T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM VE TABİİ BİTKİ KAYNAKLARI ANA BİLİM DALI

HAVA KİRLİLİĞİNİN YÜKSEK DÜZEYDE OLDUĞU BÖLGELERDE TARIM TOPRAKLARINDA AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ

AHMET USTA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PORF. DR. HAKAN ŞEVİK

MAYIS - 2026
KASTAMONU

TEZ ONAYI

AHMET USTA tarafından hazırlanan "**HAVA KİRLİLİĞİNİN YÜKSEK DÜZEYDE OLDUĞU BÖLGELERDE TARIM TOPRAKLARINDA AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ**" adlı tez çalışmasının savunma sınavı **20.05.2026** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Sürdürülebilir Tarım ve Tabii Bitki Kaynakları Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Prof. Dr. Hakan ŞEVİK Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Özgür SAĞLAM Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. İnci Sevinç KRAVKAZ KUŞÇU Kastamonu Üniversitesi	.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü Prof. Dr. Selahattin KAYMAKCI .....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Ahmet USTA

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAVA KİRLİLİĞİNİN YÜKSEK DÜZEYDE OLDUĞU BÖLGELERDE TARIM TOPRAKLARINDA AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ

AHMET USTA

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM VE TABİİ BİTKİ KAYNAKLARI ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. HAKAN ŞEVİK

Gıda, insan hayatı için vazgeçilmez bir kaynak olup, insanlar için gıda ihtiyacı büyük oranda tarımsal faaliyetlerle karşılanmaktadır. Dünya genelinde insan nüfusunun giderek artmasına ek olarak, tarım alanlarının alansal olarak azalması, toprak kirliliği, tuzluluk, aşırı gübreleme ve su kıtlığı gibi sebeplerle niteliğinin bozulması gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Son yıllarda kentsel alanlar, sanayi alanları ve otoyollar ile tarım alanlarının iç içe geçmesi, tarım alanlarındaki ağır metal kirliliğinin başka bir tehdit unsuru olarak ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Tarımsal alanlarında gübreleme ve ilaçlama faaliyetlerinin de etkisiyle tarım topraklarında kirlilik düzeyi daha da artmakta, endişe verici boyutlara ulaştığı bildirilmektedir. Oysa tarım ürünlerinin içerik ve kalitesi doğrudan toprak mineral madde içeriği ile ilişkilidir. Bundan dolayı toprak mineral madde içeriğinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma kapsamında, hava ve toprak kirliliğinin yüksek düzeyde olduğu bilinen Düzce'de tarım topraklarında hem insan sağlığı açısından tehlikeli ve zararlı olan ağır metallerin, hem de besin elementi olarak gerekli bazı elementlerin konsantrasyonlarının, üretilen tarım ürününe bağlı olarak değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında fındık bahçeleri ile buğday, mısır ve pirinç tarlalarından toprak örnekleri toplanmıştır. Karşılaştırma amaçlı olarak ormanlık alandan da toprak örnekleri alınarak ICP-OES yardımıyla element analizleri yapılmıştır. Çalışma sonuçları topraklardaki özellikle insan sağlığı açısından büyük risk oluşturabilen bazı ağır metal konsantrasyonlarının oldukça yüksek seviyede olduğunu ortaya koymaktadır. Elementlerin çoğunun topraklardaki konsantrasyonlarının, tarımsal faaliyetlere bağlı olarak önemli ölçüde değişmediği belirlenmiştir. Bu durum öncelikle tarım ürünlerinin her yıl farklı alanlarda yetiştirilmesi ve çevresel kirleticilerin etkilerinin tarımsal faaliyetlerden daha baskın olarak ortaya çıkması ile açıklanabilir.

ANAHTAR KELİMELER:Sürdürülebilir tarım, Kimyasal kirlilik, Endüstriyel kirlilik, Metal kirlilik, Ağır metal kirliliği, Ağır metaller.

Mayıs 2026, 55 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONTAMINATION IN AGRICULTURAL SOILS OF HIGHLY AIR-POLLUTED REGIONS

AHMET USTA

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF SUSTAINABLE AGRICULTURE AND NATURAL PLANT RESOURCES
SUPERVISOR: PROF. DR. HAKAN ŞEVİK

Food is an indispensable resource for human survival, and the global demand for food is predominantly met through agricultural activities. In addition to the continuous growth of the global human population, food security is severely threatened by the spatial reduction of agricultural lands and the degradation of soil quality driven by factors such as soil pollution, salinity, excessive fertilization, and water scarcity. In recent years, the encroachment of urban areas, industrial zones, and highway networks into agricultural lands has led to the emergence of heavy metal contamination in agricultural soils as an additional, significant threat. Exacerbated by intensive fertilization and pesticide applications, the level of pollution in agricultural soils continues to rise, reportedly reaching alarming dimensions. Since the nutritional content and overall quality of agricultural products are directly correlated with the mineral composition of the soil, the precise determination of soil mineral content is of paramount importance.

This study aims to investigate the variations in the concentrations of both hazardous heavy metals—which pose significant risks to human health—and essential nutritional elements in agricultural soils, depending on the crop cultivated, within the province of Düzce, a region known for elevated levels of air and soil pollution. For this purpose, soil samples were collected from hazelnut orchards as well as wheat, corn, and rice fields. To establish a comparative baseline, control samples were additionally acquired from a forested area, and elemental analyses of all samples were performed using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). The findings reveal that the concentrations of certain heavy metals in the analyzed soils, which pose substantial risks to human health, are notably high. Furthermore, it was observed that the concentrations of the majority of the analyzed elements did not exhibit significant variations dependent on the specific agricultural activities. This phenomenon can primarily be attributed to the practice of cultivating crops in different areas annually (crop rotation), indicating that the systemic impact of environmental pollutants is more dominant than the localized effects of agricultural practices.

KEYWORDS: Sustainable agriculture, Chemical pollution, Industrial pollution, Metal pollution, Heavy metal pollution, Heavy metals.

May 2026, 55 Page

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve "Hava kirliliğinin yüksek düzeyde olduğu bölgelerde tarım topraklarında ağır metal kirliliğinin belirlenmesi" başlıklı tez çalışmam süresince bilgi, birikim ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, her türlü desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hakan ŞEVİK'e (Kastamonu Üniversitesi) en içten teşekkürlerimi sunarım.

Lisansüstü eğitim sürecimdeki nezaketleri ve sağladıkları akademik çalışma ortamı için Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü Sayın Prof. Dr. Selahattin KAYMAKCI'ya teşekkürlerimi borç bilirim.

Bu çalışma Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Koordinasyon Birimi tarafından KÜ-BAP03/2025-02 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca karşılaştığım zorlukları aşmamda sabrı, anlayışı ve bitmek bilmeyen sevgisiyle bana güç veren kıymetli eşim Şerife USTA'ya; bu süreçteki en büyük motivasyon kaynağım olan ve varlıklarıyla hayatıma anlam katan sevgili kızlarım Şevval Aybike ve Şimal Ayyüce'ye sonsuz şükranlarımı sunarım.

AHMET USTA

Kastamonu, 2026

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI ..... **ii**
TAAHHÜTNAME ..... **iii**
ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **viii**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **ix**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **x**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Düzce İlinde Üretimi Yapılan Tarımsal Ürünler 3
2. LİTERATÜR ÖZETİ **7**
3. MATERYAL VE YÖNTEM **18**
4. BULGULAR **20**
5. SONUÇ VE TARTIŞMA **45**
KAYNAKLAR **49**
ÖZGEÇMİŞ **55**

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 5.1 Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızı ve hakim yönü dağılımını gösteren harita 48

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1 Düzce ilinde üretilen tarla bitkileri üretim miktarları 4
Tablo 1.2 Düzce ilinde üretilen meyve üretim miktarları 4
Tablo 1.3 Düzce ilinde üretilen sebze üretim miktarları 5
Tablo 4.1 Topraklarda Al (ppm) konsantrasyonunun değişimi 20
Tablo 4.2 Topraklarda Ca (ppm) konsantrasyonunun değişimi 21
Tablo 4.3 Topraklarda Ba (ppm) konsantrasyonunun değişimi 21
Tablo 4.4 Topraklarda K (ppm) konsantrasyonunun değişimi 22
Tablo 4.5 Topraklarda Ga (ppm) konsantrasyonunun değişimi 23
Tablo 4.6 Topraklarda Sr (ppm) konsantrasyonunun değişimi 23
Tablo 4.7 Topraklarda Mn (ppm) konsantrasyonunun değişimi 24
Tablo 4.8 Topraklarda S (ppm) konsantrasyonunun değişimi 25
Tablo 4.9 Topraklarda Mg (ppm) konsantrasyonunun değişimi 25
Tablo 4.10 Topraklarda Na (ppm) konsantrasyonunun değişimi 26
Tablo 4.11 Topraklarda Ti (ppm) konsantrasyonunun değişimi 27
Tablo 4.12 Topraklarda Fe (ppm) konsantrasyonunun değişimi 27
Tablo 4.13 Topraklarda P (ppm) konsantrasyonunun değişimi 28
Tablo 4.14 Topraklarda Co (ppb) konsantrasyonunun değişimi 29
Tablo 4.15 Topraklarda V (ppb) konsantrasyonunun değişimi 29
Tablo 4.16 Topraklarda Cu (ppb) konsantrasyonunun değişimi 30
Tablo 4.17 Topraklarda Cr (ppb) konsantrasyonunun değişimi 31
Tablo 4.18 Topraklarda Ni (ppb) konsantrasyonunun değişimi 31
Tablo 4.19 Topraklarda Pb (ppb) konsantrasyonunun değişimi 32
Tablo 4.20 Topraklarda Cd (ppb) konsantrasyonunun değişimi 33
Tablo 4.21 Topraklarda Nb (ppb) konsantrasyonunun değişimi 33
Tablo 4.22 Topraklarda As (ppb) konsantrasyonunun değişimi 34
Tablo 4.23 Topraklarda Li (ppb) konsantrasyonunun değişimi 35
Tablo 4.24 Topraklarda Tl (ppb) konsantrasyonunun değişimi 35
Tablo 4.25 Topraklarda Au (ppb) konsantrasyonunun değişimi 36
Tablo 4.26 Topraklarda Bi (ppb) konsantrasyonunun değişimi 37
Tablo 4.27 Topraklarda Pt (ppb) konsantrasyonunun değişimi 37
Tablo 4.28 Topraklarda Zn (ppb) konsantrasyonunun değişimi 38
Tablo 4.29 Topraklarda Sn (ppb) konsantrasyonunun değişimi 39
Tablo 4.30 Topraklarda Mo (ppb) konsantrasyonunun değişimi 39
Tablo 4.31 Topraklarda Sb (ppb) konsantrasyonunun değişimi 40
Tablo 4.32 Topraklarda Se (ppb) konsantrasyonunun değişimi 41
Tablo 4.33 Topraklarda Ge (ppb) konsantrasyonunun değişimi 41
Tablo 4.34 Elementler Arası Korelasyon Matrisi 42
Tablo 4.35 Elementler Arası Korelasyon Matrisi 44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Ag	**:** Gümüş
Al	**:** Alüminyum
As	**:** Arsenik
Au	**:** Altın
B	**:** Bor
Ba	**:** Baryum
Be	**:** Berilyum
C	**:** Karbon
Ca	**:** Kalsiyum
Cd	**:** Kadmiyum
Cl	**:** Klor
Co	**:** Kobalt
Cr	**:** Krom
Cu	**:** Bakır
Fe	**:** Demir
Ge	**:** Germanyum
H	**:** Hidrojen
Hg	**:** Cıva
HNO_3	**:** Nitrik Asit
K	**:** Potasyum
Li	**:** Lityum
Mg	**:** Magnezyum
Mn	**:** Mangan
Mo	**:** Molibden
N	**:** Azot
Ni	**:** Nikel
O	**:** Oksijen
P	**:** Fosfor
Pb	**:** Kurşun
Pd	**:** Paladyum
Pu	**:** Plütonyum
Rb	**:** Rubidyum
S	**:** Kükürt
Sb	**:** Antimon
Se	**:** Selenyum
Sr	**:** Stronsiyum
Th	**:** Toryum
Tl	**:** Talyum
U	**:** Uranyum
V	**:** Vanadyum
Zn	**:** Çinko

Kısaltmalar

AAS	**:** Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
APCS-MLR	**:** Mutlak Temel Bileşen Skoru - Çoklu Doğrusal Regresyon
CF	**:** Kirlenme Faktörü
CIT	**:** Koşullu Çıkarım Ağacı
DR	**:** Boyut İndirgemesi
DWT	**:** Çok Ölçekli Ayrık Dalgacık Dönüşümü
EF	**:** Zenginleşme Faktörü
ER	**:** Potansiyel Ekolojik Risk İndeksi
HI	**:** Tehlike İndeksi (Hazard Index)
HM	**:** Ağır Metal (Heavy Metal)
ICP-OES	**:** İndüktif Eşleşmiş Plazma - Optik Emisyon Spektroskopisi (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry)
Igeo	**:** Jeoakümülasyon İndeksi
IWW	**:** Endüstriyel Atıksu (Industrial Wastewater)
LCR	**:** Yaşam Boyu Kanser Riski (Lifetime Cancer Risk)
MC-ICP-MS	**:** Çok Toplayıcılı İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi
MTF	**:** Metal Transfer Faktörü
NPI	**:** Nemerow Kirlilik İndeksi
PCA	**:** Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis)
PI	**:** Kirlilik İndeksi
PLI	**:** Toprak Kirlilik Yükü Endeksi
PLS	**:** Kısmi En Küçük Kareler (Partial Least Squares)
PMF	**:** Pozitif Matris Faktörleştirme / Fraksiyonu
ppb	**:** Milyarda Bir Kısım (Parts per billion)
ppm	**:** Milyonda Bir Kısım (Parts per million)
QI	**:** Kalite İndeksi
RF	**:** Rastgele Orman Modeli (Random Forest)
RI	**:** Ekolojik Risk İndeksi
SMLR	**:** Adımsal Çoklu Doğrusal Regresyon
SOM	**:** Öz-Düzenlemeli Harita (Self-Organizing Map)
SRI	**:** Standardize Edilmiş Risk İndeksi / Toprak Risk İndeksi
TCR	**:** Kanserojen Riski
THQ	**:** Toplam Tehlike Katsayısı
tSNE	**:** t-Dağılımlı Stokastik Komşu Yerleştirme
TWW	**:** Arıtılmış Atıksu (Treated Wastewater)
UNMIX	**:** UNMIX Reseptör Modeli
XGboost	**:** Birleştirilmiş Aşırı Gradyan Artırma
TOB	**:** Tarım ve Orman Bakanlığı

1. GİRİŞ

Bitkiler, güneş ışığını kullanarak klorofil yardımıyla fotosentez yapabilen ve böylece diğer canlılar için gerekli besin elementlerini sentezleyebilen canlılardır. Besin pramidinin temelinde yer alırlar ve bundan dolayı dünyadaki bütün canlı yaşamı bitkilere bağımlıdır (Yigit vd., 2021) Bitkilerin, kendilerinden beklenen faydaları yerine getirebilmeleri sağlıklı bir şekilde büyüyüp gelişebilmelerine bağlıdır (Erdem vd., 2023). Bitki gelişimi başlıca klimatik (Canturk vd., 2025; Cetin vd., 2026) ve edafik faktörlere (Kravkaz Kuscu vd., 2018) bağlı olarak şekillenir ve bitki gelişiminde edafik faktörler, özellikle de topraktaki besin elementleri hayati bir rol oynar. Bitki beslenmesinde 16 adet mutlak besin elementi gerekli olup bunların dokuz tanesi (Karbon (C), Hidrojen (H), Oksijen (O), Azot (N), Fosfor (P), Potasyum (K), Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg), Kükürt (S)) makro besin elementleri, 7 tanesi (Demir (Fe), Çinko (Zn), Mangan (Mn), Bakır (Cu), Bor (B), Molibden (Mo), Klor (Cl)) mikro besin elementleridir (Erdem vd., 2024). Bu elementlerin dışında bitkiler için esansiyel olmayan, nadir veya bitkiler için biyolojik rolü belirsiz olan Au, Ge, Rb, Li gibi elementler de bulunmaktadır.

Bitki gelişimi yanında diğer canlıların gelişimi ve sağlığını da etkileyen elementler içerisinde en önemlileri ise ağır metallerdir (Isinkaralar vd., 2024). Ağır metaller en önemli çevre kirleticileri olarak kabul edilirler. Çünkü ağır metaller doğada kolay kolay bozulmaz ve uzun süre kalırlar. Birçoğu canlılar için düşük konsantrasyonlarda bile zararlı, kanserojen ve hatta ölümcüldür (Ghoma vd., 2023; Koc vd., 2024). Özellikle Gümüş (Ag), Alüminyum (Al), Arsenik (As), Baryum (Ba), Berilyum (Be), Kadmiyum (Cd), Kobalt (Co), Krom (Cr), Bakır (Cu), Kurşun (Pb), Mangan (Mn), Cıva (Hg), Nikel (Ni), Paladyum (Pd), Plütonyum (Pu), Antimon (Sb), Selenyum (Se), Stronsiyum (Sr), Talyum (Tl), Toryum (Th), Uranyum (U), Vanadyum (V) ve Çinko (Zn) insan ve çevre sağlığı açısından son derece zararlı olduğundan ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) tarafından öncelikli kirletici listesine dahil etmiştir (Savas vd., 2021). Bu ağır metaller, doğal olaylara ek olarak madencilik faaliyetleri, sanayi, taşıtlar, tarımsal aktiviteler gibi antropojenik etkilerle doğaya salınmakta, insanlar ve diğer canlılar için büyük bir risk oluşturmaktadır (Key vd.,

2023; Koc vd., 2024). Dünyanın atmosferi son 30 ile 40 yıl içinde antropogenik kaynaklı çeşitli kirleticilerin atmosfere yayılmasına sebep olmuş ve atmosferin kalitesi insan sağlığını tehdit edecek seviyede bozulmuştur (Shahid vd., 2017). Öyle ki dünya genelinde her yıl yaklaşık 9-12 milyon insanın hava kirliliği sebebiyle hayatını kaybettiği rapor edilmektedir (Kulac vd., 2025).

Hava kirliliğinin çeşitli bileşenleri bulunmakla birlikte bunlar arasında ağır metaller ayrı bir önem taşımaktadırlar. Çünkü, ağır metaller doğada kolay kolay yok olmazlar, biyobirikme eğilimindedirler ve bazıları düşük konsantrasyonlarda bile toksik, kanserojen ve ölümcül etkilere sahiptir (Canturk vd., 2025; Ismail vd., 2026; Şevik vd., 2024). Yapılan çalışmalar ağır metallerin tamamına yakınının belirli bir miktarın üzerinde alındığında toksik etki oluşturduğunu göstermektedir (Yayla vd., 2022). Civa (Hg), Kadmiyum (Cd), Arsenik (As) ve Kurşun (Pb) gibi bazı ağır metaller ise yaşayan organizmalar için düşük konsantrasyonlarda dahi ciddi toksisite oluşturabilmektedirler (Aricak vd., 2020). Bundan dolayı bu ağır metaller konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Ağır metallerin insan bünyesine girişi farklı yollarla olmakla birlikte en temel yolaklar solunum ve besinlerdir. Havadaki ağır metaller yerçekimi etkisiyle bir süre sonra toprağa ve suya ulaşmaktadır. Ağır metallerin bitki bünyesine girişi ise havadan stomalar vasıtasıyla yapraklardan, topraktan kökler vasıtasıyla veya gövde bölümlerinden doğrudan olabilmektedir (Cobanoglu vd., 2023). Yapılan çalışmalar ağır metal kirliliğinin yüksek düzeyde olduğu bölgelerde yetişen bitkilerde ağır metal konsantrasyonlarının da oldukça yüksek olduğunu göstermektedir (Koc vd., 2025). Özellikle gıda olarak tüketilen sebzelerdeki ağır metal konsantrasyonlarının da oldukça yüksek olduğu ve bu durumun sağlık açısından ciddi bir risk olduğu belirtilmektedir (Gültekin vd., 2025; Sevik vd., 2026).

Günümüzde tarım alanları, şehir merkezlerinin hızlı büyümesi sonucu yerleşim alanları içerisinde kalmış, pek çok şehirde sanayi alanları, otoyollar, kent merkezleri ve tarım alanları iç içe geçmiştir (Sen vd., 2018). Bu durumda olan illerden birisi de Düzce'dir. Hem ilin topografik konumu hem nüfus olarak hızlı büyümesi hem de sanayi, tarım, ulaşım ve yerleşim alanlarının iç içe geçmesi, il genelinde büyük bir

kirlilik sorunu oluşmasına sebep olmuştur. Öyle ki 2021 yılı verilerine göre Düzce, Avrupa'nın havası en kirli 5 şehrinden birisidir. Bu durum Düzce'de topraklardaki ağır metal kirliliğinin de yüksek düzeyde olmasına sebep olmaktadır (Dışbudak vd., 2026; Sevik vd., 2024).

Topraklardaki ağır metal kirliliği, ayrıca tarımsal uygulamalara bağlı olarak da değişebilmektedir. Yapılan çalışmalar örneğin Ba gibi insan sağlığı açısından son derece tehlikeli ve zararlı olan bazı ağır metallerin, toprağa tarımsal faaliyetler sonucunda önemli ölçüde karıştığını göstermektedir (Canturk, 2023). Ayrıca, gübreleme uygulaması, üretilen tarımsal ürüne de bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla tarım topraklarındaki ağır metal içeriği, üretilen ürüne bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Bundan dolayı farklı ürünlerin yetiştirildiği topraklarda ağır metal kirliliğinin düzeyinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, hava ve toprak kirliliğinin yüksek düzeyde olduğu bilinen Düzce'de tarım topraklarında hem insan sağlığı açısından tehlikeli ve zararlı olan ağır metallerin, hem de besin elementi olarak gerekli bazı elementlerin konsantrasyonlarının, üretilen tarım ürününe bağlı olarak değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.1 Düzce İlinde Üretimi Yapılan Tarımsal Ürünler

Düzce, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde yer alan bir sınır ilidir. Şehir merkezi, yaklaşık 40°51 "Kuzey enlemi ile 31°08" Doğu boylamı koordinatları arasında konumlanmıştır. İlin orta kesiminde tarımsal açıdan çok verimli olan büyük Düzce Ovası yer alır. Ovanın etrafı ise sarp ve ormanlık dağlarla çevrilidir. Düzce ovasının deniz seviyesinden yüksekliği 112 m, büyüklüğü ise yaklaşık 300 km^2'dir. Ova genel olarak alüvyonlu birikintilerin dolmasıyla oluşmuştur. Bu da tarımsal verimliliğin yüksek olmasını sağlamaktadır (Düzce OSB, 2026).

Düzce ilinde tarımı yapılan tarla grubu ürünlerin büyük bölümü; mısır (silaj ve dane), fiğ, yonca, İtalyan çimi, arpa, yulaf ve buğday gibi hayvancılık sektörünü doğrudan veya dolaylı olarak destekleyen ürünlerden oluşmaktadır. Yem bitkileri ağırlıklı bu ürün deseni içerisinde, çeltik, patates ve şeker pancarı gibi ürünler ise bitkisel üretimde çeşitlilik sağlayan tarla bitkileri olarak yer almaktadır. Düzce ilinde üretilen tarla

bitkileri üretim miktarları Tablo 1.1 de verilmiştir. (Düzce İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2025, s. 22)

Tablo 1.1 Düzce ilinde üretilen tarla bitkileri üretim miktarları

Ürün	2023		2024	
	Alan (da)	Üretim (Ton)	Alan (da)	Üretim (Ton)
Mısır (Silaj)	51.622	212.996	47.555	185.041
Mısır (Dane)	51.633	15.949	48.983	42.182
Buğday	8.968	1.757	8.215	2.050
Fiğ	6.751	6.287	6.053	4.387
Yonca	4.450	19.043	4.745	17.554
Arpa	3.023	539	3.102	663
Çeltik	2.158	1.565	2.190	1.681
Yulaf (yeşil ot)	1.823	1.825	1.858	1.351
İtalyan Çimi	411	1.001	470	989
Patates	351	520	326	458
Şeker Pancarı	272	1.836	282	2.035
Mısır (Silaj)	51.622	212.996	47.555	185.041
Mısır (Dane)	51.633	15.949	48.983	42.182

Düzce ilinde meyvecilik faaliyetleri, ilin iklim ve toprak yapısına uygun olarak çeşitlilik göstermektedir. Başta fındık olmak üzere çeşitli sert kabuklu ve yumuşak çekirdekli meyveler il tarımında önemli bir yer tutmakta, meyvecilik kırsal gelir ve tarımsal sürdürülebilirlik açısından stratejik bir üretim alanı olarak öne çıkmaktadır (Düzce İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2025, s. 23).

Tablo 1.2 Düzce ilinde üretilen meyve üretim miktarları

Ürün	2023			2024		
	Meyvelik Alanı (da)	Meyve Veren Ağaç Sayısı	Üretim (Ton)	Meyvelik Alanı (da)	Meyve Veren Ağaç Sayısı	Üretim (Ton)
Fındık	632.465	31.623.250	66.647	634.352	32.253.084	95.470
Ceviz	1.615	32.357	323	1.515	32.294	689
Kestane	205	18.842	645	220	20.336	794
Elma	202	19.921	307	197	20.895	558
Armut	177	11.354	148	178	12.185	267
Maviyemiş	62	0	14	62	0	15

Tablo 1.2'nin devamı

Ürün	2023			2024		
	Meyvelik Alanı (da)	Meyve Veren Ağaç Sayısı	Üretim (Ton)	Meyvelik Alanı (da)	Meyve Veren Ağaç Sayısı	Üretim (Ton)
Çilek	60	0	109	72	0	137
T. Hurması	59	5.812	205	60	6.088	239
Erik	52	9.310	115	45	9.505	128
Kivi	49	3.539	125	49	3.814	133
Diğer	87	30.700	524	88	31.020	526
TOPLAM	635.033	31.775.006	69.162	636.838	32.389.221	98.956

Düzce ilinde sebzecilik faaliyetleri, iklim koşulları ve su kaynaklarının elverişliliği sayesinde yaygın olarak yapılmaktadır. Açık alan ve örtü altı üretim birlikte yürütülmekte olup, sebzecilik yerel tüketimin karşılanması ve üretici gelirlerinin artırılması açısından önemli bir üretim kolu oluşturmaktadır. Uygulanan modern üretim teknikleri ve hastalık-zararlılarla mücadele çalışmalarıyla verim ve kaliteyi artırmaya yönelik faaliyetler sürdürülmektedir (Düzce İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2025, s. 24).

Tablo 1.3 Düzce ilinde üretilen sebze üretim miktarları

Ürünler	2023		2024	
	Alan (da)	Üretim (Ton)	Alan (da)	Üretim (Ton)
Kestane Kabağı	2.050	8.249	3.850	9.893
Lahana (karayaprak)	1.221	2.247	1.175	2.170
Biber	698	1.030	754	1.364
Taze Fasulye	511	615	509	589
Domates	451	1.202	498	1.847
Karpuz	430	2.051	653	2104
Ispanak	341	345	326	322
Marul	334	613	343	777
Lahana (beyaz)	262	857	257	855
Hıyar	247	861	248	837
Pırasa	115	130	117	167
Barbunya	102	114	107	135
Bamya	102	24	97	31
Soğan (taze)	99	63	97	86

Tablo 1.3’ün devamı

Ürünler	2023		2024	
	Alan (da)	Üretim (Ton)	Alan (da)	Üretim (Ton)
Patlıcan	95	158	107	248
Maydanoz	77	41	32	12
Sarımsak (taze)	25	13	25	17
Bezelye (taze)	0	0	81	61
Mantar (kültür)	16	595	16	595
Diğer	105	109	84	143
Toplam	7.281	19.317	9.376	22.253

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bitki gelişimini etkileyen ve şekillendiren en önemli faktörlerden birisi topraktır. Besin elementlerinin topraktan alımında tekstür, sulama şekli, organik madde, kireç, topraktaki alınabilir besin miktarı, bitki çeşidi, anacı, yaşı, pH, iyon dengesi gibi çok sayıda faktörün etkili olduğu bilinmektedir (Özgövercikli, 2020). Topraktaki besin elementleri, bitki gelişimini önemli ölçüde etkilediği gibi, topraktaki ağır metaller de bitki bünyesine girerek hem bitki gelişimini etkilemekte hem de besin zincirine dahil olduklarında insan sağlığı için risk oluşturabilmektedirler (Demirci vd., 2026; Sevik vd., 2026). Tarımsal uygulamalar yoluyla, özellikle kimyasal gübreler, pestisitler, hayvan gübreleri ve kompost, kanalizasyon çamuru bazlı biyokatı atıklar ve sulama nedeniyle ekilebilir arazilerdeki ağır metal kirliliğinin arttığı ve bazı bölgelerde insan sağlığı açısından risk teşkil edecek boyutlara ulaştığı belirtilmektedir (Rashid vd., 2023). Bundan dolayı tarım aktivitelerinin planlanmasında toprak özelliklerinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Bu sebepten dolayı farklı bölgelerde toprak özelliklerinin belirlenmesi konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları örnek olarak kısaca açıklanmıştır.

Yao vd., (2024) bir alümina eritme ve bir cam üretim fabrikasının bitişiğindeki tarım topraklarında ağır metal kirliliğinin boyutunu değerlendirmeyi, girdi akışlarının, izotop parmak izlerinin ve alıcı modellerinin analizi yoluyla kirlilik seviyelerini ve potansiyel kaynakları belirlemeyi amaçlamışlardır. Sonuçlar, yüzey toprağında orta düzeyde Cd kirliliği olduğunu ve standartların %86,36 oranında aşıldığını göstermiştir. Daha ileri analizler, hem pirinç tarlalarında (%89,20) hem de kuru tarım topraklarında (%91,61) Cd girdisinin birincil yolunun atmosferik çökelme olduğunu ortaya koymuştur. Ek olarak, yüzey topraklarındaki δ114/110Cd değerleri, tozun uzak yüzey topraklarındaki Cd seviyelerini etkilemede rol oynadığını, fabrikaya yakın yerlerde ise ham maddelerin ve cürufların birincil kaynaklar olarak belirlendiğini göstermiştir. Endüstriyel kaynaklar, pozitif matris faktörleştirme modeli (PMF) ve mutlak ana bileşen puanları-çoklu doğrusal regresyon modeli (APCS-MLR) uyarınca sırasıyla yaklaşık %73,38 ve %82,67 oranında toprakta Cd'nin birincil katkı sağlayıcıları olarak kabul edilmiştir.

Xia vd., (2024) çalışmalarında, Çin'in güneydoğusundaki Wenzhou'daki tarım topraklarındaki kirlilik risklerini değerlendirmek için ağır metaller için toprak statik çevresel kapasitesini (QI) seçmişlerdir. Jeoistatistiksel yöntemlerle birlikte, belirsizlik analizi ile birlikte kirlilik alanı belirlenmiştir. Potansiyel kaynaklar, pozitif matris faktörleştirme modeli (PMF) kullanılarak niceliksel olarak dağıtılmıştır. Sonuçlar, çalışmadaki tarım topraklarının hem Nemerow hem de QI indekslerine göre esas olarak Cd ve Pb ile kirlendiğini göstermiştir. Çevresel kapasite değerlendirmesi, Qi-Zn, Qi-Cd ve Qi-Pb için alanların %90'ından fazlasının kirlenmiş toprak olarak tanımlandığını ve az miktarda belirsiz alan bulunduğunu ortaya koymuştur. Cu'nun, tüm metaller için entegre çevresel kapasite sonuçlarına benzer şekilde, yüksek oranda belirsiz kirlilik alanı durumuna sahip olduğu belirlenmiştir. PMF sonuçları, toprakta ağır metal birikiminin %32,1'inin endüstriyel atıklardan, %32,2'sinin tarım kimyasallarından ve %35,7'sinin ana malzemeden kaynaklandığını göstermiştir.

Deng vd., (2023) Çin'in Guanzhong Ovası'nda 227 tarım toprağı örneği alarak, X-ışını floresans spektrometresi ile Pb, Cd, Ni, Zn ve Cu ve As konsantrasyonunu ölçülmüşlerdir. Aynı zamanda, tarım topraklarındaki ağır metallerin/metaloidlerin dağılımını etkileyebilecek 24 olası faktör toplanmış ve üç kategoriye ayrılmıştır. Toprak ağır metallerinin/metaloidlerin dağılımını kontrol eden faktörlere ilişkin bilgi sağlamak için ardışık çok değişkenli istatistiksel analiz yapılmış, ardından toprak ağır metallerinin/metaloidlerin kontrol faktörlerinin belirlenmesi sonucuna dayanarak tarım topraklarındaki ağır metallerin/metaloidlerin konsantrasyonlarını tahmin etmek için kademeli çoklu doğrusal regresyon (SMLR) ve kısmi en küçük kareler regresyonu (PLS) kullanılmıştır. Sonuçlar, Zn ve Cu hariç, toprak tiplerinin ve arazi kullanımının toprak ağır metallerinin/metaloidlerin dağılımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Toprak özellikleri kategorisi, topraktaki ağır metal/metaloid konsantrasyonunu etkilemede önemli bir rol oynamıştır. Toprak inorganik kolloidinin ana bileşen elementleri olan Mn ve Fe konsantrasyonları en önemli faktörler olup, bunu P, K ve Ca konsantrasyonları izlemiştir.

Wan vd., (2024) derleme makalelerinde ilk olarak, atmosferik birikim, hayvan gübresi, mineral gübreler ve pestisitler de dahil olmak üzere tarımsal topraklardaki ağır metallerin antropojenik kaynaklarını özetlenmişlerdir. İkinci olarak, bitki özellikleri

ve toprak faktörlerinden etkilenen ağır metallerin ürünlerde birikimi analiz edilmiştir. Daha sonra, düşük metal içerikli çeşit seçimi/ıslahı, fizyolojik engelleme, su yönetimi ve toprak iyileştirme dahil olmak üzere azaltma stratejileri değerlendirilmiştir. Son olarak, iyileştirme verimliliği ve uygulanabilirliği açısından fitoremediasyon tartışılmıştır.

Tomczyk vd., (2023) Polonya'daki tarımsal topraklarında ağır metal kirliliğini araştırdıkları çalışmalarında Jeoakümülasyon İndeksi (Igeo), Kirlenme Faktörü (CF), Potansiyel Ekolojik Risk İndeksi (ER), Zenginleşme Faktörü (EF), Kirlilik İndeksi (PI) ve Nemerow Kirlilik İndeksi (NPI) hesaplamalarını yapmışlardır. Ayrıca, temel bileşen analizi (PCA) ve kutu grafiklerinde sunulan tanımlayıcı istatistikler de dahil olmak üzere çok değişkenli istatistiksel analiz yapılmıştır. Polonya'nın ekilebilir topraklarının kimyasal izlenmesi çerçevesinde 25 yıllık bir süre boyunca 216 çalışma noktasında analizler yapılmıştır. Araştırma sonuçları, metallerle toprak kirliliğinin mekansal ve yapısal çeşitliliğini göstermekte olup, pratikte rasyonel toprak kullanımı ve çevre koruma alanındaki yatırım faaliyetlerinin planlanması için öneriler formüle etmekte kullanılabilir. Ayrıca, bu çalışmalar özellikle sanayi sonrası alanların geliştirilmesinde planlama belgelerinin geliştirilmesinde faydalı olabilir. Analiz edilen noktalarda, ağır metallerle ilgili toprakların potansiyel toksisitesi, güney Polonya'da (Yukarı Silezya) ve güneybatı Polonya'da (Aşağı Silezya) endüstriyel faaliyetlerden etkilenmiştir; ancak bu aşımlar az sayıda noktayı (genellikle değerlendirilen 216 noktadan 2-3'ünü) etkilemiştir. Bu durum, çalışma süresi boyunca bu bölgelerde devam etmiştir.

(Wen vd., 2022) 2010-2021 yılları arasında Çin'deki beş büyük tahıl üretim bölgesini kapsayan 276 yayından elde edilen verilerini incelemişlerdir. Başlıca ağır metallerin/metaloidlerin mekansal ve zamansal evrim özellikleri meta-analiz yoluyla elde edilmiştir. Ayrıca, kirleticilerin birikimiyle ilgili ön korelasyonları incelemek için alt grup analizleri yapılmıştır. Kadmiyum (Cd), hem mekansal dağılım hem de zamansal birikim açısından bölgelerde en yaygın kirletici olarak bulunmuştur. Huang-Huai-Hai Ovasının ciddi şekilde kirlenmiş olduğu, Cd, Hg ve Cu birikiminin, 1990 arka plan verileriyle karşılaştırıldığında 2010'dan 2015'e kadar arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, beş temel ağır metalin (Cd, Cu, Hg, Pb ve Zn) seviyeleri, 2016'dan 2021'e

kadar beş bölgenin tamamında artış eğilimi göstermiştir. Karışık türlerle ekilen tarım arazileri, tek bir kuru tarım ürünü ekilenlere göre ağır metaller üzerindeki etki büyüklüğünün daha küçük olduğunu göstermiştir. Bu da karışık tarım arazisi kullanım modellerinin topraktaki ağır metal seviyelerini azaltabileceğini göstermektedir.

Mai vd., (2025) derleme çalışmalarında toprak ağır metal kirliliğinin dağılım özelliklerini, toprak ve ürün ağır metal içerikleri arasındaki ilişkiyi, toprak-ürün sistemindeki ağır metallerin varlık modelini, göç ve dönüşüm şeklini sistematik olarak özetlemişlerdir. Tarım arazilerindeki ağır metal kirliliğinin risk değerlendirme araçlarının ve modellerinin avantaj ve dezavantajları daha ayrıntılı olarak ele alınmakta olup, bu da tarım arazisi topraklarındaki ağır metal kirliliğinin özelliklerinin derinlemesine anlaşılması ve çevresel riskin değerlendirilmesi için önemli bir rehber sağlamaktadır. Toprak iyileştirme stratejileri, çok sayıda fiziksel, kimyasal, biyolojik ve hatta birleşik teknolojiyi içermekte olup, bu makale, ağır metal kirliliğine maruz kalmış tarım arazisi topraklarında yukarıda belirtilen mevcut iyileştirme teknolojilerinin potansiyelini ve etkisini karşılaştırmaktadır. Son olarak, tarım topraklarında gelecekteki ağır metal risk değerlendirme ve iyileştirme teknolojilerinin temel sorunları ve olası araştırma yönleri öngörülmektedir.

Ma vd., (2024) çalışmalarında, makine öğrenme modellerini ve mekansal bölgeselleştirme indekslerini (SRI) entegre ederek Çin'in Guangxi bölgesindeki ağır metal dağılımlarının mekansal tahminini iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Sonuçlar, SRI'leri içeren Randem Forest (RF) modellerinin, yapay sinir ağı ve destek vektör regresyon modellerinden daha iyi performans gösterdiğini ve test verilerinde sekiz ağır metal için 0,96'yı aşan R2 değerlerine ulaştığını göstermiştir. Özellik seçimi için hiyerarşik kümeleme, model performansını daha da iyileştirmiştir. Optimize edilmiş RF modelleri, il genelindeki tarım topraklarındaki ağır metal dağılımlarını doğru bir şekilde tahmin ederek, orta-batı bölgelerinde daha yüksek, kuzey ve güneyde ise daha düşük seviyeler ortaya koymuştur. Özellikle, modeller tarımsal toprakların %25,78'inin birden fazla ağır metalin birlikte bulunduğu sıcak noktalar oluşturduğunu ve 6,41 milyondan fazla insanın aşırı toprak ağır metal seviyelerine maruz kaldığını tespit etmiştir.

Yang vd., (2022) Hainan Eyaleti'ndeki tipik bir volkanik bölge olan Chengmai İlçesi'nden 4488 toprak örneği (0–20 cm) toplamış ve sekiz ağır metal ve ana oksit açısından analiz etmişlerdir. Kirlilik seviyesi, ekolojik riskler ve sağlık riskleri, jeo-birikim indeksi (Igeo), kirlilik indeksi (PI), potansiyel ekolojik risk indeksi (RI), tehlike indeksi (HI) ve kanserojen riskler (CR) ile değerlendirilmiştir. Ayrıca, ağır metallerin öncelikli kaynağını belirlemek için pozitif matris faktörleştirme (PMF) modeli kullanılmıştır. Toprakta ağır metal konsantrasyonlarının ortalama değerleri As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ve Zn için sırasıyla 7,06, 0,07, 156,88, 33,43, 0,05, 72,47, 19,48 ve 67,51 mg kg−1 olarak belirlenmiştir. Pb hariç, tüm ağır metallerin ortalama konsantrasyonları Hainan topraklarında arka plan konsantrasyonunu aşmış olup, farklı derecelerde ağır metal zenginleşmesine işaret etmektedir. Igeo ve PI analizleri, volkanik topraklardaki ana kirletici elementin Ni olduğunu, bunu sırasıyla Cr ve Cu'nun izlediğini göstermiştir. RI analizi, önemli veya daha kötü potansiyel ekolojik riske sahip toprak örneklerinin yüzdesinin toplam örneklerin %44,4'ü olduğunu ve Hg, As, Cd ve Ni'nin yüksek ekolojik risklere neden olduğunu göstermektedir.

Ullah vd., (2022), Pakistan'ın Swat eyaletinin Mingora şehrinde, endüstriyel atık su (IWW) ile sulanan seçilmiş tarım alanlarından toplanan toprak ve sebzelerin (soğan, kabak, bamya ve yeşil biber) farklı kompozit örneklerinde ve endüstriyel atık sudaki belirli ağır metallerin tanımlanmasını, karakterizasyonunu ve değerlendirilmesini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar, kuyu suyuyla sulanan toprak ve bu toprakta yetiştirilen sebzelerle karşılaştırılmıştır. Ağır metallerin birikimi, ıslak sindirim yöntemi ve atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS) ile test edilmiştir. Ayrıca, ağır metallerin topraktan sebzelere metal transfer faktörü (MTF) ve sağlık indeksi (HI) de Monte Carlo simülasyon tekniği kullanılarak tüketiciler için metallerin potansiyel sağlık riskini değerlendirmek üzere belirlenmiştir. Su örneklerinin analizi, IWW'deki ağır metallerin mg l-1 cinsinden konsantrasyonunun Fe (6,72)>Cr (0,537)>Pb (0,393)>Co (0,204)>Mn (0,125)>Ni (0,121) sırasını izlediğini göstermiştir. IWW ile sulanan toprak örneklerinin analizi Fe (47,27)>Pb(2,92)>Cr(2,90)>Ni(1,02)>Mn (0,90) > Co (0,68) sırasını, TWW ile sulanan toprak örneklerinin analizi ise Fe (17,12) > Pb (2,12)>Cr (2,03)>Ni (0,76)>Co (0,49)>Mn (0,23) sırasını izlemiştir. IWW ile sulanan toprakta bulunan ağır metal konsantrasyon değerleri, TWW ile sulanan topraktakinden daha yüksek bulunmuştur. IWW ile sulanan topraklarda yetiştirilen

tarım ürünlerinde de benzer eğilimler gözlemlenmiş ve bu ürünlerin normalde izin verilen DSÖ limitlerinin üzerinde olduğu, sürekli tüketilmesi halinde sağlık risklerinin daha yüksek olabileceği belirtilmiştir.

Shi vd., (2022) Çin'in Guangdong Eyaleti, Lianzhou şehrindeki tarım topraklarındaki ağır metallerin kaynaklarını belirlemek ve paylaştırmak için geleneksel bir analiz yöntemi olan pozitif matris fraksiyonu (PMF) ve self-organizing map (SOM), conditional inference tree (CIT) ve random forest (RF) dahil olmak üzere üç makine öğrenme metodolojisi kullanılmıştır. PMF'ye göre, topraktaki toplam ağır metal yüklerinin %19,3'ü atmosferik çökelme, %65,5'i antropojenik ve jeojenik kaynaklar ve %15,2'si toprak ana materyallerinden kaynaklanmaktadır. SOM modeline göre, As, Cd, Hg, Pb ve Zn madencilik ve jeojenik kaynaklara; Cr, Cu ve Ni ise jeojenik kaynaklara atfedilmiştir. CIT sonuçlarına göre, rakımın toprak Cr, Cu, Hg, Ni ve Zn üzerindeki etkisi ve toprak pH'sının Cd üzerindeki etkisi, bunların birincil kaynağının doğal süreçlerden kaynaklandığını göstermiştir. Buna karşılık As ve Pb sırasıyla tarımsal uygulamalar ve trafik emisyonlarıyla ilişkilidir.

Fei vd., (2022) toprak kalitesi bilgileri ve yoğun ağır metal örnekleme araştırmalarını birleştirerek, farklı kalite seviyelerine sahip çeşitli toprakların ağır metal kirliliğini ve ekolojik ve sağlık risklerini analiz etmişlerdir. Ayrıca, PMF modeli ve risk değerlendirme teknikleri aracılığıyla, belirli kirlilik kaynaklarının ekolojik ve sağlık riskleri ve bunların toprak kalitesiyle etkileşimi araştırılmıştır. Sonuçlar, incelenen elementlerin ortalama içeriğinin Hg (0,12 mg/kg)<Cd (0,19 mg/kg)<As (6,98 mg/kg) <Pb(25,57 mg/kg)<Cr (72,02 mg/kg) şeklinde artan bir sırayı izlediğini göstermiştir. Ek olarak, toprak kalitesi arttıkça, Pb, Cr ve Hg konsantrasyonları ve genel ekolojik risk önemli ölçüde artmıştır. Sağlık riskleri açısından, ağır metal kirliliği çocuklar için yetişkinlere göre daha yüksek risk oluştururken, ana maruz kalma yolu yutma olmuştur. Toplam tehlike indeksi ve kanserojen risk de toprak kalitesinin artmasıyla birlikte artmıştır. PMF analizi, Pb ve Cr'nin esas olarak endüstriyel faaliyetlerden, As'nin doğal kaynaklardan, Cd'nin esas olarak tarımsal faaliyetlerden ve Hg kirliliğinin kömür yakımından kaynaklandığını göstermiştir. Belirli kirlilik kaynaklarının riskleri göz önüne alındığında, tarımsal faaliyetler ve kömür yakımı yüksek ekolojik risklerin başlıca nedenleri olurken, endüstriyel faaliyetler ve kömür

yakımı banliyölerdeki yüksek kaliteli topraklarda önemli ölçüde daha yüksek risk oluşturmuştur. Endüstriyel faaliyetler, toplam riskin %50'sinden fazlasını oluşturan sağlık riskini esas olarak belirlemiştir.

Liu vd., (2023) çalışmalarında, tipik bir hızlı sanayi gelişimi bölgesindeki sanayi bölgelerinden, tarım alanlarından ve referans bölgeden on bir temsili saha izleme alanı seçerek, atmosferik çökelmenin toprak HM birikimi üzerindeki etkilerini belirlemişlerdir. Sanayi faaliyetleri, atmosferik çökelmeden kaynaklanan partikül akışını önemli ölçüde artırmış olup, sanayi bölgelerindeki yıllık partikül akışları, tarım alanlarına ve referans bölgeye göre sırasıyla 1,83 ve 1,90 kat daha yüksek bulunmuştur. Literatür karşılaştırmasına göre HM çökelme akışları zamanla önemli ölçüde azalmış olsa da bu çalışma alanında Cd ve Pb çökelme akışları yüksek seviyelerde bulunmuştur. Yağış, atmosferik HM çökelmesinin mevsimsel değişimlerini etkileyen kilit faktör olarak öne çıkmıştır. Kurşun izotop analizi, atmosferik Pb'nin kömür yakımından kaynaklandığını ve atmosferik çökelmenin, sanayilere bitişik tarımsal topraklardaki Pb kirliliğinin birincil kaynağı olduğunu göstermiştir.

Sun vd., (2023) çalışmalarında, uzaydan elde edilen hiperspektral görüntülerden tarımsal topraktaki ağır metal Ni konsantrasyonunu belirlemek için birleştirilmiş bir geri alma yöntemi geliştirmişlerdir. Geri alma yöntemi, çok ölçekli ayrık dalgacık dönüşümünden (DWT) ve boyut indirgemesinden (DR) spektral özellik çıkarımını, ağaç tabanlı topluluk öğrenmesi, sinir ağı tabanlı ve çekirdek tabanlı beş makine öğrenmesi geri alma modeline en uygun bant kombinasyon algoritmasını entegre etmektedir. Geri alma yöntemleri ile Ni ölçümleri arasındaki karşılaştırma, t-dağılımlı stokastik komşu yerleştirme (tSNE) ile birleştirilmiş aşırı gradyan artırma (XGboost) geri alma modelinin doğrulama veri seti için en iyi tahmini sergilediğini göstermiştir.

Chen vd., (2022) Çin'in Kaifeng şehrinin banliyö tarım alanında ağır metal kaynaklarını nicel olarak belirlemek için UNMIX, PMF (Pozitif matris faktörleştirme) modeli ve Pb-Zn-Cu izotopik bileşimleri birleştirmişlerdir. Çoklu toplayıcılı indüktif olarak eşleştirilmiş plazma kütle spektrometresi (MC-ICP-MS) ve ICP-MS kullanılarak, incelenen topraklarda ve ayrıca yüksek oranda kirlenmiş bölgenin

çevresindeki potansiyel kaynaklarda Pb, Zn ve Cu kararlı izotopik bileşimleri, HM konsantrasyonları ve HM kimyasal fraksiyonları ölçülmüştür. Sonuçlar, ağır metallerin toplam içeriklerinin ve kimyasal fraksiyonlarının yanı sıra Pb-Zn-Cu izotopik bileşimlerinin farklı bölgelerde büyük farklılıklar gösterdiğini ve bunun da ağır metal birikiminin yerel antropojenik kirlilik kaynağından açıkça etkilendiğini göstermiştir. UNMIX ve PMF, endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerin (UNMIX için %61,74 ve PMF için %60,75) çalışma alanındaki ağır metal birikimine en büyük katkıyı sağladığı konusunda iyi bir uyum göstermiştir. Özellikle, kanalizasyon sulaması ve atmosferik birikimin büyük bir paya sahip (UNMIX için %28,14 ve PMF için %41,03) olduğu belirlenmiştir. Dahası, yüksek oranda kirlenmiş topraklarda ve çevre ortamlarında Pb, Zn ve Cu izotopik bileşimleri, kanalizasyon sulaması ve atmosferik birikimin birincil antropojenik kaynak olduğunu daha da doğrulamıştır.

Sharafi ve Salehi (2025), Şazand ovasında farklı sulama yöntemleri ve yağmurla beslenen tarım sistemleri altında yeraltı suyu ve topraklardaki ağır metallerin (HM) dağılımını araştırmışlardır. Yutma, deri teması ve solunum yoluyla maruz kalmayı dikkate alarak hem çocuklar hem de yetişkinler için ağır metallerle ilişkili Toplam Tehlike Katsayısı (THQ) ve Kanserojen Riski (TCR) değerlendirmiştir. Kuyu ve sondajlardan alınan su örnekleri ve toprak örneklerinden oluşan toplam 104 örnek toplanmıştır. Pb, Cd, Cr, Ni, Hg, Zn ve Cu konsantrasyonları atomik absorpsiyon spektrometresi kullanılarak analiz edilmiş ve veriler tanımlayıcı ve çıkarımsal istatistikler kullanılarak değerlendirilmiştir. Yeraltı suyu örneklerinde en yüksek ortalama ağır metal konsantrasyonları Cr (19 µg l−1) ve Zn (22,8 µg l−1) için gözlemlenmiştir. Toprak örneklerinde Cr (35,28 µg g−1) ve Zn (216,52 µg g−1) en yüksek değerleri göstermiştir. Toplam Tehlike Endeksi (HI), çalışma alanlarında farklı yaş gruplarında orta ila çok yüksek arasında değişen yüksek bir risk olduğunu göstermiştir. Toprak Kirlilik Yükü Endeksi (PLI), yağmurla beslenen tarımda 18,22 ve sulama yapılan tarımda 71,17 olup, bölge genelinde ciddi ağır metal kirliliğini göstermektedir. Ağır metallerden kaynaklanan kanserojen sağlık riskleri kabul edilebilir seviyeleri aşmış olup, çocuklar yetişkinlere göre daha fazla savunmasızlık göstermiştir.

Wang vd., (2023) çalışmalarında, Çin genelinde tarım topraklarında, pirinçte ve buğdayda ağır metallerin genel kirlilik durumunu, mekansal-zamansal modellerini ve etkenlerini özetlemeyi amaçlamışlardır. Çin'deki 1030 tarım toprağı, pirinç ve buğdaydan elde edilen metal kirliliği verileri, 2000-2022 yılları arasında yayınlanan literatürden derlenmiştir. Sonuçlar, mekansal-zamansal dağılımı ve birikimine göre topraklarda en yaygın kirletici maddenin Cd olduğunu göstermiştir. Cd (%103) ve Hg (%128) kirlilik vakaları ve şiddetli kirlilik yüzdesi artış eğilimi göstermektedir. Madencilik faaliyetleri, Çin'deki tarım topraklarındaki ağır metallerin başlıca antropojenik kaynaklarıdır. Pirinçte (sırasıyla %33,5 ve %32,2) ve buğdayda (%25,8 ve %30,3) Cd ve Pb'nin en yüksek aşım oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Hunan, Fujian ve Guangxi'den alınan pirinç örneklerinde sırasıyla en yüksek ortalama Cd ve Pb konsantrasyonu gözlemlenirken, Hubei'den alınan buğday örneklerinde Pb'nin en yüksek aşım oranı tespit edilmiştir.

Mondal ve Sen (2025), Hindistan'ın Batı Bengal bölgesindeki Ganj ovası ve çevresindeki sanayi bölgelerindeki tarım topraklarında ağır metal kirliliğinin (As, Cd, Pb, Ni, Cu ve Zn) boyutunu araştırmışlardır. İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma – Atomik Emisyon Spektroskopisi kullanılarak, Malda, Paschim Bardhaman ve Murshidabad bölgelerinden toplam 50 toprak örneği analiz edilmiştir. Sonuçlar, kirlenmiş yeraltı suyu ve tarım kimyasallarının aşırı kullanımı nedeniyle Ganj ovası topraklarında baskın olan As (8,89–21,85 ve 3,74–33,28 mg kg−1) ve Ni ile önemli bir kirlenme olduğunu göstermektedir. Endüstriyel alanlarda ise Cd (0,89–3,39 mg kg−1), Ni (31,87–92,06 mg kg−1) ve Zn seviyeleri endişe verici düzeyde bulunmuştur.

Zhu vd., (2024) Çin'in güneydoğusundaki Guobei kömür madeni çevresinden toplam 166 yüzey toprağı ve 100 buğday tanesi örneği toplamış ve eser metal seviyelerini indüktif olarak eşleştirilmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) ile belirlemişlerdir. Ortalama Ni, As, Cr, Cu, Pb, Cd ve Zn konsantrasyonları, Çin'deki tarama değerlerinden (GB 15618–2018) daha düşük, ancak Anhui Eyaleti Huaibei Bozhou bölgesindeki toprak arka plan değerlerinden (Zn hariç) daha yüksek olup, ağır metal zenginleşmesini göstermektedir. Jeoakümülasyon indeksi (Igeo) ve ekolojik risk indeksi (IER) baz alınarak, Cd kirlilik seviyelerinin düşük olduğu, diğer metaller için ise örneklerin kirlilik içermediği ve bu nedenle maden alanı için herhangi bir ekolojik

risk uyarısına gerek olmadığı belirlenmiştir. Cr, Pb ve Cd'nin yaşam boyu kanserojen riskleri (LCR) kabul edilebilir seviyelerde bulunmuştur.

Xia vd., (2024) metallerin birikmesine neden olan kaynakları ve mekanizmaları değerlendirmek için, sanayileşme (Shaoguan, SG) ve kentleşme (Guangzhou, GZ) ile karakterize edilen bölgelerdeki yoğun tarım yapılan topraklardaki Cd ve Pb'nin toplam içeriğini, beş fraksiyonunu ve izotop bileşimini entegre etmişlerdir. SG'de GZ'ye göre önemli ölçüde daha şiddetli Cd/Pb birikimi ve potansiyel hareketliliği bulunmuştur. Cd, Pb'ye göre daha yüksek birikim seviyeleri ve potansiyel hareketlilik göstermiştir. Bayes modeli, SG'deki ortalama Cd/Pb katkılarının sırasıyla %40'ından fazlasının ve yaklaşık %30'unun endüstriyel faaliyetlerden ve ilgili ulaşımdan kaynaklandığını ortaya koymuştur. GZ'deki Cd'ye ise öncelikle kentsel (%26,6) ve tarımsal (%26,3) faaliyetler katkıda bulunmuştur.

Wang vd., (2023) meta-analiz kullanarak, Çin'in başlıca tahıl üretim bölgelerindeki tarım arazilerindeki ağır metal (loid)ler (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni ve Zn) hakkındaki literatürü analiz etmiş ve insan sağlığı risklerini doğru bir şekilde değerlendirmek için toplam ve biyoyararlanım verilerini toplamışlardır. Metal konsantrasyonu, alım oranı, toksisite katsayısı ve vücut ağırlığındaki belirsizliği azaltmak için Monte Carlo simülasyonu kullanılmıştır. Cd'nin ortalama konsantrasyonunun (0,47 mg/kg) ve jeolojik birikim indeksinin (Igeo, 0-5,24) metallerin kontrolünde öncelikli konumda olduğunu bulmuşlardır. Toprak mineralojisi, fiziko-kimyasal özellikleri, Fe ve in vitro analiz türleri, biyoyararlanım farklılığını etkileyen faktörler olarak belirlenmiştir.

Zhou vd., (2022) Çin'deki büyük ölçekli bir Pb/Zn eritme tesisinin çevresinden toplam 242 tarımsal toprak örneği toplamış ve ağır metallerin (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ve Zn) durumunu, ekolojik-sağlık risklerini değerlendirmek ve kaynağı belirlemek için sekiz ağır metal analiz edilmiştir. Olasılıksal sağlık risklerini değerlendirmek için Monte Carlo simülasyonu, kaynakları belirlemek için ise pozitif matris faktörleştirme (PMF) kullanılmıştır. Sonuçlar, beş ağır metalin (Cd 5,28 mg/kg, Pb 203,36 mg/kg, Hg 0,39 mg/kg, Zn 293,45 mg/kg, Cu 37,14 mg/kg) ortalama içeriklerinin Hunan eyaletindeki arka plan değerlerinden daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Kadmiyum (Cd), 41,8 ile en yüksek ortalama kirlilik indeksine (PI) ve 1256,34 ile en

yüksek ortalama ekolojik risk indeksine (Er) sahip bulunmuştur. Bu da Cd'nin birincil zenginleşmiş kirletici olduğunu ve diğer ağır metallere göre daha yüksek ekolojik riske sahip olduğunu göstermektedir. Pozitif matris faktörleştirme sonuçları, toprakta üç ana kaynağın ergitme faaliyetleri, doğal kaynaklar, tarımsal faaliyetler ve atmosferik birikim olduğunu ve bunların katkı oranlarının sırasıyla %48,62, %22,35 ve %29,03 olduğunu göstermiştir.

Shaheen vd., (2023) Mısır'ın Kafr El-Zayat şehrindeki tarım topraklarında on iki ağır metalin kirlilik seviyelerini izlemek amacıyla Mg, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr ve Pb konsantrasyonlarını, indüktif olarak eşleştirilmiş plazma optik emisyon spektroskopisi (ICP-OES) kullanarak belirlemişlerdir. Kirlilik seviyeleri, kirlilik faktörü (CF), zenginleşme faktörü (EF), jeo-birikim indeksi (Igeo), kirlilik derecesi (Cd) ve kirlilik yükü indeksi (PLI) gibi çeşitli jeokimyasal parametrelere dayanarak tahmin edilmiştir. Sonuçlar, incelenen toprak örneklerinin çoğunun V, Cr, Co, Cu, Zn ve Sr ile orta derecede kirlenmiş ($1 \leq CF<3$) ve Mg, Mn, Fe, Ni ve Pb ile düşük kirlilik seviyelerine ($CF<1$) sahip olduğunu göstermiştir. Antropojenik kaynakların V, Cr, Co, Cu, Zn, As ve Sr'ye katkısının toplam metal içeriğinin sırasıyla %45, %30, %26, %11, %23, %27 ve %13 olduğu tahmin edilmiştir. Genel olarak, incelenen tarımsal toprak örneklerinin orta derecede kirlenmiş ve kirlenmiş olarak sınıflandırılabileceği belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Düzce ilinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı bölgede çok çeşitli tarım ürünleri yoğun bir şekilde yetiştirilmektedir. Bunun yanında geniş ormanlık alanlar ve fındık bahçeleri bulunmaktadır. Çalışma kapsamında bölgede en fazla alanda yetiştirilen ürünlerden mısır, buğday ve pirinç tarlaları çalışmaya dahil edilmiştir. Fındık bahçeleri ve ormanlık alanların da dahil edilmesiyle çalışma;

a) Fındık bahçeleri,

b) Pirinç tarlaları,

c) Mısır tarlaları,

d) Buğday tarlaları ve

e) Ormanlık alandan temin edilen topraklar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında her bir alanda 15 farklı tarladan olmak üzere toplam 75 adet noktadan toprak örnekleri alınmıştır. Toprak örnekleri alınırken öncelikle organik materyal temizlenmiş, daha sonra 1 cm kadar üst toprak temizlenmiş ve 1-2 cm'yi geçmeyecek derinlikten toprak örnekleri alınmıştır. Numuneler alınırken plastik ekipmanlar kullanılmış, metal aletler kullanılmamıştır. Poşetlere doldurularak etiketlenen numuneler laboratuvara getirilmiştir.

Laboratuvara getirilerek petri kaplarına alınan numuneler 15 gün boyunca petri kaplarının ağzı açık şekilde doğrudan güneş ışığı almayan ve iyi havalanan bir ortamda laboratuvarda bekletilmiştir. Sonrasında etüvde 45 ± 2 °C'de iki hafta boyunca kurutulmuş ve çelik eleklerden elenmiştir. Elekler her elemeden sonra iyice temizlenmiştir.

Kurutulan ve elenen numunelerden 0,5 g tartılarak mikrodalga için tasarlanan özel tüplere konulmuş ve üzerlerine 10 mL %65'lik HNO_3 ilave edilmiştir. Mikrodalga

cihazında 280 PSI basınç ve 180 ºC sıcaklıkta 20 dakika yakılan numunelerin üzerine deiyonize su ilave edilerek hacmi 50 ml'ye tamamlanmış ve filtre kağıdından süzülmüştür. Element konsantrasyonları GBC Integra XL –SDS-270 ICP-OES (indüktif eşleşmiş plazma-optik emisyon spektroskopisi) cihazı yardımıyla belirlenmiştir. Element konsantrasyonları belirlendikten sonra seyreltme faktörü ile çarpılarak değerler ppm cinsinden hesaplanmıştır. Bu ön işlem ve ağır metal analizi son yıllarda bitki örneklerinin analizinde sıklıkla kullanılmaktadır (Dışbudak vd., 2026; Key vd., 2023; Koc vd., 2025). Element analizleri Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında hizmet alımı ile yaptırılmış, analiz ücretleri BAP projesinden karşılanmıştır.

Elde edilen veriler SPSS paket programı yardımıyla analiz edilmiştir. Verilere varyans analizi uygulanarak F değeri ve hata oranı belirlenmiştir. İstatistiki olarak en az %95 güven düzeyinde anlamlı farklılıklar olduğu tespit edilen faktörler için Duncan testi yapılmıştır. Sonuçlar sadeleştirilip tablolaştırılarak yorumlanmıştır.

4. BULGULAR

Topraklarda Al (ppm) konsantrasyonunun değişimi belirlenmiş, en düşük, en yüksek ve ortalama değerler, standart sapma değerleri ve Duncan testi sonucu oluşan gruplar Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Topraklarda Al (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Al	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	2192,25	3181,00	2707,71 a	353,55
Pirinç	1978,25	3500,50	2932,21 ab	591,86
Mısır	2395,50	3944,75	2963,73 ab	602,47
Buğday	2287,75	3014,75	2610,48 a	321,71
Orman	2953,75	3249,50	3108,50 b	106,13
F Değeri			2,567*	

Al konsantrasyonunun değişimi incelendiğinde fındık topraklarında 2192,25 ppm ile 3181 ppm arasında değiştiği, ortalama olarak 2707,71 ppm olduğu görülmektedir. Al konsantrasyonu pirinç tarlalarında 1978,25 ppm ile 3500,5 ppm asasında değişmektedir ve ortalama olarak 2932,21 ppm seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Mısır yetiştirilen tarlalarda 2395,5 ppm ile 3944,75 ppm arasında değiştiği ve ortalama 2963,73 ppm seviyesinde olduğu belirlenirken buğday yetiştirilen tarlalarda Al konsantrasyonunun 2287,75 ppm ile 3014,75 ppm arasında değiştiği ve ortalama 2610,48 ppm olduğu hesaplanmıştır. Ormanlık alandan toplanan tozlarda ise Al konsantrasyonunun en düşük 2953,75 ppm, en yüksek ise 3249,5 ppm olduğu ve ortalama 3108,5 ppm seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek Al konsantrasyonunun (3108,5 ppm), en düşük konsantrasyonun (2610,48 ppm) yaklaşık 1,19 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Ca (ppm) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Topraklarda Ca (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Ca	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	10788,50	11166,50	10973,21 b	173,75
Pirinç	5702,75	11274,50	8958,88 a	2297,77
Mısır	5645,50	10847,00	9295,23 a	2234,40
Buğday	9884,00	10956,00	10574,48 b	426,43
Orman	9437,25	11045,00	10656,98 b	691,58
F Değeri			4,443**	

Çalışma kapsamında tarım topraklarında belirlenen Ca konsantrasyonlarının en düşük değerlerinin fındık bahçelerinde 10788,5 ppm, pirinç tarlalarında 5702,75 ppm, mısır tarlalarında 5645,5 ppm, buğday tarlalarında 9884 ppm ve ormanlık alandaki topraklarda 9437,25 ppm seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ca konsantrasyonlarının fındık bahçelerinden alınan topraklarda 11166,5 ppm, pirinç tarlalarından alınan topraklarda 11274,5 ppm, mısır tarlalarından alınan topraklarda 10847 ppm, buğday tarlalarından alınan topraklarda 10956 ppm ve ormanlık alandan alınan topraklarda 11045 ppm seviyesine kadar çıkabildiği belirlenmiştir. Ca konsantrasyonunun ortalama değerleri ise fındık bahçelerinde 10973,21 ppm, pirinç tarlalarında 8958,88 ppm, mısır tarlalarında 9295,23 ppm, buğday tarlalarında 10574,48 ppm ve ormanlık alanda 10656,98 ppm olarak hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre en yüksek Ca konsantrasyonunun (10973,21 ppm), en düşük konsantrasyonun (8958,88 ppm) yaklaşık 1,22 katı olduğu tespit edilmiştir. Topraklarda Ba (ppm) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3 Topraklarda Ba (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Ba	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	59,75	254,25	151,02	72,87
Pirinç	82,25	269,50	153,29	73,07
Mısır	92,00	134,75	115,77	17,06
Buğday	80,25	142,50	111,73	27,10
Orman	90,50	214,50	156,25	48,68
F Değeri			2,051 ns	

Ba konsantrasyonunun fındık bahçelerinde en düşük 59,75 ppm, en yüksek ise 254,25 ppm olduğu belirlenmiş, ortalama olarak 151,02 ppm olduğu hesaplanmıştır. Pirinç tarlalarında 82,25 ppm ile 269,5 ppm asasında değiştiği ve ortalama 153,29 ppm seviyesinde olduğu, mısır tarlalarında 92 ppm ile 134,75 ppm arasında değiştiği ve

ortalama 115,77 ppm seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ba konsantrasyonu buğday tarlalarından alınan topraklarda 80,25 ppm ile 142,5 ppm arasında değişmekte olup ortalama 111,73 ppm seviyesindedir. Ormanlık alandan toplanan topraklarda ise 90,5 ppm ile 214,5 ppm arasında değişmekte olup ortalama 156,25 ppm seviyesindedir. Ortalama değerlere göre en yüksek Ba konsantrasyonunun (156,25 ppm), en düşük konsantrasyonun (111,73 ppm) yaklaşık 1,4 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda K (ppm) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Topraklarda K (ppm) konsantrasyonunun değişimi

K	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	585,75	2942,00	2052,77 a	929,25
Pirinç	831,25	2662,25	1835,15 a	686,92
Mısır	1462,75	5273,00	2892,35 b	1493,46
Buğday	897,00	1871,00	1356,48 a	401,29
Orman	1273,75	1767,50	1539,04 a	177,94
F Değeri			5,714**	

Çalışma kapsamında tarım topraklarında belirlenen K konsantrasyonlarının en düşük değerlerinin fındık bahçelerinde 585,75 ppm, pirinç tarlalarında 831,25 ppm, mısır tarlalarında 1462,75 ppm, buğday tarlalarında 897 ppm ve ormanlık alandaki topraklarda 1273,75 ppm seviyesinde olduğu belirlenmiştir. K konsantrasyonlarının fındık bahçelerinden alınan topraklarda 2942 ppm, pirinç tarlalarından alınan topraklarda 2662,25 ppm, mısır tarlalarından alınan topraklarda 5273 ppm, buğday tarlalarından alınan topraklarda 1871 ppm ve ormanlık alandan alınan topraklarda 1767,5 ppm seviyesine kadar çıkabildiği belirlenmiştir. K konsantrasyonunun ortalama değerleri ise fındık bahçelerinde 2052,77 ppm, pirinç tarlalarında 1835,15 ppm, mısır tarlalarında 2892,35 ppm, buğday tarlalarında 1356,48 ppm ve ormanlık alanda 1539,04 ppm olarak hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre en yüksek K konsantrasyonunun (2892,35 ppm), en düşük konsantrasyonun (1356,48 ppm) yaklaşık 2,13 katı olduğu tespit edilmiştir. Topraklarda Ga (ppm) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5 Topraklarda Ga (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Ga	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	15,00	22,00	17,69 b	2,42
Pirinç	3,50	15,25	8,27 a	3,98
Mısır	6,75	17,00	10,31 a	3,79
Buğday	8,25	15,25	10,63 a	2,43
Orman	9,25	30,00	20,79 b	7,60
F Değeri			17,512***	

Ga konsantrasyonunun değişimi incelendiğinde fındık topraklarında 15 ppm ile 22 ppm arasında değiştiği, ortalama olarak 17,69 ppm olduğu görülmektedir. Ga konsantrasyonu pirinç tarlalarında 3,5 ppm ile 15,25 ppm asasında değişmektedir ve ortalama olarak 8,27 ppm seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Mısır yetiştirilen tarlalarda 6,75 ppm ile 17 ppm arasında değiştiği ve ortalama 10,31 ppm seviyesinde olduğu belirlenirken buğday yetiştirilen tarlalarda Ga konsantrasyonunun 8,25 ppm ile 15,25 ppm arasında değiştiği ve ortalama 10,63 ppm olduğu hesaplanmıştır. Ormanlık alandan toplanan tozlarda ise Ga konsantrasyonunun en düşük 9,25 ppm, en yüksek ise 30 ppm olduğu ve ortalama 20,79 ppm seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek Ga konsantrasyonunun (20,79 ppm), en düşük konsantrasyonun (8,27 ppm) yaklaşık 2,51 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Sr (ppm) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6 Topraklarda Sr (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Sr	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	64,25	154,00	114,56 a	34,29
Pirinç	78,50	277,25	165,46 a	76,58
Mısır	129,75	389,00	241,21 b	105,01
Buğday	82,25	258,25	153,75 a	76,11
Orman	94,50	160,50	129,17 a	24,24
F Değeri			5,937***	

Çalışma kapsamında tarım topraklarında belirlenen Sr konsantrasyonlarının en düşük değerlerinin fındık bahçelerinde 64,25 ppm, pirinç tarlalarında 78,5 ppm, mısır tarlalarında 129,75 ppm, buğday tarlalarında 82,25 ppm ve ormanlık alandaki topraklarda 94,5 ppm seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Sr konsantrasyonlarının fındık bahçelerinden alınan topraklarda 154 ppm, pirinç tarlalarından alınan topraklarda 277,25 ppm, mısır tarlalarından alınan topraklarda 389 ppm, buğday

tarlalarından alınan topraklarda 258,25 ppm ve ormanlık alandan alınan topraklarda 160,5 ppm seviyesine kadar çıkabildiği belirlenmiştir. Sr konsantrasyonunun ortalama değerleri ise fındık bahçelerinde 114,56 ppm, pirinç tarlalarında 165,46 ppm, mısır tarlalarında 241,21 ppm, buğday tarlalarında 153,75 ppm ve ormanlık alanda 129,17 ppm olarak hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre en yüksek Sr konsantrasyonunun (241,21 ppm), en düşük konsantrasyonun (114,56 ppm) yaklaşık 2,11 katı olduğu tespit edilmiştir. Topraklarda Mn (ppm) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7 Topraklarda Mn (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Mn	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	269,00	330,50	309,48 b	23,77
Pirinç	195,50	407,50	265,71 ab	86,22
Mısır	184,50	328,50	235,02 a	57,12
Buğday	180,25	267,25	219,02 a	32,45
Orman	199,25	421,50	302,73 b	82,14
F Değeri			5,041**	

Mn konsantrasyonunun değişimi incelendiğinde fındık topraklarında 269 ppm ile 330,5 ppm arasında değiştiği, ortalama olarak 309,48 ppm olduğu görülmektedir. Mn konsantrasyonu pirinç tarlalarında 195,5 ppm ile 407,5 ppm asasında değişmektedir ve ortalama olarak 265,71 ppm seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Mısır yetiştirilen tarlalarda 184,5 ppm ile 328,5 ppm arasında değiştiği ve ortalama 235,02 ppm seviyesinde olduğu belirlenirken buğday yetiştirilen tarlalarda Mn konsantrasyonunun 180,25 ppm ile 267,25 ppm arasında değiştiği ve ortalama 219,02 ppm olduğu hesaplanmıştır. Ormanlık alandan toplanan tozlarda ise Mn konsantrasyonunun en düşük 199,25 ppm, en yüksek ise 421,5 ppm olduğu ve ortalama 302,73 ppm seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek Mn konsantrasyonunun (309,48 ppm), en düşük konsantrasyonun (219,02 ppm) yaklaşık 1,41 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda S (ppm) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8 Topraklarda S (ppm) konsantrasyonunun değişimi

S	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	537,00	1078,75	806,65 a	203,07
Pirinç	349,75	2056,50	1118,19 b	635,79
Mısır	1065,00	1622,75	1232,19 b	232,17
Buğday	636,75	998,00	784,92 a	148,78
Orman	626,00	1402,25	931,15 ab	314,06
F Değeri			3,702*	

S konsantrasyonunun değişimi incelendiğinde fındık topraklarında 537 ppm ile 1078,75 ppm arasında değiştiği, ortalama olarak 806,65 ppm olduğu görülmektedir. S konsantrasyonu pirinç tarlalarında 349,75 ppm ile 2056,5 ppm asasında değişmektedir ve ortalama olarak 1118,19 ppm seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Mısır yetiştirilen tarlalarda 1065 ppm ile 1622,75 ppm arasında değiştiği ve ortalama 1232,19 ppm seviyesinde olduğu belirlenirken buğday yetiştirilen tarlalarda S konsantrasyonunun 636,75 ppm ile 998 ppm arasında değiştiği ve ortalama 784,92 ppm olduğu hesaplanmıştır. Ormanlık alandan toplanan tozlarda ise S konsantrasyonunun en düşük 626 ppm, en yüksek ise 1402,25 ppm olduğu ve ortalama 931,15 ppm seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek S konsantrasyonunun (1232,19 ppm), en düşük konsantrasyonun (784,92 ppm) yaklaşık 1,57 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Mg (ppm) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9 Topraklarda Mg (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Mg	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	2982,00	2997,50	2990,69 b	5,66
Pirinç	2459,50	2995,25	2844,90 a	227,61
Mısır	2931,25	2999,50	2980,63 b	29,65
Buğday	2732,00	2974,00	2895,10 ab	99,10
Orman	2888,50	2997,00	2951,21 b	40,93
F Değeri			3,533*	

Mg konsantrasyonunun fındık bahçelerinde en düşük 2982 ppm, en yüksek ise 2997,5 ppm olduğu belirlenmiş, ortalama olarak 2990,69 ppm olduğu hesaplanmıştır. Pirinç tarlalarında 2459,5 ppm ile 2995,25 ppm asasında değiştiği ve ortalama 2844,9 ppm seviyesinde olduğu, mısır tarlalarında 2931,25 ppm ile 2999,5 ppm arasında değiştiği ve ortalama 2980,63 ppm seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Mg konsantrasyonu

buğday tarlalarından alınan topraklarda 2732 ppm ile 2974 ppm arasında değişmekte olup ortalama 2895,1 ppm seviyesindedir. Ormanlık alandan toplanan topraklarda ise 2888,5 ppm ile 2997 ppm arasında değişmekte olup ortalama 2951,21 ppm seviyesindedir. Ortalama değerlere göre en yüksek Mg konsantrasyonunun (2990,69 ppm), en düşük konsantrasyonun (2844,9 ppm) yaklaşık 1,05 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Na (ppm) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10 Topraklarda Na (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Na	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	988,00	1772,75	1279,98 b	308,26
Pirinç	602,25	1196,50	806,88 a	243,04
Mısır	1048,50	1850,25	1425,94 b	340,63
Buğday	815,50	1135,00	982,98 a	122,88
Orman	864,50	1807,50	1337,92 b	399,30
F Değeri			9,195***	

Çalışma sonucunda tarımsal amaçlı kullanılan topraklarda belirlenen Na konsantrasyonlarının ortalama olarak fındık bahçelerinde 1279,98 ppm, pirinç tarlalarında 806,88 ppm, mısır tarlalarında 1425,94 ppm, buğday tarlalarında 982,98 ppm ve ormanlık alanda 1337,92 ppm seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Görüldüğü üzere Na konsantrasyonları ortalama değerler olarak 806,88 ppm ile 1425,94 ppm arasında değişmektedir. En yüksek ortalama değer, en düşük ortalama değerin yaklaşık 1,77 katıdır. Çalışma kapsamında belirlenen en düşük Na konsantrasyonları, fındık bahçelerinde 988 ppm, pirinç tarlalarında 602,25 ppm, mısır tarlalarında 1048,5 ppm, buğday tarlalarında 815,5 ppm ve ormanlık alanda 864,5 ppm seviyesindedir. En yüksek değerlerin ise fındık bahçelerinden alınan topraklarda 1772,75 ppm, pirinç tarlalarından alınan topraklarda 1196,5 ppm, mısır tarlalarından alınan topraklarda 1850,25 ppm, buğday tarlalarından alınan topraklarda 1135 ppm ve ormanlık alandan alınan topraklarda 1807,5 ppm seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Ti (ppm) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11 Topraklarda Ti (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Ti ppm	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	1017,19	1492,11	1211,30 b	181,72
Pirinç	491,19	873,80	621,03 a	154,22
Mısır	581,44	1056,84	771,81 a	181,75
Buğday	715,56	1018,70	808,73 a	126,88
Orman	714,69	1849,34	1352,42 b	423,20
F Değeri			20,529***	

Ti konsantrasyonunun değişimi incelendiğinde fındık topraklarında 1017,19 ppm ile 1492,11 ppm arasında değiştiği, ortalama olarak 1211,3 ppm olduğu görülmektedir. Ti konsantrasyonu pirinç tarlalarında 491,19 ppm ile 873,8 ppm asasında değişmektedir ve ortalama olarak 621,03 ppm seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Mısır yetiştirilen tarlalarda 581,44 ppm ile 1056,84 ppm arasında değiştiği ve ortalama 771,81 ppm seviyesinde olduğu belirlenirken buğday yetiştirilen tarlalarda Ti konsantrasyonunun 715,56 ppm ile 1018,7 ppm arasında değiştiği ve ortalama 808,73 ppm olduğu hesaplanmıştır. Ormanlık alandan toplanan tozlarda ise Ti konsantrasyonunun en düşük 714,69 ppm, en yüksek ise 1849,34 ppm olduğu ve ortalama 1352,42 ppm seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek Ti konsantrasyonunun (1352,42 ppm), en düşük konsantrasyonun (621,03 ppm) yaklaşık 2,18 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Fe (ppm) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.12 Topraklarda Fe (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Fe	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	16238,00	19455,50	18031,88 b	1159,52
Pirinç	9001,25	15947,25	11526,29 a	2736,69
Mısır	8491,50	14846,00	11706,50 a	2412,97
Buğday	11053,00	13752,50	12019,02 a	1068,10
Orman	9647,50	23768,25	16798,52 b	5191,09
F Değeri			13,823***	

Fe konsantrasyonunun fındık bahçelerinde en düşük 16238 ppm, en yüksek ise 19455,5 ppm olduğu belirlenmiş, ortalama olarak 18031,88 ppm olduğu hesaplanmıştır. Pirinç tarlalarında 9001,25 ppm ile 15947,25 ppm asasında değiştiği ve ortalama 11526,29 ppm seviyesinde olduğu, mısır tarlalarında 8491,5 ppm ile 14846 ppm arasında değiştiği ve ortalama 11706,5 ppm seviyesinde olduğu

belirlenmiştir. Fe konsantrasyonu buğday tarlalarından alınan topraklarda 11053 ppm ile 13752,5 ppm arasında değişmekte olup ortalama 12019,02 ppm seviyesindedir. Ormanlık alandan toplanan topraklarda ise 9647,5 ppm ile 23768,25 ppm arasında değişmekte olup ortalama 16798,52 ppm seviyesindedir. Ortalama değerlere göre en yüksek Fe konsantrasyonunun (18031,88 ppm), en düşük konsantrasyonun (11526,29 ppm) yaklaşık 1,56 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda P (ppm) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.13 Topraklarda P (ppm) konsantrasyonunun değişimi

P	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	277,75	526,75	388,52 b	91,22
Pirinç	133,75	498,25	259,65 a	150,52
Mısır	183,25	683,00	402,75 b	197,52
Buğday	136,00	182,50	162,56 a	17,36
Orman	135,75	416,75	266,42 a	103,53
F Değeri			7,399***	

Çalışma sonucunda tarımsal amaçlı kullanılan topraklarda belirlenen P konsantrasyonlarının ortalama olarak fındık bahçelerinde 388,52 ppm, pirinç tarlalarında 259,65 ppm, mısır tarlalarında 402,75 ppm, buğday tarlalarında 162,56 ppm ve ormanlık alanda 266,42 ppm seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Görüldüğü üzere P konsantrasyonları ortalama değerler olarak 162,56 ppm ile 402,75 ppm arasında değişmektedir. En yüksek ortalama değer, en düşük ortalama değerin yaklaşık 2,48 katıdır. Çalışma kapsamında belirlenen en düşük P konsantrasyonları, fındık bahçelerinde 277,75 ppm, pirinç tarlalarında 133,75 ppm, mısır tarlalarında 183,25 ppm, buğday tarlalarında 136 ppm ve ormanlık alanda 135,75 ppm seviyesindedir. En yüksek değerlerin ise fındık bahçelerinden alınan topraklarda 526,75 ppm, pirinç tarlalarından alınan topraklarda 498,25 ppm, mısır tarlalarından alınan topraklarda 683 ppm, buğday tarlalarından alınan topraklarda 182,5 ppm ve ormanlık alandan alınan topraklarda 416,75 ppm seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Co (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4.14 Topraklarda Co (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Co	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	5289,50	7764,50	6621,00 b	859,00
Pirinç	2637,75	6688,00	3931,23 a	1652,41
Mısır	2833,25	6715,25	4138,38 a	1621,97
Buğday	3230,75	5161,00	3892,79 a	754,30
Orman	3247,75	12207,00	7232,31 b	3312,35
F Değeri			9,004***	

Co konsantrasyonunun değişimi incelendiğinde fındık topraklarında 5289,5 ppb ile 7764,5 ppb arasında değiştiği, ortalama olarak 6621 ppb olduğu görülmektedir. Co konsantrasyonu pirinç tarlalarında 2637,75 ppb ile 6688 ppb asasında değişmektedir ve ortalama olarak 3931,23 ppb seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Mısır yetiştirilen tarlalarda 2833,25 ppb ile 6715,25 ppb arasında değiştiği ve ortalama 4138,38 ppb seviyesinde olduğu belirlenirken buğday yetiştirilen tarlalarda Co konsantrasyonunun 3230,75 ppb ile 5161 ppb arasında değiştiği ve ortalama 3892,79 ppb olduğu hesaplanmıştır. Ormanlık alandan toplanan tozlarda ise Co konsantrasyonunun en düşük 3247,75 ppb, en yüksek ise 12207 ppb olduğu ve ortalama 7232,31 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek Co konsantrasyonunun (7232,31 ppb), en düşük konsantrasyonun (3892,79 ppb) yaklaşık 1,86 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda V (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4.15 Topraklarda V (ppb) konsantrasyonunun değişimi

V	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	43835,75	53474,75	48696,21 b	3522,38
Pirinç	16490,00	44235,00	27338,25 a	10347,91
Mısır	20580,50	41606,75	28937,90 a	7954,00
Buğday	21483,75	36380,25	26699,85 a	5472,83
Orman	26676,25	79617,75	49759,00 b	19782,04
F Değeri			13,943***	

Çalışma sonucunda tarımsal amaçlı kullanılan topraklarda belirlenen V konsantrasyonlarının ortalama olarak fındık bahçelerinde 48696,21 ppb, pirinç tarlalarında 27338,25 ppb, mısır tarlalarında 28937,9 ppb, buğday tarlalarında 26699,85 ppb ve ormanlık alanda 49759 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Görüldüğü üzere V konsantrasyonları ortalama değerler olarak 26699,85 ppb ile 49759

ppb arasında değişmektedir. En yüksek ortalama değer, en düşük ortalama değerin yaklaşık 1,86 katıdır. Çalışma kapsamında belirlenen en düşük V konsantrasyonları, fındık bahçelerinde 43835,75 ppb, pirinç tarlalarında 16490 ppb, mısır tarlalarında 20580,5 ppb, buğday tarlalarında 21483,75 ppb ve ormanlık alanda 26676,25 ppb seviyesindedir. En yüksek değerlerin ise fındık bahçelerinden alınan topraklarda 53474,75 ppb, pirinç tarlalarından alınan topraklarda 44235 ppb, mısır tarlalarından alınan topraklarda 41606,75 ppb, buğday tarlalarından alınan topraklarda 36380,25 ppb ve ormanlık alandan alınan topraklarda 79617,75 ppb seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Cu (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4.16 Topraklarda Cu (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Cu	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	9509,25	92217,50	53514,69 b	35125,54
Pirinç	LimitAltı	LimitAltı	LimitAltı	
Mısır	10235,75	58402,25	26616,73 a	19826,51
Buğday	22360,00	38739,25	28801,00 a	6286,52
Orman	LimitAltı	LimitAltı	LimitAltı	
F Değeri			4,354**	

Cu konsantrasyonunun değişimi incelendiğinde pirinç tarlalarında ve ormanlık alandan alınan topraklarda, Cu değerlerinin belirlenebilir limitlerin altında kaldığı görülmektedir. Bunun dışında Cu konsantrasyonunun fındık topraklarında 9509,25 ppb ile 92217,5 ppb arasında değiştiği, ortalama olarak 53514,69 ppb olduğu, mısır yetiştirilen tarlalarda 10235,75 ppb ile 58402,25 ppb arasında değiştiği ve ortalama 26616,73 ppb seviyesinde olduğu belirlenirken buğday yetiştirilen tarlalarda Cu konsantrasyonunun 22360 ppb ile 38739,25 ppb arasında değiştiği ve ortalama 28801 ppb olduğu hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre en yüksek Cu konsantrasyonunun (53514,69 ppb), en düşük konsantrasyonun (26616,73 ppb) yaklaşık 2,10 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Cr (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4.17 Topraklarda Cr (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Cr	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	10456,75	25455,25	19591,81	5969,61
Pirinç	11188,75	63025,25	32048,06	22138,11
Mısır	19693,00	29342,25	25765,75	3651,18
Buğday	16530,25	45784,50	29065,06	10871,16
Orman	12487,00	114300,75	42799,33	43231,72
F Değeri			1,752 ns	

Cr konsantrasyonunun fındık bahçelerinde en düşük 10456,75 ppb, en yüksek ise 25455,25 ppb olduğu belirlenmiş, ortalama olarak 19591,81 ppb olduğu hesaplanmıştır. Pirinç tarlalarında 11188,75 ppb ile 63025,25 ppb asasında değiştiği ve ortalama 32048,06 ppb seviyesinde olduğu, mısır tarlalarında 19693 ppb ile 29342,25 ppb arasında değiştiği ve ortalama 25765,75 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Cr konsantrasyonu buğday tarlalarından alınan topraklarda 16530,25 ppb ile 45784,5 ppb arasında değişmekte olup ortalama 29065,06 ppb seviyesindedir. Ormanlık alandan toplanan topraklarda ise 12487 ppb ile 114300,75 ppb arasında değişmekte olup ortalama 42799,33 ppb seviyesindedir. Ortalama değerlere göre en yüksek Cr konsantrasyonunun (42799,33 ppb), en düşük konsantrasyonun (19591,81 ppb) yaklaşık 2,18 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Ni (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.18'de verilmiştir.

Tablo 4.18 Topraklarda Ni (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Ni	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	10054,50	14455,25	12678,25	1697,75
Pirinç	8277,50	18063,00	11924,00	3808,75
Mısır	12167,50	20909,50	15245,23	3473,75
Buğday	8669,50	19133,75	12168,42	4162,03
Orman	11618,75	13978,50	12379,85	922,57
F Değeri			2,301 ns	

Çalışma kapsamında tarım topraklarında belirlenen Ni konsantrasyonlarının en düşük değerlerinin fındık bahçelerinde 10054,5 ppb, pirinç tarlalarında 8277,5 ppb, mısır tarlalarında 12167,5 ppb, buğday tarlalarında 8669,5 ppb ve ormanlık alandaki topraklarda 11618,75 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ni konsantrasyonlarının fındık bahçelerinden alınan topraklarda 14455,25 ppb, pirinç tarlalarından alınan topraklarda 18063 ppb, mısır tarlalarından alınan topraklarda 20909,5 ppb, buğday

tarlalarından alınan topraklarda 19133,75 ppb ve ormanlık alandan alınan topraklarda 13978,5 ppb seviyesine kadar çıkabildiği belirlenmiştir. Ni konsantrasyonunun ortalama değerleri ise fındık bahçelerinde 12678,25 ppb, pirinç tarlalarında 11924 ppb, mısır tarlalarında 15245,23 ppb, buğday tarlalarında 12168,42 ppb ve ormanlık alanda 12379,85 ppb olarak hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre en yüksek Ni konsantrasyonunun (15245,23 ppb), en düşük konsantrasyonun (11924 ppb) yaklaşık 1,28 katı olduğu tespit edilmiştir. Topraklarda Pb (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.19'da verilmiştir.

Tablo 4.19 Topraklarda Pb (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Pb	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	5906,00	32568,00	17673,77 a	9955,19
Pirinç	6448,25	100514,00	40856,48 b	38676,92
Mısır	9363,00	34052,75	20646,17 ab	10332,05
Buğday	10187,25	86397,25	40431,65 b	30030,08
Orman	LimitAltı	LimitAltı	LimitAltı	
F Değeri			3,660*	

Tabloda görüldüğü üzere ormanlık alandan alınan topraklarda Pb konsantrasyonu belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır. Bunun dışındaki topraklarda Pb konsantrasyonunun değişimi incelendiğinde fındık topraklarında 5906 ppb ile 32568 ppb arasında değiştiği, ortalama olarak 17673,77 ppb olduğu görülmektedir. Pb konsantrasyonu pirinç tarlalarında 6448,25 ppb ile 100514 ppb asasında değişmektedir ve ortalama olarak 40856,48 ppb seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Mısır yetiştirilen tarlalarda 9363 ppb ile 34052,75 ppb arasında değiştiği ve ortalama 20646,17 ppb seviyesinde olduğu belirlenirken buğday yetiştirilen tarlalarda Pb konsantrasyonunun 10187,25 ppb ile 86397,25 ppb arasında değiştiği ve ortalama 40431,65 ppb olduğu hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre en yüksek Pb konsantrasyonunun (40856,48 ppb), en düşük konsantrasyonun (17673,77 ppb) yaklaşık 2,31 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Cd (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.20'de verilmiştir.

Tablo 4.20 Topraklarda Cd (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Cd	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	1028,75	1223,50	1113,83 c	67,65
Pirinç	617,50	1020,25	743,94 a	157,15
Mısır	545,75	936,25	757,19 a	148,96
Buğday	697,75	810,50	737,23 a	35,26
Orman	599,50	1249,25	964,58 b	240,34
F Değeri			15,538***	

Cd konsantrasyonunun değişimi incelendiğinde fındık topraklarında 1028,75 ppb ile 1223,5 ppb arasında değiştiği, ortalama olarak 1113,83 ppb olduğu görülmektedir. Cd konsantrasyonu pirinç tarlalarında 617,5 ppb ile 1020,25 ppb asasında değişmektedir ve ortalama olarak 743,94 ppb seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Mısır yetiştirilen tarlalarda 545,75 ppb ile 936,25 ppb arasında değiştiği ve ortalama 757,19 ppb seviyesinde olduğu belirlenirken buğday yetiştirilen tarlalarda Cd konsantrasyonunun 697,75 ppb ile 810,5 ppb arasında değiştiği ve ortalama 737,23 ppb olduğu hesaplanmıştır. Ormanlık alandan toplanan tozlarda ise Cd konsantrasyonunun en düşük 599,5 ppb, en yüksek ise 1249,25 ppb olduğu ve ortalama 964,58 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek Cd konsantrasyonunun (1113,83 ppb), en düşük konsantrasyonun (737,23 ppb) yaklaşık 1,51 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Nb (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.21'de verilmiştir.

Tablo 4.21 Topraklarda Nb (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Nb	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	3845,00	5329,25	4751,75 a	441,28
Pirinç	1822,50	7372,00	3985,06 a	1948,05
Mısır	1575,00	7937,25	4151,85 a	2220,41
Buğday	2537,75	5483,75	3659,06 a	986,08
Orman	3326,75	9733,50	6213,83 b	2275,50
F Değeri			4,061**	

Çalışma sonucunda tarımsal amaçlı kullanılan topraklarda belirlenen Nb konsantrasyonlarının ortalama olarak fındık bahçelerinde 4751,75 ppb, pirinç tarlalarında 3985,06 ppb, mısır tarlalarında 4151,85 ppb, buğday tarlalarında 3659,06 ppb ve ormanlık alanda 6213,83 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Görüldüğü üzere Nb konsantrasyonları ortalama değerler olarak 3659,06 ppb ile 6213,83 ppb

arasında değişmektedir. En yüksek ortalama değer, en düşük ortalama değerin yaklaşık 1,7 katıdır. Çalışma kapsamında belirlenen en düşük Nb konsantrasyonları, fındık bahçelerinde 3845 ppb, pirinç tarlalarında 1822,5 ppb, mısır tarlalarında 1575 ppb, buğday tarlalarında 2537,75 ppb ve ormanlık alanda 3326,75 ppb seviyesindedir. En yüksek değerlerin ise fındık bahçelerinden alınan topraklarda 5329,25 ppb, pirinç tarlalarından alınan topraklarda 7372 ppb, mısır tarlalarından alınan topraklarda 7937,25 ppb, buğday tarlalarından alınan topraklarda 5483,75 ppb ve ormanlık alandan alınan topraklarda 9733,5 ppb seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda As (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.22'de verilmiştir.

Tablo 4.22 Topraklarda As (ppb) konsantrasyonunun değişimi

As	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	LimitAltı	LimitAltı	LimitAltı	
Pirinç	821,50	21933,75	8410,02 b	8409,69
Mısır	7641,50	19941,50	10932,71 b	5265,81
Buğday	946,50	4942,75	2739,08 a	1371,92
Orman	2813,75	4428,00	3812,29 a	535,82
F Değeri			7,048***	

İnsan ve çevre sağlığı açısından en zararlı elementlerden As konsantrasyonunun değişimi incelendiğinde fındık topraklarında belirlenebilir limitlerin altında kaldığı görülmektedir. Bunun dışında As konsantrasyonu pirinç tarlalarında 821,5 ppb ile 21933,75 ppb asasında değişmektedir ve ortalama olarak 8410,02 ppb seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Mısır yetiştirilen tarlalarda 7641,5 ppb ile 19941,5 ppb arasında değiştiği ve ortalama 10932,71 ppb seviyesinde olduğu belirlenirken buğday yetiştirilen tarlalarda As konsantrasyonunun 946,5 ppb ile 4942,75 ppb arasında değiştiği ve ortalama 2739,08 ppb olduğu hesaplanmıştır. Ormanlık alandan toplanan tozlarda ise As konsantrasyonunun en düşük 2813,75 ppb, en yüksek ise 4428 ppb olduğu ve ortalama 3812,29 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek As konsantrasyonunun (10932,71 ppb), en düşük konsantrasyonun (2739,08 ppb) yaklaşık 3,99 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Li (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.23'te verilmiştir.

Tablo 4.23 Topraklarda Li (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Li	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	1695,00	8658,75	5571,44	2518,28
Pirinç	1382,75	9486,75	5583,63	2860,82
Mısır	3449,25	9555,50	6275,50	2205,48
Buğday	2305,00	5411,00	4246,54	1095,84
Orman	5516,75	8963,50	6571,21	1427,80
F Değeri			2,134 ns	

Li konsantrasyonunun değişimi incelendiğinde fındık topraklarında 1695 ppb ile 8658,75 ppb arasında değiştiği, ortalama olarak 5571,44 ppb olduğu görülmektedir. Li konsantrasyonu pirinç tarlalarında 1382,75 ppb ile 9486,75 ppb asasında değişmektedir ve ortalama olarak 5583,63 ppb seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Mısır yetiştirilen tarlalarda 3449,25 ppb ile 9555,5 ppb arasında değiştiği ve ortalama 6275,5 ppb seviyesinde olduğu belirlenirken buğday yetiştirilen tarlalarda Li konsantrasyonunun 2305 ppb ile 5411 ppb arasında değiştiği ve ortalama 4246,54 ppb olduğu hesaplanmıştır. Ormanlık alandan toplanan tozlarda ise Li konsantrasyonunun en düşük 5516,75 ppb, en yüksek ise 8963,5 ppb olduğu ve ortalama 6571,21 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek Li konsantrasyonunun (6571,21 ppb), en düşük konsantrasyonun (4246,54 ppb) yaklaşık 1,55 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Tl (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.24'te verilmiştir.

Tablo 4.24 Topraklarda Tl (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Tl	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	3139,50	4496,00	3910,73 a	497,00
Pirinç	2434,25	6269,00	3802,46 a	1429,74
Mısır	3420,75	6175,50	5165,56 b	1032,05
Buğday	2870,50	4680,00	3847,96 a	694,71
Orman	4338,25	6694,00	5212,52 b	763,85
F Değeri			7,281***	

Çalışma kapsamında tarım topraklarında belirlenen Tl konsantrasyonlarının en düşük değerlerinin fındık bahçelerinde 3139,5 ppb, pirinç tarlalarında 2434,25 ppb, mısır tarlalarında 3420,75 ppb, buğday tarlalarında 2870,5 ppb ve ormanlık alandaki topraklarda 4338,25 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Tl konsantrasyonlarının fındık bahçelerinden alınan topraklarda 4496 ppb, pirinç tarlalarından alınan

topraklarda 6269 ppb, mısır tarlalarından alınan topraklarda 6175,5 ppb, buğday tarlalarından alınan topraklarda 4680 ppb ve ormanlık alandan alınan topraklarda 6694 ppb seviyesine kadar çıkabildiği belirlenmiştir. Tl konsantrasyonunun ortalama değerleri ise fındık bahçelerinde 3910,73 ppb, pirinç tarlalarında 3802,46 ppb, mısır tarlalarında 5165,56 ppb, buğday tarlalarında 3847,96 ppb ve ormanlık alanda 5212,52 ppb olarak hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre en yüksek Tl konsantrasyonunun (5212,52 ppb), en düşük konsantrasyonun (3802,46 ppb) yaklaşık 1,37 katı olduğu tespit edilmiştir. Topraklarda Au (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.25'te verilmiştir.

Tablo 4.25 Topraklarda Au (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Au	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	2242,75	3046,25	2666,21 b	267,45
Pirinç	1377,75	3837,00	2318,27 ab	927,11
Mısır	1191,75	3154,75	2093,88 ab	708,26
Buğday	1652,25	2040,25	1792,13 a	148,93
Orman	1510,50	3859,50	2571,02 b	845,49
F Değeri			3,509*	

Au konsantrasyonunun değişimi incelendiğinde fındık topraklarında 2242,75 ppb ile 3046,25 ppb arasında değiştiği, ortalama olarak 2666,21 ppb olduğu görülmektedir. Au konsantrasyonu pirinç tarlalarında 1377,75 ppb ile 3837 ppb asasında değişmektedir ve ortalama olarak 2318,27 ppb seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Mısır yetiştirilen tarlalarda 1191,75 ppb ile 3154,75 ppb arasında değiştiği ve ortalama 2093,88 ppb seviyesinde olduğu belirlenirken buğday yetiştirilen tarlalarda Au konsantrasyonunun 1652,25 ppb ile 2040,25 ppb arasında değiştiği ve ortalama 1792,13 ppb olduğu hesaplanmıştır. Ormanlık alandan toplanan tozlarda ise Au konsantrasyonunun en düşük 1510,5 ppb, en yüksek ise 3859,5 ppb olduğu ve ortalama 2571,02 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek Au konsantrasyonunun (2666,21 ppb), en düşük konsantrasyonun (1792,13 ppb) yaklaşık 1,49 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Bi (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.26'da verilmiştir.

Tablo 4.26 Topraklarda Bi (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Bi	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	LimitAltı	LimitAltı	LimitAltı	
Pirinç	LimitAltı	LimitAltı	LimitAltı	
Mısır	908,75	1865,25	1434,73 b	324,49
Buğday	606,50	1168,75	900,65 a	195,72
Orman	757,25	2182,25	1449,90 b	477,87
F Değeri			3,277*	

Bi konsantrasyonunun değişimi incelendiğinde fındık ve pirinç topraklarında belirlenebilir limitlerin altında kaldığı görülmektedir. Bunun dışında Mısır yetiştirilen tarlalarda 908,75 ppb ile 1865,25 ppb arasında değiştiği ve ortalama 1434,73 ppb seviyesinde olduğu belirlenirken buğday yetiştirilen tarlalarda Bi konsantrasyonunun 606,5 ppb ile 1168,75 ppb arasında değiştiği ve ortalama 900,65 ppb olduğu hesaplanmıştır. Ormanlık alandan toplanan tozlarda ise Bi konsantrasyonunun en düşük 757,25 ppb, en yüksek ise 2182,25 ppb olduğu ve ortalama 1449,9 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek Bi konsantrasyonunun (1449,9 ppb), en düşük konsantrasyonun (900,65 ppb) yaklaşık 1,61 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Pt (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.27'de verilmiştir.

Tablo 4.27 Topraklarda Pt (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Pt	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	10906,25	12674,25	11687,94 a	595,90
Pirinç	11673,25	13880,25	12464,60 b	854,12
Mısır	12802,25	16248,00	14082,33 c	1348,90
Buğday	12768,25	14342,25	13570,23 c	665,95
Orman	13080,50	14431,50	13866,96 c	465,53
F Değeri			17,532***	

Çalışma kapsamında tarım topraklarında belirlenen Pt konsantrasyonlarının en düşük değerlerinin fındık bahçelerinde 10906,25 ppb, pirinç tarlalarında 11673,25 ppb, mısır tarlalarında 12802,25 ppb, buğday tarlalarında 12768,25 ppb ve ormanlık alandaki topraklarda 13080,5 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Pt konsantrasyonlarının fındık bahçelerinden alınan topraklarda 12674,25 ppb, pirinç tarlalarından alınan topraklarda 13880,25 ppb, mısır tarlalarından alınan topraklarda 16248 ppb, buğday tarlalarından alınan topraklarda 14342,25 ppb ve ormanlık alandan alınan topraklarda

14431,5 ppb seviyesine kadar çıkabildiği belirlenmiştir. Pt konsantrasyonunun ortalama değerleri ise fındık bahçelerinde 11687,94 ppb, pirinç tarlalarında 12464,6 ppb, mısır tarlalarında 14082,33 ppb, buğday tarlalarında 13570,23 ppb ve ormanlık alanda 13866,96 ppb olarak hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre en yüksek Pt konsantrasyonunun (14082,33 ppb), en düşük konsantrasyonun (11687,94 ppb) yaklaşık 1,2 katı olduğu tespit edilmiştir. Topraklarda Zn (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.28'de verilmiştir.

Tablo 4.28 Topraklarda Zn (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Zn	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	55242,00	160447,25	93756,25 b	39788,14
Pirinç	22890,75	122990,50	58949,77 a	39591,79
Mısır	43476,00	67295,25	52927,29 a	9428,96
Buğday	39311,75	55540,50	47774,73 a	5952,39
Orman	18558,75	52144,25	38043,54 a	12892,15
F Değeri			7,879***	

Zn konsantrasyonunun fındık bahçelerinde en düşük 55242 ppb, en yüksek ise 160447,25 ppb olduğu belirlenmiş, ortalama olarak 93756,25 ppb olduğu hesaplanmıştır. Pirinç tarlalarında 22890,75 ppb ile 122990,5 ppb asasında değiştiği ve ortalama 58949,77 ppb seviyesinde olduğu, mısır tarlalarında 43476 ppb ile 67295,25 ppb arasında değiştiği ve ortalama 52927,29 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Zn konsantrasyonu buğday tarlalarından alınan topraklarda 39311,75 ppb ile 55540,5 ppb arasında değişmekte olup ortalama 47774,73 ppb seviyesindedir. Ormanlık alandan toplanan topraklarda ise 18558,75 ppb ile 52144,25 ppb arasında değişmekte olup ortalama 38043,54 ppb seviyesindedir. Ortalama değerlere göre en yüksek Zn konsantrasyonunun (93756,25 ppb), en düşük konsantrasyonun (38043,54 ppb) yaklaşık 2,46 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Sn (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.29'da verilmiştir.

Tablo 4.29 Topraklarda Sn (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Sn	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	2337,25	4292,00	3373,83 a	674,19
Pirinç	2275,25	6460,00	3649,79 a	1679,53
Mısır	3861,00	8411,00	5378,00 b	1687,07
Buğday	3454,25	4765,25	3898,25 a	472,43
Orman	3403,25	4673,25	3855,25 a	441,78
F Değeri			5,597**	

Çalışma sonucunda tarımsal amaçlı kullanılan topraklarda belirlenen Sn konsantrasyonlarının ortalama olarak fındık bahçelerinde 3373,83 ppb, pirinç tarlalarında 3649,79 ppb, mısır tarlalarında 5378 ppb, buğday tarlalarında 3898,25 ppb ve ormanlık alanda 3855,25 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Görüldüğü üzere Sn konsantrasyonları ortalama değerler olarak 3373,83 ppb ile 5378 ppb arasında değişmektedir. En yüksek ortalama değer, en düşük ortalama değerin yaklaşık 1,59 katıdır. Çalışma kapsamında belirlenen en düşük Sn konsantrasyonları, fındık bahçelerinde 2337,25 ppb, pirinç tarlalarında 2275,25 ppb, mısır tarlalarında 3861 ppb, buğday tarlalarında 3454,25 ppb ve ormanlık alanda 3403,25 ppb seviyesindedir. En yüksek değerlerin ise fındık bahçelerinden alınan topraklarda 4292 ppb, pirinç tarlalarından alınan topraklarda 6460 ppb, mısır tarlalarından alınan topraklarda 8411 ppb, buğday tarlalarından alınan topraklarda 4765,25 ppb ve ormanlık alandan alınan topraklarda 4673,25 ppb seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Mo (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.30'da verilmiştir.

Tablo 4.30 Topraklarda Mo (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Mo	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	1393,50	2847,50	2071,58 a	494,49
Pirinç	1544,75	3586,00	2211,02 a	842,01
Mısır	2442,00	3472,00	2856,98 c	394,28
Buğday	2023,75	3842,25	2788,02 bc	676,32
Orman	2109,50	2686,50	2368,92 ab	192,87
F Değeri			4,549**	

Mo konsantrasyonunun değişimi incelendiğinde fındık topraklarında 1393,5 ppb ile 2847,5 ppb arasında değiştiği, ortalama olarak 2071,58 ppb olduğu görülmektedir. Mo konsantrasyonu pirinç tarlalarında 1544,75 ppb ile 3586 ppb asasında değişmektedir ve ortalama olarak 2211,02 ppb seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Mısır yetiştirilen

tarlalarda 2442 ppb ile 3472 ppb arasında değiştiği ve ortalama 2856,98 ppb seviyesinde olduğu belirlenirken buğday yetiştirilen tarlalarda Mo konsantrasyonunun 2023,75 ppb ile 3842,25 ppb arasında değiştiği ve ortalama 2788,02 ppb olduğu hesaplanmıştır. Ormanlık alandan toplanan tozlarda ise Mo konsantrasyonunun en düşük 2109,5 ppb, en yüksek ise 2686,5 ppb olduğu ve ortalama 2368,92 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre en yüksek Mo konsantrasyonunun (2856,98 ppb), en düşük konsantrasyonun (2071,58 ppb) yaklaşık 1,38 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Sb (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.31'de verilmiştir.

Tablo 4.31 Topraklarda Sb (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Sb	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	3901,75	10325,75	6613,60	2262,20
Pirinç	4407,25	11650,00	8236,71	3356,50
Mısır	6611,50	9683,00	8133,10	1087,57
Buğday	5930,50	8013,50	6847,31	867,02
Orman	6871,50	9872,50	8006,77	1134,24
F Değeri			1,828 ns	

Çalışma kapsamında tarım topraklarında belirlenen Sb konsantrasyonlarının en düşük değerlerinin fındık bahçelerinde 3901,75 ppb, pirinç tarlalarında 4407,25 ppb, mısır tarlalarında 6611,5 ppb, buğday tarlalarında 5930,5 ppb ve ormanlık alandaki topraklarda 6871,5 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Sb konsantrasyonlarının fındık bahçelerinden alınan topraklarda 10325,75 ppb, pirinç tarlalarından alınan topraklarda 11650 ppb, mısır tarlalarından alınan topraklarda 9683 ppb, buğday tarlalarından alınan topraklarda 8013,5 ppb ve ormanlık alandan alınan topraklarda 9872,5 ppb seviyesine kadar çıkabildiği belirlenmiştir. Sb konsantrasyonunun ortalama değerleri ise fındık bahçelerinde 6613,6 ppb, pirinç tarlalarında 8236,71 ppb, mısır tarlalarında 8133,1 ppb, buğday tarlalarında 6847,31 ppb ve ormanlık alanda 8006,77 ppb olarak hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre en yüksek Sb konsantrasyonunun (8236,71 ppb), en düşük konsantrasyonun (6613,6 ppb) yaklaşık 1,25 katı olduğu tespit edilmiştir. Topraklarda Se (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.32'de verilmiştir.

Tablo 4.32 Topraklarda Se (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Se	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	3218,50	5978,75	4444,73 a	852,46
Pirinç	3060,25	8226,75	5060,25 ab	1898,65
Mısır	4348,00	7334,75	6389,52 c	1146,24
Buğday	3736,75	5538,75	4690,46 a	736,75
Orman	5339,00	6924,75	5887,17 bc	494,80
F Değeri			6,277***	

Se konsantrasyonunun fındık bahçelerinde en düşük 3218,5 ppb, en yüksek ise 5978,75 ppb olduğu belirlenmiş, ortalama olarak 4444,73 ppb olduğu hesaplanmıştır. Pirinç tarlalarında 3060,25 ppb ile 8226,75 ppb asasında değiştiği ve ortalama 5060,25 ppb seviyesinde olduğu, mısır tarlalarında 4348 ppb ile 7334,75 ppb arasında değiştiği ve ortalama 6389,52 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Se konsantrasyonu buğday tarlalarından alınan topraklarda 3736,75 ppb ile 5538,75 ppb arasında değişmekte olup ortalama 4690,46 ppb seviyesindedir. Ormanlık alandan toplanan topraklarda ise 5339 ppb ile 6924,75 ppb arasında değişmekte olup ortalama 5887,17 ppb seviyesindedir. Ortalama değerlere göre en yüksek Se konsantrasyonunun (6389,52 ppb), en düşük konsantrasyonun (4444,73 ppb) yaklaşık 1,44 katı olduğu hesaplanmıştır. Topraklarda Ge (ppb) konsantrasyonunun değişimi Tablo 4.33'de verilmiştir.

Tablo 4.33 Topraklarda Ge (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Ge	En düşük	En Yüksek	Ortalama	St. Sapma
Fındık	3875,25	6320,25	4897,77 a	988,45
Pirinç	2173,00	10639,75	5670,06 a	2892,43
Mısır	5049,25	14719,75	8872,71 b	3377,29
Buğday	3986,50	7281,50	5311,81 a	1092,08
Orman	4113,00	6719,25	5356,73 a	819,55
F Değeri			6,939***	

Ge konsantrasyonunun fındık bahçelerinde en düşük 3875,25 ppb, en yüksek ise 6320,25 ppb olduğu belirlenmiş, ortalama olarak 4897,77 ppb olduğu hesaplanmıştır. Pirinç tarlalarında 2173 ppb ile 10639,75 ppb asasında değiştiği ve ortalama 5670,06 ppb seviyesinde olduğu, mısır tarlalarında 5049,25 ppb ile 14719,75 ppb arasında değiştiği ve ortalama 8872,71 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Ge konsantrasyonu buğday tarlalarından alınan topraklarda 3986,5 ppb ile 7281,5 ppb

arasında değişmekte olup ortalama 5311,81 ppb seviyesindedir. Ormanlık alandan toplanan topraklarda ise 4113 ppb ile 6719,25 ppb arasında değişmekte olup ortalama 5356,73 ppb seviyesindedir. Ortalama değerlere göre en yüksek Ge konsantrasyonunun (8872,71 ppb), en düşük konsantrasyonun (4897,77 ppb) yaklaşık 1,81 katı olduğu hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında değerlendirilen elementlerden B'nin sadece mısır tarlalarından alınan topraklarda belirlenebilir limitler dahilinde birikim yaptığı, mısır tarlalarında B konsantrasyonunun 10913,00 ppb ile 167560,25 ppb arasında değiştiği belirlenmiş ve ortalama B konsantrasyonu 60250,48 ppb olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.34 Elementler Arası Korelasyon Matrisi

	Al	Ba	Ca	Ga	Na	Mg	K	Mn	Fe
Ba	0,601**								
Ca	-0,014	-0,162							
Ga	0,401**	0,421**	0,269*						
Na	0,423**	0,333**	0,151	0,574**					
Mg	-0,116	0,149	-0,134	0,276*	0,406**				
K	0,380**	0,283*	-0,062	-0,081	0,556**	0,074			
Mn	0,491**	0,581**	-0,023	0,790**	0,565**	0,286*	0,036		
Fe	0,278*	0,394**	0,203	0,915**	0,517**	0,254	-0,174	0,859**	
P	0,231	0,148	-0,017	0,319*	0,633**	0,346**	0,591**	0,563**	0,377**
S	0,239	0,403**	-0,849**	-0,127	0,171	0,286*	0,306*	0,189	-0,112
Sr	0,023	0,125	-0,756**	-0,253	0,152	0,175	0,462**	-0,135	-0,292*
Cr	0,169	0,361**	-0,211	0,477**	0,321*	0,036	-0,113	0,565**	0,474**
Co	0,359**	0,343**	0,185	0,927**	0,542**	0,215	-0,141	0,891**	0,952**
Ni	0,584**	0,313*	-0,167	0,243	0,525**	0,232	0,455**	0,423**	0,17
Cu	-0,014	0,469**	-0,23	-0,035	0,066	0,079	0,175	0,118	0,125
Zn	0,344**	0,713**	-0,102	0,288*	0,421**	0,124	0,358**	0,542**	0,457**
Cd	0,309*	0,508**	0,129	0,865**	0,493**	0,312*	-0,097	0,839**	0,962**
B	-0,327	-0,187	-0,034	-0,406*	-0,135	0,291	-0,153	-0,496**	-0,379*
Pb	-0,08	0,23	-0,598**	-0,131	-0,201	-0,119	-0,075	0,135	-0,058
As	0,19	0,423**	-0,573**	-0,145	0,137	0,237	0,242	0,21	-0,062
Bi	0,627**	0,610**	-0,445**	0,565**	0,574**	0,046	0,248	0,698**	0,548**
Li	0,859**	0,647**	-0,139	0,268*	0,479**	0	0,561**	0,398**	0,164
Se	0,731**	0,522**	-0,389**	0,311*	0,634**	0,186	0,585**	0,457**	0,181
Tl	0,662**	0,479**	-0,239	0,541**	0,731**	0,305*	0,504**	0,576**	0,382**
V	0,353**	0,411**	0,222	0,944**	0,549**	0,249	-0,103	0,870**	0,969**

Tablo 4.34'ün devamı

	Al	Ba	Ca	Ga	Na	Mg	K	Mn	Fe
Au	0,424**	0,508**	-0,178	0,726**	0,451**	0,289*	-0,122	0,948**	0,834**
Ge	0,094	0,175	-0,531**	-0,138	0,472**	0,301*	0,701**	0,059	-0,187
Pt	0,186	0,027	-0,267*	-0,038	0,291*	0,177	0,422**	-0,149	-0,295*
Mo	0,399**	0,423**	-0,308*	0,1	0,513**	0,224	0,518**	0,209	0,005
Nb	0,619**	0,458**	0,068	0,835**	0,496**	0,152	-0,115	0,863**	0,811**
Sb	0,725**	0,657**	-0,343**	0,073	0,318*	0,173	0,393**	0,297*	0,018
Sn	0,320*	0,314*	-0,316*	0,02	0,628**	0,227	0,787**	0,189	-0,074
Ti	0,311*	0,321*	0,315*	0,982**	0,558**	,304*	-0,093	0,740**	0,899**
	P	S	Sr	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd
S	0,222								
Sr	0,203	0,723**							
Cr	0,183	0,317*	0,175						
Co	0,454**	-0,063	-0,272*	0,605**					
Ni	0,418**	0,330*	0,103	0,106	0,252				
Cu	-0,074	0,327*	0,036	0,057	-0,053	0,214			
Zn	0,333**	0,270*	0,08	0,119	0,291*	0,348**	0,782**		
Cd	0,379**	-0,036	-0,201	0,392**	0,870**	0,193	0,267	0,600**	
B	-0,216	0,113	0,009	-0,096	-0,450**	-0,138	0,098	-0,221	-0,391*
Pb	-0,04	0,543**	0,479**	0,913**	-0,045	0,064	0,322*	0,212	-0,016
As	0,337*	0,735**	0,474**	0,207	-0,048	0,314*	0,294*	0,339**	0,002
Bi	0,420**	0,552**	0,382**	0,630**	0,607**	0,508**	0,327*	0,598**	0,584**
Li	0,288*	0,450**	0,134	0,064	0,211	0,599**	0,323*	0,486**	0,233
Se	0,493**	0,635**	0,548**	0,375**	0,301*	0,614**	-0,069	0,278*	0,191
Tl	0,567**	,480**	0,440**	0,461**	0,510**	0,596**	-0,183	0,215	0,365**
V	0,429**	-0,076	-0,299*	0,539**	0,982**	0,218	0,046	0,361**	0,908**
Au	0,470**	0,299*	-0,063	0,612**	0,858**	0,371**	0,147	0,503**	0,827**
Ge	0,554**	0,689**	0,829**	0,209	-0,112	0,309*	-0,007	0,149	-0,154
Pt	0,154	0,367**	0,563**	0,078	-0,151	0,276*	-0,410**	-0,326*	-0,355**
Mo	0,257*	0,487**	0,518**	0,297*	0,05	0,619**	0,126	0,289*	0,001
Nb	0,365**	0,107	-0,204	0,620**	0,902**	0,424**	-0,099	0,271*	0,745**
Sb	0,15	0,649**	0,338**	0,156	0,044	0,354**	0,154	0,379**	0,087
Sn	0,614**	0,557**	0,668**	0,249	0,019	0,461**	0,023	0,264*	-0,063
Ti	0,326*	-0,195	-0,270*	0,434**	0,912**	0,206	-0,097	0,214	0,838**
	B	Pb	As	Bi	Li	Se	Tl	V	Au
Pb	-0,08								
As	0,615**	0,432**							
Bi	-0,074	0,414**	0,520**						
Li	-0,34	-0,068	0,253	0,536**					
Se	-0,148	0,188	0,496**	0,775**	0,734**				

Tablo 4.34'ün devamı

	B	Pb	As	Bi	Li	Se	Tl	V	Au
Tl	-0,232	0,105	0,337*	0,788**	0,624**	0,932**			
V	-,367*	-0,132	-0,062	0,574**	0,252	0,270*	0,480**		
Au	-0,303	0,284*	0,328*	0,749**	0,310*	0,411**	0,505**	0,823**	
Ge	0,062	0,291*	0,527**	0,393**	0,282*	0,691**	0,617**	-0,134	0,025
Pt	0,1	0,071	0,21	0,244	0,239	0,631**	0,624**	-0,186	-0,234
Mo	0,035	0,341**	0,442**	0,475**	0,420**	0,741**	0,683**	0,029	0,135
Nb	-0,257	0,097	0,13	0,712**	0,409**	0,503**	0,628**	0,864**	0,871**
Sb	-0,14	0,147	0,500**	0,454**	0,781**	0,734**	0,566**	0,07	0,285*
Sn	0,004	0,228	0,500**	0,484**	0,466**	0,802**	0,740**	-0,003	0,094
Ti	-0,435*	-0,181	-0,233	0,481**	0,184	0,243	0,500**	0,931**	0,667**

Tablo 4.35 Elementler Arası Korelasyon Matrisi

	Ge	Pt	Mo	Nb	Sb	Sn
Pt	0,681**					
Mo	0,664**	0,668**				
Nb	-0,077	-0,036	0,216			
Sb	0,395**	0,306*	0,544**	0,325*		
Sn	0,914**	0,710**	0,773**	0,095	0,483**	
Ti	-0,151	-0,028	0,054	0,783**	-0,029	-0,008

Korelasyon analizi sonuçları incelendiğinde pek çok element arasında istatistiki olarak anlamlı düzeyde ilişki bulunduğu belirlenmiştir. En kuvvetli pozitif yönlü ilişkiler Co ile V (0,982), Ga ile Ti (0,982), Fe ile V (0,969), Fe ile Cd (0,962) ve Co ile Fe (0,952) arasında hesaplanmıştır. En kuvvetli negatif ilişkiler ise S ile Ca (-0,849), Sr ile Ca (-0,756) ve Pb ile Ca (-0,598) arasında belirlenmiştir. En yüksek negatif yönlü ilişkilerin Ca ile diğer elementler arasında olması dikkat çekmektedir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışma sonucunda çalışmaya konu elementlerin tamamına yakınının topraklarda hem belirlenebilir limitler dahilinde birikim yaptığı, hem de topraklardaki konsantrasyonlarının tarımsal faaliyetlere bağlı olarak önemli ölçüde değiştiği belirlenmiştir. Bu durum topraklardaki ağır metal kirliliğinin oldukça yüksek olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilebilir.

Çalışma sonucunda ortalama olarak Al'un 2864,53 ppm, Ba'un 137,61 ppm, Mn'ın 266,39 ppm, Sr'un 160,83 ppm, Cr'un 29,85 ppm, Ni'nin 12,88 ppm, Cu'nun 32,22 ppm, Zn'nin 58,29 ppm, Pb'nin 27,04 ppm, V'nin 36,29 ppm seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Bunun dışında ortalama konsantrasyonların Co'da 5163,14 ppb, As'de 5953,97 ppb, Se'de 5294,43 ppb, Tl'de 4387,85 ppb, Nb'de 4552,31 ppb, Sb'de 7567,50 ppb ve Sn'de 4031,03 ppb seviyesinde olduğu belirlenmiştir.

Uluslararası standartlara göre topraklarda izin verilen sınır değerler oldukça değişkendir. Örneğin sınır değerler Cd için İsveç'de 0,4 mg/kg (ppm), Kanada'da 1,4 mg/kg, Hindistan'da 6 mg/kg ve Amerika'da 32 mg/kg'dir. Benzer şekilde As için sınır değerler Birleşik Krallık'da 20 mg/kg, Kanada'da 12 mg/kg'dır. Cr için Kanada'da üst değer 64 mg/kg olarak belirlenirken İsveç'de 120 mg/kg, Birleşik Krallık'da 130 mg/kg olarak belirlenmiştir. Cu'da da Kanada'da 63 mg/kg olan sınır değer Hindistan'da 270 mg/kg'a kadar çıkmaktadır (Wan vd., 2024). Bu durum çalışmada elde edilen verilerin yorumlanmasını güçleştirmektedir. Çünkü örneğin Cd için çalışmada elde edilen ortalama değer İsveç standartlarına göre sınır değerin iki katından fazla iken Kanada ve Hindistan standartlarının altındadır. Amerika için belirlenen sınır değer ise çalışmada elde edilen ortalama değerin neredeyse 40 katı düzeyindedir. Dolayısıyla ülkeler arasında bir standart değer uygulanmaması, çalışmada elde edilen verilerin yorumlanmasını oldukça zorlaştırmaktadır.

Türkiye'de ise tarımsal topraklar için belirlenen yasal limitler Ni 75 mg/kg, Cr 100 mg/kg, As 20 mg/kg, Pb 50 mg/kg ve Cd 1 mg/kg'dır (Altunbaş, 2023; Isleyen vd., 2019; Şimşek vd., 2021; Yıldız, 2023). Bu değerlere göre sadece fındık bahçesinden alınan topraklarda Cd sınır değerin üzerinde olup, diğer değerler sınır değerleri

aşmamaktadır. Benzer çalışmalarda elde edilen değerler çalışmada elde edilen değerlerden genellikle daha yüksektir. Geyve topraklarında Cu, Ni ve Cr konsantrasyonları sırasıyla 108,2 mg/kg, 219,9 mg/kg ve 173,1 mg/kg olarak ölçülmüştür. Bu değerler Türkiye Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde belirtilen limit değerlerinin 2-7 katı üzerindedir (Isleyen vd., 2019). Türkiye'de yapılan başka bir çalışmada topraklardaki toplam Cd konsantrasyonu 5,4-6,8 mg kg-1, Fe konsantrasyonu 17039-50883 mg kg-1, Mn konsantrasyonu 218-1790 mg kg-1, Zn konsantrasyonu 33,0-87,5 mg kg-1 ve Cu konsantrasyonu 8,8-99,9 mg kg-1 olarak belirlenmiştir (Altunbaş, 2023). Bu değerler ile karşılaştırıldığında çalışmada elde edilen değerler ile genel olarak uyumlu olduğu görülmektedir. Ancak bu çalışmalarda elde edilen üst değerler, çalışmada elde edilen değerlerden oldukça yüksektir.

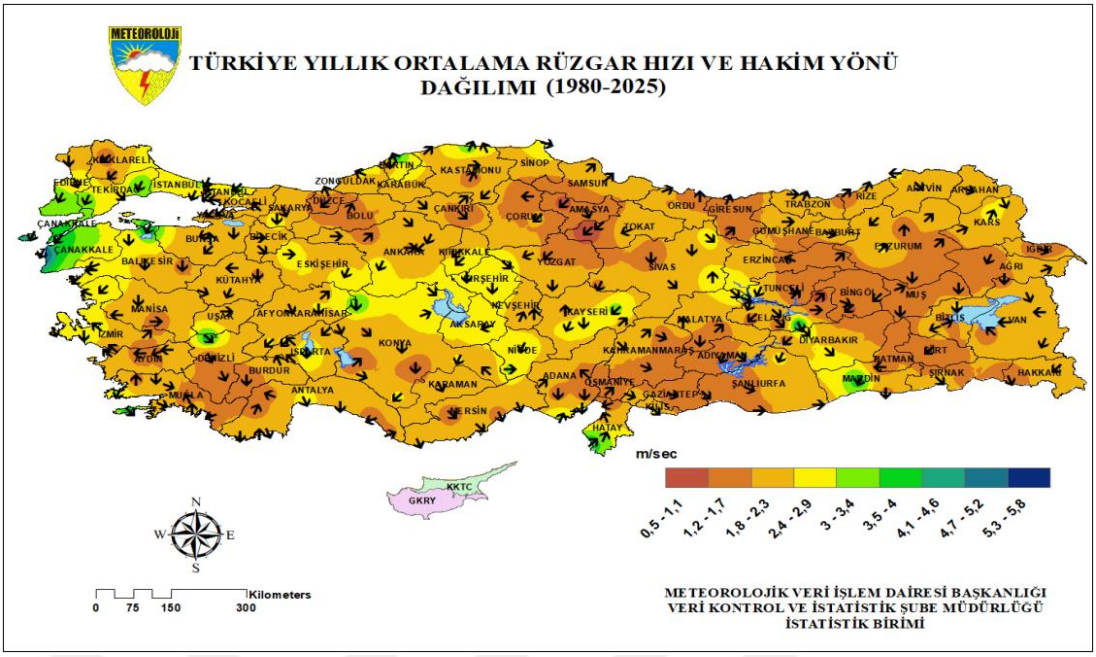
Çalışma sonuçları, ilgili yönetmelikler ile karşılaştırılamamaktadır çünkü ülkemiz için sadece Ni, Cr, As, Pb ve Cd gibi ağır metaller için sınır değerler belirlenmiştir. Oysa EPA; Sb, As, Be, Cr, Cd, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Ag, Tl ve Zn'yi insan sağlığına potansiyel zararları dolayısıyla öncelikli kirletici listesine dahil etmiş, ATSDR bu elementlere ilave olarak Al, Ba, Co, Mn, Pd, Pu, Sr, Th, U ve V'yi de öncelikli kirletici listesine almıştır (Cetin vd., 2026). Buna karşılık söz konusu elementler için sınır değerlerin belirlenmemiş olması büyük eksikliktir. Benzer durum sadece ülkemiz için değil dünya genelinde geçerlidir.

Bitki bünyelerine ağır metallerin girişi topraktan kökler, havadan yapraklardaki stomalar veya gövde bölümlerinden doğrudan olabilmektedir (Cobanoglu vd., 2023). Buna karşın bitki bünyelerine en temel ağır metal girişi toprak olarak kabul edilmektedir (Sevik vd., 2026). Yapılan çalışmalar topraktaki ağır metal konsantrasyonunun yüksek olması durumunda, bu topraklarda yetişen ürünlerde de ağır metal konsantrasyonlarının yüksek olduğunu ortaya koymaktadır (Demirci vd., 2026; Sevik vd., 2026). Düzce'de yapılan çalışmalarda da bölgede Cr (Koc vd., 2024; Ozturk Pulatoglu vd., 2025), Cd (Isinkaralar vd., 2025), Pb, Al, Cu ve Ni (Isinkaralar vd., 2025; Koc vd., 2024; Koc, vd., 2025), Ba (Sevik vd., 2025), Tl (Şen, 2025), Sb (Canturk vd., 2024), As (Yaşar İsmail vd., 2025), V (Cebi Kilicoglu ve Zeren Cetin, 2024), Pd (Sevik vd., 2024) Sr ve Sn (Erdem, 2023; Kulac vd., 2025; Yiğit, 2024) gibi

insan sağlığı açısından oldukça tehlikeli olan ağır metallerin konsantrasyonlarının oldukça yüksek düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Sebzeler tarafından ağır metal alımı, su, sıcaklık, doku, pH, organik madde içeriği ve besin bulunabilirliği gibi toprak özellikleri ve sebze türlerine bağlı olarak değişmektedir (Ma vd., 2024). Çalışma sonucunda topraklardaki ağır metal içeriklerinin oldukça yüksek seviyelerde olduğu belirlenmiştir. Topraktaki ağır metal konsantrasyonlarının yüksek seviyede olması, köklerdeki konsantrasyonların da yüksek seviyelerde olmasına sebep olmaktadır (Ergül ve Kravkaz Kuşçu, 2025). Bundan dolayı topraktaki ağır metal konsantrasyonlarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Türkiye'de topraklarda Ni, Cr, As, Pb ve Cd için sınır değerler belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre bu sınır değerlerin aşılmadığı görülmektedir.

İsviçre merkezli IqAir'ın hazırladığı '2021 Dünya Hava Kirliliği' raporunun sonuçları açıklandı. 117 ülkede 6 bin 476 kentin incelendiği rapora göre Düzce, Avrupa'da hava kirliliği oranının en yüksek olduğu 5'inci il oldu. Türkiye'de sanayi yapıları daha fazla, otoyol bağlantıları içinden geçen Gebze, Kocaeli, Bursa vd., illerden farklı olarak hava kirliliğinin daha yüksek çıkmasının en önemli sebebi Düzce ovasının etrafı dağlarla çevrili bir çanak şeklinde olması ve hava kirliliğini dağıtması gereken rüzgar hızı ortalamasının 1,2 m/s olması görülmektedir (ÇŞB, 1980, s. 4).



Şekil 5.1 Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızı ve hakim yönü dağılımını gösteren harita

KAYNAKLAR

Altunbaş, S. (2023). Heavy metals concentration and availability of serpentine soils in southwestern Turkey. *Chilean Journal of Agricultural Research, 83*(3), 358-368.

Aricak, B., Cetin, M., Erdem, R., Sevik, H., & Cometen, H. (2020). The usability of Scotch pine (Pinus sylvestris) as a biomonitor for traffic-originated heavy metal concentrations in Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies, 29*(2), 1051-1057.

Canturk, U. (2023). Determining the plants to be used in monitoring the change in thallium concentrations in the air. *Cerne, 29*, 103282.

Canturk, U., Koç, İ., Erdem, R., Ozturk Pulatoglu, A., Donmez, S., Ozkazanc, N. K., Sevik, H., & Ozel, H. B. (2025). Climate-Driven Shifts in Wild Cherry (Prunus avium L.) Habitats in Türkiye: A Multi-Model Projection for Conservation Planning. *Forests, 16*(9), 1484. https://doi.org/10.3390/f16091484

Canturk, U., Koç, İ., Ozel, H. B., & Sevik, H. (2024). Identification of proper species that can be used to monitor and decrease airborne Sb pollution. *Environ Sci Pollut Res*. https://doi.org/10.1007/s11356-024-34939-7

Cebi Kilicoglu, M., & Zeren Cetin, I. (2024). Determination of the suitable biomonitors to be used in monitoring the change for reducing the concentration of V in areas with high-level of air pollution. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 113*(6), 63.

Cetin, M., Ozel, H. B., Bouzqayyah, M. M. M., Zeren, D. B., Sevik, H., Varol, T., & Canturk, U. (2026). Modeling potential habitat distribution of scots pine under climate change scenarios. *J. For. Res, 37*, 61. https://doi.org/10.1007/s11676-026-02005-2

Chen, Z., Ding, Y., Jiang, X., Duan, H., Ruan, X., Li, Z., & Li, Y. (2022). Combination of UNMIX, PMF model and Pb-Zn-Cu isotopic compositions for quantitative source apportionment of heavy metals in suburban agricultural soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 234*, 113369.

Cobanoglu, H., Sevik, H., & Koç, İ. (2023). Do annual rings really reveal Cd, Ni, and Zn pollution in the air related to traffic density? An example of the Cedar tree. *Water, Air, & Soil Pollution, 234*(2), 65.

ÇŞB, Ç. Ş. ve İ. D. B. (1980). *Türkiye Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı ve Hakim Yönü Haritası* [Mektup]. https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/parametreAnalizi/2025/5-T%C3%9CRK%C4%B0YE%20ORTALAMA%20R%C3%9CZGAR%202025.pdf, Erişim Tarihi: 11.03.2026.

Demirci, H., Sevik, H., Koc, I., Ucun Ozel, H., Erdem, R., Adiguzel, F., Imren, E., & Ozel, H. B. (2026). Organ-Based Accumulation, Translocation, and Associated Health Risk of Al, Ni, and Zn in Tomatoes, Peppers, Eggplants, Cucumbers, and Corn from an Industrial Zone in Düzce, Türkiye. *Foods*, *15*(2), 196.

Deng, W., Wang, F., & Liu, W. (2023). Identification of factors controlling heavy metals/metalloid distribution in agricultural soils using multi-source data. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *253*, 114689.

Dışbudak, H., Şevik, H., Isinkaralar, K., Isinkaralar, O., Lakestani, S., Baghani, A. N., & Bayraktar, E. P. (2026). Heavy Metal Contamination in Industrial Surface Dust: Sources, Levels, and Health Risks in Düzce City, Türkiye. *Water, Air, & Soil Pollution*, *237*(11), 677.

Düzce İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. (2025). *Faaliyet Raporu* [Mektup]. https://duzce.tarimorman.gov.tr/Belgeler/PLANVERAPOR/Duzce_Faaliyet_Raporu-2025.pdf, Erişim Tarihi: 11.02.2026

Düzce OSB. (2026). *Düzce Coğrafi Yapısı* [Mektup]. Geliş tarihi 03 Haziran 2026, gönderen https://www.duzceosb.org.tr/detay/cografi-yapisi, Erişim Tarihi: 11.06.2026.

Erdem, R. (2023). Changes in Strontium Levels in Bark and Over the Past 40 Years in the Wood of Trees Exposed to High Levels of Air Pollution. *BioResources*, *18*(4), 8020-8036.

Erdem, R., Aricak, B., Cetin, M., & Sevik, H. (2023). Change in some heavy metal concentrations in forest trees by species, organ, and soil depth. *Forestist*, *73*(3), 257-263.

Erdem, R., Koç, İ., Çobanoğlu, H., & Şevik, H. (2024). Variation of magnesium, one of the macronutrients, in some trees based on organs and species. *Forestist*, *74*(1), 84-93.

Ergül, H. A., & Kravkaz Kuşçu, İ. S. (2025). Variations in Cu, Co, Cr, Cd, and Pb Concentrations Based on Soil Depth, Plant Species, and Plant Organs at Copper Mining Sites. *BioResources*, *20*(3), 6116-6134.

Fei, X., Lou, Z., Xiao, R., Ren, Z., & Lv, X. (2022). Source analysis and source-oriented risk assessment of heavy metal pollution in agricultural soils of different cultivated land qualities. *Journal of Cleaner Production*, *341*, 130942.

Ghoma, W. E. O., Sevik, H., & Isinkaralar, K. (2023). Comparison of the rate of certain trace metals accumulation in indoor plants for smoking and non-smoking areas. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(30), 75768-75776.

Gültekin, Y., Kılıç Bayraktar, M., Sevik, H., Cetin, M., & Bayraktar, T. (2025). Optimal Vegetable Selection in Urban and Rural Areas Using Artificial Bee Colony Algorithm: Heavy Metal Assessment and Health Risk. *Journal of Food Composition and Analysis*. *139*, 107169. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.107169

Isinkaralar, K., Isinkaralar, O., Koç, İ., Özel, H. B., & Şevik, H. (2024). Assessing the possibility of airborne bismuth accumulation and spatial distribution in an urban area by tree bark: A case study in Düzce, Türkiye. *Biomass Conversion and Biorefinery, 14*(18), 22561-22572. https://doi.org/10.1007/s13399-023-04399-z

Isinkaralar, K., Isinkaralar, O., Koç, İ., Şevik, H., & Özel, H. B. (2025). Atmospheric trace metal exposure in a 60-year-old wood: A sustainable methodological approach to measurement of dry deposition. *International Journal of Environmental Research, 19*(4), 1-14.

Isleyen, M., Akpinar, A., Eren, B., & Ok, G. (2019). Heavy metal profiles of agricultural soils in Sakarya, Turkey. *Environmental Engineering Research, 24*(3), 427-433.

Ismail, M. D., Koç, İ., Erdem, R., Çobanoğlu, H., & Sevik, H. (2026). Variations in barium concentrations over time in regions with elevated air pollution. *Forestist, 76*, 0010,. https://doi.org/10.5152/forestist.2026.25010

Key, K., Kulaç, Ş., Koç, İ., & Sevik, H. (2023). Proof of concept to characterize historical heavy-metal concentrations in atmosphere in North Turkey: Determining the variations of Ni, Co, and Mn concentrations in 180-year-old Corylus colurna L.(Turkish hazelnut) annual rings. *Acta Physiologiae Plantarum, 45*(10), 120.

Koc, I., Canturk, U., Cobanoglu, H., Kulac, S., Key, K., & Sevik, H. (2025). Assessment of 40-year al deposition in some exotic conifer species in the urban air of Düzce, Türkiye. *Water, Air, & Soil Pollution, 236*(2), 76.

Koc, I., Cobanoglu, H., Canturk, U., Key, K., Kulac, S., & Sevik, H. (2024). Change of Cr concentration from past to present in areas with elevated air pollution. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *21*(2), 2059-2070.

Koc, I., Cobanoglu, H., Canturk, U., Key, K., Sevik, H., & Kulac, S. (2025). Variation of 40-year Pb deposition in some conifers grown in the air-polluted-urban area of Düzce, Türkiye. *Environmental Earth Sciences, 84*(7), 186.

Kravkaz Kuscu, I. S., Cetin, M., Yigit, N., Savaci, G., & Sevik, H. (2018). Relationship between Enzyme Activity (Urease-Catalase) and Nutrient Element in Soil Use. *Polish Journal of Environmental Studies, 27*(5), 2107-2112.

Kulac, S., Pulatoglu, A. O., Koç, İ., Sevik, H., & Ozel, H. B. (2025). Assessing Tree Species for Monitoring and Mitigating Strontium Pollution in Urban Environments. *Water Air Soil Pollut, 236*, 605. https://doi.org/10.1007/s11270-025-08244-z

Liu, P., Wu, Q., Hu, W., Tian, K., Huang, B., & Zhao, Y. (2023). Effects of atmospheric deposition on heavy metals accumulation in agricultural soils: Evidence from field monitoring and Pb isotope analysis. *Environmental Pollution, 330*, 121740.

Ma, X., Guan, D. X., Zhang, C., Yu, T., Li, C., Wu, Z., & Yang, Z. (2024). Improved mapping of heavy metals in agricultural soils using machine learning augmented with spatial regionalization indices. *Journal of Hazardous Materials*, *478*, 135407.

Mai, X., Tang, J., Tang, J., Zhu, X., Yang, Z., Liu, X., & Tang, L. (2025). Research progress on the environmental risk assessment and remediation technologies of heavy metal pollution in agricultural soil. *Journal of Environmental Sciences*, *149*, 1-20.

Mondal, S., & Sen, A. (2025). Deciphering the consequences of heavy metals and metalloid hazard in agricultural soil of West Bengal: A comprehensive soil to health risk analysis. *Science of The Total Environment*, *970*, 178976.

Özgövercikli, F. (2020). Devrekani İlçesi Tarım Alanlarında Toprak Özelliklerinin Değerlendirilmesi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sürüdülebilir Tarım ve Tabii Bitki Kaynakları A.B.D. Yüksek Lisans Tezi, 75 sayfa

Ozturk Pulatoglu, A., Koç, İ., Özel, H. B., Şevik, H., & Yıldız, Y. (2025). Using trees to monitor airborne Cr pollution: Effects of compass direction and woody species on Cr uptake during phytoremediation. *BioResources*, *20*(1), 121-139.

Rashid, A., Schutte, B. J., Ulery, A., Deyholos, M. K., Sanogo, S., Lehnhoff, E. A., & Beck, L. (2023). Heavy metal contamination in agricultural soil: Environmental pollutants affecting crop health. *Agronomy*, *13*(6), 1521.

Savas, D. S., Sevik, H., Isinkaralar, K., Turkyilmaz, A., & Cetin, M. (2021). The potential of using *Cedrus atlantica* as a biomonitor in the concentrations of Cr and Mn. *Environmental Science and Pollution Research, 28*(39), 55446–55453. https://doi.org/10.1007/s11356-021-14826-1

Sen, G., Güngör, E., & Şevik, H. (2018). Defining the effects of urban expansion on land use/cover change: A case study in Kastamonu, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment, 190*(8), 454.

Sevik, H., Koc, I., Ucun Ozel, H., Adiguzel, F., Erdem, R., Imren, E., Ozturk Pulatoglu, A., & Ozel, H. B. (2026). Changes in Cr and Cd Concentrations in Certain Crops Based on Species and Organ, and Their Translocation Within Plants. *Horticulturae*, *12*(4), 400. https://doi.org/10.3390/horticulturae12040400

Sevik, H., Koç, İ., & Cobanoglu, H. (2024). Determination of Some Exotic Landscape Species As Biomonitors That Can Be Used for Monitoring and Reducing Pd Pollution in the Air. *Water Air Soil Pollut*, *235*, 615. https://doi.org/10.1007/s11270-024-07429-2

Sevik, H., Koç, İ., Cregg, B., & Nzokou, P. (2025). Tissue-specific barium accumulation in five conifer species: A 40-year dendrochemical assessment from a polluted urban environment. *Environmental Geochemistry and Health*, *47*(9), 1-13.

Shaheen, M. E., Tawfik, W., Mankola, A. F., Gagnon, J. E., Fryer, B. J., & El-Mekawy, F. M. (2023). Assessment of contamination levels of heavy metals in the agricultural soils using ICP-OES. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, *32*(6), 665-691.

Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T., & Niazi, N. K. (2017). Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of Hazardous Materials*, *325*, 36-58.

Sharafi, S., & Salehi, F. (2025). Comprehensive assessment of heavy metal (HMs) contamination and associated health risks in agricultural soils and groundwater proximal to industrial sites. *Scientific Reports*, *15*(1), 7518.

Shi, T., Zhang, J., Shen, W., Wang, J., & Li, X. (2022). Machine learning can identify the sources of heavy metals in agricultural soil: A case study in northern Guangdong Province, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *245*, 114107.

Sun, Y., Chen, S., Dai, X., Li, D., Jiang, H., & Jia, K. (2023). Coupled retrieval of heavy metal nickel concentration in agricultural soil from spaceborne hyperspectral imagery. *Journal of Hazardous Materials*, *446*, 130722.

Şen, S. G. (2025). Long-term Monitoring of Thallium Uptake and Phytoremediation Potential of Robinia pseudoacacia. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, *13*(10), 3026-3031.

Şevik, H., Yildiz, Y., & Ozel, H. B. (2024). Phytoremediation and Long-term Metal Uptake Monitoring of Silver, Selenium, Antimony, and Thallium by Black Pine (Pinus nigra Arnold)". *BioResources*, *19*(3), 4824-4837.

Şimşek, T., Kalkancı, N., & Büyük, G. (2021). Tarım topraklarındaki ağır metallerin kirlilik düzeylerinin belirlenmesi: Osmaniye örneği. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, *26*(1), 106-116.

Tomczyk, P., Wdowczyk, A., Wiatkowska, B., & Szymańska-Pulikowska, A. (2023). Assessment of heavy metal contamination of agricultural soils in Poland using contamination indicators. *Ecological Indicators*, *156*, 111161.

Ullah, N., Ur Rehman, M., Ahmad, B., Ali, I., Younas, M., Aslam, M. S., & Rezakazemi, M. (2022). Assessment of heavy metals accumulation in agricultural soil, vegetables and associated health risks. *Plos One*, *17*(6), 0267719.

Wan, Y., Liu, J., Zhuang, Z., Wang, Q., & Li, H. (2024). Heavy metals in agricultural soils: Sources, influencing factors, and remediation strategies. *Toxics*, *12*(1), 63.

Wang, C. C., Zhang, Q. C., Yan, C. A., Tang, G. Y., Zhang, M. Y., Ma, L. Q., & Xiang, P. (2023). Heavy metal (loid) s in agriculture soils, rice, and wheat across China: Status assessment and spatiotemporal analysis. *Science of the Total Environment*, *882*, 163361.

Wen, M., Ma, Z., Gingerich, D. B., Zhao, X., & Zhao, D. (2022). Heavy metals in agricultural soil in China: A systematic review and meta-analysis. *Eco-Environment & Health*, *1*(4), 219-228.

Xia, Y., Liu, Y., Chen, T., Xu, Y., Qi, M., Sun, G., & Liu, C. (2024). Combining Cd and Pb isotope analyses for heavy metal source apportionment in facility agricultural soils around typical urban and industrial areas. *Journal of Hazardous Materials*, *466*, 133568.

Yang, J., Sun, Y., Wang, Z., Gong, J., Gao, J., Tang, S., & Duan, Z. (2022). Heavy metal pollution in agricultural soils of a typical volcanic area: Risk assessment and source appointment. *Chemosphere*, *304*, 135340.

Yao, C., Yang, Y., Li, C., Shen, Z., Li, J., Mei, N., & Wang, D. (2024). Heavy metal pollution in agricultural soils from surrounding industries with low emissions: Assessing contamination levels and sources. *Science of the Total Environment*, *917*, 170610.

Yaşar İsmail, T. S., İsmail, M. D., Çobanoğlu, H., Koç, İ., & Sevik, H. (2025). Monitoring arsenic concentrations in airborne particulates of selected landscape plants and their potential for pollution mitigation. *Forestist*, *75*, 1-6,. https://doi.org/10.5152/forestist.2024.24071

Yayla, E. E., Sevik, H., & Isinkaralar, K. (2022). Detection of landscape species as a low-cost biomonitoring study: Cr, Mn, and Zn pollution in an urban air quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, *194*(10), 687.

Yıldız, Ü. (2023). Ecological evaluation of uncommon heavy metals contamination in the soils of the central province of Uşak, Western Turkiye. *Journal of Scientific Reports-A*, *052*, 441-456.

Yigit, N., Mutevelli, Z., Sevik, H., Onat, S. M., Ozel, H. B., Cetin, M., & Olgun, C. (2021). Identification of Some Fiber Characteristics in Rosa sp. And Nerium oleander L. Wood Grown under Different Ecological Conditions. *BioResources*, *16*(3), 5862-5874. https://doi.org/10.15376/biores.14.3.7015-7024

Yiğit, N. (2024). Determination of sixteen woody species' ability to sequester Sr, Mo, and Sn pollutants. *BioResources*, *19*(4), 842-7855. https://doi.org/10.15376/biores.19.4.7842-7855

Zhou, Y., Jiang, D., Ding, D., Wu, Y., Wei, J., Kong, L., & Deng, S. (2022). Ecological-health risks assessment and source apportionment of heavy metals in agricultural soils around a super-sized lead-zinc smelter with a long production history, in China. *Environmental Pollution*, *307*, 119487.

Zhu, Y., An, Y., Li, X., Cheng, L., & Lv, S. (2024). Geochemical characteristics and health risks of heavy metals in agricultural soils and crops from a coal mining area in Anhui province, China. *Environmental Research*, *241*, 117670.