahip olan ağır metaller olduğu, bu metallerin toprak ve sedimentin doğal yapısında bulunduğu, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn kaynaklarının ise trafik, sanayi kuruluşları ve gübre kullanımı olduğu bildirilmiştir.

Sungur ve Özcan (2013) toprakta farklı fraksiyonlardaki Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn miktarlarını DTPA ve BCR ardışık ekstraksiyon yöntemiyle belirlemişlerdir. Çalışma sonucuna göre ağır metallerin DTPA ve BCR ardışık ekstraksiyon yöntemlerine göre belirlenmesinin istatistiksel olarak farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bunun sonucunda hem DTPA hem de BCR ardışık ekstraksiyon metodlarının birlikte değerlendirilmesinin ağır metallerin bağlanma ve uzun veya kısa periyotta biyoelenebilirliği konusunda önemli olabilecek bilgiler verebileceği aynı zamanda ayrıntılı olarak yorumlanabileceği belirtilmiştir.

İşler vd. (2018) yaptıkları çalışmada, Özbek ovası (Çanakkale) topraklarındaki ağır metal fraksiyonlanmasını, hareketliliğini muhtemel kaynaklarının BCR ardışık ekstraksiyon yöntemi kullanılarak belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma amacıyla ovanın 12 noktasından toprak örnekleri alınmış ve Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn elementlerinin konsantrasyonları belirlenmiştir. Araştırma sonunda tespit edilen Cd, Pb ve Cu içeriklerinin tarım toprakları değerlerinin üzerinde olduğu ve Cd ile Pb elementinin daha mobil olduğu belirlenmiştir.

Sungur vd. (2022) yaptıkları çalışmada, farklı sebzelerin yetiştirildiği Çanakkale ili Ezine ilçesi anayol civarındaki serpantin ana materyali üstünde oluşan alanlarda Co, Cr, Ni içeriklerini incelemişlerdir. Çalışma alanından alınan toprak numunelerinde bulunan ağır metallerin jeokimyasal fraksiyonlarını belirlemek amacıyla BCR ardışık ekstraksiyon yöntemini uygulamışlardır. Çalışma sonucunda; çalışma alanından (sebze üretim alanı ve kontrol alanı) alınan örneklerdeki metallerin kalıntı fraksiyonunda olduğu saptamışlardır. Çalışmada sonunda Cr, Co, Ni ağır metallerinin kalıntı fraksiyonundaki yoğunluğu dikkate alınarak toprak örneklerinin çevre jeolojisi ile benzer olduğunu belirtmişlerdir.

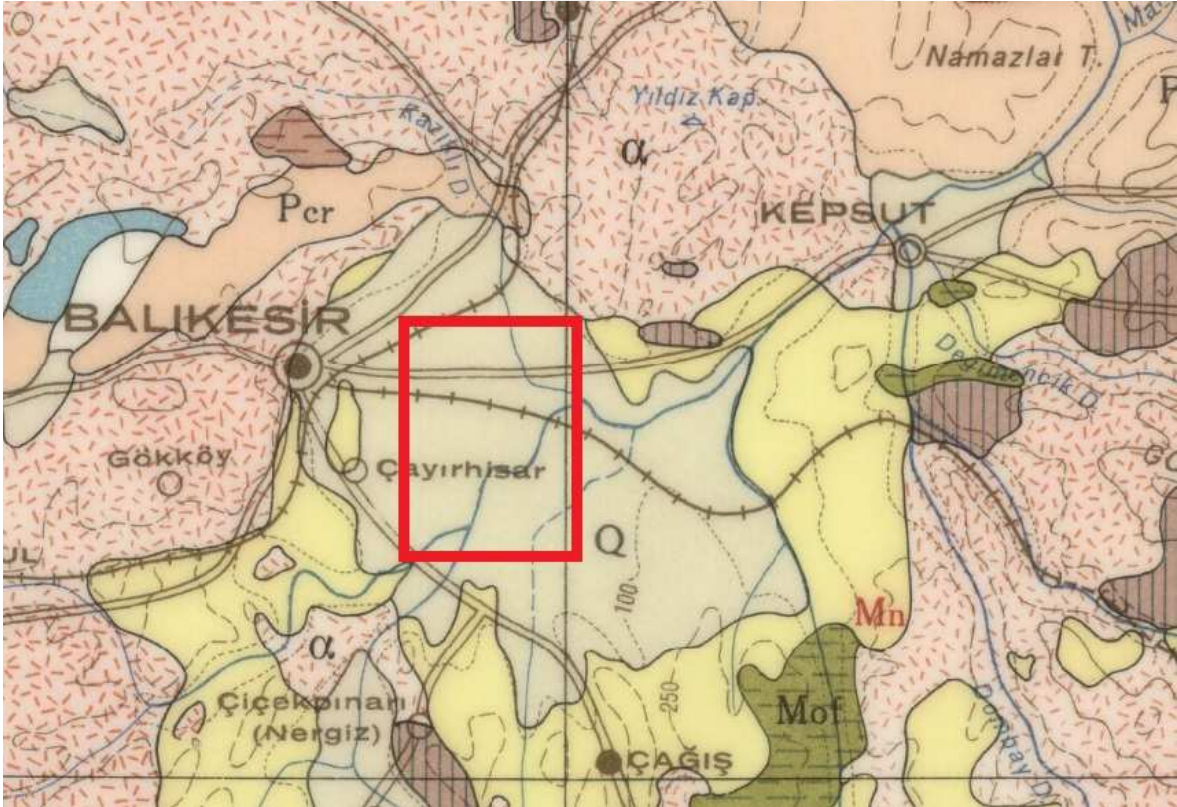
Pueyo vd. (2008) İspanya'da açık maden ocağından kaza sonucu pritik çamur ve asidik atık su ile kirlenen toprakların ağır metal içeriklerinin dönemsel hareketliliğini incelemişlerdir. Kazadan sonra farklı dönemlerde alınan çamur ve toprak örneklerinde hem bazı ana (Ca, Fe ve Mn) hem de iz elementler (As, Cd, Cu, Pb ve Zn) için elde edilen dağılımlar karşılaştırıldı. Modifiye edilmiş BCR üç aşamalı ardışık ekstraksiyon prosedürü kullanılarak yürütülen çalışma sonucunda; yöntemin farklı kirlilik kaynaklarının belirlenmesinde ve pirit oksidasyonu ile oluşan ikincil minerallerin çözünürlüğü hakkında ek bilgi elde edilmesinde faydalı olduğu belirtilmiş, böylece BCR ardışık ekstraksiyon prosedürünün etkinliğinin, ağır metallerin kısa ve uzun vadeli hareketliliğini tahmin etmede yararlı bir yöntem olduğu ortaya konmuştur.

Tokalıoğlu vd. (2007) kentsel topraklarda ve sebze örneklerinde Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Mn, Pb, Zn, ağır metallerinin konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla yaptıkları araştırmada topraktaki ağır metal hareketliliğini ve sebzelerin ağır metal alımını değerlendirmek amacıyla BCR üç aşamalı ardışık ekstraksiyon prosedürünü (F1-değişebilir fraksiyon, F2-indirgenabilir fraksiyon ve F3-oksitlenebilir) uygulamışlardır. Topraklarda ağır metallerin hareketliliği $Mn > Cd > Cu > Pb > Zn > Cr > Ni > Co > Fe$ olarak belirlenmiş, özellikle F1 ve F3 basamaklarında bitki-metal ve topraktan ekstrakte edilebilir metal konsantrasyonları arasında pozitif bir korelasyon olduğu ortaya konmuştur.

Arenas-Lago vd. (2014) yaptıkları çalışmada İspanya'da bulunan bir bakır madeninden alınan toprak örneklerinde BCR ardışık ekstraksiyon metodu ile Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn toplam konsantrasyonlarının jeokimyasal dağılımlarını belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, toplam Cu içeriğinin oldukça yüksek olduğunu, ancak ağır metal fraksiyonlarının çoğunlukla kalıntı fraksiyonda (F4) olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ahmadipour vd. (2014) İran Amol bölgesinde BCR ardışık ekstaksiyon yöntemini kullanarak Cd ve Pb toplam konsantrasyonlarını, hareketliliğini ve kirlilik potansiyelini belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda fraksiyonların toplamının, her metalin toplam içeriğiyle tutarlı olduğu belirtilmiş, kadmiyum sırasıyla indirgenebilir, değiştirilebilir-asitte çözünebilir ve oksitlenebilir fraksiyonlarla ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Kurşunun ise sırasıyla kalıntı, indirgenebilir ve oksitlenebilir fraksiyonlarla ilişkilendirilmiştir. Tüm toprak örneklerinde kadmiyumun hareketlilik potansiyelinin kurşuna göre daha yüksek olduğu, dolayısıyla toprakta tutulmasının ise daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Ege ve Marmara bölgesine konumlanan Balıkesir ilinde, Akdeniz ikliminin yanı sıra il genelinde Karadeniz ve Karasal iklim etkisi de görülmektedir. İlin Ege bölgesi lokasyonlarında yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları ılık, genelde yağışlı Akdeniz iklimi, Marmara bölgesi lokasyonlarında ise Karadeniz ikliminin etkisiyle yazlar nispeten serin geçmektedir. Kıyı lokasyonlardan iç kesimlere gidildikçe karasal iklim etkisi görülmektedir (“Balıkesir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü”), (“İklim”, 2024). Çalışma alanının jeolojisini Kazıklı Deresinin Taşımış olduğu Kuvaterner yaşlı alüvyonlar oluşturmaktadır. Çalışma alanının yakın çevresi ise Miyosen yaşlı karasal kıvrımlardan oluşmaktadır (Şekil 2). Çalışma alanı toprakları Toprak Taksonomisi sınıflama sistemine göre Entisols ordosunda, WRB sınıflama sistemine göre ise Fluvisols sınıfında sınıflandırılmıştır. Bölgede serin iklim ve sıcak iklim sebze yetiştiriciliği yoğun olarak yapılmaktadır. Spesifik olarak çalışmanın odaklandığı bölümlerde ise sertifikalı tohum üretimi amacıyla sebze (ağırlıklı domates, biber çeşitleri) tarımı yapılmaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanının jeolojisi (MTA Genel Müdürlüğü, 1/500.000 ölçekli jeoloji haritası, İzmir Paftası)

Çalışma alanından alınan toprak örnekleri plastik torbalara konarak laboratuvara ulaştırılmıştır. Laboratuvara getirilen toprak örneklerinin hava kuru seviyeye gelmesi sağlanmıştır. Hava kuru seviyeye ulaşan toprak örnekleri plastik tokmak yardımı ile öğütülmüş ve 2 mm boyutunda elek ile elenerek fiziko-kimyasal analizlerde kullanılmak için hazırlanmıştır. Elenen toprak örneklerinden bir miktar örnek tekrardan 0,5 mm boyutunda elek yardımıyla elenerek ağır metal analizlerinde kullanılmak üzere numuneler hazır hale getirilmiştir.

3.3. Toprak Örneklerine Ait Fiziko-Kimyasal Analizler

Analiz için hazırlanmış toprakların tekstür analizi Gee ve Or (2002)'de belirtilen esaslara uygun olarak hidrometre yöntemiyle belirlenmiştir. Örneklerinin toprak reaksiyonu (pH) ve elektriksel iletkenlik değeri (EC) 1:2,5 toprak karışımında pH/EC metre ile ölçülmüştür (Thomas, 1996). Toprak organik madde içeriği asit ortamında dikromat ile organik maddenin oksidasyonu yoluyla analiz edilmiştir (Nelson ve Sommers, 1982). Toprak örneklerinin kalsiyum karbonat (CaCO_3) içerikleri, Schibler Kalsimetresi ile belirlenmiştir (Nelson, 1982).

3.4. Toprak Örneklerinin Toplam Ağır Metal Analizi

Toprak örneklerinin toplam ağır metal içerikleri kral suyu (*Aqua regia*) yaş yakma metodu kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla elenmiş ve homojenliği sağlanmış toprak örneklerinden 1 gram örnek 100 mL'lik beher içine tartılmıştır. Daha sonra üzerine 20 mL kral suyu (HNO_3 : HCl karışımı, 1:3 oranında) ilave edilmiş ve numune daha sonra sıcaklığın kademeli olarak arttırılmasıyla kuruluğa yakın seviyede buharlaştırılmıştır. Yakılan örnekler 0,45 μm 'lik filtreden geçirilerek son hacim 50 mL'ye saf su ile tamamlanmıştır.

3.5. Ağır Metal Fraksiyonlarının Belirlenmesi

BCR (The European Community Bureau of Reference) ardışık ekstraksiyon prosedürü (Sungur ve ark. 2014) ile toprak örneklerinde bulunan ağır metallerin jeokimyasal fraksiyonları belirlenmiştir. Yöntemde tespit edilen fraksiyonlar sırasıyla; F1 / değişebilir fraksiyon (su ve asitte çözünebilir, karbonatlara bağlı), F2 / indirgenebilir fraksiyon (Fe/Mn oksitlere bağlı), F3 / oksitlenebilir fraksiyon (organik madde ve sülfütlere bağlı) ve son olarak F4 / kalıntı fraksiyondur (mineral yapıya bağlı). Her bir basamakta uygulanan ekstraksiyon işlemleri aşağıda özetlenmiştir.

F1 / değişebilir fraksiyon (su ve asitte çözünebilir, karbonatlara bağlı): Analiz için tüm örnekler 105 °C sıcaklıkta 2 saat etüvde bekletilmiş sonrasında 1 gr tartılmış ve toprak örneklerine 40 mL asetik asit çözeltisi eklenmiştir. Laboratuvar sıcaklığında 200 rpm'de 16 saat çalkalanan örnekler, çalkalama işleminin ardından katı faz ve sıvı fazın ayrışması amacıyla 4000 rpm'de 20 dakika ayarlı santrifüj cihazı yardımıyla santrifüjlenmiştir.

F2 / indirgenebilir fraksiyon (Fe/Mn oksitlere bağlı): F1 basamağından sağlanan santrifüj tüplerindeki katı kısma 40 mL hidroksilamin hidroklorür çözeltisi eklenerek ekstraksiyon işlemi F1 basamağında olduğu gibi laboratuvar sıcaklığında 200 rpm ve 16 saat çalkalanmış ve katı faz ve sıvı fazın ayrışması amacıyla 4000 rpm'de 20 dakika ayarlı santrifüj cihazı yardımıyla santrifüjlenmiştir.

F3 / oksitlenebilir fraksiyon (organik madde ve sülfütlere bağlı): F2 basamağından elde edilen katı fazın üzerine 10 mL hidrojen peroksit çözeltisi iki defa eklenmiş laboratuvar sıcaklığında 1 saat çalkalanmış sonrasında 85 °C sıcaklıkta yaklaşık 1-1,5 saat ısıtılarak numunenin sıvı kısmı kuruluğa yakın uçurulmuştur. Soğuyan örneklerin üzerine 50 mL amonyum asetat çözeltisi (1 M) eklenerek ekstraksiyon işlemi diğer iki basamaktaki gibi yapılmıştır.

F4 / kalıntı fraksiyon (mineral yapıya bağlı): F3 basamağından arta kalan fraksiyon 15 mL kral suyu eklenmiş ve sıcak tablada kuruluğa yakın ısıtılmış ve daha sonra işlem ikinci kez tekrarlanmıştır. Sonrasında filtre kağıdı ile süzülerek son hacim olan 50 mL'ye tamamlanmıştır.

Ardışık ekstraksiyon yönteminde doğruluk testi için BCR-701 (sediment) sertifikalı referans materyali (SRM) ve toplam ağır metal için ERM-CC 141 (tınlı toprak) sertifikalı referans materyali kullanılmıştır. Toprak örneklerine uygulanan tüm işlemler aynı şekilde sertifikalı referans maddelerine de uygulanmış ve elde edilen değerler ile sertifikada yer alan değerler karşılaştırılmıştır.

3.6. Ağır Metallerin Çevresel Risk Değerlendirmesi

Ağır metallere ait çevresel riskleri belirlemek için kontaminasyon faktörü (Cf), risk değerlendirme kodu (RAC) ve ekolojik risk değerlendirme (Er) kullanılmıştır. Kontaminasyon faktörü (Cf) ağır metaller için nispi alıkonma sürelerinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Yüksek kontaminasyon faktör (Cf) değeri, daha düşük tutunma süresini ve çevre için yüksek risk seviyelerini gösterir. Kontaminasyon faktörü (Cf) değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır:

$$Cf = C_i/C_n \quad (3.6.1)$$

Burada, C_i: mobil (hareketli) fraksiyon konsantrasyonu (F1+F2+F3), C_n: immobil (haraketsiz) fraksiyon konsantrasyonu (F4)

Ağır metallerin çevresel riskini değerlendirmek amacıyla kullanılan risk değerlendirme kodu (RAC), F1 fraksiyonu (değişebilir/asitte çözünebilir) olarak tanımlanmaktadır (Singh vd., 2005; Karak, 2010; Liu vd., 2013). Risk değerlendirme kodu (RAC) değeri şu eşitlikle hesaplanmıştır:

$$\% RAC = (FI/\Sigma F) \times 100 \quad (3.6.2)$$

Ekolojik risk değerlendirmesi (Er), ağır metal kirliliğini değerlendiren bir yaklaşımdır. Sadece ağır metal seviyesini dikkate almakla kalmaz, aynı zamanda ekolojik ve çevresel etkileri toksikoloji ile ilişkilendirir. Er, her bir metalin potansiyel risk değerini göstermektedir. Er değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$Er = Tr \times Cf \quad (3.6.3)$$

Burada, Tr: bireysel ağır metalin toksik faktörüdür (Cd: 30, Cu: 5, Ni: 5, Pb: 5 ve Zn: 1). Cf: Kontaminasyon faktörüdür.

Tablo 1

Risk değerlendirme indekslerine ait risk dereceleri (Devi ve Saroha, 2014)

Cf Değeri	Kirlilik derecesi	ER değeri	Risk Derecesi	RAC Değeri	Risk Derecesi
Cf < 1	Temiz	Er < 40	Düşük	RAC < %1	Risk yok
1 < Cf < 3	Düşük	40 ≤ ER < 80	Orta risk	1-10%	Düşük risk
3 < Cf < 6	Orta	80 ≤ Er < 160	Önemli	11-30%	Orta düzey risk
6 > Cf > 9	Önemli	160 ≤ Er < 320	Yüksek	31-50%	Yüksek risk
>9	Yüksek	Er ≥ 320	Çok yüksek	RAC > %50	Aşırı riskli

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Toprak Örneklerinin Fiziko-kimyasal Özellikleri

Tohumluk sebze üretimi yapılan alanlardan alınan toprak örneklerinin yapılan analizler sonucu elde edilen fiziko-kimyasal özellikleri Tablo 2’de sunulmuştur. Toprak örneklerine ait kum, kil ve silt oranlarına bakıldığında örneklerin tekstür sınıflarının kumlu tın ve kumlu killi tın olduğu belirlenmiştir. Toprak örneklerine ait elektriksel iletkenlik değerleri (EC) 111,50-1061,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değiştiği ve tarımsal üretim açısından değerlendirildiğinde tuzluluk problemi olmadığı saptanmıştır.

Toprak örneklerinin kireç içeriği ortalaması $\%0,77 \pm 0,64$ ile az kireçli olarak tespit edilmiştir. Topraklara ait pH değerleri 6,61-7,45 arasında olup iki örneğin (8 ve 16 numaralı örnekler) hafif alkalın karakterde olduğu genelinin nötr değerinde olduğu tespit edilmiştir. Toprakların organik madde miktarı değerlendirmesinde organik madde miktarlarının $\%1,82$ - $\%5,75$ arasında ve ortalama $\%2,98$ ile organik madde içeriği bakımından iyi seviyede olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2

Toprak örneklerinin fiziko-kimyasal analiz verileri

Örnek	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	% OM	% Kireç	% Kil	% Silt	% Kum
1	6,83	111,5	1,82	0,55	26,09	21,83	52,04
2	6,90	332,0	2,93	0,95	20,04	23,99	58,30
3	7,25	1061,0	3,71	0,95	28,38	22,01	56,01
4	6,61	482,0	2,30	0,47	24,06	7,47	64,52
5	7,06	164,8	2,15	0,55	22,07	21,90	57,99
6	6,80	119,8	2,98	0,32	21,96	19,74	58,00
7	6,85	195,7	2,57	0,32	24,03	23,87	52,10
8	7,45	486,0	3,10	0,95	19,97	25,97	64,51
9	7,20	476,0	2,26	0,75	17,95	19,84	47,86
10	7,31	158,1	2,10	0,39	17,75	13,52	64,52
11	7,15	118,0	2,28	0,39	26,11	21,84	52,08
12	7,34	378,0	3,16	0,16	21,96	19,74	55,97
13	7,15	175,3	2,61	0,32	26,20	17,80	49,61
14	7,23	367,0	3,60	1,42	17,82	17,66	68,47
15	7,15	161,5	3,32	0,79	24,18	17,83	56,03
16	7,38	118,3	2,05	0,16	26,24	15,76	58,30
17	6,76	425,0	3,83	1,66	26,08	21,82	52,10
18	7,00	510,0	5,75	0,87	19,87	15,62	54,06
19	6,85	701,0	4,08	2,92	28,21	23,93	62,21
20	6,93	358,0	2,97	0,55	19,87	15,62	68,73
En küçük	6,61	111,50	1,82	0,16	17,75	7,47	47,86
En büyük	7,45	1061,00	5,75	2,92	28,38	25,97	68,73
Ortalama	7,06	344,95	2,98	0,77	22,94	19,39	57,67
Standart Sapma	0,24	239,63	0,92	0,64	3,48	4,37	6,10

4.2. Ağır Metal Analizlerinde Kullanılan Ekstraksiyon Yöntemleri İçin Doğruluk Testi

Kral suyu yaş yakma metodu için elde edilen sonuçların doğruluğunun testi için ERM-CC 141 (tınlı toprak) Standart Referans Materyali (SRM) kullanılmıştır. Standart Referans Materyalindeki elementlerin geri kazanımları %91,9-105,5 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Elde edilen geri dönüşümler tatmin edici bulunmuştur.

Ardışık ekstraksiyon metodu kullanılarak ulaşılan analiz sonuçlarının doğruluğunun/güvenilirliğinin sağlanması için BCR-701 (göl sedimenti) Standart Referans Materyali (SRM) kullanılmıştır. Bu doğrultuda ağır metallerin standart referans materyalindeki geri kazanımları F1 (değişebilir) fraksiyon için %88,7-111,7, F2 (indirgenebilir) fraksiyonu için %95,2-107,7 ve F3 (oksidlenebilir) fraksiyonu için ise %88,9-110,8 aralığında olduğu tespit edilmiş olup elde edilen geri kazanım sonuçları tatmin edici bulunmuştur.

Tablo 3

Sertifikalı referans maddelere ait ölçülen metal konsantrasyonları (ortalama \pm standart sapma, $\mu\text{g/g}$) ve geri kazanım (G.K.(%)) değerleri

Metaller	BCR 701 (Göl sedimenti)								
	Değişebilir (F ₁)			İndirgenebilir (F ₂)			Oksitlenebilir (F ₃)		
	Sertifika	Belirlenen	G.K. (%)	Sertifika	Belirlenen	G.K. (%)	Sertifika	Belirlenen	G.K. (%)
Cd	7,34 \pm 0,35	7,18 \pm 0,65	97,8	3,77 \pm 0,28	3,59 \pm 0,42	95,2	0,27 \pm 0,06	0,24 \pm 0,20	88,9
Cu	49,3 \pm 1,7	48,7 \pm 3,10	98,8	124 \pm 3	125 \pm 4	101,0	55,2 \pm 4,0	562,3 \pm 4,6	94,7
Ni	15,4 \pm 0,9	17,2 \pm 1,15	111,7	26,6 \pm 1,0	28,6 \pm 2,4	107,7	15,3 \pm 0,9	16,2 \pm 2,1	105,9
Pb	3,18 \pm 0,21	2,82 \pm 0,38	88,7	126 \pm 3	122 \pm 7	96,6	9,30 \pm 2,00	10,30 \pm 1,84	110,8
Zn	205 \pm 6	208 \pm 12	101,8	114 \pm 5	111 \pm 8	96,9	45,7 \pm 4,0	48,8 \pm 4,2	106,9
Metaller	ERM-CC 141 (Tınlı toprak)								
	Sertifika	Belirlenen	G.K. (%)						
Cd	0,25 \pm 0,04	0,24 \pm 0,08	96,0						
Cu	12,4 \pm 0,9	12,1 \pm 1,2	97,6						
Ni	21,9 \pm 1,6	23,2 \pm 2,4	105,5						
Pb	32,2 \pm 1,4	29,6 \pm 2,6	91,9						
Zn	50,0 \pm 4,0	47,7 \pm 4,8	95,4						

4.3. Toprak Örneklerinin Ağır Metal İçerikleri

Toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonlarına ait veriler Tablo 4'te sunulmuştur. Çalışma alanını oluşturan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ortalama değeri sıralaması ise $Zn > Ni > Pb > Cu > Cd$ şeklinde oluşmuştur.

Çalışma alanını oluşturan toprakların Cd içeriği $0,99 \pm 0,11 \mu\text{g/g}$ ortalama değer ile tarım toprakları için genel yaygın değer seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Cu elementinin $22,20 \pm 4,58 \mu\text{g/g}$ ortalama değer ile tarım toprakları için yaygın değer aralığında olduğu tespit edilmiştir. Alınan örneklerin Ni içeriğinin $27,25 - 55,23 \mu\text{g/g}$ aralığında ve ortalama $40,94 \pm 8,70 \mu\text{g/g}$ ile tarım toprakları için yaygın değer altında olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanının Pb içeriği $25,39 \pm 3,76 \mu\text{g/g}$ ortalama ile tarım toprakları için yaygın değer altında olduğu görülmüştür (Tablo 4).

Çalışma alanını toprak örneklerinde Zn içeriklerinin $42,54 - 78,50 \mu\text{g/g}$ aralığında ve $60,88 \pm 10,40 \mu\text{g/g}$ ortalama ile tarım toprakları için genel yaygın değerden daha yüksek olduğu görülmüştür (Tablo 4).

Tablo 4 incelendiğinde örnekleme noktaları arasında 8 ve 12 numaralı örneklerin göreceli olarak daha yüksek metal içeriklerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durumun ekim nöbeti uygulamalarının bir sonucu olarak yetiştirilen ürünlerde farklı zamanlarda ve yüksek miktarlarda kullanılan tarım kimyasallarının farklılığından kaynaklandığı düşünülmüştür. Bu iki örneğin alındığı alanda diğer alanlara göre daha fazla miktarda kimyasal taban, damlama ve yaprak gübrelerinin (özellikle saf Zn'lu yaprak ve Zn katkılı yüksek fosfor içerikli taban ve damlama gübrelerinin) kullanılması sonucu ağır metal yükünün oluştuğu kanısına varılmıştır.

Tablo 4

Toprak örneklerinin toplam ağır metal içerikleri ($\mu\text{g/g}$)

Örnek	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
1	0,88	21,81	41,46	29,20	55,70
2	0,83	17,01	29,94	21,70	57,35
3	0,89	19,97	42,21	23,81	60,70
4	0,95	16,07	32,07	20,80	46,80
5	0,84	13,91	29,23	22,94	42,54
6	0,87	23,17	47,94	26,83	63,15
7	0,86	23,06	39,72	25,18	56,15
8	0,92	30,04	55,23	30,07	78,50
9	0,88	26,62	48,27	26,61	61,15
10	0,92	23,21	38,37	21,90	61,80
11	1,03	25,72	53,61	23,87	64,30
12	1,19	23,62	51,48	31,33	78,10
13	1,07	21,79	50,88	27,21	56,40
14	1,03	14,95	27,25	18,17	47,75
15	1,10	17,73	30,39	25,76	54,85
16	1,08	29,45	33,30	21,09	48,95
17	1,10	27,79	45,33	29,80	67,00
18	1,16	24,14	36,27	24,33	67,25
19	1,05	21,26	44,73	31,79	76,70
20	1,08	22,69	41,16	25,52	72,50
En küçük	0,83	13,91	27,25	18,17	42,54
En büyük	1,19	30,04	55,23	31,79	78,50
Ortalama	0,99	22,20	40,94	25,39	60,88
Standart sapma	0,11	4,58	8,70	3,76	10,40
<i>Tarım toprakları*</i>	<i>0,2-1</i>	<i>20-30</i>	<i>50</i>	<i>10-30</i>	<i>50</i>

*Tarım toprakları için genel yaygın değer (Alloway, 2013)

4.4. Toprak Örneklerinde Ağır Metal Fraksiyonlarının Belirlenmesi

4.4.1. Genel Bakış

BCR ardışık ekstraksiyon yöntemi kullanılarak ulaşılan ağır metal fraksiyonları ortalama değerler ve oransal dağılımı Şekil 4'te sunulmuştur. Ağır metallerin her fraksiyonda oranlarının sıralaması şu şekilde olmuştur:

Cd : F4 > F1 > F2 > F3

Cu : F4 > F2 > F3 > F1

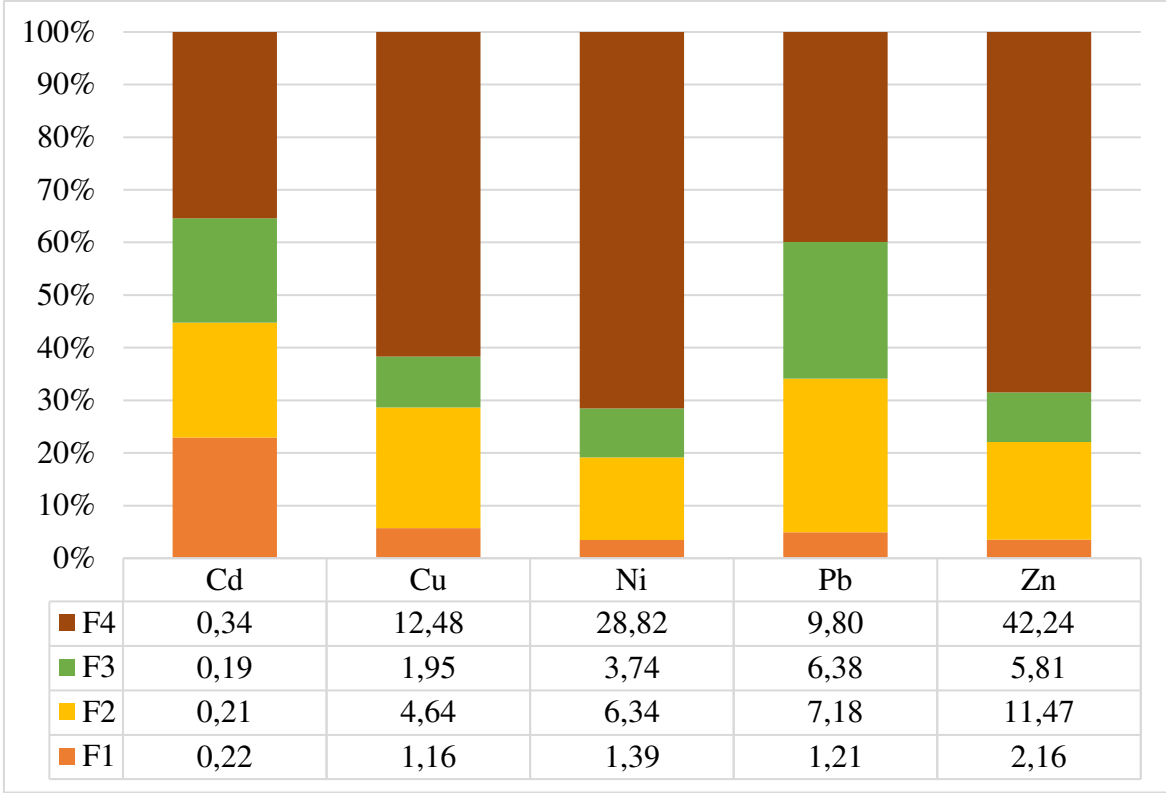
Ni : F4 > F2 > F3 > F1

Pb : F4 > F2 > F3 > F1

Zn : F4 > F2 > F3 > F1

Çalışma alanı toprak örneklerinde tüm ağır metallerin F4 (kalıntı) fraksiyonunda maksimum seviyede olduğu tespit edilmiştir. F4 (kalıntı) fraksiyonundan ardından ikincil olarak Cu, Ni, Pb, Zn metallerinin F2 (indirgenebilir) fraksiyonunda, Cd'un ise F1 (değişebilir) fraksiyonunda dominant olduğu tespit edilmiştir. Cd dışındaki diğer ağır metallerin fraksiyonlardaki sıralamaları benzerdir.

BCR ardışık ekstraksiyon yönteminde ilk üç fraksiyona ait konsantrasyonlar toplamı (F1+F2+F3) mobil fraksiyon olarak tanımlanmaktadır. Ağır metal fraksiyonlarının oransal dağılımı şekil 4'te belirtilmiştir. Toprak örneklerinin ağır metal içeriklerinin mobilitesi şu şekilde oluşmuştur: Cd (%64,44) > Pb (%60,12) > Cu (%38,32) > Zn (%31,51) > Ni (%28,47). Toprak örneklerinde Zn, Cu ve Ni elementlerinin, Cd ve Pb elementlerine göre daha az hareketli oldukları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ulaşılan Cd ve Pb 'nun mobil fraksiyonlarda daha yüksek bulunmasının nedeni çalışma alanında yapılan serin-sıcak iklim sebze yetiştiriciliğinde ve sebze tohumluk üretiminde kullanılan gübre ve pestisit, çalışma alanının kent merkezine ve karayoluna yakınlığı/trafik kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4. Toprak örneklerinde ağır metallerin jeokimyasal fraksiyonlarının ortalama değerleri ve yüzde dağılımları

4.4.2. Kadmiyum (Cd)

Toprak numunelerinin Cd'un jeokimyasal fraksiyonlardaki konsantrasyonları Tablo 5'te, fraksiyonel dağılımları ise şekil 5'te sunulmuştur. Cd elementinin F1, F2, F3, F4 fraksiyonlarındaki konsantrasyonları sırasıyla 0,19 - 0,27, 0,18 - 0,26, 0,10 - 0,28, 0,26 - 0,40 $\mu\text{g/g}$ aralığında belirlenmiştir. Cd elementinin fraksiyon toplamları ortalaması $0,94 \pm 0,08 \mu\text{g/g}$ iken potansiyel mobil fraksiyonlarının (F1+F2+F3) toplam ortalaması $0,61 \pm 0,06 \mu\text{g/g}$ ve %64,44 ile oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir.

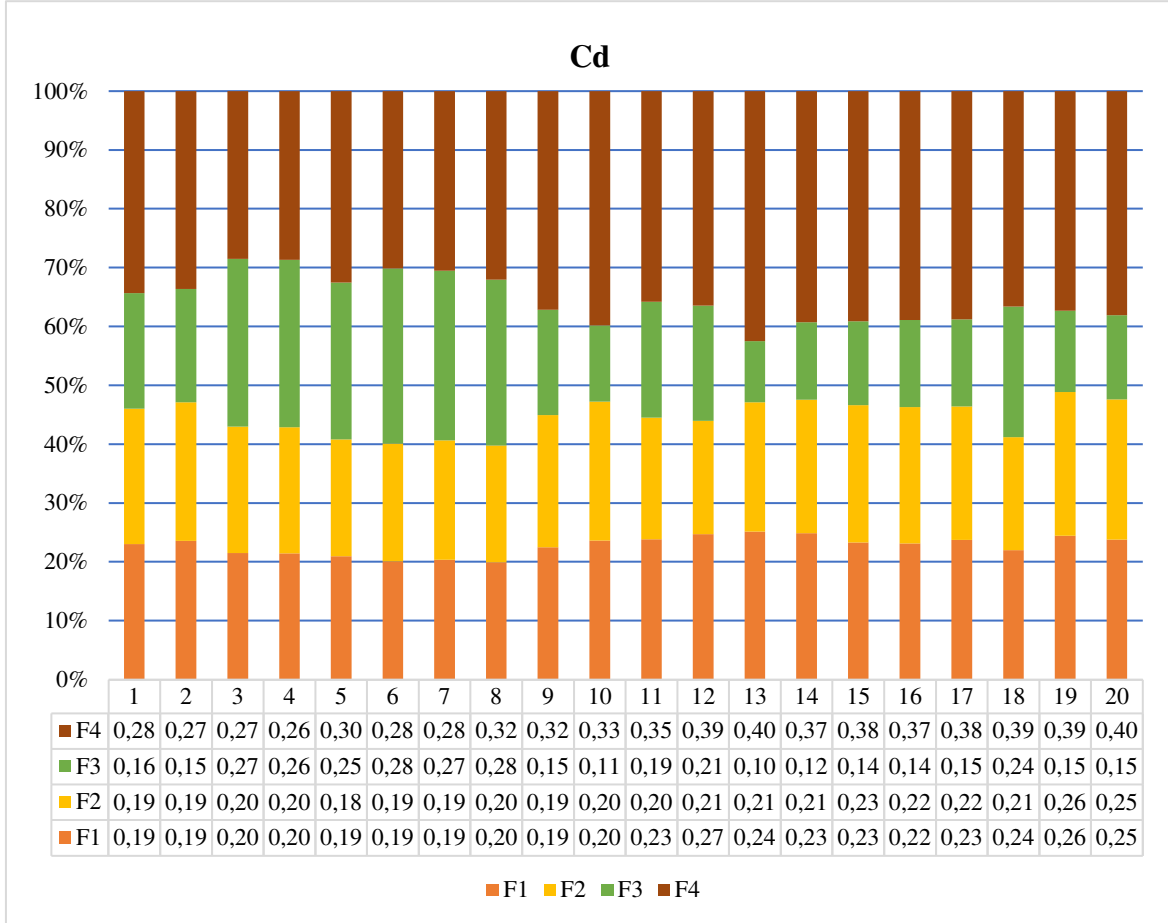
Tablo 5

Toprak numunelerinde Cd'un jeokimyasal fraksiyonlarda bulunan konsantrasyonları ($\mu\text{g/g}$)

Örnek	F1	F2	F3	F4	F(1+2+3)	F(1+2+3+4)
1	0,19	0,19	0,16	0,28	0,53	0,81
2	0,19	0,19	0,15	0,27	0,53	0,80
3	0,20	0,20	0,27	0,27	0,68	0,95
4	0,20	0,20	0,26	0,26	0,65	0,92
5	0,19	0,18	0,25	0,30	0,63	0,93
6	0,19	0,19	0,28	0,28	0,65	0,93
7	0,19	0,19	0,27	0,28	0,64	0,92
8	0,20	0,20	0,28	0,32	0,68	1,00
9	0,19	0,19	0,15	0,32	0,54	0,86
10	0,20	0,20	0,11	0,33	0,50	0,84
11	0,23	0,20	0,19	0,35	0,62	0,97
12	0,27	0,21	0,21	0,39	0,68	1,07
13	0,24	0,21	0,10	0,40	0,54	0,94
14	0,23	0,21	0,12	0,37	0,57	0,94
15	0,23	0,23	0,14	0,38	0,59	0,97
16	0,22	0,22	0,14	0,37	0,58	0,95
17	0,23	0,22	0,15	0,38	0,60	0,99
18	0,24	0,21	0,24	0,39	0,68	1,08
19	0,26	0,26	0,15	0,39	0,66	1,05
20	0,25	0,25	0,15	0,40	0,65	1,05
En küçük	0,19	0,18	0,10	0,26	0,50	0,80
En büyük	0,27	0,26	0,28	0,40	0,68	1,08
Ortalama	0,22	0,21	0,19	0,34	0,61	0,94
Standart sapma	0,03	0,02	0,06	0,05	0,06	0,08
% Oran	22,80	21,80	19,84	35,56	64,44	100,00

F1 fraksiyonunda (değişebilir), toprak kolloidlerinin yüzeyinde tutulan ve iyon değişim süreçleri ile zayıf elektrostatik etkileşim sebebiyle serbest hale geçmesi kolay metaller bulunmaktadır (Sungur ve ark. 2022) ve genellikle insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak kabul edilmektedir. Cd elementinin de F1 fraksiyonunda diğer fraksiyonlara göre nispeten yüksek değerde olmasının ve yüksek mobilitesinin sebebinin insan kaynaklı faaliyetler olduğu düşünülmektedir. Çalışma alanında yapılan tarımsal üretim periyodunda taban gübresi ve damlama sulama sistemi ile toprağa uygulanan özellikle fosfor ağırlıklı

gübreler, hastalık ve zararlılarla mücadele amacıyla uygulanan pestisitlerin ve bunun yanında üretim alanının kent merkezine yakınlığının F1 fraksiyonundaki Cd birikiminin ve mobilitesinin sebebi olduğu tahmin edilmektedir. Cd elementinin immobil olan F4 fraksiyonunda %35,56 miktarı ise toprak ana materyal kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5. Toprak örneklerinde Cd'un jeokimyasal fraksiyonlarının oransal dağılımı

4.4.3. Bakır (Cu)

Çalışma kapsamında alınan toprak numunelerinin Cu elementinin her bir fraksiyondaki konsantrasyonları Tablo 6'da, fraksiyonların oransal dağılımları ise şekil 6'da sunulmuştur. Cu elementinin F1, F2, F3, F4 fraksiyonlarında ortalama konsantrasyonları sırasıyla $1,16 \pm 0,27$, $4,64 \pm 1,55$, $1,95 \pm 0,39$, $12,48 \pm 2,52$ $\mu\text{g/g}$ olduğu belirlenmiştir.

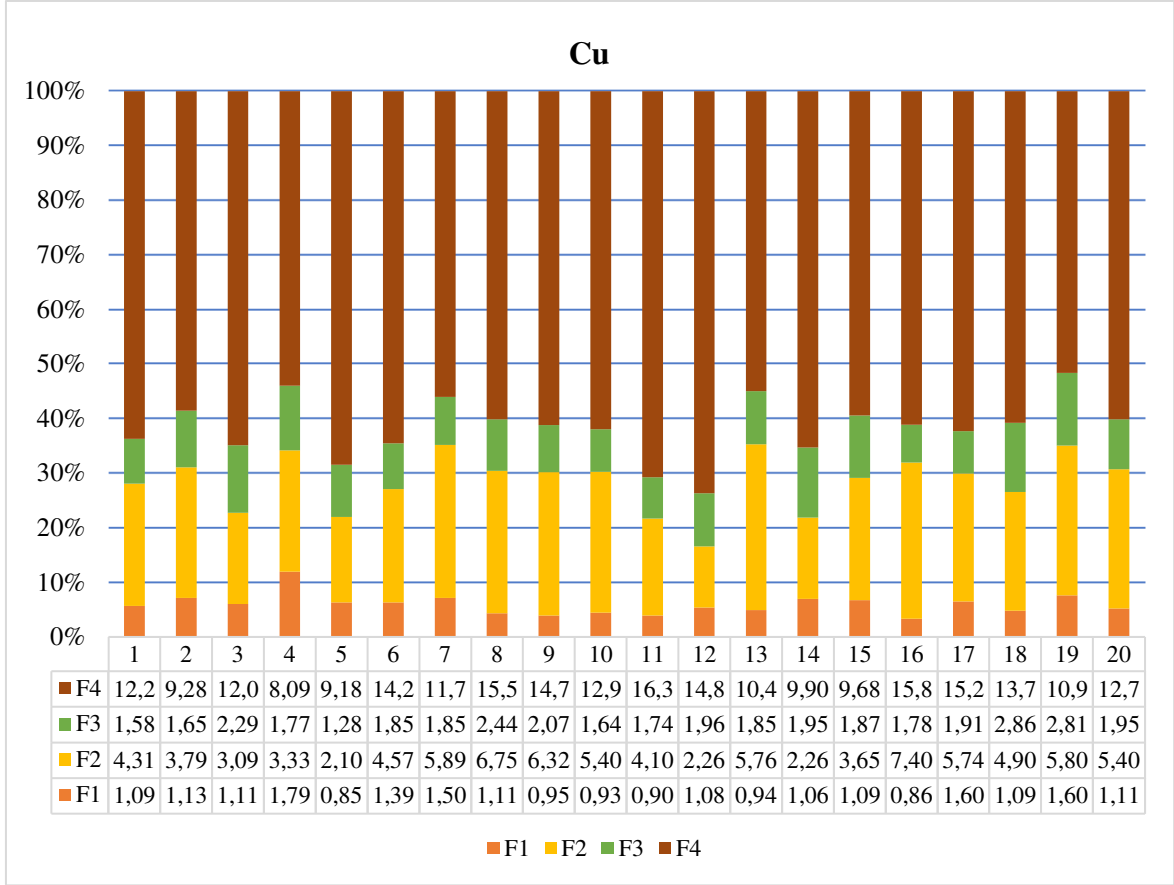
Potansiyel mobil miktarının ise $7,75 \pm 1,75 \mu\text{g/g}$, oransal dağılımın ise %38,32 olduğu tespit edilmiştir.

Metallerin F1 fraksiyonu (değişebilir su ve asitte çözünebilir-karbonatlara bağlı formları) biyoalınımın en yüksek olduğu kabul edilen fraksiyondur. F1 fraksiyonunu takip eden F2 fraksiyonu (Fe/Mn oksitlere bağlı indirgenebilir form) ve sonrasında F3 fraksiyonun (organik maddelere bağlı oksitlenebilir formlar) izlemekte olup bu fraksiyonlar potansiyel olarak biyoyararlıdır. Topraktaki mobilitesi düşük olan Cu elementi alınan örneklerde, hareketli fraksiyonları oluşturan 3 fraksiyon içerisinde en yüksek F2 fraksiyonunda bulunmaktadır (Tablo 6). Sebze tarımında fungal hastalıkların tedavisi amacıyla hem yeşil aksam ilaçlaması hem de damlama sulama sistemi ile yoğun olarak kullanılan bakırlı preparatların F2 fraksiyonundaki Cu konsantrasyonunun üzerinde etkili olması mümkündür. F2 fraksiyonunda bulunan metaller redoks potansiyelinin azalmasına neden olan uzun yağış ve sulama koşullarında mobilize olabilmektedirler (Sungur vd. 2022). Bu koşul çalışma alanında yapılan tarımsal üretiminin sebze ağırlıklı olmasından dolayı yapılan sulama uygulamalarının etkisiyle Cu elementinin Fe/Mn oksitler tarafından tutulan kısmının indirgeme koşullarında mobilize olmasının daha kolay olacağını ortaya koymaktadır.

Tablo 6

Toprak numunelerinde Cu'nun jeokimyasal fraksiyonlarda bulunan konsantrasyonları ($\mu\text{g/g}$)

Örnek	F1	F2	F3	F4	F(1+2+3)	F(1+2+3+4)
1	1,09	4,31	1,58	12,28	6,99	19,26
2	1,13	3,79	1,65	9,28	6,56	15,84
3	1,11	3,09	2,29	12,00	6,49	18,49
4	1,79	3,33	1,77	8,09	6,90	14,99
5	0,85	2,10	1,28	9,18	4,23	13,41
6	1,39	4,57	1,85	14,20	7,81	22,01
7	1,50	5,89	1,85	11,79	9,24	21,02
8	1,11	6,75	2,44	15,52	10,30	25,82
9	0,95	6,32	2,07	14,73	9,33	24,06
10	0,93	5,40	1,64	12,96	7,97	20,93
11	0,90	4,10	1,74	16,32	6,74	23,06
12	1,08	2,26	1,96	14,83	5,30	20,13
13	0,94	5,76	1,85	10,43	8,55	18,98
14	1,06	2,26	1,95	9,90	5,27	15,17
15	1,09	3,65	1,87	9,68	6,61	16,29
16	0,86	7,40	1,78	15,80	10,03	25,83
17	1,60	5,74	1,91	15,26	9,24	24,49
18	1,09	4,90	2,86	13,72	8,85	22,56
19	1,60	5,80	2,81	10,90	10,21	21,10
20	1,11	5,40	1,95	12,76	8,46	21,21
En küçük	0,85	2,10	1,28	8,09	4,23	13,41
En büyük	1,79	7,40	2,86	16,32	10,30	25,83
Ortalama	1,16	4,64	1,95	12,48	7,75	20,23
Standart sapma	0,27	1,55	0,39	2,52	1,75	3,66
% Oran	5,73	22,94	9,65	61,68	38,32	100,00



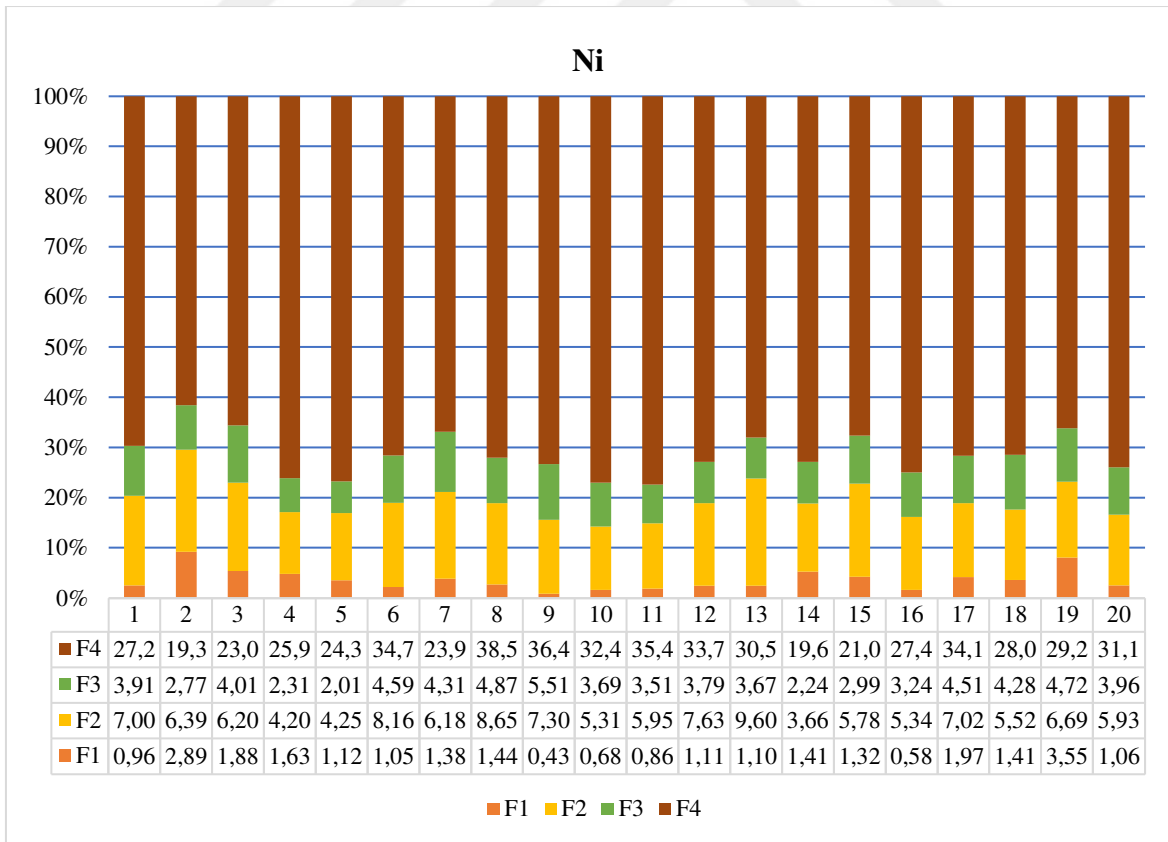
Şekil 6. Toprak örneklerinde Cu'nun jeokimyasal fraksiyonlarının oransal dağılımı

4.4.4. Nikel (Ni)

Çalışma amacıyla alınan toprak örneklerinde Ni elementinin jeokimyasal fraksiyon konsantrasyonları Tablo 7' de, örnekleme noktalarına ait fraksiyonel dağılımları ise Şekil 7' de belirtilmiştir. Ni elementinin F1, F2, F3 ve F4 fraksiyonlarında ortalama konsantrasyonları sırasıyla; $1,39 \pm 0,75 \mu\text{g/g}$, $6,34 \pm 1,49 \mu\text{g/g}$, $3,74 \pm 0,93 \mu\text{g/g}$ ve $28,82 \pm 5,75 \mu\text{g/g}$ olduğu tespit edilmiştir. Potansiyel mobil miktarının $11,47 \pm 2,35 \mu\text{g/g}$ ve oransal dağılımın yaklaşık %28,47 olduğu belirlenmiştir.

Çalışma alanının genelinde Ni elementi mobil olmayan F4 fraksiyonunda baskın olduğu (%71,53), mobil fraksiyonlar arasındaki farklılıklar incelendiğinde Ni elementinin F2 fraksiyonunda diğer fraksiyonlara göre daha yüksek değerde (%15,73) olduğu

görülmektedir. Kirlenmemiş topraklarda ağır metaller silikatlar ve birincil minerallere bağlı oldukları için mobil değildirler. Ni elementinin fraksiyonlar içerisinde immobil olan F4 (kalıntı) fraksiyonundaki baskınlığı çalışma alanının Ni elementi özelinde kirlilik göstermediğini ve elementin ana materyal kaynaklı olduğunu ortaya koymaktadır. Sulama yapılan alanlarda volkanik ve metamorfik kayaların yapısındaki nikel toprak yapısına geçer ve genellikle kil minerallerine bağlanarak, sulu iyonlar halinde ve mangan oksitlerle kompleks oluşturmuş halde bulunur. Topraklardaki serbest Ni konsantrasyonu ise öncelikle Mn ve Fe metalleri oksitlerinin çökmesi ile kontrol edilir (Doğru vd., 2020). Doğada Ni kontaminasyon kaynakları olarak endüstriyel kaynaklar, fosil yakıt kullanımı, madencilik faaliyetleri, arıtma prosesleri, metal sanayi sayılabilir (Doğru vd., 2020). Toprak örneklerinin her bir fraksiyondaki toplam Ni konsantrasyonları arasında spesifik farklılıkların olmadığı görülmekle beraber F2 fraksiyonundaki Ni konsantrasyonundaki farklılığın, çalışma alanına yakın konumda yapılan metal sanayi faaliyetlerinin etkili olabileceği varsayılabilir.



Şekil 7. Toprak örneklerinde Ni'in jeokimyasal fraksiyonlarının oransal dağılımı

Tablo 7

Toprak numunelerinde Ni'in jeokimyasal fraksiyonlarda bulunan konsantrasyonları ($\mu\text{g/g}$)

Örnek	F1	F2	F3	F4	F(1+2+3)	F(1+2+3+4)
1	0,96	7,00	3,91	27,27	11,87	39,14
2	2,89	6,39	2,77	19,33	12,05	31,38
3	1,88	6,20	4,01	23,03	12,09	35,11
4	1,63	4,20	2,31	25,94	8,14	34,08
5	1,12	4,25	2,01	24,36	7,38	31,74
6	1,05	8,16	4,59	34,76	13,80	48,55
7	1,38	6,18	4,31	23,95	11,88	35,83
8	1,44	8,65	4,87	38,54	14,96	53,50
9	0,43	7,30	5,51	36,43	13,24	49,66
10	0,68	5,31	3,69	32,45	9,68	42,12
11	0,86	5,95	3,51	35,40	10,32	45,71
12	1,11	7,63	3,79	33,70	12,53	46,23
13	1,10	9,60	3,67	30,54	14,37	44,91
14	1,41	3,66	2,24	19,64	7,31	26,95
15	1,32	5,78	2,99	21,09	10,09	31,18
16	0,58	5,34	3,24	27,47	9,16	36,63
17	1,97	7,02	4,51	34,12	13,50	47,62
18	1,41	5,52	4,28	28,08	11,21	39,29
19	3,55	6,69	4,72	29,23	14,95	44,18
20	1,06	5,93	3,96	31,15	10,96	42,10
En küçük	0,43	3,66	2,01	19,33	7,31	26,95
En büyük	3,55	9,60	5,51	38,54	14,96	53,50
Ortalama	1,39	6,34	3,74	28,82	11,47	40,295
Standart sapma	0,75	1,49	0,93	5,75	2,35	7,28
% Oran	3,45	15,73	9,29	71,53	28,47	100,00

4.4.5. Kurşun (Pb)

Toprak örneklerinde Pb'un fraksiyonlardaki konsantrasyonları Tablo 8'de ve fraksiyonel dağılımları Şekil 8'de belirtilmiştir. Tablo 8 incelendiğinde Pb elementinin F1 fraksiyonunda ortalama $1,21 \pm 0,43 \mu\text{g/g}$, F2 fraksiyonunda $7,18 \pm 1,49 \mu\text{g/g}$, F3 fraksiyonunda $6,38 \pm 1,62 \mu\text{g/g}$ ve F4 fraksiyonunda $9,80 \pm 1,46 \mu\text{g/g}$ olduğu tespit edilmiştir. Potansiyel mobil miktarının $11,47 \pm 2,35 \mu\text{g/g}$ ve oransal dağılımın %60,12 olduğu belirlenmiştir.

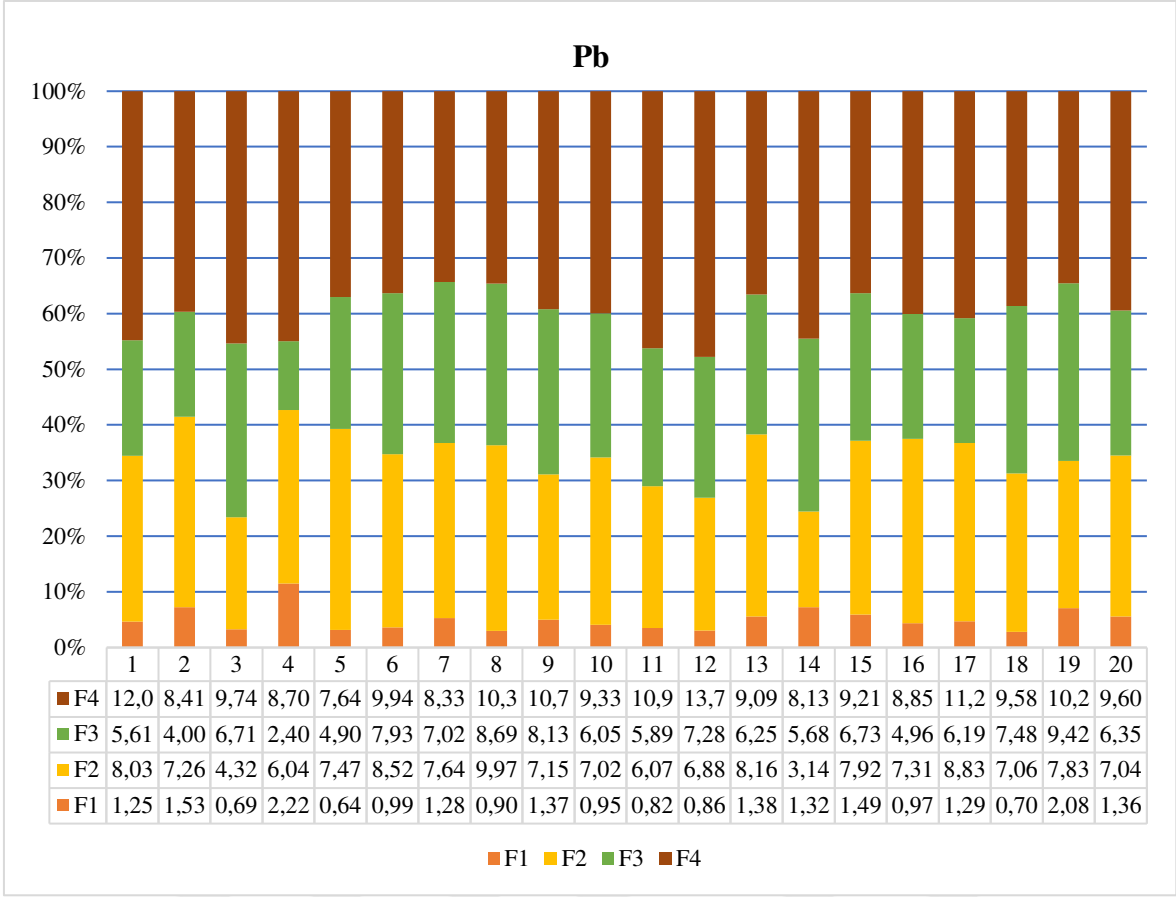
Pb elementinin F2 (%29,23) ve F3 (%25,98) fraksiyonlarındaki konsantrasyonları oranları birbirlerine benzer olduğu görülmüştür (Şekil 8). F3 fraksiyonunda bulunan ağır metaller organik maddenin kompleks gücü nedeniyle nispeten kararlı olmalarının yanında çevre koşullarına bağlı olarak çözünür forma dönüşebilme yetenekleri mevcuttur. F2 ve F3 fraksiyonlarında tutulan ağır metaller toprakta redoks durumlarında meydana gelebilecek değişiklikler ve organik maddenin ayrışması sebebiyle serbest kalarak kirlilik tehdidi oluşturabilirler (Sungur vd., 2022).

Çalışma alanı oluşturan örnekleme noktalarının tamamında Pb mobilitesi %50 üzerinde belirlenmiştir (Şekil 8). Genel olarak antropojenik etkilerin, çalışma alanı olan tarım topraklarının Pb içeriği üzerinde birincil etkili sebep olduğunu söylemek mümkündür. Çalışma alanının konum itibarıyla kent merkezine yakınlığı ve yoğun araç trafiği etkisi altında olmasının yanında alanda yapılan tarımsal üretimde (toprak işleme, hasat vb. faaliyetler) traktör gibi araçların kullanımının sürekliliği sonucu ortaya çıkan emisyonların bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çalışma alanı civarında bulunan kırsal mahallelerde ısınma amacıyla kullanılan fosil yakıtların da toprakların Pb konsantrasyonu üzerinde etkili olduğu varsayılmaktadır.

Tablo 8

Toprak numunelerinde Pb'un jeokimyasal fraksiyonlarda bulunan konsantrasyonları ($\mu\text{g/g}$)

Örnek	F1	F2	F3	F4	F(1+2+3)	F(1+2+3+4)
1	1,25	8,03	5,61	12,07	14,89	26,95
2	1,53	7,26	4,00	8,41	12,79	21,20
3	0,69	4,32	6,71	9,74	11,72	21,46
4	2,22	6,04	2,40	8,70	10,66	19,35
5	0,64	7,47	4,90	7,64	13,01	20,65
6	0,99	8,52	7,93	9,94	17,44	27,38
7	1,28	7,64	7,02	8,33	15,93	24,25
8	0,90	9,97	8,69	10,36	19,55	29,91
9	1,37	7,15	8,13	10,75	16,65	27,40
10	0,95	7,02	6,05	9,33	14,03	23,36
11	0,82	6,07	5,89	10,98	12,78	23,76
12	0,86	6,88	7,28	13,76	15,02	28,78
13	1,38	8,16	6,25	9,09	15,79	24,88
14	1,32	3,14	5,68	8,13	10,15	18,28
15	1,49	7,92	6,73	9,21	16,14	25,35
16	0,97	7,31	4,96	8,85	13,24	22,09
17	1,29	8,83	6,19	11,24	16,31	27,55
18	0,70	7,06	7,48	9,58	15,23	24,81
19	2,08	7,83	9,42	10,21	19,33	29,54
20	1,36	7,04	6,35	9,60	14,75	24,35
En küçük	0,64	3,14	2,40	7,64	10,15	18,28
En büyük	2,22	9,97	9,42	13,76	19,55	29,91
Ortalama	1,21	7,18	6,38	9,80	14,77	24,564
Standart sapma	0,43	1,49	1,62	1,46	2,54	3,35
% Oran	4,91	29,23	25,98	39,88	60,12	100,00



Şekil 8. Toprak örneklerinde Pb'un jeokimyasal fraksiyonlarının oransal dağılımı

4.4.6. Çinko (Zn)

Toprak örneklerinde Zn'un fraksiyonlardaki konsantrasyonları Tablo 9'da ve fraksiyonel dağılımları Şekil 9'da belirtilmiştir. Tablo incelendiğinde Zn elementinin F1 fraksiyonunda ortalama $2,16 \pm 1,12 \mu\text{g/g}$, F2 fraksiyonunda $11,47 \pm 2,18 \mu\text{g/g}$, F3 fraksiyonunda $5,81 \pm 1,12 \mu\text{g/g}$ ve F4 fraksiyonunda $42,24 \pm 9,44 \mu\text{g/g}$ olduğu tespit edilmiştir. Potansiyel mobil miktarının $11,47 \pm 2,35 \mu\text{g/g}$ ve oransal dağılımın yaklaşık %31,51 olduğu belirlenmiştir.

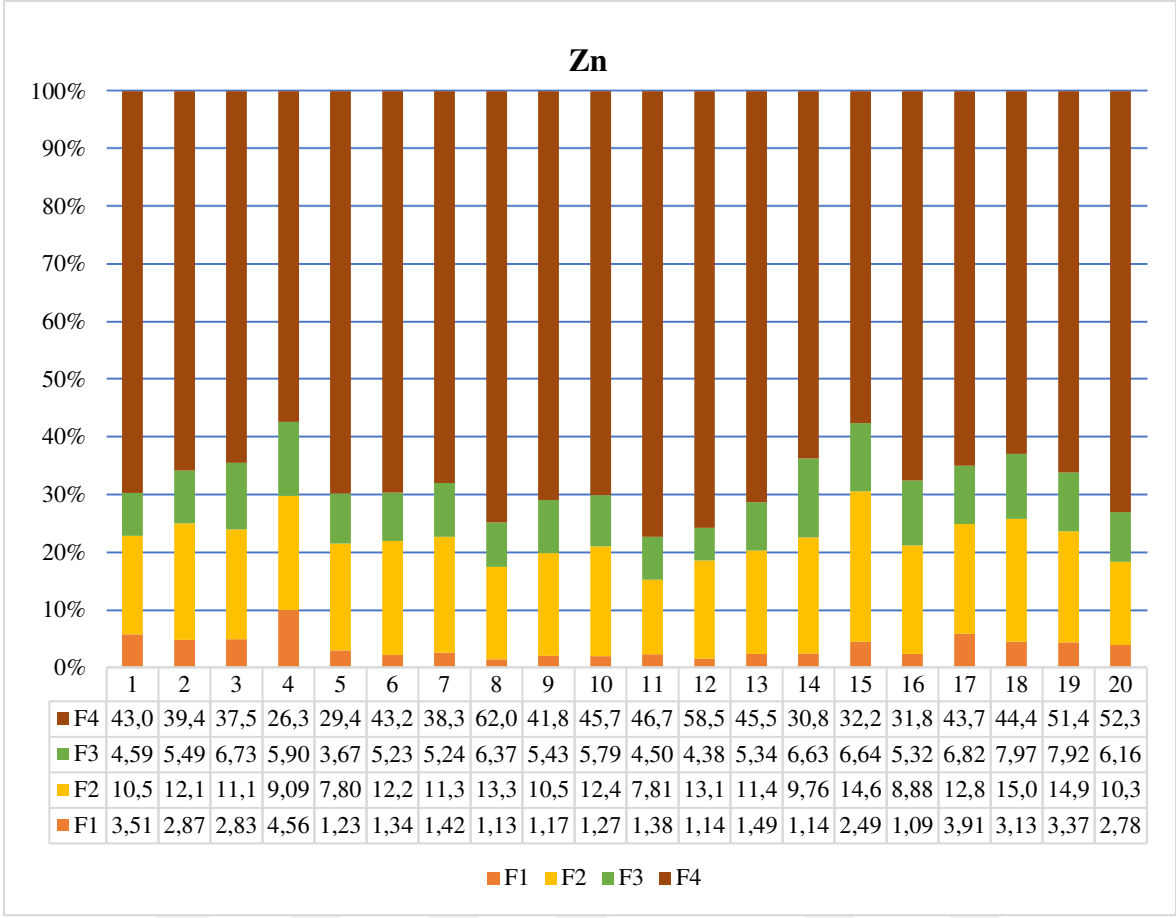
Yapılan analizlerin sonucunda elde edilen verilere bakıldığında Zn en yoğun F4 fraksiyonunda tespit edilmiştir. F2 fraksiyonu F4 fraksiyonunu takip etmektedir. Çalışma alanı toprak örneklerinde Zn mineralleri özellikle Fe/Mn oksitleri (F2 fraksiyonu) ve organik

madde ve sülfidler (F3 fraksiyonu) tarafından tutulduğu anlaşılmaktadır (Şekil 9). Dolayısıyla indirgeme koşullarındaki değişim toprakta bulunan Zn elementinin daha serbest olan F1 fraksiyonuna basit bir şekilde geçerek çalışma alanı toprakları için risk oluşturabilir.

Tablo 9

Toprak numunelerinde Zn'un jeokimyasal fraksiyonlarda bulunan konsantrasyonları ($\mu\text{g/g}$)

Örnek	F1	F2	F3	F4	F(1+2+3)	F(1+2+3+4)
1	3,51	10,57	4,59	43,05	18,67	61,72
2	2,87	12,10	5,49	39,48	20,46	59,93
3	2,83	11,10	6,73	37,58	20,66	58,24
4	4,56	9,09	5,90	26,36	19,56	45,91
5	1,23	7,80	3,67	29,41	12,71	42,11
6	1,34	12,26	5,23	43,28	18,84	62,11
7	1,42	11,35	5,24	38,31	18,01	56,31
8	1,13	13,33	6,37	62,00	20,82	82,82
9	1,17	10,52	5,43	41,82	17,11	58,93
10	1,27	12,44	5,79	45,79	19,50	65,29
11	1,38	7,81	4,50	46,71	13,69	60,40
12	1,14	13,16	4,38	58,53	18,68	77,20
13	1,49	11,43	5,34	45,53	18,26	63,79
14	1,14	9,76	6,63	30,82	17,53	48,35
15	2,49	14,61	6,64	32,29	23,74	56,03
16	1,09	8,88	5,32	31,86	15,29	47,14
17	3,91	12,82	6,82	43,76	23,55	67,31
18	3,13	15,04	7,97	44,46	26,14	70,60
19	3,37	14,99	7,92	51,48	26,28	77,76
20	2,78	10,31	6,16	52,31	19,24	71,55
En küçük	1,09	7,80	3,67	26,36	12,71	42,11
En büyük	4,56	15,04	7,97	62,00	26,28	82,82
Ortalama	2,16	11,47	5,81	42,24	19,44	61,675
Standart sapma	1,12	2,18	1,12	9,44	3,56	10,95
% Oran	3,51	18,59	9,41	68,49	31,51	100,00



Şekil 9. Toprak örneklerinde Zn'un jeokimyasal fraksiyonlarının oransal dağılımı

4.5. Ağır Metallerin Risk Değerlendirmesi

Çevre için önemli bir risk göstergesi olan Cf (kirlilik faktörü) çalışma alanı ortalama değerleri çizelge Tablo 10'da belirtilmiştir. Çalışma alanından alınan örneklerin ait Cf değerlerin sıralaması şu şekilde oluşmuştur: Cd > Pb > Cu > Zn > Ni. Değerlendirme sonucu elde edilen veriler, toprakların Cd ve Pb elementleri bakımından düşük kirlilik gösterdiği, Cu, Ni, Zn elementleri bakımından ise kirlilik göstermediğini ortaya koymaktadır.

Çalışma alanını oluşturan toprak örneklerinin ağır metaller ekolojik risk (ER) sıralaması şu şekilde oluşmuştur: Cd > Pb > Cu > Zn > Ni.

Ağır metallerin RAC değerleri Tablo 10’da sunulmuştur. Çalışma alanı RAC değerleri şu şekilde sıralanmıştır: Cd > Cu > Pb > Ni > Zn. Toprakların Cd (%22,79) bakımından çevreye orta düzeyli risk oluşturduğu, Cu (%5,93), Pb (%5,01), Ni (%3,63), Zn (%3,59)’ un evre için risk oluşturmadığı belirlenmiştir.

Tablo 10

Ağır metallere ait kirlilik faktörü (Cf) ve risk değerlendirme kodu (RAC), ekolojik risk (ER) değerleri

Metaller	Cf	Er	RAC (%)
Cd	1,85 ± 0,34	55,57 ± 10,23	22,79 ± 1,63
Cu	0,63 ± 0,14	19,00 ± 4,31	5,93 ± 1,88
Ni	0,40 ± 0,08	12,17 ± 2,64	3,63 ± 2,12
Pb	1,52 ± 0,26	45,67 ± 7,79	5,01 ± 2,08
Zn	0,47 ± 0,12	14,33 ± 3,63	3,59 ± 2,04

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışması, sebze tohumluk üretim alanlarının ağır metal (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) içeriklerini, jeokimyasal fraksiyonlarını ve bu metallerin çevresel risklerini içermektedir. Sebze tohumluk üretim alanlarından alınan toprak örneklerinin Cd konsantrasyonu 0,83-1,19 µg/g aralığında ve toplam $0,99 \pm 0,11$ µg/g olarak tespit edilmiştir. Cd elementinin jeokimyasal fraksiyonları sıralaması ise $F4 > F1 > F2 > F3$ şeklinde bulunmuştur. Potansiyel mobil fraksiyonların ortalama oranı %64,44 olduğu ve bunun bitki besleme de kullanılan fosfor ağırlıklı taban ve damlama gübreleri kaynaklı ve üretim alanının kent merkezi etkisi altında olmasında kaynaklı birikim olabileceği düşünülmüştür. İmmobil F4 fraksiyonda Cd elementi %38,32 olduğu ve bu oranın toprak ana materyali kaynaklı olduğu düşünülmüştür. Cd elementinin $1,85 \pm 0,34$ Cf değeri ile düşük kirlilik gösterdiği, %22,79 RAC değeri ile çevreye orta düzeyli risk oluşturduğu, $55,57 \pm 10,23$ Er değerinin ise orta risk kategorisinde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar örnek noktalarının temsil ettiği toptakları Cd elementi yönünden kirlendiğini, ayrıca Cd elementinin çevre ve ekolojik olarak orta düzeyli risk taşıdığını işaret etmektedir.

Toprak örneklerinin Cu konsantrasyonu 13,91-30,04 µg/g aralığında ve toplam $22,40 \pm 4,58$ µg/g olarak tespit edilmiştir. Cu elementinin jeokimyasal fraksiyonları sıralaması ise $F4 > F2 > F3 > F1$ şeklinde bulunmuştur. Potansiyel mobil fraksiyonların ortalama oranı %38,32 olduğu ve immobil F4 fraksiyonda Cu elementi %61,68 olduğu ve bu oranın toprak ana materyali kaynaklı olduğu düşünülmüştür. Mobil fraksiyon içerisinde F2 fraksiyonunda daha yoğun olan Cu elementinin sebze üretim alanlarındaki fungal hastalıkların mücadelesinde kullanılan Cu içerikli preparatlardan kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Cu elementinin $0,63 \pm 0,14$ Cf değeri ile kirlilik göstermediği/temiz olduğunu, %5,93 RAC değeri ile çevreye düşük risk oluşturduğu, $19,00 \pm 4,31$ Er değerinin ise düşük ekolojik risk oluşturduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar örnek noktalarının alındığı çalışma alanının Cu elementi yönünden kirlenmediğini fakat düşük çevre ve ekolojik risk oluşturduğunu işaret etmektedir.

Toprak örneklerinin Ni konsantrasyonu 27,25-55,23 µg/g aralığında ve toplam 40,94 ± 8,70 µg/g olarak tespit edilmiştir. Ni elementinin jeokimyasal fraksiyonları sıralaması ise F4 > F2 > F3 > F1 şeklinde bulunmuştur. Potansiyel mobil fraksiyonların ortalama oranı %28,47 olduğu, İmmobil F4 fraksiyonda Ni elementi oranının %71,53 olduğu belirlenmiştir. İmmobil fraksiyondaki Ni konsantrasyonunun çalışma alanına yakın olan ve uzun süre yürütülen ve hala devam etmekte olan metal sanayi kaynaklı olduğu düşünülmüştür. Çalışma alanı topraklarının Ni elementi bakımından 0,40 ± 0,08 Cf değeri ile temiz olduğunu, %3,63 RAC değeri ile çevreye düşük risk oluşturduğu, 12,17 ± 4,31 Er değerinin ise düşük risk kategorisinde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar örnek noktalarının temsil ettiği toprakların Ni elementi yönünden kirlenmediğini fakat düşük çevre ve ekolojik risk oluşturduğunu işaret etmektedir.

Toprak örneklerinin Pb konsantrasyonu 18,17-31,79 µg/g aralığında ve toplam 25,39 ± 3,76 µg/g olarak tespit edilmiştir. Pb elementinin jeokimyasal fraksiyonları sıralaması ise F4 > F2 > F3 > F1 şeklinde bulunmuştur. Potansiyel mobil fraksiyonların ortalama oranı %60,12 olduğu ve bunun çalışma alanının konumunun kent merkezine yakınlığı, trafik ve fosil yakıt emisyonları gibi insan kaynaklı birikim olduğu düşünülmüştür. İmmobil F4 fraksiyonda Pb elementi oranının %39,88 olduğu ve bu oranın toprak ana materyali kaynaklı olduğu düşünülmüştür. Çalışma alanında Pb elementinin 1,52 ± 0,26 Cf değeri ile düşük kirlilik gösterdiği, %5,01 RAC değeri ile çevreye düşük risk oluşturduğu, 45,67 ± 7,79 Er değerinin ise orta risk oluşturduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar örnek noktalarının temsil ettiği toprakları Pb elementi yönünden düşük kirlilik ve düşük ekolojik risk oluşturduğunu işaret etmektedir.

Toprak örneklerinin Zn konsantrasyonu 42,54-78,50 µg/g aralığında ve toplam 60,80 ± 10,40 µg/g olarak tespit edilmiştir. Zn elementinin jeokimyasal fraksiyonları sıralaması ise F4 > F2 > F3 > F1 şeklinde bulunmuştur. Potansiyel mobil fraksiyonların ortalama oranı %31,51 olduğu F4 fraksiyonundan sonra en yoğun olduğu F2 ve F3 fraksiyonlarının Fe/Mn oksitler ve organik materyale bağlılığının indirgenme koşullarından kolayca F1 fraksiyonuna geçerek risk oluşturabileceği tahmin edilmektedir. ve İmmobil F4 fraksiyonda Zn elementi oranının %68,49'tür. Zn elementinin 0,47 ± 0,12 Cf değeri ile kirlilik göstermediği, %3,59 RAC değeri ile çevreye düşük risk oluşturduğu, 14,33 ± 3,63 Er değerinin ise ekolojik risk

oluşturmadığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar örnek noktalarının temsil ettiği toptakları Zn elementi yönünden kirlenmediğini ve çevresel bir risk oluşturmadığını işaret etmektedir.



KAYNAKÇA

- Ahmadipour, F., Bahramifar, N., Ghasempouri, S. M. (2014). "Fractionation and mobility of cadmium and lead in soils of Amol area in Iran, using the modified BCR sequential extraction method". *Environmental Pollutants & Bioavailability*, 26(1).
- Alloway B. J. (2013). "Sources Of Heavy Metals And Metalloids İn Soils. In: Alloway, J. B. (Ed.), Heavy Metals İn Soils: Trace Metals And Metalloids İn Soils And Their Bioavailability". *Springer*, Netherlands, Dordrecht, Pp.11–50.
- Arenas-Lago, D., Andrade, M.L., Lago-Vila, M., Rodríguez-Seijo, A., Vega, F. A. (2014). "Sequential extraction of heavy metals in soils from a copper mine: Distribution in geochemical fractions". *Geoderma*, 230, 108-118.
- Asri, F. Ö., Sönmez, S. (2006). "Ağır Metal Toksikitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri". *Derim*, 23(2), 36-45.
- Atafar, Z., Mesdaghinia, A., Nouri, J., Homae, M., Yunesian, M., Ahmadimoghaddam, M., Mahvi, A. H. (2010). "Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration". *Environmental monitoring and assessment*, 160, 83-89.
- Balıkesir Valiliği, Balıkesir İlinde Tarım ve Hayvancılık. <http://www.balikesir.gov.tr/tarim-ve-hayvancilik> (19.11.2022)
- Balıkesir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, İklim, <https://balikesir.ktb.gov.tr/TR-65837/iklim.html> (erişim tarihi 15.02.2024)
- Çalışkan, N. (2017). Sapanca Gölü havzasından alınan toprak ve sediment örneklerinde ağır metal kirliliğinin ardışık ekstraksiyon yöntemiyle araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Çığ, F., Sönmez, F., Erman, M. (2020). "Van Merkez ve İlçelerinde Buğday ve Yetiştiriciliği Yapılan Alanların Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi". *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 4(1), 113-124.
- Dartan, G., Toröz, İ. (2013). "Güney Marmara Bölgesinde Tarım Topraklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması". *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 25(1), 24-40.
- Devi, P., Saroha, A. K. (2014). "Risk analysis of pyrolyzed biochar made from paper mill effluent treatment plant sludge for bioavailability and eco-toxicity of heavy metals". *Bioresource technology*, 162, 308-315.

- Doğru, A., Altundağ, H., Dündar, M. Ő. (2021). “GeliŐmiŐ Bitkilerde Nikel Elementinin Fizyolojik Fonksiyonları ve Nikel Toksisitesi”. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 33(1), 1-19.
- Dökmeçi, A. H., Çelik, S. Ö., Kaykıoğlu, G., Öngen, A. (2017). “Tekirdağ’da Çorlu ilinde endüstriyel alanlardaki toprakta ağır metal kirliliğinin çevresel ve insan sağlığı açısından etkileri”. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 256-263.
- Eren, A., Mert, M., (2017). “Ağır metal (Ni, Cd ve Cu) uygulamalarının Andız Otu, Fener Otu ve Sığırkuyruğu bitkilerinin büyüme ve geliŐmesi üzerine etkisi”. *Türkiye Tarımsal AraŐtırmalar Dergisi*, 4(1), 50-58.
- Gee GW., Or, D. (2002). Particle Size Analysis. In: Dane, J.H. and Topp, G.C., Eds., *Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Methods*, Soil Science Society of America, Book Series No. 5, Madison, 255-293.
- Google haritalar. <https://www.google.com/maps>
- İŞler, M., Sungur, A., Soylak, M. (2018). “Özbek Ovası (Çanakkale) tarım topraklarında ağır metal mobilitesinin bir ardışık ekstraksiyon yöntemiyle değerlendirilmesi”. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 43-55.
- Karak T., (2010). “Heavy Metal Accumulation İn Soil Amended With Roadside Pond Sediment And Uptake By Rice (*Oryza Sativa L.*)”. *Commun Soil Sci Plan.* 41:2577-2594.
- Li, Z., Ma, Z., van der Kuijp, T. J., Yuan, Z., Huang, L. (2014). “A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment”. *Science of the total environment*, 468, 843-853.
- Liu G., Tao L., Liu X., Hou J., Wang A., Li R., 2013. “Heavy Metal Speciation And Pollution Of Agricultural Soils Along Jishui River İn Non-Ferrous Metal Mine Area İn Jiangxi Province, China”. *J. Geochem. Explor.* 132, 156-163.
- Marrugo-Negrete, J., Pinedo-Hernández, J., Díez, S. (2017). “Assessment of heavy metal pollution, spatial distribution and origin in agricultural soils along the Sinú River Basin, Colombia”. *Environmental research*, 154, 380-388.

- Nelson, D.W., Sommers, L.E., (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page AL, editor;, Miller RH, editor; & Keeney DR, editor.(Eds.), Methods of soil analysis, part 2: 539–577. Madison: American Society of Agronomy
- Nelson, R.E. (1982). Carbonate and gypsum. In: Page AL, editor;, Miller RH, editor; & Keeney DR, editor.(Eds.), Methods of soil analysis, part 2. American Society of Agronomy, Madison, 181–197.
- Özcan, H., Sungur, A., Everest, T., Temel, E., Bozcu, M., Soylak, M. (2022). “Serpantin Üzerinde Oluşmuş Topraklarda Kobalt, Krom ve Nikelin Jeokimyasal Fraksiyonlarının Belirlenmesi (Çanakkale-Ezine, Türkiye)”. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 9(3), 509-517.
- Özkan, A. (2017). “Antakya-Cilvegözü karayolu etrafındaki tarım arazilerinde ve bitkilerdeki ağır metal kirliliği”. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 9-18.
- Özkul, C., Acar, R. U., Köprübaşı, N., Er, A. E., Kızılkaya, H. İ., Metin, M., Şenel, M. N. (2018). “Altıntaş (Kütahya-Türkiye) Ovası Tarım Topraklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Öncel Çalışma”. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 17(1), 13-26.
- Pueyo, M., Mateu, J., Rigol, A., Vidal, M., López-Sánchez, J. F., Rauret, G. (2008). “Use of the modified BCR three-step sequential extraction procedure for the study of trace element dynamics in contaminated soils”. *Environmental pollution*, 152(2), 330-341.
- Saltalı, K., Gündoğan, R., Demir, Ö. F., Kara, Z., Yakupoğlu, T., Dikici, H., Yılmaz, K. (2018). “Narlı Ovası Topraklarının Ağır Metal Kapsamı Üzerine Çimento Fabrikası Baca Tozlarının Etkileri”. *Toprak Su Dergisi*, 7(1), 11-20.
- Seven, T., Can, B., Darende, B. N., Ocak, S., (2018). “Hava ve toprakta ağır metal kirliliği”. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 91-103.
- Singh K.P., Mohan D., Singh V.K., Malik A., (2005). “Studies On Distribution And Fractionation Of Heavy Metals In Gomti River Sediments—A Tributary Of The Ganges, India”. *J Hydrol.* 312:14-27.
- Sönmez, İ., Kaplan, M., Sönmez, S. (2008). “Kimyasal gübrelerin çevre kirliliği üzerine etkileri ve çözüm önerileri”. *Derim*, 25(2), 24-34.

- Sungur, A., Özcan, H. (2013). “DTPA ve BCR Ardışık Ekstraksiyon Yöntemleriyle Toprak Örneklerinde Ağır Metal Analizi”. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(3), 46-53.
- Sümer, A., Adiloğlu, S., Çetinkaya, O., Adiloğlu, A., Sungur, A., Akbulak, C. (2013). “Karamenderes havzası topraklarında bazı ağır metallerin (Cr, Ni, Pb) kirliliğinin araştırılması”. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(1), 83-89.
- Thomas, GW. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loppert RH, Soltanpour PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Summner ME (eds) Methods of soil analysis, part 3: chemical methods. ASA and SSSA, Madison, 475–490.
- Vácha, R. (2021). “Heavy metal pollution and its effects on agriculture”. *Agronomy*, 11(9), 1719.
- Yağmur, B., Okur, B., (2018). “Ege Bölgesi Salihli İlçesi Bağ Plantasyonlarının Verimlilik Durumları ve Ağır Metal İçerikleri”. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(1), 111-122.
- Yerli, C., Çakmakçı, T., Sahin, U., Tüfenkçi, Ş. (2020). “Ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığına etkileri”. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı), 103-114.
- Zincircioğlu, N. (2013). “Manisa-Akhisar yöresinde bulunan kimi tarım arazilerinin ağır metal içeriklerinin araştırılması”. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 50(3), 333-339.
- Zwolak, A., Sarzyńska, M., Szpyrka, E., Stawarczyk, K. (2019). “Sources of soil pollution by heavy metals and their accumulation in vegetables: A review”. *Water, air, & soil pollution*, 230, 1-9.