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

HAVA KİRLİLİĞİNİN YÜKSEK DÜZEYDE OLDUĞU BÖLGELERDE YETİŞTİRİLEN BAZI SEBZELERDE AĞIR METAL KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

HARUN DEMİRCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PROF. DR. HAKAN ŞEVİK

MAYIS - 2026
KASTAMONU

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.

Harun DEMİRCİ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAVA KİRLİLİĞİNİN YÜKSEK DÜZEYDE OLDUĞU BÖLGELERDE YETİŞTİRİLEN BAZI SEBZELERDE AĞIR METAL KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

HARUN DEMİRCİ

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

DANIŞMAN:PROF. DR. HAKAN ŞEVİK

Dünyadaki canlı yaşamın kaynağı olan bitkilerin element içerikleri, bitki türü ve çevre faktörlerinin etkisiyle büyük oranda değişebilmektedir. Özellikle insan sağlığı açısından zararlı olabilen ağır metallerin bazıları düşük konsantrasyonlarda bile insan sağlığı açısından zararlı iken bazıları besin elementi olarak gereklidir. Ancak yapılan çalışmalar besin elementi olarak gerekli ağır metallerin dahi yüksek konsantrasyonlarda insanlar için zararlı olabildiğini ortaya koymaktadır. Özellikle hava kirliliğinin yüksek düzeyde olduğu bölgelerde yetişen ve gıda olarak tüketilen bitkilerdeki ağır metal konsantrasyonları, ciddi sağlık endişelerini de beraberinde getirmektedir. Bundan dolayı ağır metal kirliliğinin yüksek düzeyde olduğu bölgelerde yetişen sebze ve meyvelerdeki ağır metal konsantrasyonları dikkatle incelenmelidir. Bu çalışma kapsamında Avrupa'nın en kirli şehirlerinden olan ve ağır metal kirliliğinin yüksek düzeyde olduğu bilinen Düzce'de sanayi bölgesi yakınında yetiştirilen domates, biber, patlıcan, salatalık ve mısır bitkilerinde Al, Ni, Zn, Bi, Li, Au, Si, Na, Mo, Pt, Ti, Mg, K, P ve S elementlerinin konsantrasyonlarının tür ve organ bazında değişimi değerlendirilmiştir. Ayrıca topraktaki konsantrasyonları da değerlendirilen bu elementlerden Al, Ni ve Zn potansiyel zararları dolayısıyla uluslararası kuruluşlarca öncelikli kirletici listesinde yer alan ağır metaller, Mg, K, P ve S bitkiler için mutlak gerekli besin elementleri; Na ve Mo esansiyel besin elementleri; Ti, Au, Pt, Bi ve Li biyolojik rolü sınırlı veya belirsiz elementler olarak tanımlanmaktadır.

Çalışma sonucunda bütün elementlerin tür ve organ bazında önemli düzeyde değiştiği belirlenmiştir. Çalışma sonucunda özellikle insan sağlığı açısından son derece zararlı olabilen Al kirliliğinin sınır değerlerin çok üzerinde olduğu ve bitkilerin meyveleri de dahil bütün organlarında, WHO ve EU tarafından belirlenen sınır değerlerin çok üzerinde birikim yaptığı belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında elementlerin bitkilerin organlarındaki biyokonsantrasyon faktörü (BCF) ve translokasyon faktörü (TF) de hesaplanmış, böylece her bir elementin bitkilerin hangi organında daha fazla birikim yaptığı belirlenmeye çalışılmıştır. TF değerlerinin özellikle Ti, Au, Pt, Bi ve Li gibi elementlerde oldukça düşük seviyelerde olup 1'i genellikle aşmazken P, K ve S gibi besin elementlerinde oldukça yüksek düzeyde olduğu, P için 3,589'a, K için 4,631'e ve S için 8,294'e ulaşan değerler tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Sebze, Ağır Metal, Biyobirikim, Translokasyon

Mayıs 2026, 59 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

DETERMINATION OF HEAVY METAL CONCENTRATIONS IN SOME VEGETABLES GROWN IN REGIONS WITH HIGH LEVELS OF AIR POLLUTION

HARUN DEMİRCİ

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF SUSTAINABLE AGRICULTURE AND NATURAL PLANT RESOURCES

SUPERVISOR:PROF. DR. HAKAN ŞEVİK

The elemental content of plants, the source of life on Earth, can vary greatly depending on plant species and environmental factors. Some heavy metals, which can be harmful to human health, are detrimental even at low concentrations, while others are essential nutrients. However, studies show that even essential heavy metals can be harmful to humans at high concentrations. Heavy metal concentrations in plants grown and consumed as food in areas with high levels of air pollution raise serious health concerns. Therefore, heavy metal concentrations in vegetables and fruits grown in areas with high levels of heavy metal pollution should be carefully examined. This study evaluated the variation in concentrations of Al, Ni, Zn, Bi, Li, Au, Si, Na, Mo, Pt, Ti, Mg, K, P, and S elements in tomato, pepper, eggplant, cucumber, and corn plants grown near an industrial zone in Düzce, one of Europe's most polluted cities known for high levels of heavy metal pollution, on a species and organ basis. Furthermore, among these elements whose concentrations in the soil were also evaluated, Al, Ni, and Zn are heavy metals included in the priority pollutant list by international organizations due to their potential harms; Mg, K, P, and S are absolutely necessary nutrients for plants; Na and Mo are essential nutrients; and Ti, Au, Pt, Bi, and Li are defined as elements with limited or uncertain biological roles.

The study determined that all elements varied significantly at the species and organ level. The study found that Al pollution, which can be extremely harmful to human health, was far above the limit values and accumulated in all organs of plants, including fruits, far exceeding the limit values set by the WHO and the EU.

The study also calculated the bioconcentration factor (BCF) and translocation factor (TF) of each element in the plant organs, thus attempting to determine in which plant organ each element accumulated more. TF values were found to be quite low for elements such as Ti, Au, Pt, Bi, and Li, generally not exceeding 1, while they were quite high for nutrient elements such as P, K, and S, reaching values of 3.589 for P, 4.631 for K, and 8.294 for S.

KEYWORDS: Vegetables, Heavy Metals, Bioaccumulation, Translocation

May 2026, 59 Pages

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sürecinde bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, her aşamada desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Hakan ŞEVİK (Kastamonu Üniversitesi) hocama en içten teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans eğitim hayatım boyunca derslerimde bana katkı sağlayan, görüş ve önerileriyle bana değer katan Sürdürülebilir Tarım ve Tabi Kaynakları Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Osman Sabri KESBİÇ hocama ve Dr. Öğr. Üyesi Durmuş Ali ÇELİK hocama teşekkür ederim. Beni bu yola sevk eden Şube Müdürüm Uğur ERTOP'a (Kastamonu İl Tarım ve Orman Müdürlüğü) ben eğitimdeyken bana destek olan değerli mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca, bütün eğitim hayatım boyunca ilkokuldan üniversiteye kadar maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim aileme; özellikle beni yüksek lisans sürecimde her zaman destekleyen ve teşvik eden sevgili eşim Pınar UZUN DEMİRCİ'ye sabırları, anlayışları ve sonsuz destekleri için minnettarım.

Bu çalışma Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından KÜ-BAP03/2025-03 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Harun DEMİRCİ

Kastamonu, 2026

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI ..... **ii**
TAAHHÜTNAME ..... **iii**
ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **viii**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **x**
1. GİRİŞ **1**
2. LİTERATÜR ÖZETİ **3**
3. MATERYAL VE YÖNTEM **11**
4. BULGULAR **14**
4.1 Al (ppm) Konsantrasyonunun Değişimi 14
4.2 Ni (ppb) Konsantrasyonunun Değişimi 15
4.3 Zn (ppb) Konsantrasyonunun Değişimi 17
4.4 Bi (ppb) Konsantrasyonunun Değişimi 19
4.5 Li (ppb) Konsantrasyonunun Değişimi 20
4.6 Au (ppb) Konsantrasyonunun Değişimi 22
4.7 Si (ppm) Konsantrasyonunun Değişimi 23
4.8 Na (ppm) Konsantrasyonunun Değişimi 25
4.9 Mo (ppb) Konsantrasyonunun Değişimi 27
4.10 Pt (ppm) Konsantrasyonunun Değişimi 29
4.11 Ti (ppb) Konsantrasyonunun Değişimi 31
4.12 Mg (ppm) Konsantrasyonunun Değişimi 32
4.13 K (ppm) Konsantrasyonunun Değişimi 34
4.14 P (ppm) Konsantrasyonunun Değişimi 36
4.15 S (ppm) Konsantrasyonunun Değişimi 38
5. SONUÇ VE TARTIŞMA **40**
6. ÖNERİLER **47**
KAYNAKLAR **49**
ÖZGEÇMİŞ **59**

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 4.1 Al (ppm) konsantrasyonunun değişimi 14
Tablo 4.2 Al için BCF değerleri 14
Tablo 4.3 Al için TF değerleri 15
Tablo 4.4 Ni (ppb) konsantrasyonunun değişimi 15
Tablo 4.5 Ni için BCF değerleri 16
Tablo 4.6 Ni için TF değerleri 17
Tablo 4.7 Zn (ppb) konsantrasyonunun değişimi 17
Tablo 4.8 Zn için BCF değerleri 18
Tablo 4.9 Zn için TF değerleri 18
Tablo 4.10 Bi (ppb) konsantrasyonunun değişimi 19
Tablo 4.11 Bi için BCF değerleri 19
Tablo 4.12 Bi için TF değerleri 20
Tablo 4.13 Li (ppb) konsantrasyonunun değişimi 20
Tablo 4.14 Li için BCF değerleri 21
Tablo 4.15 Li için TF değerleri 22
Tablo 4.16 Au (ppb) konsantrasyonunun değişimi 22
Tablo 4.17 Au için BCF değerleri 23
Tablo 4.18 Au için TF değerleri 23
Tablo 4.19 Si (ppm) konsantrasyonunun değişimi 24
Tablo 4.20 Si için BCF değerleri 24
Tablo 4.21 Si için TF değerleri 25
Tablo 4.22 Na (ppm) konsantrasyonunun değişimi 25
Tablo 4.23 Na için BCF değerleri 26
Tablo 4.24 Na için TF değerleri 27
Tablo 4.25 Mo (ppb) konsantrasyonunun değişimi 27
Tablo 4.26 Mo için BCF değerleri 28
Tablo 4.27 Mo için TF değerleri 28
Tablo 4.28 Pt (ppm) konsantrasyonunun değişimi 29
Tablo 4.29 Pt için BCF değerleri 30
Tablo 4.30 Pt için TF değerleri 30
Tablo 4.31 Ti (ppb) konsantrasyonunun değişimi 31
Tablo 4.32 Ti için BCF değerleri 31
Tablo 4.33 Ti için TF değerleri 32
Tablo 4.34 Mg (ppm) konsantrasyonunun değişimi 33
Tablo 4.35 Mg için BCF değerleri 33
Tablo 4.36 Mg için TF değerleri 34
Tablo 4.37 K (ppm) konsantrasyonunun değişimi 34
Tablo 4.38 K için BCF değerleri 35
Tablo 4.39 K için TF değerleri 35
Tablo 4.40 P (ppm) konsantrasyonunun değişimi 36
Tablo 4.41 P için BCF değerleri 37
Tablo 4.42 P için TF değerleri 37
Tablo 4.43 S (ppm) konsantrasyonunun değişimi 38
Tablo 4.44 S için BCF değerleri 39

Tablo 4.45 S için TF değerleri 39

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Al : Alüminyum
Ni : Nikel
Zn : Çinko
Bi : Bizmut
Li : Lityum
Au : Altın
Si : Silisyum
Na : Sodyum
Mo : Molibden
Pt : Platin
Ti : Titanyum
Mg : Magnezyum
K : Potasyum
P : Fosfor
S : Kükürt
C : Karbon
H : Hidrojen
O : Oksijen
N : Azot
Ca : Kalsiyum
Fe : Demir
Mn : Manganez
Cu : Bakır
B : Bor
Cl : Klor
K^+ : Potasyum iyonu
Na^+ : Sodyum iyonu
Mg^{2+} : Magnezyum iyonu
Ca^{2+} : Kalsiyum iyonu
SO_4^{2-} : Sülfat iyonu
Ppm : Milyonda bir (mg/kg)
ppb : Milyarda bir (µg/kg)
µg/m³ : Metreküpte mikrogram

Kısaltmalar

BCF : Biyokonsantrasyon Faktörü
TF : Translokasyon Faktörü
WHO : Dünya Sağlık Örgütü
EU : Avrupa Birliği
EPA : Çevre Koruma Ajansı (ABD)
ATSDR : Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıt Ajansı
ICP-OES : İndüktif Eşleşmiş Plazma – Optik Emisyon Spektroskopisi
SPSS : İstatistiksel Paket Programı
PM2,5 : 2,5 mikrometreden küçük partikül madde
IARC : Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı

1. GİRİŞ

Yetiştirildikleri ortamlarda güneş ışığı ve klorofil yardımıyla fotosentez yapabilen bitkiler, pek çok ekolojik, ekonomik ve sosyal fonksiyonu yerine getirirken aynı zamanda diğer canlılar için gerekli olan besini üretebilmektedirler. Bu özellikleri dolayısıyla bitkiler besin piramidinin temelini oluştururlar ve dünyadaki bütün canlı yaşamı bitkilere bağımlıdır (Kalaycı vd., 2025; Kuşçu, 2025). Bitki gelişimi genetik yapı ile çevresel faktörlerin karşılıklı etkileşimi altında şekillenmektedir (Ghamkhar vd., 2025; Wei vd., 2025). Çevresel faktörler içerisinde en önemlileri de klimatik (Cantürk vd., 2025; Cetin vd., 2026; Ileke ve Babatunde, 2025) ve edafik (Şevik vd., 2024) faktörlerdir.

Bu faktörler bitki gelişimini belirlediği gibi bitkinin besin içeriğini de belirlemektedir. Çünkü ortamda bulunan çeşitli elementler, ortamdaki konsantrasyonları ile orantılı olarak bitki organlarında birikebilmektedir. Ancak bu birikim her bitki ve organında farklı düzeyde olmaktadır (Gültekin vd., 2025; Kulac vd., 2025).

Ortamdaki konsantrasyonlarına bağlı olarak bitki organlarında birikim yapan elementlerin bir kısmı bitki gelişimi için gerekli iken bir kısmı bitkiler için zararlı olabilmektedir. Elementlerden C, H, O, N, P, K, Ca, Mg ve S makro besin elementleri, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo ve Cl mikro besin elementleri olup, bu elementler bitki gelişimi için mutlak gerekli elementlerdendir (Ergül, 2025). Bazı elementler ise toprakta bulunmakla birlikte bitkiler için gerekli değildir. Elementler içerisinde bitkiler de dahil olmak üzere canlıların sağlığı açısından en önemli elementler ağır metallerdir (Koç vd., 2026a).

Ağır metaller bitkilerin sağlığını ve gelişimini etkilediği gibi bu bitkileri gıda olarak tüketen canlıların, özellikle de insanların sağlığını da birinci derecede etkileyebilmektedir. Çünkü bazı ağır metaller düşük konsantrasyonlarda bile insan sağlığı açısından tehlikeli, kanserojen ve hatta ölümcül olabilirken besin elementi olarak gerekli olanları dahi yüksek konsantrasyonlarda zararlı olabilmektedir (Gültekin vd., 2025; Key vd., 2023; Sevik vd., 2024). Özellikle bazı elementler potansiyel zararları dolayısıyla öncelikli olarak değerlendirilmesi gereken

elementlerdir. Bu elementler EPA ve ATSDR gibi uluslararası kuruluşlarca öncelikli kirletici listesine dahil edilmişlerdir. Sb, As, Be, Cr, Cd, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Ag, Tl ve Zn EPA tarafından öncelikli kirletici listesine alınmış iken ATSDR bu elementlere ilave olarak Al, Ba, Co, Mn, Pd, Pu, Sr, Th, U ve V'yi öncelikli kirletici listesine almış ancak Ag'yi bu listeye dahil etmemiştir (Koç vd., 2024a; leadlab, 2025).

İnsan sağlığı açısından potansiyel zararları dolayısıyla bu elementlerin özellikle havadaki ve gıdalardaki konsantrasyonlarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Çünkü bu elementler solunum veya gıdalar yoluyla doğrudan insan vücuduna alındıklarında sağlık açısından çok tehlikeli olabilmektedirler (Ghoma vd., 2023; Gültekin vd., 2025). Bu sebeple bu elementlerin konsantrasyonlarının yüksek düzeyde olduğu bölgelerde yetişen ve gıda olarak tüketilen sebzelerdeki konsantrasyonların belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada da hem besin elementi olarak gerekli olan elementlerin, hem de insan sağlığı açısından son derece tehlikeli olabilen bazı ağır metallerin kirli alanlarda yetiştirilen bazı sebzelerin organlarında birikimi ve translokasyonu değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Çalışma kapsamında toplam 15 adet element değerlendirilmiştir. Bu elementler Al, Ni, Zn, Bi, Li, Au, Si, Na, Mo, Pt, Ti, Mg, K, P ve S'dir. Bu bölümde, çalışmada değerlendirilen elementler konusunda kısaca bilgi verilmeye çalışılmıştır.

Çalışmaya konu elementlerden Alüminyum (Al), çevresel olarak her yerde bulunur ve yer kabuğunda en çok bulunan (yaklaşık %8) ikinci elementtir (Niu, 2018). Al'un ortamdaki konsantrasyonları kömürün yakılması, madencilik faaliyetleri, atık yakma ve motorlu araç egzozu gibi antropogenik kaynaklı olarak sürekli artmaktadır (Alasfarn ve Isaifan 2021). Alüminyum insan vücuduna solunum, sindirim veya cilt yoluyla alınabilmektedir. Alüminyum bir nörotoksiktir. Gastrointestinal sistem ve akciğerlerden emilebilir. İnsan vücuduna alındığında merkezi sinir sistemini bozabilmekte ve diyaliz ensefalopatisi, osteomalaz ve mikrositik anemiye sebep olabilmektedir (Becaria, vd. 2002; Koç vd., 2025a). Ayrıca beyin dokusunda biriken alüminyumun nörolojik ve bilişsel bozukluklara sebep olabilmektedir (Osińska vd. 2004). Alzheimer hastalığının görülmesinin alüminyum ile ilişkili olduğu belirlenmiş, vücuttaki yüksek miktardaki alüminyumun damar sistemi ile beyne taşınarak beyin iltihabı ile birlikte kişinin ölümüne sebebiyet verebildiği belirlenmiştir (Koç vd., 2025a; Mold vd. 2019; Niu, 2018). Karaciğerde alüminyum birikmesinin ise kolestaz yol açtığı, kan hücrelerinin ömrünün kısalması veya bozulmuş eritropoez süreci gibi bir dizi hematolojik değişikliklerden sorumlu olduğu tespit edilmiştir (Osińska vd. 2004). Bu sebeple gıda olarak tüketilen bitkilerdeki Al konsantrasyonunun belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında değerlendirilen bir diğer element de nikeldir (Ni). Ni, kayaçlarda hem serbest metal olarak hem de demir gibi diğer metallerle kompleks halinde bulunur. Ni, çevreye büyük oranda fosil yakıt yakma, araç emisyonları, madencilik, eritme ve elektro kaplama gibi insan faaliyetleri sonucunda yayılmaktadır (Rehman vd., 2021). Ni, insan sağlığı açısından en tehlikeli elementlerden birisi olup, IARC (The International Agency for Research on Cancer), Ni bileşiklerini Grup 1'de (insanlar için kanserojen) ve Ni ve alaşımlarını Grup 2B'de (insanlar için olası

kanserojen) sınıflandırmıştır. Ni'nin astım, kardiyovasküler hastalıklar, akciğer fibrozu, kontakt dermatit, cilt tahrişi, akciğer, mide ve böbrek hasarı, kardiyovasküler hastalıklar, akciğer fibrozu, baş ağrıları, gastrointestinal belirtiler gibi çeşitli tıbbi sorunlara neden olabileceği bildirilmiştir (Genchi vd., 2020; Koç vd., 2024a; leadlab, 2025).

Çinko (Zn) insanlar için toksik bir element olup Zn toksisistesi durumunda mide bulantısı, kusma, ishal, iştahsızlık, mide krampları, baş ağrıları, bağışıklık sisteminin zayıflaması, hazımsızlık gibi semptomlar görülebilmektedir (leadlap, 2025).

Bizmut (Bi) V. grup elementidir ve diyamanyetiktir. 2017 yılında Avrupa Komisyonu tarafından zararlı bir yan ürün ve kritik bir mineral olarak sınıflandırılmıştır. Bununla birlikte, kimya endüstrisinde ilaç, boya ve çözücü alanlarındaki ekonomik önemi nedeniyle yaygın olarak temel bir metal olarak kullanılmaktadır (Isinkaralar vd., 2024).

Lityum (Li) alkali bir metaldir ve Dünya kabuğunda en bol bulunan 27. elementtir. Özellikle mika, silikat ve fosfat kayalarından kaynaklanan topraklarda eser miktarda bulunur. Toprakta Li, kaynak malzemeye veya antropojenik aktiviteye bağlı olarak değişen konsantrasyonlarda bulunur. Diğer bazlardan daha küçük bir hidratlanmış iyonik yarıçapa sahip olduğu için, Li, bitki metabolizmasında önemli rol oynayan diğer elementlere (K+, Mg2+ ve Ca2+ gibi) kıyasla bitkiler için daha yüksek çözünürlüğe ve kullanılabilirliğe sahiptir. Bu nedenle, topraktaki Li konsantrasyonunun artması, elementin bitkiler tarafından emilimini artırabilir ve insan gıda zincirine ulaşmasını sağlayabilir. Li, dizüstü bilgisayarlar ve akıllı telefonlar gibi elektronik cihazlar için yüksek performanslı pillerin üretimindeki olağanüstü rolü nedeniyle son birkaç on yılda önemli ölçüde artmıştır (Macedo vd., 2024).

Altın (Au) genel olarak, sıfır besin değerine sahip olarak tanımlanmaktadır. Metalik altın toksisiteye neden olmaz, ancak yüksek konsantrasyonlardaki altın çözeltileri toksisiteye neden olabilir, bitki büyümesini olumsuz etkileyebilir ve fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeylerde değişikliklere yol açabilir. Bununla birlikte, daha yüksek konsantrasyonlarda Au3+'ün bazı bitkilerde kök büyümesi üzerindeki

engelleyici etkileri tespit edilmiş genel olarak bitkilerde büyüme özelliklerinde azalmaya sebep olduğu tespit edilmiştir (Siddiqi ve Husen, 2016).

Bitki büyümesi ve gelişimi için silisyum (Si) temel olmayan bir element olarak kabul edilir. Bununla birlikte, Si'nin optimum düzeyde sağlanması bitkinin aşırı sıcaklık, UV radyasyonu, metal toksisitesi, besin eksikliği, kuraklık, tuzluluk, patojen ve mantar saldırısı gibi çeşitli abiyotik ve biyotik streslere karşı toleransını artırdığı için faydalı bir elementtir (Shen vd. 2010; Siddiqui vd. 2023) Silika, bitki büyümesi, verim ve ürün kalitesi, fotosentez ve azot fiksasyonunda önemli bir rol oynar. Silika, dokuları daha güçlü ve sert hale getirerek bitkiye güç sağlar ve çeşitli temel bileşikleri düzenleyerek hastalıklara karşı direnci artırır. Silika, yaprağın epidermisine birikmesi nedeniyle UV toleransını artırır, bu da bitkileri UV ışınlarından korur ve böylece membran hasarlarını azaltır. Silika, kuraklık koşullarında bitki-su ilişkisini korur, epidermis üzerinde çift katmanlı Si oluşturarak terleme yoluyla su kaybını azaltır ve böylece kuraklık stresine karşı tolerans sağlar. Silika ayrıca, SOD ve katalaz (CAT) gibi antioksidan enzimlerin aktivitesini artırarak tuz stresine karşı direnç sağlar ve membran oksidatif hasarını önler (Kaur vd., 2023).

Sodyum (Na), iyonları toksik etkileri nedeniyle hücre zarının destabilizasyonuna ve protein bozulmasına yol açar. Ayrıca, Na'un sebep olduğu tuz stresi bitkilerde çeşitli fizyolojik ve metabolik değişikliklere, tohum çimlenme davranışına, fotosenteze, diğer biyosentetik süreçlerin inhibisyonuna ve büyüme azalmasına neden olur. Kök-toprak arayüzünde daha yüksek ozmotik basınçlarda, yapraklarda Na+ birikiminin neden olduğu etki daha yavaş gerçekleşir. Bu, yaprak genişlemesinin azalması ve yan tomurcuk oluşumunun engellenmesiyle birlikte sürgün büyümesinin azalmasına yol açar. Dahası, Na+ gibi iyonların artan seviyeleri, iyon homeostazının bozulması ve bitki büyümesi ve metabolizması için gerekli olan temel besin maddelerinin bulunmaması nedeniyle bitkilerde iyonik toksisiteyi tetikler. Tuz stresi, bitki büyümesini ve gelişimini etkileyen önemli bir çevresel strestir. Tuz stresi, hücre içi ozmotik basıncı artırır ve sodyumun toksik seviyelere kadar birikmesine neden olabilir. Diğer abiyotik stresler gibi, tuz stresi de bitki büyümesini ve üremesini birçok yönden olumsuz etkiler. Besin ve hormonal dengesizliklere, iyon toksisitesine, oksidatif ve ozmotik strese ve bitkinin hastalıklara karşı duyarlılığının artmasına neden

olur. Bununla birlikte, bitkiler tuz stresi nedeniyle zarar görebilir veya hatta ölebilir (Hasanuzzaman ve Fujita, 2022).

Molibden (Mo), bitkiler için gerekli bir iz elementtir. Mo, organik proteinin ayrılmaz bir parçası olarak bulunur ve molibden kofaktörü (MoCo) olarak bilinir; bu kofaktör, bitkilerde Mo gerektiren enzimlere bağlanır. Bitkilerde aldehit oksidaz, ksantin dehidrojenaz, mitokondriyal, amidoksim redüktaz, nitrat redüktaz ve sülfit oksidaz Mo gerektiren enzimlerdir. Bu enzimler, pürin bozunumu, hormonal sentez, azot metabolizması ve sülfit uzaklaştırılmasında rol oynar. Mo'nun optimum düzeyde sağlanması, bitkilerde kuraklık, tuzluluk ve soğuk gibi çeşitli streslere karşı toleransı artırır (Kaur vd., 2023).

Platin (Pt) özellikle nanopartikül olarak otomotiv ve tıp endüstrilerindeki yaygın kullanımı nedeniyle çevrede giderek artmaktadır. Farklı boyutlardaki Pt alım mekanizması ve bitkilerde Pt kaynaklı fitotoksisite ile ilişkisi hala belirsizliğini korumaktadır. Yapılan çalışmalarda iyonomik sonuçlar, Pt birikiminin sürgün iyonomunda element homeostazını tetiklediğini ortaya koymuştur. Pirinç sürgünlerinde Pt konsantrasyonu ile Fe ve B birikimi arasında önemli bir pozitif korelasyon gözlemlenmiştir (Zhou vd., 2023).

Atom numarası 22 ve atom ağırlığı 47,88 olan titanyum (Ti), Dünya kabuğunda en bol bulunan dokuzuncu elementtir ve kabuğun molce yaklaşık %0,25'ini ve ağırlıkça %0,57'sini oluşturur. Ti, demirden (Fe) sonra en bol bulunan ikinci geçiş metalidir ve elementel bolluğu Fe'den yaklaşık 5 kat daha az ve bakırdan (Cu) 100 kat daha fazladır. En önemli bileşik, esas olarak boyalarda kullanılan TiO2'dir. Bitkilerde Ti'nin biyolojik rolü 100 yılı aşkın süredir incelenmektedir. Yapılan çalışmalar optimum Ti seviyelerinin bitkilerin yeşil rengin yoğunluğunu, büyüme ve gelişimini artırdığını göstermiştir. Ti kompleksi içeren Tytanit® adlı ticari bir ürün, Orta ve Doğu Avrupa ülkelerinde mahsul üretimini iyileştirmek için geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Ti ayrıca Çin'de mahsul üretimi için faydalı bir element olarak kullanılmıştır (Lyu vd., 2017).

Bitkiler için gerekli makro besin maddelerinden biri olan magnezyum (Mg), gezegendeki en bol bulunan sekizinci elementtir. Mg, bitki gelişimi için temel

elementtir. Tipik bir Mg eksikliği belirtisi, yapraklarda damarlar arası kloroz oluşmasına neden olur. Yüksek bitkilerde, çok sayıda tehlikeli biyokimyasal ve fizyolojik süreci etkiler ve eksikliği bitki gelişimini engeller (Erdem vd., 2024; Tian vd., 2021; Xie vd., 2021). Mg, klorofil molekülünün merkezi atomu olarak hareket ettiğinden, kloroz gelişimi klorofilin önceden parçalanmasını gerektirir. Mg bu moleküle sıkıca yapıştığı için, kloroz Mg eksikliğine geç bir yanıttır. Mg ile iyi beslenen bitkilerde, toplam Mg'nin sadece yaklaşık %20'si klorofile yapışırken, geri kalan yaklaşık %80'i daha hareketli formlardadır (Gransee ve Führs, 2013). Mg, bitkiler için temel makro besin maddelerinden biridir ve özellikle klorofildeki anahtar atom olarak fotosentezde olmak üzere çeşitli biyokimyasal aktivitelerde çok önemli bir rol oynar. Hem düzenleyici bir özellik hem de yapısal bir bileşen olarak Mg, bitkilerin daha fazla azot kullanımı, fotosentetik verimlilik ve stres direncine ulaşmasına yardımcı olur. Bitkiler gelişimleri için belirli bir Mg konsantrasyonuna ihtiyaç duyarlar ve Mg birikimi, taşınması ve detoksifikasyonundan sorumlu çeşitli anahtar genler tanımlanmıştır (Erdem vd., 2024; Tian vd., 2021; Wang vd., 2020).

Potasyum (K), bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için gerekli bir elementtir (Pramanik vd., 2019). Hayati bir makro besin elementi olan K, osmoregülasyon, membran potansiyeli düzenlemesi, şekerlerin birlikte taşınması, strese uyum ve büyüme gibi bitkilerde önemli rollere sahiptir. Yoksunluğu ya da fazlalığı bitkilerde birçok fonksiyonun bozulmasına neden olmaktadır. (Johnson vd., 2022). Baskın bir ozmolit olarak, koruyucu hücrelerde biriken K+, stoma morfolojisini ve fonksiyonunun düzenlenmesinde yer alır. Bundan dolayı stoma iletimini etkilemektedir. K+'nın kloroplast osmoregülasyonunun ve pH stabilitesinin korunmasında hayati roller oynadığı göz önüne alındığında, eksikliği Rubisco enziminin aktivitesini ve içeriğini azaltabilir ve klorofil dejenerasyonuna yol açabilir (Xie vd., 2021).

Topraktaki bolluğuna rağmen, bitki alımı için sınırlı miktarda bulunan K iyonu (K+) tarımsal üretim için kritik bir faktördür (Mostofa vd., 2022). Üst toprak katmanlarından süzülme ve akış, tarım topraklarındaki K+ eksikliklerine katkıda bulunmaktadır (Srivastava vd., 2020). Bitkiler, değişen çevresel koşullar altında dokularda uygun K+ seviyelerini korumak için karmaşık taşıma sistemleri geliştirmişlerdir. Abiyotik streslere karşı bitki tepkilerinde K+'nın faydalı etkileri,

fotosentez, osmo koruma, stoma düzenlemesi, su-besin emilimi, besin translokasyonu ve enzim aktivasyonu ile ilgili fizyolojik ve biyokimyasal mekanizmalardaki rollerini içermektedir (Mostofa vd., 2022).

Potasyum, bitki büyümesi, verim, kalite ve stres toleransı için hayati önem taşıyan çok sayıda biyokimyasal ve fizyolojik süreçte yer alan önemli bir gübredir. Bu nedenle, potasyum esas olarak topraktan kökler tarafından emilerek, ksilem özünde çözülür ve terlemeyle yönlendirilen kütle akışıyla yukarı doğru taşınmaktadır (Qi vd., 2019).

Fosfor (P), sınırlı küresel rezervleri olan, biyolojide vazgeçilmez, ikame edilemez bir besin maddesidir (Bindraban vd., 2020; Childers, vd., 2011). Dünya çapında genel nüfus tarafından fosfor alımı, sağlığı korumak için gereken miktarın neredeyse iki katıdır. Bu artış, tüketiciler tarafından satın alınan işlenmiş gıdalara fosfat içeren gıda katkı maddelerinin katılmasına bağlanmaktadır. Aşırı fosfor alımının hücre ve organların tepkileri üzerinde potansiyel patojenik sonuçları olduğunu vurgulanmaktadır. Ayrıca, zincir uzunluğu değişen fosfat moleküllerinin polimerlerinden oluşan yeni bir biyoaktif fosfat sınıfı bulunduğu da belirtilmiştir (Bird ve Eskin, 2021). Fosfor temel bir besin maddesi olmasına rağmen, diyetle alımını mevcut değerlerin üzerine çıkarmanın kemik yapısına olumsuz etkileri olabileceği düşünülmektedir. Bazı çalışmalar yüksek fosfor alımının birçok hayvan modelinde ikincil hiperparatiroidizme ve kemik kaybına neden olduğu gösterilmiştir. Düşük kalsiyum alımı ve yüksek fosfor alımı içeren diyetler de insanlarda paratiroid hormonunun yükseldiğini belirtmişlerdir (Pravst, 2011). Fosfor, kemik sağlığı için önemli bir besin maddesidir, ancak ABD'de alım miktarı genellikle gereksinimleri fazlasıyla aştığı ve bir problem olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Çünkü aşırı diyet fosforunu, kemik ve mineral metabolizması üzerindeki olumsuz etkilerle ilişkilendirilmişlerdir (Vorland vd., 2017).

Makro ve mikro besinler, uygun hücre işlevi ve genel bitki sağlığı için gereklidir. Bitkiler tarafından büyük miktarlarda ihtiyaç duyulan makrobesinler arasında fosfor da bulunur (Naegele vd., 2021). Mineral fosforlu gübreler, yüksek ürün verimini desteklemekle birlikte artan küresel nüfusun beslenmesine de katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, karmaşık edafik süreçler, fosforun toprakta hareketsiz kalmasına

neden olarak bitkiler tarafından zamanında ve yeterli şekilde alınmasını engeller. Mevcut suda çözünür fosfor gübrelerinin sonuçta ortaya çıkan düşük kullanım etkinliği, önemli çevre ve insan sağlığı sorunlarını ortaya çıkarmaktadır (Bindraban vd., 2020). Tahıllarda fosfor gübre uygulamasının üst toprakta Zn, Pb, Cd ve As birikimini kolaylaştırdığını, Cd ve As'nin ayrıca ürün bünyesinde birikimini arttığı bilinmektedir (Chen vd., 2020). Toprakta P'nin düşük mevcudiyeti, bitki alımını sınırlamaktadır. K gibi daha fazla çözünür mineraller, toplu akış ve difüzyon yoluyla toprakta hareket eder, ancak P esas olarak difüzyonla hareket etmektedir. P'nin difüzyon hızı yavaş olduğundan (10 −12 ila 10 −15 m2 s −1), yüksek bitki alım oranları kök çevresinde P'den yoksun bir bölge oluşturmaktadır (Schachtman vd., 1998).

Kükürt (S) canlılar için mutlak gerekli makro besin elementlerindendir (Erdem vd., 2024). Temel bitki mineral elementleri arasında S, azot (N), fosfor (P) ve potasyumdan (K) sonra dördüncü ana bitki elementi olarak kabul edilir. S, bitkilerin birçok büyüme ve gelişme yönü için hayati öneme sahiptir. S bulunabilirliği, mahsul bitkilerinin verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bitkiler için en önemli kükürt kaynağı, kökler tarafından alınan, bitkinin çeşitli bölümlerine taşınan ve bitki hormonlarının öncülleri gibi birçok metabolite dönüştürülen sülfattır (SO_4^{2-}). Bu kükürt içeren metabolitler, çeşitli çevresel koşullar altında bitkilerin fizyolojik ve moleküler süreçlerini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Yeterli miktarda S bulunması, fotosentetik pigmentlerin stabilitesi ve biyosentezi, ribuloz-1,5-bisfosfat karboksilaz/oksijenaz (rubisco) aktivitesi, fotosistem II verimliliği ve bitkilerin değişen çevresel koşullar altındaki büyüme tepkileri için hayati öneme sahiptir (Shah vd., 2022). Ancak aynı zamanda en önemli hava kirleticilerindendir. Özellikle oksijen ile bileşik oluşturduğunda oluşan SO_2 insan sağlığı açısından en zararlı gazlardandır ve ölüme sebebiyet verebilmektedir (Orellano vd., 2021).

Görüldüğü üzere çalışmaya konu elementler bitkiler ve diğer canlılar için besin elementi olarak gerekli olabildiği gibi, zararlı ve toksik etkiler de gösterebilmektedirler. Yapılan çalışmalar bazı elementlerin canlılar için mikro düzeyde gerekli olsalar dahi, hemen hemen bütün ağır metallerin, hatta canlılar için mutlak gerekli besin elementlerinin bile yüksek konsantrasyonlarda zararlı olabildiğini göstermektedir (Koç vd., 2024a; Kulac vd., 2025; Sevik vd., 2025). Bundan dolayı

elementlerin ve özellikle ağır metallerin bitki bünyesinde birikimi hem insan sağlığı konusundaki çalışmalarda hem de bitkilerin biyomonitor ve fitoremediasyon amaçlı kullanımına yönelik çalışmalarda büyük önem taşımaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Düzce ilinde sanayi bölgesine yakın alanlarda yetiştirilen sebzeler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Düzce, Türkiye'nin havası en kirli şehirlerinden olan ve 2021 Dünya Hava Kirliliği raporuna göre Avrupa'nın havası en kirli 5 şehri arasında yer alan Düzce ilinde gerçekleştirilmiştir (Canturk vd., 2024; Sevik vd., 2025). Bölgede daha önce yapılan çalışmalarda bu çalışmaya da konu olan Al, Ni, Zn ve (Dışbudak vd., 2026; Isinkaralar vd., 2025a; Koc vd., 2025a), Bi (Isinkaralar vd., 2024) gibi elementlerin yanında, düşük konsantrasyonlarda bile insanlar için zararlı olabilen Cr, Cd (Koc vd., 2024b; Ozturk Pulatoglu vd., 2025; Sevik vd., 2026), Pb, Cu (Isinkaralar vd., 2025b; Koc vd., 2025b), Se (Koç vd., 2026b), Ba (Sevik vd., 2025), Tl (Şen, 2025), Sb (Canturk vd., 2024), Mn (Uslu ve Yiğit, 2023); As (Yaşar Ismail vd., 2025), V (Cebi Kilicoglu ve Zeren Cetin, 2024), Pd (Ozyurt vd., 2024; Sevik vd., 2024) Sr ve Sn (Erdem, 2023; Kulac vd., 2025; Yigit, 2024) gibi ağır metallerin konsantrasyonlarının da oldukça yüksek düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Düzce'de 2023 yılında, DSÖ'nün PM 2,5 parametresi için 24 saatlik ortalama kılavuz değeri olan 15 µg/m3'ü yıl boyunca 305 gün aşmıştır. Düzce, Türkiye'de bu değerin en fazla aşıldığı ikinci istasyon konumundadır (Kara Rapor, 2024). Yapılan çalışmalar bu ağır metallerin yüksek düzeyde olmasının hem bölgenin trafik yükü ve sanayi faaliyetleri ile hem de topografyası ile ilgili olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmanın yapıldığı Düzce ili birçok şehri İstanbul'a bağlayan ulaşım ağında bir geçiş noktasındadır ve son 20 yılda şehir merkezinin nüfusu 3,25 kat artmıştır (Isinkaralar vd., 2025b). Bu durum yerleşim alanları, sanayi alanları ve tarım alanlarının iç içe geçmesine sebep olmuştur. Dolayısıyla bölgede yetiştirilen ve gıda olarak tüketilen bitkilerde yüksek ağır metal mevcudiyeti olasıdır ve yapılan çalışmalarda bu durum ortaya konulmuştur (Sevik vd., 2026). Bundan dolayı bölgede yetiştirilen gıda ürünlerin element içerik tayinleri büyük önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında 5 adet sebze yetiştirilmiştir. Bu sebzeler;

- Biber; Capsicum annuum L.

- Domates; Solanum lycopersicum L.

- Mısır; Zea mays L.

- Patlıcan; Solanum melongona L.

- Salatalık; Cucumis sativus L.'dır.

Tohumdan serada yetiştirilen sebzeler Mayıs ayı ortalarında, Düzce sanayi bölgesine dikilmiştir. Vejetasyon dönemi boyunca sadece sulama ve bakım işlemleri yapılmış, gübreleme, hormon uygulaması veya ilaçlama yapılmamıştır. Ağustos ayının sonunda bitkiler topraklarıyla birlikte sökülmüş ve laboratuvara getirilmiştir. Burada öncelikle kökler topraklarından temizlenmiş, topraklar elendikten sonra kalıntılardan ayrılmış ve cam petri kaplarına konulmuştur. Bitkiler ise kök, gövde, yaprak ve meyve olmak üzere organlarına ayrılmıştır. Organlar iyice yıkanarak saf sudan geçirilmiş ve çelik bıçaklarla parçalanarak cam petri kaplarına alınmıştır.

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 blender yardımıyla öğütülerek toz hale getirilmiştir. Numunelerden 0,5 g tartılarak mikrodalga için tasarlanan özel tüplere konulmuş ve üzerlerine 10 mL %65'lik HNO3 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.

Çalışma kapsamında Al, Ni, Zn, Bi, Li, Au, Si, Na, Mo, Pt, Ti, Mg, K, P ve S 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 ppb veya ppm cinsinden hesaplanmıştır. Bu ön işlem ve ağır metal analizi son yıllarda bitki örneklerinin analizinde sıklıkla kullanılmaktadır (Erdem vd., 2024; Yasar Ismail vd., 2024). 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.

Çalışmada biyokonsantrasyon faktörü (BCF) ve translokasyon faktörü (TF) de hesaplanmıştır. Böylece Al, Ni ve Zn elementlerinin hangi türlerde hangi organlarda daha fazla birikim yaptığı belirlenmeye çalışılmıştır. Hesaplamalarda aşağıdaki formüller kullanılmıştır (Ergül ve Kravkaz Kuşçu, 2025).

BCF= (Organdaki konsantrasyon) / (Topraktaki konsantrasyon)

TF= (Organın BCF'si) / (Kök toprağının BCF'si)

Çalışmada değerlendirilen BCF ve TF değerleri son yıllarda pek çok çalışmada özellikle ağır metallerin bitki bünyesine girişi ve farklı organlarda birikimi konusundaki çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Canal vd., 2022; Siyar vd., 2022; Takarina ve Pin, 2017).

4. BULGULAR

4.1 Al (ppm) Konsantrasyonunun Değişimi

Sebzelerde Al konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimlerine ilişkin Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Al (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Tür	Organ						
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	F Değeri	Ortalama	Toprak
Biber	42,00^{cB}	24,63^{bA}	185,56^{bC}	1611,60^{aD}	112394,4***	465,95^{a}	2293,66^{a}
Domates	652,90^{eB}	44,00^{eA}	1406,83^{eC}	2001,16^{cD}	45010,4***	1026,22^{b}	7409,36^{b}
Mısır	22,96^{aA}	15,06^{aA}	33,56^{aA}	7858,96^{eB}	314067,4***	1982,63^{c}	7775,66^{d}
Patlıcan	37,93^{bB}	25,70^{cB}	300,20^{cC}	2327,86^{dD}	470023,7***	672,92^{ab}	7397,86^{b}
Salatalık	103,76^{dB}	38,23^{dA}	744,63^{dC}	1705,40^{bD}	79868,2***	648,00^{ab}	7707,83^{c}
F Değeri	354441,9***	2271,1***	27600,6***	135021,6***		51,5***	13846,8***
Ortalama	171,91^{A}	29,52 A	534,16^{A}	3101,00^{B}	90,6***		

Tabloda görüldüğü üzere Al konsantrasyonunun bütün türlerde organ ve bütün organlarda tür bakımından istatistiki olarak anlamlı olarak değiştiği belirlenmiştir ($p<0,001$). Değerler incelendiğinde bütün türlerde en düşük değerlerin meyvelerde, en yüksek değerlerin ise köklerde elde edildiği görülmektedir. Organ bazında ise kök dışındaki organlarda en düşük değerlerin mısırda, en yüksek değerlerin ise domateste elde edildiği görülmektedir. Dikkat çeken bir diğer husus köklerde elde edilen Al konsantrasyonlarının diğer organlardakinden çok daha yükse düzeyde olmasıdır. Organlarda ortalama değerlere göre en düşük değer biberde, en yüksek değer ise mısırda elde edilmiştir. Benzer şekilde topraklarda da en düşük değer biberde, en yüksek değer ise mısırda elde edilmiştir. Al için BCF değerlerinin tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Al için BCF değerleri

Tür	Organ				Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	
Biber	0,018	0,011	0,081	0,703	0,203
Domates	0,088	0,006	0,190	0,270	0,139
Mısır	0,003	0,002	0,004	1,011	0,255
Patlıcan	0,005	0,003	0,041	0,315	0,091

Tablo 4.2'nin devamı

Salatalık	0,013	0,005	0,097	0,221	0,084
Ortalama	0,025	0,005	0,083	0,504	0,154

Al için BCF değerleri incelendiğinde 0,002 (mısır meyvesi) ile 1,011 (mısır kökü) arasında değiştiği görülmektedir. Biber ve mısır kökleri dışında BCF değerlerinin oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre en düşük BCF değerleri organ olarak meyve, tür olarak salatalıkta hesaplanırken en yüksek değerler organ olarak kök, tür olarak ise mısırda hesaplanmıştır. Al için hesaplanan TF değerleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3 Al için TF değerleri

Tür	Organ			Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	
Biber	0,026	0,016	0,115	0,052
Domates	0,326	0,022	0,704	0,351
Mısır	0,003	0,002	0,004	0,003
Patlıcan	0,016	0,010	0,130	0,052
Salatalık	0,059	0,023	0,439	0,174
Ortalama	0,086	0,015	0,278	0,126

Al için TF değerleri incelendiğinde en düşük değerlerin bütün türlerde meyvede elde edildiği görülmektedir. Meyvelerde TF değerleri mısırda 0,002 olarak hesaplanmıştır. Diğer türlerde meyvelerde hesaplanan TF değerleri ise 0,010 (patlıcan) ile 0,023 (salatalık) arasında değişmektedir. Bütün türlerde en yüksek TF değerleri yapraklarda hesaplanmış olup yapraklarda hesaplanan en yüksek TF değerleri domates (0,704) ve salatalıkta (0,439) hesaplanmıştır.

4.2 Ni (ppb) Konsantrasyonunun Değişimi

Ni konsantrasyonunun değişimine ilişkin Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Ni (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Tür	Organ						Toprak
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	F Değeri	Ortalama	
Biber	$1874,03^{bA}$	$2913,66^{dB}$	$3722,46^{dC}$	$7611,43^{bD}$	$19679,6^{***}$	$4030,39^{a}$	$11098,36^{a}$

Tablo 4.4'ün devamı

Domates	3665,20^{cA}	3884,76^{eB}	5544,59^{eC}	8643,06^{cD}	6157,8***	5434,40^{a}	36293,25^{a}
Mısır	5796,93^{dC}	1783,66^{bB}	1455,96^{aA}	41200,91^{eD}	554309,9***	12559,37^{b}	37073,58^{c}
Patlıcan	1921,80^{bB}	1745,50^{aA}	3178,60^{bC}	10989,56^{dD}	50839,9***	4458,86^{a}	40399,91^{e}
Salatalık	1550,13^{aA}	2390,76^{cB}	3340,83^{cC}	6457,90^{aD}	19460,6***	3434,90^{a}	40070,75^{d}
F Değeri	6320,6***	9283,4***	5420,9***	221644,3***		2,549*	20190,0***
Ortalama	2961,62^{A}	2543,67^{A}	3448,49^{A}	8425,49^{B}	47,3***		

Tablo değerleri incelendiğinde Ni konsantrasyonunun da bütün türlerde organ ve bütün organlarda tür bakımından istatistiki olarak anlamlı olarak değiştiği görülmektedir ($p<0,001$).

En düşük değerler mısırda yaprak ve patlıcanda meyvede elde edilirken diğer türlerde gövdede elde edilmiştir. En yüksek değerler bütün türlerde yine köklerde elde edilmiştir. Tür olarak ise en düşük değerler gövdede ve köklerde salatalık, meyvede patlıcan, yaprakta mısırda elde edilmiştir. En yüksek değerler gövdede ve köklerde mısır, meyvede ve yaprakta domateste elde edilmiştir. Mısır köklerinde hesaplanan Ni konsantrasyonunun diğer organlardan çok daha yüksek seviyede olması dikkat çekicidir. Topraklarda da en düşük değerler biber ve domateste, en yüksek değerler patlıcanda elde edilmiştir. Ni için BCF değerlerinin tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5 Ni için BCF değerleri

Tür	Organ				Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	
Biber	0,169	0,263	0,335	0,686	0,363
Domates	0,101	0,107	0,153	0,238	0,150
Mısır	0,156	0,048	0,039	1,111	0,339
Patlıcan	0,048	0,043	0,079	0,272	0,111
Salatalık	0,039	0,060	0,083	0,161	0,086
Ortalama	0,103	0,104	0,138	0,494	0,210

Tablo 4.5'te görüldüğü üzere Ni elementinde BCF değerleri 0,039 (mısır yaprağı) ile 1,111 (mısır kökü) arasında değişmektedir. Mısır ve patlıcanda en düşük değerler gövdede diğer sebzelerde en düşük değerler meyvede elde edilmiştir. Ortalama BCF değerlerinin değişimi salatalık <patlıcan <domates <mısır <biber şeklindedir. Ni için hesaplanan TF değerleri Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6 Ni için TF değerleri

Tür	Organ			Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	
Biber	0,246	0,383	0,488	0,372
Domates	0,424	0,450	0,643	0,506
Mısır	0,140	0,043	0,035	0,073
Patlıcan	0,176	0,158	0,290	0,208
Salatalık	0,242	0,373	0,516	0,377
Ortalama	0,246	0,281	0,394	0,307

Ni için en düşük TF değeri 0,035 ile mısır yapraklarında elde edilirken en yüksek TF değeri 0,643 ile domates yapraklarında elde edilmiştir. En düşük değerler mısır türünde elde edilmiş olup mısırda TF değerleri 0,035-0,140 arasında değişmektedir. Hiçbir organda TF değeri 1'i aşmamakta olup en yüksek değerler domates yaprakları (0,643), salatalık yaprakları (0,516) ve biber yapraklarında (0,488) elde edilmiştir.

4.3 Zn (ppb) Konsantrasyonunun Değişimi

Zn konsantrasyonunun değişimine ilişkin ortalama veriler ile Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7 Zn (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Tür	Organ						Toprak
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	F Değeri	Ortalama	
Biber	$15826,13^{cA}$	$12665,53^{cB}$	$35589,96^{eC}$	$10409,16^{aA}$	$37483,7^{***}$	18622,69	$23799,19^{a}$
Domates	$24845,46^{bD}$	$9474,56^{aA}$	$10511,33^{bB}$	$11142,59^{bC}$	$72276,5^{***}$	13993,49	$44660,91^{c}$
Mısır	$5762,93^{aA}$	$14599,76^{dC}$	$13255,03^{cB}$	$40695,16^{eD}$	$81545,9^{***}$	18578,22	$47868,83^{d}$
Patlıcan	$18346,00^{dC}$	$11789,06^{bB}$	$9984,73^{aA}$	$28530,23^{dD}$	$27634,1^{***}$	17162,50	$42817,74^{b}$
Salatalık	$13483,36^{bA}$	$17458,26^{eC}$	$16320,39^{dB}$	$26658,80^{cD}$	$17732,4^{***}$	18480,20	$44608,24^{c}$
F Değeri	$33009,0^{***}$	$4813,8^{***}$	$33620,3^{***}$	$65622,1^{***}$		0,553ns	$11728,2^{***}$
Ortalama	15652,77	13197,43	17132,29	19185,19	$1,581^{ns}$		

Diğer iki elementte olduğu gibi Zn elementinde de bütün türlerde organ ve bütün organlarda tür bakımından değişimin istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir ($p<0,001$). En yüksek değerler gövdede patlıcan, meyvede salatalık, yaprakta biber ve köklerde mısırda elde edilmiştir. Her organda en yüksek değerin ayrı bir türde elde edilmiş olması dikkat çekmektedir. Organ olarak ise en yüksek değerler biberde yaprak, domateste gövde, diğer türlerde ise köklerde elde edilmiştir. Meyvelerde Zn konsantrasyonunun değişimi domates <patlıcan <biber <mısır

<salatalık şeklindedir. Topraklardaki Zn konsantrasyonunun değişimi biber <patlıcan <salatalık <domates <mısır şeklinde sıralanmaktadır. Zn için BCF değerlerinin tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8 Zn için BCF değerleri

Tür	Organ				Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	
Biber	0,665	0,532	1,495	0,437	0,782
Domates	0,556	0,212	0,235	0,249	0,313
Mısır	0,120	0,305	0,277	0,850	0,388
Patlıcan	0,428	0,275	0,233	0,666	0,401
Salatalık	0,302	0,391	0,366	0,598	0,414
Ortalama	0,414	0,343	0,521	0,560	0,460

Zn'de BCF değerlerinin 0,120 (mısır gövdesi) ile 1,495 (biber yaprağı) arasında değiştiği belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalara göre en düşük değerler mısır ve salatalıkta gövde, diğer türlerde meyvelerde elde edilmiştir. En yüksek değerler ise biberde yaprak, domateste gövde, diğer türlerde köklerde elde edilmiştir. Zn için hesaplanan TF değerleri Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9 Zn için TF değerleri

Tür	Organ			Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	
Biber	1,522	1,217	3,421	2,053
Domates	2,233	0,851	0,944	1,343
Mısır	0,141	0,359	0,326	0,275
Patlıcan	0,643	0,413	0,350	0,469
Salatalık	0,505	0,654	0,612	0,590
Ortalama	1,009	0,699	1,131	0,946

Tablo değerleri incelendiğinde Zn için TF değerlerinin özellikle biber ve salatalıkta oldukça yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek değerler 3,421 ile biber yaprakları, 2,233 ile domates gövdesi ve 1,522 ile biber gövdesinde hesaplanmıştır. Bunun dışında biber meyvelerinde (1,217) hesaplanan TF değerlerinin 1'i aştığı görülmektedir. En düşük değerler ise 0,141 ile mısır gövdesi ve 0,326 ile mısır yapraklarında elde edilmiştir.

4.4 Bi (ppb) Konsantrasyonunun Değişimi

Sebzelerde Bi konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimlerine ilişkin Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10 Bi (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Tür	Organ						Toprak
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	F Değeri	Ortalama	
Biber	1511,30^{cB}	1278,03^{eA}	1604,96^{bC}	1677,50^{bD}	155,353***	1517,95	2224,80^{a}
Domates	1775,83^{dB}	949,33^{cA}	2357,70eC	1772,63^{cB}	1291,590***	1713,87	6168,00^{bc}
Mısır	995,36^{aB}	744,66^{aA}	808,73^{aA}	6287,50^{dC}	11536,817***	2209,06	6483,41^{d}
Patlıcan	1458,36^{cB}	1099,86^{dA}	2009,90^{dC}	2018,00^{eC}	577,166***	1646,53	6013,08^{b}
Salatalık	1118,80^{bB}	876,20 ^{bA}	1848,80^{cD}	1629,66^{aC}	516,565***	1368,36	6334,00^{cd}
F Değeri	189,863***	102,530***	1078,827***	18690,686***		0,908 ns	649,034***
Ortalama	1371,93 ^{B}	989,62 ^{A}	1726,02 ^{C}	1774,45 ^{C}	16,548***		

Tabloda görüldüğü üzere Bi konsantrasyonunun bütün türlerde organ ve bütün organlarda tür bakımından istatistiki olarak anlamlı olarak değiştiği belirlenmiştir ($p<0,001$). Değerler incelendiğinde bütün türlerde en düşük değerlerin meyvelerde, en yüksek değerlerin ise yapraklarda veya köklerde elde edildiği görülmektedir. Tür olarak ise kök dışındaki organlarda en düşük değerlerin mısırda, en yüksek değerlerin ise gövdede ve yaprakta domateste, meyvede biberde, köklerde ise patlıcanda elde edildiği görülmektedir. Ortalama değerlere göre organlar Duncan testi sonucunda üç grup oluşturmuş, meyve ilk grupta, gövde ikinci grupta, yaprak ve kökler ise son grupta yer almıştır. Tür bazında ise ortalama değerler arasında istatistiki olarak anlamlı düzeyde fark bulunamamıştır ($p>0,05$). Topraklarda elde edilen Bi konsantrasyonu değerleri biber <patlıcan <domates <salatalık <mısır şeklinde sıralanmıştır. Bi için BCF değerlerinin tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11 Bi için BCF değerleri

Tür	Organ				Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	
Biber	0,679	0,574	0,721	0,754	0,682
Domates	0,288	0,154	0,382	0,287	0,278
Mısır	0,154	0,115	0,125	0,970	0,341
Patlıcan	0,243	0,183	0,334	0,336	0,274
Salatalık	0,177	0,138	0,292	0,257	0,216
Ortalama	0,308	0,233	0,371	0,521	0,358

Bi için BCF değerleri incelendiğinde 0,115 (mısır meyvesi) ile 0,970 (mısır kökü) arasında değiştiği görülmektedir. Biber ve mısır kökleri dışında BCF değerlerinin oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre en düşük BCF değerleri organ olarak meyve, tür olarak salatalıkta hesaplanırken en yüksek değerler organ olarak kök, tür olarak ise biberde hesaplanmıştır. Bi için hesaplanan TF değerleri Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.12 Bi için TF değerleri

Tür	Organ			Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	
Biber	0,901	0,761	0,956	0,873
Domates	1,003	0,537	1,331	0,957
Mısır	0,159	0,119	0,129	0,136
Patlıcan	0,723	0,545	0,994	0,754
Salatalık	0,689	0,537	1,136	0,787
Ortalama	0,695	0,500	0,909	0,701

Bi için TF değerleri incelendiğinde en düşük değerlerin bütün türlerde meyvede elde edildiği görülmektedir. Meyvelerde TF değerleri mısırda 0,119 olarak hesaplanmıştır. Diğer türlerde meyvelerde hesaplanan TF değerleri ise 0,537 (patlıcan ve domates) ile 0,761 (biber) arasında değişmektedir. Bütün türlerde en yüksek TF değerleri yapraklarda hesaplanmış olup, yapraklarda hesaplanan en yüksek TF değerleri domates (1,331) ve salatalıkta (1,136) hesaplanmış olup bu iki değer 1'in üzerindedir. Bu değerler dışında 1'i geçen tek değer domates gövdesinde (1,003) elde edilmiştir. Ortalama değerler de dahil olmak üzere diğer bütün değerler 1'in altındadır.

4.5 Li (ppb) Konsantrasyonunun Değişimi

Li konsantrasyonunun değişimine ilişkin Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.13 Li (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Tür	Organ						Toprak
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	F Değeri	Ortalama	
Biber	$1913,06^{bA}$	$1931,23^{cA}$	$2402,90^{bB}$	$3698,96^{bC}$	$422,709^{***}$	2486,54	$5097,06^{a}$
Domates	$2311,66^{cB}$	$1789,16^{bA}$	$3094,33^{cC}$	$4132,10^{cD}$	$760,465^{***}$	2831,81	$17527,58^{c}$
Mısır	$1894,30^{bC}$	$1729,70^{bB}$	$1479,33^{aA}$	$17319,41^{eD}$	$32486,220^{***}$	5605,68	$17691,33^{c}$
Patlıcan	$2296,63^{cB}$	$1912,50^{cA}$	$4141,43^{dC}$	$5877,90^{dD}$	$4445,717^{***}$	3557,11	$16228,08^{b}$

Tablo 3.13'ün devamı

Salatalık	1563,83^{aA}	1517,80^{aA}	2314,60^{bC}	3459,50^{aD}	322,120***	2213,93	17427,50^{c}
F Değeri	50,742***	41,148***	369,559***	27304,087***		2,036^{ns}	1505,921***
Ortalama	1995,90^{A}	1776,08^{A}	2686,52^{B}	4292,11^{C}	36,390***		

Tablo değerleri incelendiğinde Li konsantrasyonunun da bütün türlerde organ ve bütün organlarda tür bakımından istatistiki olarak anlamlı olarak değiştiği görülmektedir ($p<0,001$). En düşük değerler biberde gövde (1913,06 ppb), mısırda yaprak (1479,33 ppb), domates (1789,16 ppb), patlıcan (1912,50 ppb) ve salatalıkta meyvede (1517,80 ppb) elde edilmiştir. En yüksek değerler bütün türlerde yine köklerde elde edilmiştir. Tür olarak ise en düşük değerler gövde, meyve ve köklerde salatalık, yaprakta ise mısırda elde edilmiştir. En yüksek değerler gövdede domates, meyvede biber, yaprakta patlıcan, köklerde de mısırda elde edilmiştir. Mısır köklerinde hesaplanan Li konsantrasyonunun diğer organlardan çok daha yüksek seviyede olması dikkat çekicidir. Ortalama değerlere göre türler arasında istatistiki olarak anlamlı düzeyde fark bulunmazken organ bazında en düşük değerler gövde ve meyve, en yüksek değerler köklerde elde edilmiştir. Topraklarda da en düşük değerler biber ve patlıcanda, en yüksek değerler diğer türlerde (diğer türlerin tamamı Duncan testi sonucunda son grupta yer almıştır) elde edilmiştir. Li için BCF değerlerinin tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.14 Li için BCF değerleri

Tür	Organ				Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	
Biber	0,375	0,379	0,471	0,726	0,488
Domates	0,132	0,102	0,177	0,236	0,162
Mısır	0,107	0,098	0,084	0,979	0,317
Patlıcan	0,142	0,118	0,255	0,362	0,219
Salatalık	0,090	0,087	0,133	0,199	0,127
Ortalama	0,169	0,157	0,224	0,500	0,263

Tablo 4.14'te görüldüğü üzere Li elementinde BCF değerleri 0,084 (mısır yaprağı) ile 0,979 (mısır kökü) arasında değişmektedir. En düşük değerler biberde gövde, mısırda yaprak, diğer türlerde meyvede elde edilmiştir. Ortalama BCF değerlerinin değişimi salatalık <domates <patlıcan <mısır <biber şeklindedir. Li için hesaplanan TF değerleri Tablo 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4.15 Li için TF değerleri

Tür	Organ			Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	
Biber	0,517	0,522	0,649	0,563
Domates	0,559	0,432	0,750	0,580
Mısır	0,109	0,100	0,086	0,098
Patlıcan	0,392	0,326	0,704	0,474
Salatalık	0,452	0,437	0,668	0,519
Ortalama	0,406	0,363	0,571	0,447

Li için en düşük TF değeri 0,086 ile mısır yapraklarında elde edilirken en yüksek TF değeri 0,750 ile domates yapraklarında elde edilmiştir. En düşük değerler mısır türünde elde edilmiş olup mısırda TF değerleri 0,086-0,109 arasında değişmektedir. Hiçbir organda TF değeri 1'i aşmamakta olup en yüksek değerler domates yaprakları (0,750), patlıcan yaprakları (0,704) ve salatalık yapraklarında (0,668) elde edilmiştir.

4.6 Au (ppb) Konsantrasyonunun Değişimi

Au konsantrasyonunun değişimine ilişkin ortalama veriler ile Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4.16 Au (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Tür	Organ						Toprak
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	F Değeri	Ortalama	
Biber	$2903,50^{dB}$	$2526,43^{eA}$	$3471,39^{bC}$	$4365,73^{bD}$	$1317,556^{***}$	3316,76	$6467,40^{a}$
Domates	$3310,03^{eB}$	$1720,63^{bA}$	$5117,40^{dD}$	$4761,70^{cC}$	$4518,371^{***}$	3727,44	$20241,00^{c}$
Mısır	$1683,80^{aB}$	$1505,13^{aA}$	$2295,60^{aC}$	$21334,41^{eD}$	$97889,196^{***}$	6704,72	$21627,66^{e}$
Patlıcan	$2549,83^{cB}$	$2068,90^{dA}$	$3705,63^{cC}$	$5112,13^{dD}$	$4860,048^{***}$	3359,12	$19175,33^{b}$
Salatalık	$2116,90^{bB}$	$1776,30^{cA}$	$3680,86^{cC}$	$4043,63^{aD}$	$2934,816^{***}$	2904,42	$21057,08^{d}$
F Değeri	$699,015^{***}$	$699,505^{***}$	$2083,929^{***}$	$59347,341^{***}$		$1,712^{ns}$	$1355,923^{***}$
Ortalama	$2512,81^{B}$	$1919,48^{A}$	$3654,18^{C}$	$4570,80^{D}$	$48,015^{***}$		

Diğer elementlerde olduğu gibi Au elementinde de bütün türlerde organ ve bütün organlarda tür bakımından değişimin istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir ($p<0,001$). En yüksek değerler gövdede ve yaprakta domates, meyvede biber, köklerde mısırda elde edilmiştir. Organ olarak ise en yüksek değerler domateste yaprak, diğer türlerde ise köklerde elde edilmiştir. Meyvelerde Au konsantrasyonunun değişimi mısır <domates <salatalık <patlıcan <biber şeklindedir. Topraklardaki Au konsantrasyonunun değişimi biber <patlıcan <domates <salatalık <mısır şeklinde

sıralanmaktadır. Au için BCF değerlerinin tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4.17 Au için BCF değerleri

Tür	Organ				Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	
Biber	0,449	0,391	0,537	0,675	0,513
Domates	0,164	0,085	0,253	0,235	0,184
Mısır	0,078	0,070	0,106	0,986	0,310
Patlıcan	0,133	0,108	0,193	0,267	0,175
Salatalık	0,101	0,084	0,175	0,192	0,138
Ortalama	0,185	0,148	0,253	0,471	0,264

Au'de BCF değerlerinin 0,07 (mısır meyvesi) ile 0,986 (mısır kökü) arasında değiştiği belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalara göre en düşük değerler bütün türlerde meyvelerde elde edilmiştir. En yüksek değerler ise domateste yaprak, diğer türlerde köklerde elde edilmiştir. Au için hesaplanan TF değerleri Tablo 4.18'de verilmiştir.

Tablo 4.18 Au için TF değerleri

Tür	Organ			Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	
Biber	0,665	0,579	0,796	0,680
Domates	0,698	0,362	1,077	0,712
Mısır	0,079	0,071	0,108	0,086
Patlıcan	0,498	0,404	0,723	0,542
Salatalık	0,526	0,438	0,911	0,625
Ortalama	0,493	0,371	0,723	0,529

Tablo değerleri incelendiğinde Au için TF değerlerinin sadece domates yapraklarında 1'i aştığı (1,077) diğer türlerde ise 0,071 (mısır gövdesi) ile 0,911 (salatalık yaprakları) arasında değiştiği, salatalık yaprakları dışındaki en yüksek değerin de 0,796 (biber yaprakları) olduğu görülmektedir. Meyvelerdeki en yüksek TF değerleri ise biber (0,579) ve salatalıkta (0,438) elde edilmiştir.

4.7 Si (ppm) Konsantrasyonunun Değişimi

Sebzelerde Si konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimlerine ilişkin Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 4.19'da verilmiştir.

Tablo 4.19 Si (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Tür	Organ						Toprak
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	F Değeri	Ortalama	
Biber	170,63^{aB}	153,63^{aA}	272,76^{cD}	222,53^{dC}	1716,758***	204,89	160,83^{a}
Domates	234,50^{cA}	189,70^{bA}	468,90^{dC}	189,80^{cA}	11281,405***	270,72	450,56^{c}
Mısır	268,06^{eB}	288,53^{dC}	247,10^{bA}	435,96^{eD}	514,697***	309,91	448,83^{c}
Patlıcan	182,53^{bC}	153,90^{aB}	537,90^{eD}	145,53^{aA}	32555,674***	254,96	577,80^{d}
Salatalık	250,76^{dD}	217,43^{cC}	169,70^{aA}	182,80^{bB}	878,088***	205,17	415,00^{b}
F Değeri	1224,037***	2135,265***	1880,437***	92133,611***		2,267^{ns}	55871,836***
Ortalama	221,30^{A}	200,64^{A}	339,27^{B}	185,16^{A}	10,343***		

Tabloda görüldüğü üzere Si konsantrasyonunun bütün türlerde organ ve bütün organlarda tür bakımından istatistiki olarak anlamlı olarak değiştiği belirlenmiştir ($p<0,001$). Değerler incelendiğinde en düşük değerlerin biber ve domateste meyvelerde, mısır ve salatalıkta yapraklarda, patlıcanda ise köklerde elde edildiği görülmektedir. En yüksek değerler ise mısır, domates ve biberde yapraklarda, mısırda köklerde, salatalıkta ise gövde ve köklerde elde edilmiştir. Organ bazında ise en düşük değerlerin gövde ve meyvede mısırda, yaprakta salatalıkta, köklerde ise patlıcanda elde edildiği belirlenmiştir. En yüksek değerler ise gövdede meyvede, köklerde mısırda, yaprakta ise patlıcanda elde edilmiştir.

Organlarda ortalama değerlere göre Duncan testi sonucunda iki grup oluşmuş, yaprak tek başına ikinci grubu oluştururken diğer organlar ilk grubu oluşturmuştur. Türler arasında ise istatistiki olarak anlamlı düzeyde fark bulunmamıştır. Topraklarda en düşük değerler biber ve salatalıkta, en yüksek değer ise patlıcanda elde edilmiştir. Si için BCF değerlerinin tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.20'de verilmiştir.

Tablo 4.20 Si için BCF değerleri

Tür	Organ				Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	
Biber	1,061	0,955	1,696	1,384	1,274
Domates	0,520	0,421	1,041	0,421	0,601
Mısır	0,597	0,643	0,551	0,971	0,691
Patlıcan	0,316	0,266	0,931	0,252	0,441
Salatalık	0,604	0,524	0,409	0,440	0,494
Ortalama	0,620	0,562	0,926	0,694	0,700

Si için BCF değerleri incelendiğinde en yüksek değerin 1,696 ile biber yapraklarında, en düşük değerin ise 0,252 ile patlıcan köklerinde elde edildiği görülmektedir. Biber

yapraklarından sonra en yüksek değerler 1,384 ile biber kökleri ve 1,061 ile biber gövdelerinde elde edilmiştir. Patlıcan köklerinden sonraki en düşük değerler ise 0,266 ile patlıcan meyveleri ve 0,316 ile patlıcan gövdelerinde elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre en düşük BCF değerleri organ olarak meyve, tür olarak patlıcanda hesaplanırken en yüksek değerler organ olarak kök, tür olarak ise biberde hesaplanmıştır. Si için hesaplanan TF değerleri Tablo 4.21'de verilmiştir.

Tablo 4.21 Si için TF değerleri

Tür	Organ			Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	
Biber	0,767	0,690	1,225	0,894
Domates	1,235	1,000	2,473	1,569
Mısır	0,615	0,662	0,567	0,615
Patlıcan	1,254	1,056	3,694	2,001
Salatalık	1,373	1,191	0,930	1,165
Ortalama	1,049	0,920	1,778	1,249

Si için TF değerleri incelendiğinde en düşük değerlerin mısırda ve salatalıkta yaprakta, diğer türlerde ise meyvede elde edildiği görülmektedir. Meyvelerde TF değerleri mısırda 0,662 ve biberde 0,690 olarak hesaplanmışken diğer türlerde 1 veya 1'in üzerindedir. Patlıcan yapraklarında hesaplanan TF değeri ise oldukça yüksektir (3,694). Bunun dışındaki en yüksek TF değerleri domates yaprakları (2,473) ve salatalık gövdesinde (1,373) hesaplanmıştır. Ortalama değerlere göre ise TF değerleri 0,920 ile en düşük meyvede, 1,778 ile en yüksek yaprakta hesaplanırken, türlerde 0,615 ile en düşük mısırda ve 2,001 ile en yüksek patlıcanda hesaplanmıştır.

4.8 Na (ppm) Konsantrasyonunun Değişimi

Na konsantrasyonunun değişimine ilişkin Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 4.22'de verilmiştir.

Tablo 4.22 Na (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Tür	Organ						Toprak
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	F Değeri	Ortalama	
Biber	$40,43^{bB}$	$41,86^{bC}$	$33,63^{bA}$	$117,30^{bD}$	$71185,966^{***}$	58,30	$151,86^{a}$
Domates	$135,60^{dB}$	$87,86^{dA}$	$158,13^{eC}$	$87,60^{aA}$	$7224,390^{***}$	117,30	$259,06^{d}$
Mısır	$27,93^{aA}$	$38,33^{aC}$	$31,46^{aB}$	$265,76^{dD}$	$36764,044^{***}$	90,87	$264,06^{e}$
Patlıcan	$50,76^{cB}$	$49,63^{cB}$	$37,90^{cA}$	$610,70^{eC}$	$57610,929^{***}$	187,25	$231,10^{b}$

Tablo 4.22'nin devamı

Salatalık	215,00^{eC}	98,90^{eB}	51,46^{dA}	218,86^{cD}	41686,740***	146,05	250,00^{c}
F Değeri	47765,3***	35329,2***	44957,5***	29651,8***		1,752ns	1645,5***
Ortalama	93,94^{A}	63,32^{A}	62,52^{A}	258,61^{B}	9,176***		231,22^{B}

Tablo değerleri incelendiğinde Na konsantrasyonunun bütün türlerde organ ve bütün organlarda tür bakımından istatistiki olarak anlamlı olarak değiştiği görülmektedir ($p<0,001$). En düşük değerler biberde ve domateste kök, mısırda gövdede hesaplanırken diğer türlerde yaprakta hesaplanmıştır. En yüksek değerler ise domateste yaprakta, diğer türlerde köklerde elde edilmiştir. Organlarda en düşük değerler köklerde domateste elde edilirken diğer organlarda en düşük değerler mısırda elde edilmiştir. En yüksek değerler yaprakta domates, köklerde patlıcan, gövde ve meyvede ise salatalıkta elde edilmiştir.

Ortalama değerlere göre Na konsantrasyonu bakımından Duncan testi sonucunda organlar iki grup oluşturmuş, gövde, meyve ve yapraklar ilk grubu oluştururken kök tek başına ikinci grubu oluşturmuştur. Topraklardaki Na konsantrasyonları ise Duncan testi sonucunda 5 ayrı grup oluşturmuş ve biber <patlıcan <salatalık <domates <mısır şeklinde sıralanmıştır. Na için BCF değerlerinin tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.23'te verilmiştir.

Tablo 4.23 Na için BCF değerleri

Tür	Organ				Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	
Biber	0,266	0,276	0,221	0,772	0,384
Domates	0,523	0,339	0,610	0,338	0,453
Mısır	0,106	0,145	0,119	1,006	0,344
Patlıcan	0,220	0,215	0,164	2,643	0,811
Salatalık	0,860	0,396	0,206	0,875	0,584
Ortalama	0,395	0,274	0,264	1,127	0,515

Tablo 4.23'te görüldüğü üzere Na elementinde BCF değerleri 0,106 (mısır gövdesi) ile 2,643 (patlıcan kökü) arasında değişmektedir. Ortalama değerlere göre BCF değerleri organ bazında yaprak <meyve <gövde <kök şeklinde sıralanırken türlerde mısır <biber <domates <salatalık <patlıcan şeklinde sıralanmaktadır. Na için hesaplanan TF değerleri Tablo 4.24'te verilmiştir.

Tablo 4.24 Na için TF değerleri

Tür	Organ			Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	
Biber	0,345	0,358	0,286	0,330
Domates	1,547	1,003	1,805	1,452
Mısır	0,105	0,144	0,118	0,122
Patlıcan	0,083	0,081	0,062	0,075
Salatalık	0,983	0,453	0,235	0,557
Ortalama	0,613	0,408	0,501	0,507

Na için en düşük TF değeri 0,062 ile patlıcan yapraklarında elde edilirken en yüksek TF değeri 1,805 ile domates yapraklarında elde edilmiştir. En düşük değerler patlıcan türünde elde edilmiş olup patlıcanda TF değerleri 0,105-0,144 arasında değişmektedir. Sadece domateste TF değerleri 1'i aşmış ve TF değerleri domates gövdesinde 1,547 olarak hesaplanırken domates meyvesinde 1,003 ve domates yapraklarında 1,805 olarak hesaplanmıştır. Domates dışındaki hiçbir tür ve organda TF değeri 1'i aşmamakta olup en yüksek değerler salatalık gövdesi (0,983) ve salatalık meyvelerinde (0,453) elde edilmiştir.

4.9 Mo (ppb) Konsantrasyonunun Değişimi

Mo konsantrasyonunun değişimine ilişkin ortalama veriler ile Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 4.25'te verilmiştir.

Tablo 4.25 Mo (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Tür	Organ						Toprak
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	F Değeri	Ortalama	
Biber	$2847,20^{cA}$	$3386,76^{bB}$	$3515,26^{aC}$	$6166,29^{dD}$	$4166,728^{***}$	3978,88	$7196,59^{a}$
Domates	$4496,30^{eB}$	$3202,73^{aA}$	$5517,59^{eD}$	$4580,03^{aC}$	$2210,645^{***}$	4449,16	$16603,25^{c}$
Mısır	$3280,66^{dA}$	$3645,53^{cB}$	$3991,36^{cC}$	$18440,41^{eD}$	$34480,751^{***}$	7339,49	$17935,66^{d}$
Patlıcan	$2606,03^{bA}$	$4064,53^{dC}$	$3689,26^{bB}$	$5413,60^{bD}$	$6466,270^{***}$	3943,35	$16440,25^{b}$
Salatalık	$2354,86^{aA}$	$4643,06^{eB}$	$5251,00^{dC}$	$5535,56^{cD}$	$8219,464^{***}$	4446,12	$18305,16^{e}$
F Değeri	$1084,0^{***}$	$638,9^{***}$	$4152,7^{***}$	$33859,7^{***}$		2,419ns	$178,164^{***}$
Ortalama	$3117,01^{A}$	$3788,52^{B}$	$4392,90^{C}$	$5423,87^{D}$	25,324		$15296,18^{C}$

Diğer elementlerde olduğu gibi Mo elementinde de bütün türlerde organ ve bütün organlarda tür bakımından değişimin istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir ($p<0,001$). En yüksek değerler gövdede ve yapraklarda domateste, meyvede salatalıkta, köklerde ise mısırda elde edilmiştir. En düşük değerler ise

gövdede salatalıkta, yaprakta biberde, meyve ve köklerde ise domateste elde edilmiştir.

Organ olarak ise domates dışındaki bütün türlerde gövdede elde edilen değerler Duncan testi sonucunda ilk grupta yer almıştır. Domateste en düşük değer meyvede elde edilmiştir. Buna karşın yine domates dışındaki bütün türlerde kökte elde edilen değerler Duncan testi sonucunda son grupta yer almıştır. Domateste en yüksek değer yapraklarda elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre organların her biri ayrı bir grup oluşturmuş ve organlarda Mo konsantrasyonu gövde <meyve <yaprak <kök şeklinde sıralanmıştır. Topraklarda da organlardakine benzer şekilde Duncan testi sonucunda her bir tür ayrı bir grup oluşturmuş Mo konsantrasyonu biber <patlıcan <domates <mısır <salatalık şeklinde sıralanmıştır. Mo için BCF değerlerinin tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.26'da verilmiştir.

Tablo 4.26 Mo için BCF değerleri

Tür	Organ				Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	
Biber	0,396	0,471	0,488	0,857	0,553
Domates	0,271	0,193	0,332	0,276	0,268
Mısır	0,183	0,203	0,223	1,028	0,409
Patlıcan	0,159	0,247	0,224	0,329	0,240
Salatalık	0,129	0,254	0,287	0,302	0,243
Ortalama	0,228	0,274	0,311	0,558	0,343

Mo'da BCF değerlerinin 0,129 (salatalık gövdesi) ile 1,028 (mısır kökü) arasında değiştiği belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalara göre en düşük değerler domateste meyvede, diğer türlerde gövdelerde elde edilmiştir. En yüksek değerler ise domateste yaprak, diğer türlerde köklerde elde edilmiştir. Mo için hesaplanan TF değerleri Tablo 4.27'de verilmiştir.

Tablo 4.27 Mo için TF değerleri

Tür	Organ			Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	
Biber	0,462	0,550	0,569	0,527
Domates	0,982	0,699	1,203	0,961
Mısır	0,178	0,197	0,217	0,197
Patlıcan	0,483	0,751	0,681	0,638

Tablo 4.27'nin devamı

Salatalık	0,427	0,841	0,950	0,739
Ortalama	0,506	0,608	0,724	0,612

Tablo değerleri incelendiğinde Mo için TF değerlerinin özellikle mısırda çok düşük olduğu görülmektedir. Mısırda TF değerlerinin 0,178 (gövde) ile 0,217 (yaprak) arasında değiştiği ve ortalama 0,197 olduğu hesaplanmıştır. En yüksek değer 1,203 ile domates yapraklarında elde edilmiş olup bu değer 1'i geçen tek TF değeridir. Bunun dışında en yüksek değerler 0,982 ile domates gövdesi, 0,950 ile salatalık yaprakları ve 0,841 ile salatalık meyvelerinde elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre TF değerleri organlarda gövde <meyve <yaprak şeklinde sıralanırken türlerde mısır <biber <patlıcan <salatalık <domates şeklinde sıralanmıştır.

4.10 Pt (ppm) Konsantrasyonunun Değişimi

Sebzelerde Pt konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimlerine ilişkin Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 4.28'de verilmiştir.

Tablo 4.28 Pt (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Tür	Organ						Toprak
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	F Değeri	Ortalama	
Biber	$15,33^{dB}$	$15,06^{dA}$	$15,53^{bC}$	$17,23^{aD}$	$493,857^{***}$	15,79	$19,50^{a}$
Domates	16.33^{eB}	14.53^{bA}	$18,10^{eD}$	$17,80^{bC}$	$330,977^{***}$	16,69	$53,30^{b}$
Mısır	$14,66^{bB}$	$14,16^{aA}$	$14,13^{aA}$	$55,13^{dC}$	$28830,891^{***}$	24,52	$54,63^{c}$
Patlıcan	$15,03^{cB}$	$14,73^{cA}$	$16,46^{cC}$	$19,06^{cD}$	$880,396^{***}$	16,32	$52,60^{b}$
Salatalık	$14,36^{aA}$	$14,50^{bB}$	$16,73^{dC}$	$17,20^{aD}$	$1568,533^{***}$	15,70	$55,30^{c}$
F Değeri	$151,853^{***}$	$49,250^{***}$	$443,909^{***}$	$20921,483^{***}$		2,455ns	$1380,129^{***}$
Ortalama	$15,14^{A}$	$14,60^{A}$	$16,19^{B}$	$17,82^{C}$	$33,790^{***}$		

Tabloda görüldüğü üzere Pt konsantrasyonunun bütün türlerde organ ve bütün organlarda tür bakımından istatistiki olarak anlamlı olarak değiştiği belirlenmiştir ($p<0,001$). Değerler incelendiğinde salatalık dışında bütün türlerde en düşük değerlerin meyvelerde elde edildiği görülmektedir. Salatalıkta en düşük değerler gövdede elde edilmiştir. En yüksek değerler ise domateste yapraklarda, diğer türlerde köklerde elde edilmiştir. Organ bazında ise en düşük değerler gövdede salatalık, köklerde biber, meyve ve yaprakta mısırda elde edilmiştir. En yüksek değerler mısırda kök, meyvede biber, gövde ve yaprakta domateste hesaplanmıştır. Organlarda

ortalama değerlere göre en düşük değerler gövde ve meyvede, en yüksek değer kökte elde edilirken türlerde en düşük ortalama değer biberde, en yüksek değerler mısır ve salatalıkta elde edilmiştir. Pt için BCF değerlerinin tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.29'da verilmiştir.

Tablo 4.29 Pt için BCF değerleri

Tür	Organ				Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	
Biber	0,786	0,772	0,796	0,884	0,810
Domates	0,306	0,273	0,340	0,334	0,313
Mısır	0,268	0,259	0,259	1,009	0,449
Patlıcan	0,286	0,280	0,313	0,362	0,310
Salatalık	0,260	0,262	0,303	0,311	0,284
Ortalama	0,381	0,369	0,402	0,580	0,433

Pt için BCF değerleri incelendiğinde en düşük 0,259 ile mısır meyve ve yaprakları, en yüksek ise 1,009 ile mısır köklerinde hesaplandığı görülmektedir. Ortalama değerlere göre organlarda en düşük BCF değerleri meyve (0,369) ve gövdede (0,381) en yüksek BCF değerleri yaprak (0,402) ve köklerde (0,580) elde edilmiştir. Tür bazında değişim ise küçükten büyüğe salatalık (0,284), patlıcan (0,310), domates (0,313), mısır (0,449) ve biber (0,810) şeklindedir. Pt için hesaplanan TF değerleri Tablo 4.30'da verilmiştir.

Tablo 4.30 Pt için TF değerleri

Tür	Organ			Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	
Biber	0,889	0,873	0,900	0,887
Domates	0,916	0,817	1,018	0,917
Mısır	0,266	0,257	0,257	0,260
Patlıcan	0,790	0,773	0,865	0,809
Salatalık	0,836	0,842	0,974	0,884
Ortalama	0,739	0,712	0,803	0,751

Pt için TF değerleri incelendiğinde salatalık dışındaki bütün türlerde en düşük değerlerin meyvede elde edildiği görülmektedir. Meyvelerde TF değerleri mısırda 0,257 olarak hesaplanmıştır. Diğer türlerde meyvelerde hesaplanan TF değerleri ise 0,773 (patlıcan) ile 0,842 (salatalık) arasında değişmektedir. Bütün türlerde en yüksek TF değerleri yapraklarda hesaplanmış olup yapraklarda hesaplanan en yüksek TF değerleri domateste (1,018) hesaplanmıştır.

4.11 Ti (ppb) Konsantrasyonunun Değişimi

Ti konsantrasyonunun değişimine ilişkin Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 4.31'de verilmiştir.

Tablo 4.31 Ti (ppb) konsantrasyonunun değişimi

Tür	Organ						Toprak
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	F Değeri	Ortalama	
Biber	$3942,5^{cB}$	$2747,1^{bA}$	$9424,5^{bC}$	$112949,6^{bD}$	$31985,6^{***}$	32265,9	$223837,0^{a}$
Domates	$28937,1^{eB}$	$3124,6^{cA}$	$107231,0^{eC}$	$174309,3^{cD}$	$26883,7^{***}$	78400,5	$1102066,6^{b}$
Mısır	$3036,1^{aA}$	$2348,1^{aA}$	$3004,5^{aA}$	$1186615,0^{eD}$	$53527,3^{***}$	92233,7	$1235696,6^{d}$
Patlıcan	$3803,3^{bA}$	$2830,2^{bA}$	$24236,0^{cB}$	$242950,6^{dC}$	$76632,2^{***}$	68455,0	$1099137,5^{b}$
Salatalık	$6330,4^{dB}$	$2717,6^{bA}$	$40206,0^{dC}$	$95433,6^{aD}$	$102381,5^{***}$	36171,9	$1169010,0^{c}$
F Değeri	$79037,2^{***}$	$50,1^{***}$	$44620,4^{***}$	$38481,8^{***}$		$2,425^{ns}$	$34619,1^{***}$
Ortalama	$9209,9^{A}$	$2753,5^{A}$	$36820,4^{B}$	$156410,8^{C}$	$55,106^{***}$		

Tablo değerleri incelendiğinde Ti konsantrasyonunun bütün türlerde organ ve bütün organlarda tür bakımından istatistiki olarak anlamlı olarak değiştiği görülmektedir ($p<0,001$).

Bütün türlerde meyvelerde elde edilen değerlerin, Duncan testi sonucunda ilk gruplarda olması dikkat çekicidir. Benzer şekilde yine bütün türlerde köklerde elde edilen değerler, Duncan testi sonucunda son gruplarda yer almıştır. Kökler dışında bütün organlarda mısırda elde edilen değerler, Duncan testi sonucunda ilk grupta yer alırken yine kökler dışında bütün organlarda domateste elde edilen değerler, Duncan testi sonucunda son grupta yer almıştır. Köklerde ise en düşük değer salatalıkta, en yüksek değer mısırda elde edilmiştir. Organlarda ortalama değerlere göre en düşük değerler gövde ve meyvede, en yüksek değer kökte elde edilirken türlerde en düşük ortalama değer biberde, en yüksek değer mısırda elde edilmiştir. Ti için BCF değerlerinin tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.32'de verilmiştir.

Tablo 4.32 Ti için BCF değerleri

Tür	Organ				Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	
Biber	0,018	0,012	0,042	0,505	0,144
Domates	0,026	0,003	0,097	0,158	0,071
Mısır	0,002	0,002	0,002	0,960	0,242
Patlıcan	0,003	0,003	0,022	0,221	0,062

Tablo 4.32'nin devamı

Salatalık	0,005	0,002	0,034	0,082	0,031
Ortalama	0,011	0,004	0,039	0,385	0,110

Tablo 4.32'de görüldüğü üzere Ti elementinde BCF değerleri 0,002 (mısır kökü dışındaki mısır organları) ile 0,960 (mısır kökü) arasında değişmektedir. Genel olarak BCF değerlerinin diğer elementlere göre çok düşük seviyede olması dikkat çekmektedir. Mısır kökü (0,960) ve biber kökü (0,505) dışında en yüksek BCF değeri 0,221 (patlıcan kökü) olarak hesaplanmıştır. Kökler dışındaki en yüksek değer ise domates yapraklarında elde edilen 0,097 değeridir. Ti için hesaplanan TF değerleri Tablo 4.33'te verilmiştir.

Tablo 4.33 Ti için TF değerleri

Tür	Organ			Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	
Biber	0,036	0,024	0,083	0,048
Domates	0,165	0,019	0,614	0,266
Mısır	0,002	0,002	0,002	0,002
Patlıcan	0,014	0,014	0,100	0,043
Salatalık	0,061	0,024	0,415	0,167
Ortalama	0,056	0,017	0,243	0,105

Ti için en düşük TF değeri 0,002 ile mısır organlarında elde edilirken en yüksek TF değeri 0,614 ile domates yapraklarında elde edilmiştir. Mısır dışında en düşük değerler 0,014 ile patlıcan gövde ve meyvelerinde elde edilmiştir. Ortalama TF değerleri organlarda 0,017 ile 0,243 arasında, türlerde ise 0,002 ile 0,266 arasında değişmektedir. Diğer elementlerle kıyaslandığında Ti elementindeki TF değerlerinin oldukça düşük olması dikkat çekmektedir.

4.12 Mg (ppm) Konsantrasyonunun Değişimi

Mg konsantrasyonunun değişimine ilişkin ortalama veriler ile Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 4.34'te verilmiştir.

Tablo 4.34 Mg (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Tür	Organ						Toprak
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	F Değeri	Ortalama	
Biber	2826,10^{dD}	1961,06^{dB}	2062,66^{cC}	1583,43^{bA}	4482,0***	2108,31	2221,60^{a}
Domates	3191,46^{eD}	669,13^{bA}	2286,06^{dC}	1641,46^{cB}	29063,8***	1947,03	5338,91^{b}
Mısır	617,60^{aA}	652,16^{aB}	1581,26^{bC}	5850,66^{eD}	100866,2***	2175,42	5940,25^{c}
Patlıcan	1097,00^{bA}	1558,06^{cC}	1374,83^{aB}	2159,23^{dD}	16911,8***	1547,28	5313,50^{b}
Salatalık	2220,30^{cC}	1561,53^{cB}	3463,96^{eD}	1275,90^{aA}	55774,3***	2130,42	6173,41^{d}
F Değeri	26053,9***	40430,8***	22528,6***	53938,7***		0,556^{ns}	23870,4***
Ortalama	1990,49^{B}	1280,39^{A}	2153,76^{B}	1665,00^{A}	4,198*		

Önemli besin elementlerinden olan Mg elementinde bütün türlerde organ ve bütün organlarda tür bakımından değişimin istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu görülmektedir ($p<0,001$). En yüksek değerler gövdede domates, meyvede patlıcan ve salatalık, yaprakta salatalık ve köklerde mısırda elde edilmiştir. Her organda en yüksek değerin ayrı bir türde elde edilmiş olması dikkat çekmektedir. En düşük değerler de gövde ve meyvede mısır, yaprakta patlıcan, köklerde de salatalıkta elde edilmiştir. Organ olarak ise en yüksek değerler biberde ve domateste gövde, salatalıkta yaprak, mısır ve patlıcanda köklerde elde edilirken en düşük değerler biberde ve salatalıkta kök, domateste meyve, mısır ve patlıcanda gövdede elde edilmiştir. Organlarda Duncan testi sonucunda iki grup oluşmuş, meyve ve kök ilk grubu, gövde ve yaprak ikinci grubu oluşturmuştur. Mg konsantrasyonunun topraklarda değişimi biber <patlıcan <domates <mısır <salatalık şeklindedir. Mg için BCF değerlerinin tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.35'te verilmiştir.

Tablo 4.35 Mg için BCF değerleri

Tür	Organ				Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	
Biber	1,272	0,883	0,928	0,713	0,949
Domates	0,598	0,125	0,428	0,307	0,365
Mısır	0,104	0,110	0,266	0,985	0,366
Patlıcan	0,206	0,293	0,259	0,406	0,291
Salatalık	0,360	0,253	0,561	0,207	0,345
Ortalama	0,508	0,333	0,488	0,524	0,463

Mg'de BCF değerlerinin 0,104 (mısır gövdesi) ile 1,272 (biber gövdesi) arasında değiştiği belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalara göre en düşük değerler mısır ve patlıcanda gövde, diğer türlerde meyvelerde elde edilmiştir. En yüksek değerler ise

biberde ve domateste gövde, salatalıkta yaprak, mısır ve patlıcanda köklerde elde edilmiştir. Mg için hesaplanan TF değerleri Tablo 4.36'da verilmiştir.

Tablo 4.36 Mg için TF değerleri

Tür	Organ			Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	
Biber	1,784	1,238	1,302	1,441
Domates	1,948	0,407	1,394	1,250
Mısır	0,106	0,112	0,270	0,163
Patlıcan	0,507	0,722	0,638	0,622
Salatalık	1,739	1,222	2,710	1,890
Ortalama	1,217	0,740	1,263	1,073

Tablo değerleri incelendiğinde Mg için TF değerlerinin özellikle biber ve salatalıkta oldukça yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek değerler 2,710 ile salatalık yaprakları ve 1,948 ile domates gövdesinde hesaplanmıştır. Bunun dışında domates meyvesi dışında biber, domates ve salatalıklarda bütün organlarda TF değerinin 1'i aştığı görülmektedir. En düşük değerler ise 0,106 ile mısır gövdesi ve 0,112 ile mısır yapraklarında elde edilmiştir.

4.13 K (ppm) Konsantrasyonunun Değişimi

Sebzelerde K konsantrasyonunun tür ve organ bazında değişimlerine ilişkin Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 4.37'de verilmiştir.

Tablo 4.37 K (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Tür	Organ						Toprak
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	F Değeri	Ortalama	
Biber	$15407,43^{cD}$	$10616,56^{bB}$	$14163,36^{eC}$	$6581,03^{cA}$	$26055,7^{***}$	$11692,09^{bc}$	$6096,33^{e}$
Domates	$8932,86^{aB}$	$13629,06^{cB}$	$6793,63^{bA}$	$9212,60^{dC}$	$5569,4^{***}$	$9642,04^{ab}$	$1876,83^{b}$
Mısır	$10514,86^{bD}$	$3855,89^{aB}$	$6347,09^{aC}$	$2271,33^{aA}$	$50965,8^{***}$	$5747,30^{a}$	$2180,83^{d}$
Patlıcan	$19456,00^{dD}$	$15919,19^{eC}$	$9070,00^{dB}$	$5281,03^{bA}$	$22350,8^{***}$	$12431,55^{bc}$	$1614,08^{a}$
Salatalık	$28950,49^{eD}$	$14413,76^{dC}$	$7454,29^{cA}$	$10435,69^{eB}$	$49136,8^{***}$	$15313,56^{c}$	$2139,91^{c}$
F Değeri	$23480,7^{***}$	$17833,0^{***}$	$18298,3^{***}$	$43820,0^{***}$		$5,486^{**}$	$48441,5^{***}$
Ortalama	$16652,33^{B}$	$11686,90^{A}$	$8765,68^{A}$	$7877,59^{A}$	$9,66^{***}$		$2781,60^{A}$

Tabloda görüldüğü üzere K konsantrasyonunun bütün türlerde organ ve bütün organlarda tür bakımından istatistiki olarak anlamlı olarak değiştiği belirlenmiştir ($p<0,001$). Değerler incelendiğinde en düşük değerlerin domates ve salatalıkta

yapraklarda, diğer türlerde köklerde, en yüksek değerlerin ise domateste köklerde, diğer türlerde gövdede elde edildiği görülmektedir. Organ bazında ise gövde dışındaki organlarda en düşük değerlerin mısırda, gövdede en düşük değerin domateste, en yüksek değerlerin ise meyvede patlıcan, yaprakta biber, kök ve gövdede salatalıkta elde edildiği görülmektedir. Organlarda Duncan testi sonucunda iki grup oluşmuş, meyve, yaprak ve kök ilk grubu, gövde tek başına ikinci grubu oluşturmuştur. Türlerde ortalama değerlere göre en düşük değer mısırda, en yüksek değer ise salatalıkta elde edilmiştir. Topraklarda da en düşük değer patlıcanda, en yüksek değer ise biberde elde edilmiştir. K için BCF değerlerinin tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.38'de verilmiştir.

Tablo 4.38 K için BCF değerleri

Tür	Organ				Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	
Biber	2,527	1,741	2,323	1,080	1,918
Domates	4,760	7,262	3,620	4,909	5,138
Mısır	4,821	1,768	2,910	1,041	2,635
Patlıcan	12,054	9,863	5,619	3,272	7,702
Salatalık	13,529	6,736	3,483	4,877	7,156
Ortalama	7,538	5,474	3,591	3,036	4,910

K için BCF değerlerinin, şimdiye kadar yapılan hesaplamalardan çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Değerler incelendiğinde en düşük BCF değerinin (1,041 ile mısır kökleri) bile diğer elementlerin birçoğundakinden yüksek olduğu ve BCF değerinin 13,529'a (salatalık gövdesi) kadar çıktığı belirlenmiştir. Ortalama değerlere göre en düşük BCF değerleri organ olarak kök (3,036), tür olarak biberde (1,918) hesaplanırken en yüksek değerler organ olarak gövde (7,538), tür olarak ise patlıcanda (7,156) hesaplanmıştır. K için hesaplanan TF değerleri Tablo 4.39'da verilmiştir.

Tablo 4.39 K için TF değerleri

Tür	Organ			Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	
Biber	2,340	1,612	2,151	2,034
Domates	0,970	1,479	0,737	1,062
Mısır	4,631	1,698	2,795	3,041
Patlıcan	3,684	3,014	1,717	2,805
Salatalık	2,774	1,381	0,714	1,623
Ortalama	2,880	1,837	1,623	2,113

K için TF değerleri incelendiğinde, diğer elementlere göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. En düşük değerler salatalık yaprağı (0,714), domates yaprağı (0,737) ve domates gövdesinde (0,970) elde edilmiş olup, bunların dışında bütün organlardaki TF değerleri 1'in üzerinde hesaplanmıştır. En yüksek değerler ise mısır gövdesi (4,631), patlıcan gövdesi (0,684) ve patlıcan meyvesinde (3,014) elde edilmiştir. Hem organlarda hem de türlerde ortalama değerlerin tamamı 1'in üzerindedir.

4.14 P (ppm) Konsantrasyonunun Değişimi

P konsantrasyonunun değişimine ilişkin Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 4.40'da verilmiştir.

Tablo 4.40 P (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Tür	Organ						Toprak
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	F Değeri	Ortalama	
Biber	$2595,63^{dB}$	$3142,76^{eD}$	$3088,93^{dC}$	$875,43^{aA}$	$21383,2^{***}$	$2425,69^{b}$	$1428,50^{e}$
Domates	$1572,63^{cB}$	$2660,23^{bD}$	$2016,50^{cC}$	$885,00^{bA}$	$18273,1^{***}$	$1783,59^{a}$	$955,91^{a}$
Mısır	$595,86^{aA}$	$1851,90^{aD}$	$1386,96^{bC}$	$1112,33^{dB}$	$30043,2^{***}$	$1236,76^{a}$	$1034,50^{c}$
Patlıcan	$1181,86^{bC}$	$3301,06^{dD}$	$719,56^{aA}$	$1003,00^{cB}$	$100367,1^{***}$	$1551,37^{a}$	$992,08^{b}$
Salatalık	$4353,16^{eC}$	$4693,66^{eD}$	$3930,93^{eA}$	$4211,13^{eD}$	$1775,2^{***}$	$4297,22^{c}$	$1074,91^{d}$
F Değeri	$121154,9^{***}$	$15685,1^{***}$	$44802,9^{***}$	$333108,1^{***}$		$31,542^{***}$	$28518,6^{***}$
Ortalama	$2059,83^{A}$	$3129,92^{B}$	$2228,58^{AB}$	$1743,64^{A}$	$3,168^{*}$		$1097,18^{A}$

Tablo değerleri incelendiğinde P konsantrasyonunun da bütün türlerde organ ve bütün organlarda tür bakımından istatistiki olarak anlamlı olarak değiştiği görülmektedir ($p<0,001$).

Tabloda ilk dikkat çeken nokta bütün türlerde meyvede elde edilen konsantrasyonların Duncan testi sonucunda son grupta yer almasıdır. En düşük değerler mısırda gövde, biber ve domateste kök, patlıcan ve salatalıkta ise yaprakta elde edilmiştir. En düşük değerler yaprakta patlıcan, köklerde biber, gövde ve meyvede mısırda elde edilirken en yüksek değerler bütün organlarda salatalıkta elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre türler Duncan testi sonucunda üç grupta toplanmış, domates, mısır ve patlıcan ilk grubu, biber ikinci grubu, salatalık son grubu oluşturmuştur. Organlarda P konsantrasyonu kök <gövde <yaprak <meyve olarak sıralanırken topraklar domates

<patlıcan <mısır <salatalık <biber şeklinde sıralanmıştır. P için BCF değerlerinin tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.41'de verilmiştir.

Tablo 4.41 P için BCF değerleri

Tür	Organ				Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	
Biber	1,817	2,200	2,162	0,613	1,698
Domates	1,645	2,783	2,110	0,926	1,866
Mısır	0,576	1,790	1,341	1,075	1,196
Patlıcan	1,191	3,327	0,725	1,011	1,564
Salatalık	4,050	4,367	3,657	3,918	3,998
Ortalama	1,856	2,893	1,999	1,509	2,064

Tablo 4.41'de görüldüğü üzere P elementinde de BCF değerleri oldukça yüksektir. En düşük değerler mısır gövdesi (0,576), biber kökleri (0,613), patlıcan yaprakları (0,725) ve domates köklerinde (0,926) elde edilmiştir. Diğer bütün değerler 1'in üzerinde olup P için BCF değerlerinin 4,367'ye (salatalık meyvesi) kadar çıktığı belirlenmiştir. Özellikle salatalıkta elde edilen değerlerin çok yüksek olması dikkat çekmektedir. Ortalama değerlere göre en düşük BCF değerleri organ olarak gövde (1,856), tür olarak mısırda (1,196) hesaplanırken en yüksek değerler organ olarak meyve (2,893), tür olarak ise salatalıkta (3,998) hesaplanmıştır. P için hesaplanan TF değerleri Tablo 4.42'de verilmiştir.

Tablo 4.42 P için TF değerleri

Tür	Organ			Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	
Biber	2,964	3,589	3,527	3,360
Domates	1,776	3,005	2,279	2,353
Mısır	0,536	1,665	1,247	1,149
Patlıcan	1,178	3,291	0,717	1,729
Salatalık	1,034	1,115	0,933	1,027
Ortalama	1,498	2,533	1,741	1,924

P için en düşük TF değeri 0,536 ile mısır gövdesinde elde edilirken en yüksek TF değeri 3,589 ile domates meyvesinde elde edilmiştir. Mısır gövdesi dışında en düşük değerler patlıcan yaprakları (0,717) ve salatalık yapraklarında (0,933) elde edilmiş olup bunların dışındaki bütün TF değerleri 1'in üzerindedir. Özellikle biberde TF

değerlerinin 2,964 ile 3,589 arasında değiştiği ve ortalama 3,360 olduğu görülmektedir.

4.15 S (ppm) Konsantrasyonunun Değişimi

S konsantrasyonunun değişimine ilişkin ortalama veriler ile Varyans analizi ve Duncan testi sonuçları Tablo 4.43'te verilmiştir.

Tablo 4.43 S (ppm) konsantrasyonunun değişimi

Tür	Organ						Toprak
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	F Değeri	Ortalama	
Biber	2716,90^{dC}	1542,70^{aB}	3482,96^{dD}	1448,40^{dA}	59064,6***	2297,74^{ab}	934,20^{e}
Domates	1817,30^{cC}	846,30^{bA}	8619,69^{eD}	1026,63^{cA}	47592,5***	3077,48^{b}	590,83^{a}
Mısır	448,70^{aA}	685,76^{aC}	1273,50^{aD}	669,41^{aB}	41100,7***	769,34^{a}	614,16^{b}
Patlıcan	1195,06^{bA}	1259,46^{cB}	2540,90^{cD}	1648,66^{eC}	29373,7***	1661,02^{ab}	625,33^{c}
Salatalık	1200,36^{bB}	1358,43^{dC}	2120,23^{bD}	681,63^{bA}	95222,4***	1340,16^{a}	678,25^{d}
F Değeri	72316,4***	24059,2***	34684,7***	138550,4***		3,712*	26154,7***
Ortalama	1475,66^{A}	1138,53^{A}	3607,46^{B}	1201,33^{A}	9,4***		

Diğer bütün elementlerde olduğu gibi S elementinde de bütün türlerde organ ve bütün organlarda tür bakımından değişimin istatistiki olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir ($p<0,001$). Tabloda yine ilk dikkat çeken nokta bütün türlerde yapraklarda elde edilen konsantrasyonların Duncan testi sonucunda son grupta yer almasıdır. En düşük değerler mısırda biberde kök, domateste meyve, salatalıkta kök, mısır ve patlıcanda gövdede elde edilmiştir. Bütün organlarda, mısırda elde edilen değerlerin Duncan testi sonucunda ilk grupta olduğu görülmektedir. En yüksek değerler ise gövdede biber, meyvede salatalık, yaprakta domates ve köklerde patlıcanda elde edilmiştir. Ortalama değerlere göre türler Duncan testi sonucunda organlar iki grup oluşturmuş, gövde, meyve ve kök ilk grubu, yaprak ikinci grubu oluşturmuştur. Türlerde de iki grup oluşmuş, mısır ve salatalık ilk grupta, domates ikinci grupta yer alırken biber ve patlıcan her iki grupta birden yer almıştır. Topraklarda S konsantrasyonu kök <gövde <yaprak <meyve olarak sıralanırken topraklar domates <mısır <patlıcan <salatalık <biber şeklinde sıralanmıştır. S için BCF değerlerinin tür ve organ bazında değişimi Tablo 4.44'te verilmiştir.

Tablo 4.44 S için BCF değerleri

Tür	Organ				Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	Kök	
Biber	2,908	1,651	3,728	1,550	2,459
Domates	3,076	1,432	14,589	1,738	5,209
Mısır	0,731	1,117	2,074	1,090	1,253
Patlıcan	1,911	2,014	4,063	2,636	2,656
Salatalık	1,770	2,003	3,126	1,005	1,976
Ortalama	2,079	1,643	5,516	1,604	2,711

Yapılan hesaplamalara göre S elementinde de BCF değerleri oldukça yüksektir. En düşük değer 0,731 ile mısır gövdesinde elde edilmiş olup diğer bütün değerler 1'in üzerindedir. En yüksek BCF değerleri domates yaprakları (14,589), patlıcan yaprakları (4,063) ve biber yapraklarında (3,728) elde edilmiştir. Özellikle yapraklarda elde edilen değerlerin çok yüksek olması dikkat çekmektedir. Ortalama değerlere göre en düşük BCF değerleri organ olarak kök (1,604), tür olarak mısırda (1,253) hesaplanırken en yüksek değerler organ olarak yaprak (5,516), tür olarak ise domateste (5,209) hesaplanmıştır. S için hesaplanan TF değerleri Tablo 4.45'te verilmiştir.

Tablo 4.45 S için TF değerleri

Tür	Organ			Ortalama
	Gövde	Meyve	Yaprak	
Biber	1,876	1,065	2,405	1,782
Domates	1,770	0,824	8,394	3,663
Mısır	0,671	1,025	1,903	1,200
Patlıcan	0,725	0,764	1,541	1,010
Salatalık	1,761	1,993	3,110	2,288
Ortalama	1,361	1,134	3,471	1,989

Tablo değerleri incelendiğinde S için TF değerlerinin özellikle biber ve salatalıkta oldukça yüksek olduğu, bu türlerde bütün organlarda TF değerinin 1'i geçtiği görülmektedir. En sıra dışı değer 8,394 ile domates yapraklarında hesaplanmıştır. Bunun dışındaki en yüksek değerler 3,011 ile salatalık yaprakları ve 2,405 ile biber yapraklarında elde edilmiştir. En düşük değerler ise 0,671 ile mısır gövdesi ve 0,725 ile patlıcan gövdesinde hesaplanmıştır.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında Al, Ni, Zn, Bi, Li, Au, Si, Na, Mo, Pt, Ti, Mg, K, P ve S elementlerinin, Düzce'de yetiştirilen domates, biber, salatalık, patlıcan ve mısır bitkilerinde toprak, kök, gövde, yaprak ve meyvelerdeki konsantrasyonları değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında değerlendirilen elementler içerisinde Al, Ni ve Zn elementleri bitkiler için besin elementi olmakla birlikte gıdalar yoluyla insan bünyesine alınması durumunda ciddi sağlık problemlerine yol açabilen elementlerdir Demirci vd., 2026). Bundan dolayı uluslararası kuruluşlardan ATSDR her üç elementi, EPA ise Ni ve Zn'yi öncelikli kirletici listesine dahil etmiştir (Çelik, 2026). Bundan dolayı bu elementlerde elde edilen sonuçlar ayrı bir önem taşımaktadır.

Al bitkiler için temel bir element değildir ve yüksek miktarda biriktiğinde toksisiteye neden olabilir. WHO tarafından Al'un izin verilen konsantrasyonu 0.2 mg/L'dir (Rehman vd., 2021). Avrupa Birliği'nce gıdalarda kilogram başına en fazla 5 mg Al salınım limiti belirtilmiştir (Yokel, 2025). Çalışma sonucunda gıda olarak tüketilen meyve organlarında Al konsantrasyonunun 15,06 ppm (mısır) ile 44,00 ppm (domates) arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değerler WHO ve European Union tarafından izin verilen değerlerin onlarca kat üzerindedir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda büyük oranda Al konsantrasyonunun salatalıklarda 0,400- 4,17 mg/kg arasında olduğu ve ortalama 0.905 mg/kg olduğu, patlıcanlarda 0,500-1,50 mg/kg olduğu ve ortalama 0,800 mg/kg olduğu, biberlerde 0,500-3,30 mg/kg olduğu ve ortalama 1,26 mg/kg olduğu, mısırlarda ise 0,115- 0,250 mg/kg olduğu ve ortalama 0,175 mg/kg olduğu belirlenmiştir (Yokel, 2025). Kastamonu'da yapılan bir çalışmada Al konsantrasyonları ortalama olarak patlıcanda 39800 μg kg−1 dw, domateste 796 μg kg−1 dw, salatalıkta 4997 μg kg−1 dw ve biberde 11452 μg kg−1 dw olarak belirlenmiştir (Altıkulaç vd., 2025). Bu değerlerle karşılaştırıldığında çalışmada elde edilen Al konsantrasyonları çok daha yüksek seviyededir.

Ni, düşük konsantrasyonlarda bitkiler için gereklidir; ancak yüksek konsantrasyonlar bitki büyümesi üzerinde zararlı etkilere neden olur (Kaur vd., 2023). Ancak, Türk Gıda Kodeksi'nde sebzeler için Ni üst sınırı bulunmamaktadır. Çalışma sonucunda

meyvelerde nikel konsantrasyonlarının 1745,50 ppb (patlıcan) ile 3884,76 ppb (domates) arasında değiştiği belirlenmiştir. İran'da yapılan bir çalışmada Ni konsantrasyonunun domateslerde 0,007 mg/kg, salatalıklarda 0,037 mg/kg civarında olduğu belirlenmiştir (Payandeh vd., 2021). Türkiye'de yapılan bir çalışmada Ni konsantrasyonları ortalama olarak patlıcanda 1832 µg kg−1 dw, salatalıkta 724 µg kg−1 dw ve biberde 1609 µg kg−1 dw olarak belirlenmiştir (Altıkulaç vd., 2025). Türkiye'de Ankara'da yapılan bir çalışmada trafik yoğunluğuna bağlı olarak yıkanmış numunelerde meyvelerde Ni konsantrasyonunun biberde 1346,2 – 3680,8 ppb, domateste 433,3-1438,4 ppb ve salatalıkta 1649,0-3068,7 ppb arasında değiştiği belirlenmiştir (Kravkaz Kuşçu vd., 2022).

Zn insanlar için toksik bir element olup sebzelerdeki Zn'nin kabul edilebilir üst sınırları 50-150 µg/g olarak bildirilmiştir (Arif vd., 2011). Çalışma sonucunda meyvelerde çinko konsantrasyonlarının 9474,56 ppb (domates) ile 17458,26 ppb (salatalık) arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre meyvelerde belirlenen en yüksek değer (yaklaşık 17,5 ppm) izin verilen üst limitlerin (en az 50 ppm) oldukça altındadır. Konu ile ilgili yapılan bir çalışmada Zn konsantrasyonları ortalama olarak patlıcanda 8735 µg kg−1 dw, domateste 1023 µg kg−1 dw, salatalıkta 6120 µg kg−1 dw ve biberde 73002 µg kg−1 dw olarak belirlenmiştir (Altıkulaç vd., 2025). İran'da yapılan bir çalışmada Zn konsantrasyonunun domateslerde 38,396 mg/kg, salatalıklarda 23,440 mg/kg civarında olduğu belirlenmiştir (Payandeh vd., 2021). Suudi Arabistan'da yapılan bir çalışmada Zn konsantrasyonları biberde dış dokularda 552,77±48,41 µg/g wet tissue, iç dokularda 686,71±94,09 olarak belirlenmiş, domates, patlıcan ve salatalıkta belirlenebilir limitlerin altında kalmıştır (Arif vd., 2011). Suudi Arabistan'da marketlerden toplanan sebzelerde yapılan bir başka çalışmada Zn konsantrasyonunun salatalıklarda 0,65-3,46 µg/g dry wt, domateslerde 50,48±19,00 µg/g dry wt, patlıcanlarda 3,90±0,78 µg/g dry wt ve biberlerde 6,07±1,89 µg/g dry wt olarak belirlenmiştir (Nassar vd., 2018). Bu sonuçlara göre çalışmada elde edilen Zn değerlerinin benzer çalışmalarda elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu söylenebilir.

Sebzelerde, çalışmaya konu elementlerden Ni ve Zn için yasal sınırlar detaylı olarak belirlenmemiştir. Oysa sağlık açısından zararlı diğer elementler için belirlenen sınır değerlerle kıyaslandığında çalışmada elde edilen değerlerin çok yüksek olduğu

görülmektedir. WHO ve EU yapraklı sebzelerde sınır değerleri As ve Cd için 0,1 mg/kg olarak belirlemiştir. Pb için WHO 0,3 mg/kg, EU ise 0,1 mg/kg sınır değeri belirlemiştir (Ejaz vd., 2023). Çalışmada Ni ve Zn için elde edilen değerler bu sınırların çok üzerindedir.

Çalışma kapsamında değerlendirilen diğer elementlerin bazıları esansiyel (Na, Mo, S gibi) iken bazıları biyolojik rolü sınırlı veya belirsiz (Ti, Au, Pt, Bi, Li) olup yüksek dozlarda toksik etki gösterebilir. Ancak bu elementlerin çoğu için sebzelerde yasal maksimum limitler belirlenmemiştir. Uluslarası yasal mevzuatlar yalnızca Pb, Cd, Hg gibi klasik toksik metalleri düzenlemektedir. Oysa yapılan çalışmalar diğer elementlerin de insan ve canlı sağlığı açısından toksik etkiler gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Ancak yasal mevzuatta bir sınır belirlenemediğinden, elde edilen değerlerin kıyaslanması mümkün olmamıştır.

Sebzeler tarafından ağır metal alımı, su, sıcaklık, doku, pH, organik madde içeriği ve besin bulunabilirliği gibi toprak özellikleri ve sebze türlerine bağlı olarak değişmektedir (Zhang vd., 2024). Bu noktada her bir bitkinin farklı ağır metalleri biriktirme eğiliminin çok sayıda faktöre bağılı olarak değişebildiği unutulmamalıdır. Örneğin Mısır bitkisinde Ni birikiminin büyük oranda köklerde yoğunlaşması, bitkinin savunma stratejileri ve iyon taşıma mekanizmalarıyla doğrudan ilişkilidir. Bilimsel literatürde mısır, Ni'nin toprak üstü organlara taşınmasını kısıtlayan ve metali kök sisteminde hapseden bir "excluder" bitki olarak tanımlanmaktadır. Mısır, Ni'nin gövde ve yapraklara geçişini engelleyen güçlü bir fizyolojik bariyer sistemine sahiptir. Kökler, topraktaki nikel iyonlarını pasif difüzyon veya düşük afiniteli taşıyıcılar aracılığıyla hızla bünyesine alır; ancak bu metallerin ksileme yüklenmesi kısıtlıdır. Yapılan çalışmalar, mısırda Ni'nin en yüksek konsantrasyonda kök ucu (apex) ve endodermis tabakasında biriktiğini göstermiştir. Endodermis, nikelin merkezi silindire ve dolayısıyla gövdeye geçişini engelleyen bir "güvenlik duvarı" görevi görür (Seregin vd., 2007).

Çalışma sonucunda topraklardaki ağır metal içeriklerinin oldukça yüksek seviyelerde olduğu belirlenmiştir. Bitki bünyesine ağır metaller havadan yapraklardaki stomalar veya gövde bölümlerinden doğrudan girebilmektedirler. Ancak en önemli giriş yolu

köklerdir (Cobanoglu vd., 2023). Topraktaki ağır metal konsantrasyonlarının yüksek seviyede olması, köklerdeki konsantrasyonların da yüksek seviyelerde olmasına sebep olmaktadır (Ergül ve Kravkaz Kuşçu, 2024). Bundan dolayı topraktaki ağır metal konsantrasyonlarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Türkiye'de topraklarda Ni için sınır değer 75 mg/kg, Zn için 300 mg/kg olarak kabul edilmektedir (Şimşek vd., 2021). Çalışmada elde edilen sonuçlara göre bu sınır değerlerin aşılmadığı görülmektedir.

Çalışma sonucunda zararlı ağır metaller için TF değerleri genel olarak yapraklarda diğer organlara göre daha yüksek seviyede bulunmuş, her üç elementte de en yüksek ortalama değerler yapraklarda elde edilmiştir. TF değeri Al ve Ni'de hiçbir organda 1'i aşmazken Zn'de biber yaprakları (3,421), domates gövdesi (2,233), biber gövdesi (1,522) ve biber meyvelerinde (1,217) 1'in üzerinde hesaplanmıştır. Ancak yine unutulmamalıdır ki elementlerin bitki bünyesine girişi ve birikimi de yine bitki genetik yapısı ve element bitki etkileşimine bağlı olarak şekillenmektedir. Örneğin mısırda Ni'nin TF değerleri genellikle 1'in çok altında bulunmuştur. Bu durum, Ni'nin ksileme yüklenmesini sağlayan HMA (Ağır Metal ATPaz) tipi proteinlerin veya şelatörlerin mısırda Ni için sınırlı kapasiteye sahip olmasından kaynaklanır. Sonuç olarak, emilen nikelin büyük bir kısmı kök dokularında kalır. Ni'nin bir kısmı kök hücrelerinin hücre duvarlarındaki negatif yüklü bölgelere (pektinler vb.) bağlanır. Bu apoplastik tutunma, Ni'nin hücre içine giremeden kök yapısında fiziksel olarak sabitlenmesine neden olur. Literatürde, mısır köklerindeki Ni içeriğinin bazen hücre duvarında protoplazmadan daha yoğun olabileceği rapor edilmiştir (Kastori vd., 2022; Seregin vd., 2003; Yang vd., 1997).

Benzer şekilde biber bitkilerinde Zn translokasyon kapasitesinin diğer sebze türlerine kıyasla daha yüksek olması hem spesifik taşıyıcı proteinlerin aktivitesi hem de bitki bünyesindeki şelatlama mekanizmaları ile doğrudan ilişkilidir. Bu durum, Zn elementinin köklerden alınarak ksilem yoluyla toprak üstü organlara (gövde ve yapraklar) hızlı ve etkili bir şekilde taşınmasını sağlar. Biberde türlerinde Zn taşınımından sorumlu olan ZIP (ZRT/IRT-like Proteins) ve HMA (Heavy Metal ATPase) gen ailelerinin oldukça aktif olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle HMA2 ve HMA4 proteinleri, Zn iyonlarının ksileme yüklenmesinde (xylem loading) kritik rol

oynar. Biber bitkisi, kök hücrelerindeki Zn iyonlarını aktif bir şekilde ksileme pompalayarak, yapraklara doğru gerçekleşen kütle akışını (mass flow) maksimize eder (Broadley vd., 2007). Biber yapraklarında yüksek konsantrasyonda bulunan sitrat ve malat gibi organik asitler, Zn ile şelat oluşturarak iyonun ksilem özsuyu içinde çökmesini engeller ve hareketliliğini artırır. Araştırmalar, biberin gövde ve yaprak dokularında bu organik ligandların sentez kapasitesinin yüksek olduğunu ve bunun da "kaynaktan havuza" (source-to-sink) taşınımı hızlandırdığını göstermektedir (Sinclair ve Krämer, 2012). Biber bitkilerinde Nikotianamin Sentaz (NAS) genlerinin ekspresyon düzeyi, Zn translokasyon katsayısını doğrudan etkiler. Nikotianamin, Zn iyonlarına bağlanarak bunların hem ksilemde hem de floemde hareket etmesini sağlar. Diğer türlere göre daha yüksek NA üretimi, biberin meyve ve genç yapraklar gibi metabolik olarak aktif bölgelere daha fazla Zn iletmesine olanak tanır (White ve Broadley, 2011).

TF değeri bir türün ağır metal biriktirme potansiyelini gösteren önemli bir kriterdir. Bu değer ne kadar yüksekse, türün o organda ağır metal biriktirme potansiyeli o kadar yüksektir (Wang et al., 2019). TF değerleri 1'den büyük olan bitkiler, ilgili metallerin güçlü biriktiricileri olarak kabul edilmektedirler (Takarina ve Pin, 2017). Bu sonuçlara göre ağır metaller düşünüldüğünde çalışmaya konu bitkilerden biber ve domates çeşitli organlarında Zn'yi güçlü şekilde biriktirebildiği söylenebilir. Özellikle biber meyvelerinin Zn'yi güçlü şekilde biriktirebilmesi insan sağlığı açısından risk oluşturabilir.

Çalışmaya konu elementlerden canlılar için biyolojik rolü sınırlı veya belirsiz olarak kabul edilen Ti, Au, Pt, Bi, Li gibi elementlerde TF değerlerinin genellikle çok düşük olduğu, çok nadiren 1 sınırına yaklaşabildiği veya aşabildiği belirlenmiştir. Bu durumun tam aksine besin elementlerinde TF değerleri oldukça yüksektir. Öyle ki P için 3,589'a, K için 4,631'e ve S için 8,294'e ulaşan değerler tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar başka çalışmalarda da elde edilmiştir. Ogori vd., (2023) farklı bitki organlarında TF değerlerini Cr için 5,84, Mn için 10,00, Ni için 4,00, Zn için 5,00 ve Cu için 38,57 olarak hesaplamışlardır. Sevik vd., (2026) sebzeler üzerinde yaptıkları çalışmalarında TF değerlerinin Cr'da 2,410'a, Cd'da 1,848'e kadar çıktığını

belirlerken Ergül (2025), orman ağaçlarının bazı organlarında TF değerlerinin S için 3,747'e, K için 11,127'e ve Mg için 6,837'ye kadar çıktığını belirlemiştir.

Çalışma kapsamında topraklardaki element içeriklerinin değişimi de incelenmiş ve farklı sebzelerin yetiştirildiği topraklarda element içeriklerinin büyük ölçüde değişim gösterebildiği tespit edilmiştir. Topraklardaki element içerikleri de pek çok faktöre göre değişmekle birlikte, en belirleyici faktörlerin başında toprağı oluşturan anakayanın yapısı gelmektedir. Örneğin bu çalışmada topraklardaki Ti konsantrasyonunun yaklaşık 224 ppm ile 1236 ppm arasında değiştiği belirlenmiştir. Dünya genelinde yüzey topraklarındaki Ti oranı %0,02 ile %2,4 arasında değişmekte olup ortalama %0,33'tür; toprak çözeltilerindeki Ti yaklaşık 30 mg L−1'dir. Ti ayrıca atmosferde de bulunur ve küresel ortalama değerleri, insan kaynaklı salınımlardan uzak bölgelerde 7 ng m−3, kirlenmiş bölgelerde ise 85 ng m−3'tür. ABD'deki havadaki Ti konsantrasyonları 10 ila 100 ng m−3 arasında değişmekte olup, sanayi bölgelerinde ≤1.000 ng m−3'e kadar çıkabilmektedir (Kabata-Pendias ve Lyu vd., 2017; Mukherjee, 2007). Topraktaki Ti içeriği de bitkilerdeki Ti içeriğinde en belirleyici faktörlerin başında gelir. Bu çalışmada bitkilerdeki Ti konsantrasyonunun farklı organlarda yaklaşık 3 ppm ile 1186 ppm arasında değiştiği belirlenmiştir. Bitkilerdeki Ti içeriğinin, çeşitli türler arasında 1 ila 578 mg kg−1 (ppm) arasında değiştiği ve ortalama 33,4 mg kg−1 olduğu belirtilmektedir (Lyu vd., 2017). Dolayısıyla özellikle toprak içeriğinin büyük oranda öncelikle anakayaya bağlı olarak değiştiği ve bu içeriğin pek çok elementte (özellikle esansiyel olmayan elementlerde) bitki yapısındaki element içeriğini doğrudan etkilediği söylenebilir.

Bitkilerin çeşitli organlarına elementleri alma ve biriktirebilme potansiyeli bitki türü başta olma üzere organ yapısı, organın yüzey alanı, elementler ile bitkiler arasındaki etkileşimler ve hava koşulları dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Çelik, 2026; Kulac vd., 2025). Çünkü canlıların gelişimi çevresel faktörlerin etkisi altında şekillenmektedir (Aricak vd., 2024; Canturk vd., 2025; Ertugrul vd., 2019; Ozkazanc vd., 2019;). Ancak bitkilerin aynı çevre koşullarına verdiği tepkiler bitki türüne yani genetik yapısına da bağlı olarak da önemli ölçüde değişebilmektedir (Hrivnak vd., 2024; Sevik vd., 2012; Tandogan vd., 2023). Bitki gelişimini etkileyen başlıca çevresel faktörler yağış, sıcaklık, rüzgar gibi klimatik (Cantürk vd., 2024;

Çobanoğlu vd., 2023; Dogan vd., 2024; Zeren Cetin vd., 2025a; Zeren Cetin vd., 2025b) ve pH, besin elementi içeriği, mikroflora ve mikrofauna gibi edafik (Kravkaz Kuscu vd., 2018; Özdikmenli vd., 2024; Varol vd., 2021) faktörlerdir. Üstelik yapılan çalışmalar mikroklimatik ve mikroedafik faktörlerin bitki gelişimi üzerinde makro faktörlerden daha fazla etkili olabildiğini göstermektedir (Erturk vd., 2024a; Erturk vd., 2024b; Kalayci vd., 2025; Sevik vd., 2017; Yigit vd., 2019). Çünkü bitkiler çeşitli stres faktörlerinden (sıcaklık, kuraklık, don, hastalık ve zararlılar, hava kirliliği vb.) etkilenerek strese girebilmekte ve bu durumda bitki gelişimi ve fenotipik karakterleri, dolayısıyla da element alma ve biriktirebilme potansiyelleri büyük oranda etkilenmektedir (Gür vd., 2024; Ismail vd., 2026). Ayrıca gübre ve hormon uygulamaları, budama, sulama gibi kültür bakım işlemleri de bitki gelişimini önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Çelik, 2026; Guney vd., 2016). Bütün bu faktörler de doğrudan veya dolaylı olarak bitki bünyesine elementlerin girişi ve birikimini etkileyebilmektedir. Bu elementlerden, insan sağlığı için düşük konsantrasyonlarda dahi zararlı olabilenlerini örneğin ağır metalleri bünyesinde biriktirebilen bitkilerin insanlar veya hayvanlar tarafından tüketilmesiyle de bu elementler besin zincirine girmiş olmaktadırlar (Çelik, 2026; Gültekin vd., 2025; Sevik vd., 2026).

6. ÖNERİLER

Çalışma sonucunda sebzelerde Al konsantrasyonunun bütün türlerde meyvelerde WHO ve EU tarafından belirlenen sınır değerlerin çok üzerinde olduğu belirlenmiştir. Topraklardaki Al konsantrasyonu da oldukça yüksek değerlerdedir. Bu sonuçlara göre bölgedeki Al kirliliğinin yüksek düzeyde olduğu ve yetiştirilen ürünlerin bu durumdan etkilendiği söylenebilir. Bu durum ciddi sağlık riskleri içermektedir.

Çalışma sonuçlarına göre bölgede Zn'nun özellikle biber ve domateslerde TF değerlerinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Bölgede yetiştirilen biber ve domateslerin gıda olarak tüketimi sağlık açısından ciddi sorunlar oluşturabilir. Zn kirliliğinin yüksek düzeyde olduğu bölgelerde bu sebzelerin yerine meyvelerdeki TF değerleri çok daha düşük olan mısır ve patlıcan yetiştirilmesi önerilmektedir.

Çalışma sonucunda Al, Ni ve Zn elementlerin bitkilerin organlarındaki konsantrasyonlarının oldukça yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Bu elementlerin insan sağlığı açısından son derece zararlı olabildiği bildirilmekle birlikte, sebzelerdeki Ni ve Zn için henüz sınır değerler belirlenmemiştir. Benzer şekilde kullanımı giderek artan ve canlı gelişiminde biyolojik rolü sınırlı veya belirsiz olan Ti, Au, Pt, Bi ve Li gibi elementler için de zarar eşikleri belirlenmiş değildir. Bundan dolayı bu elementlerin çalışmaya konu sebzelerde sınır değerleri aşıp aşmadıkları söylenememektedir. Ancak diğer elementlerle karşılaştırıldığında bazı elementlerde belirlenen konsantrasyonların oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bundan dolayı bu elementlerin sağlık açısından sebze ve meyvelerdeki sınır değerleri acilen belirlenmelidir.

Yapılan çalışmalar ağır metaller arasında yüksek düzeyde korelasyon olduğunu göstermektedir. Çalışma sonucunda elementlerin konsantrasyonlarının yüksek düzeyde olması, As, Ba, Sr, Tl, Sn, Ba, V ve Se gibi çok düşük konsantrasyonlarda dahi insan salığı açısından tehditkar olan ağır metallerin de bölgedeki konsantrasyonlarının yüksek seviyede olabileceğini göstermektedir. Bundan dolayı bölgede kapsamlı çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Çalışma sonucunda özellikle P, K ve S gibi besin elementlerinde TF değerlerinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu elementler bitki gelişimi için mutlak gerekli elementler olup, eksiklikleri durumunda bitki gelişiminde gerileme görülmektedir. Çalışma sonucunda özellikle P ve K gibi elementlerde gövdede elde edilen konsantrasyonlar meyvede elde edilen konsantrasyonlardan çok daha yüksek düzeydedir. Bu durum bitki gövdelerinin hasattan sonra organik gübre olarak kullanılabilirliğinin yüksek olabileceğini göstermektedir. Konu ile ilgili daha detaylı çalışmalar yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Alasfar, R. H., & Isaifan, R. J. (2021). Aluminum environmental pollution: the silent killer. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(33), 44587-44597.

Altıkulaç, A., Turhan, S., Altuner, E. M., Şekeroğlu, B., & Kurnaz, A. (2025). Evaluation of Health Risks Associated with Potential Toxic Elements in Selected Vegetables Consumed in the Western Black Sea Region of Turkey. *ACS Omega*, *10*(9), 8843-8858.

Aricak, B., Canturk, U., Koc, I., Erdem, R., & Sevik, H. (2024). Shifts That May Appear in Climate Classifications in Bursa Due to Global Climate Change. *Forestist*, *74*, 129-137. https://doi.org/10.5152/forestist.2024.23074

Arif, I. A., Khan, H. A., Al Homaidan, A. A., & Ahamed, A. (2011). Determination of Cu, Mn, Hg, Pb, and Zn in the Outer Tissue Washings, Outer Tissues, and Inner Tissues of Different Vegetables Using ICP-OES. *Polish Journal of Environmental Studies*, *20*(4), 835-841.

Becaria, A., Campbell, A., & Bondy, S. C. (2002). Aluminum as a toxicant. *Toxicology and Industrial Health*, *18*(7), 309-320.

Bindraban, P. S., Dimkpa, C. O., & Pandey, R. (2020). Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. *Biology and Fertility of Soils*, *56*(3), 299-317.

Bird, R. P., & Eskin, N. M. (2021). The emerging role of phosphorus in human health. In *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 96, pp. 27-88). Academic Press.

Canal, S. B., Bozkurt, M. A., & Yılmaz, H. (2022). The effect of humic acid on rapeseed (Brassica napus L.) plant growth, heavy metal uptake, phytoremediation parameters (BCF, TF and TI), and antioxidant activity in heavy metal polluted soil. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, *32*(2), 237-248.

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. *Environmental Science and Pollution Research*. 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. *Journal of Forestry Research*, *37*, 61. https://doi.org/10.1007/s11676-026-02005-2

Chen, X. X., Liu, Y. M., Zhao, Q. Y., Cao, W. Q., Chen, X. P., & Zou, C. Q. (2020). Health risk assessment associated with heavy metal accumulation in wheat after long-term phosphorus fertilizer application. *Environmental Pollution*, *262*, 114348.

Childers, D. L., Corman, J., Edwards, M., & Elser, J. J. (2011). Sustainability challenges of phosphorus and food: solutions from closing the human phosphorus cycle. *BioScience*, *61*(2), 117-124.

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.

Çobanoglu, H., Canturk, U., Koc, I., Kulac, S., & Sevik, H. (2023a). Climate Change Effect on Potential Distribution of Anatolian Chestnut (Castanea sativa Mill.) in the Upcoming Century in Türkiye. *Forestist*, *73*(3), 247-256.

Demirci, H., Sevik, H., Koc, I., Ucun Ozel, H., Erdem, R., Adiguzel, F., ... & 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.

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.

Dogan, S., Kilicoglu, C., Akinci, H., Sevik, H., Cetin, M., & Kocan, N. (2024). Comprehensive risk assessment for identifying suitable residential zones in Manavgat, Mediterranean Region. *Evaluation and Program Planning*, *106*, 102465.

Ejaz, U., Khan, S. M., Khalid, N., Ahmad, Z., Jehangir, S., Fatima Rizvi, Z., ... & Raposo, A. (2023). Detoxifying the heavy metals: a multipronged study of tolerance strategies against heavy metals toxicity in plants. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1154571.

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., Çobanoglu, 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. (2025). *Toprak ve bitkilerdeki bazı besin elementlerinin madencilik faaliyetlerine bağlı olarak değişimi: Bakır madenciliği örneği* [Doktora tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

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.

Ertugrul, M., Ozel, H. B., Varol, T., Cetin, M., & Sevik, H. (2019). Investigation of the relationship between burned areas and climate factors in large forest fires in the Canakkale region. Environmental Monitoring and Assessment, 191(12), 737.

Erturk, N., Aricak, B., Sevik, H., & Yigit, N. (2024a). Possible Change in Distribution Areas of Abies in Kastamonu due to Global Climate Change. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty, 24*(1), 81-91.

Erturk, N., Arıcak, B., Yiğit, N., & Sevik, H. (2024b). Potential changes in the suitable distribution areas of fagus orientalis lipsky in kastamonu due to global climate change. *Forestist, 74*, 159-165. https://doi.org/10.5152/forestist.2024.23024

Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., Sinicropi, M. S., & Catalano, A. (2020). Nickel: Human health and environmental toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(3), 679. https://doi.org/10.3390/ijerph17030679

Ghamkhar, K., Hay, F. R., Engbers, M., Dempewolf, H., & Schurr, U. (2025). Realizing the potential of plant genetic resources: the use of phenomics for genebanks. *Plants, People, Planet, 7*(1), 23-32.

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.

Gransee, A., & Führs, H. (2013). Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant and Soil, 368*(1), 5-21.

Guney, K., Cetin, M., Sevik, H., & Guney, K. B. (2016). Effects of some hormone applications on germination and morphological characters of endangered plant species Lilium artvinense L. Seeds, *New Challenges in Seed Biology-Basic and Translational Research Driving Seed Technology*, Dr. Susana Araújo. InTech, 2016b, 4, 97-112.

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*. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.107169

Gür, E., Palta, Ş., Ozel, H. B., Varol, T., Sevik, H., Cetin, M., & Kocan, N. (2024). Assessment of Climate Change Impact on Highland Areas in Kastamonu, Turkey. *Anthropocene, 46*, 100432. https://doi.org/10.1016/j.ancene.2024.100432

Hasanuzzaman, M., & Fujita, M. (2022). Plant responses and tolerance to salt stress: physiological and molecular interventions. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(9), 4810.

Hrivnák, M., Krajmerová, D., Paule, L., Zhelev, P., Sevik, H., Ivanković, M., Goginashvili, N., Paule, J., & Gömöry, D. (2024). Are there hybrid zones in Fagus sylvatica L. sensu lato? *European Journal of Forest Research*, *143*, 451-464. https://doi.org/10.1007/s10342-023-01634-0

Ileke, K. D., & Babatunde, N. A. (2025). Impact of environmental changes on the chemical composition of mosquitocidal plants. *Research Journal of Botany*, *20*(1), 88-102.

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. (2025b). 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), 112.

Isinkaralar, O., Isinkaralar, K., & Sevik, H. (2025a). Health for the future: spatiotemporal CA-MC modeling and spatial pattern prediction via dendrochronological approach for nickel and lead deposition. *Air Quality, Atmosphere & Health*, *18*(4), 1087-1099.

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

Johnson, R., Vishwakarma, K., Hossen, M. S., Kumar, V., Shackira, A., Puthur, J. T., Abdi, G., Sarraf, M., & Hasanuzzaman, M. (2022). Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, *172*, 56-69. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.001

Kabata-Pendias, A., & Mukherjee, A. B. (2007). *Trace elements from soils to human*. Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-540-32714-1

Kalayci, A., Cetin, M., Sevik, H., Karci, A., Gonullu Sutcuoglu, G., & Orman, P. (2025). Linking ecological design and user preferences for climate adaptation on university campuses. *URBAN DESIGN International*, *1*-21.

Kara Rapor. (2024). *Hava kirliliği ve sağlık etkileri*. Temiz Hava Hakkı Platformu. https://temizhavahakki.org/wp-content/uploads/2024/12/Kara-Rapor-2024_final.pdf

Kaur, H., Kaur, H., Kaur, H., & Srivastava, S. (2023). The beneficial roles of trace and ultratrace elements in plants. *Plant Growth Regulation*, *100*(2), 219-236.

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.

Koç, İ., Canturk, U., Cobanoglu, H., Kulac, S., Key, K., & Sevik, H. (2025a). 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.

Koç, İ., Canturk, U., Isinkaralar, K., Ozel, H. B., & Sevik, H. (2024a). Assessment of metals (Ni, Ba) deposition in plant types and their organs at Mersin City, Türkiye. Environmental Monitoring and Assessment, 196(3), 282.

Koc, I., Cobanoglu, H., Canturk, U., Key, K., Kulac, S., & Sevik, H. (2024b). 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.

Koç, İ., Cobanoglu, H., Canturk, U., Key, K., Sevik, H., & Kulac, S. (2025b). 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.

Koç, İ., Çobanoğlu, H., Erdem, R., & Şevik, H. (2026a). Variations in a few macronutrient elements depending on the period in black pine (Pinus nigra Arnold.) wood. *Forestist*, *76*, 0037. https://doi.org/10.5152/forestist.2026.24037

Koç, İ., Sevik, H., Nechita, C., Canturk, U., Iordache, A. M., & Camarero, J. J. (2026b). Selenium bioaccumulation in industrialized urban forests: case study of five tree species used for phytoremediation. *Urban Ecosystems*, *29*(2), 73.

Kravkaz-Kuscu, I. S., Sariyildiz, T., Cetin, M., Yigit, N., Sevik, H., & Savaci, G. (2018b). Evaluation of the soil properties and primary forest tree species in Taskopru (Kastamonu) district. *Fresenius Environmental Bulletin*, *27*(3), 1613-1617.

Kravkaz Kuşçu, İ. S., Kılıç Bayraktar, M., & Tunçer, B. (2022). Determination of heavy metal (Cr, Co, and Ni) accumulation in selected vegetables depending on traffic density. *Water, Air, & Soil Pollution*, *233*(6), 224.

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 Pollution*, *236*, 605. https://doi.org/10.1007/s11270-025-08244-z

Kuşçu, İ. S. K. (2025). Kalsiyumun Ihlamur Odunlarında Birikimi ve Transferi. *MEMBA Su Bilimleri Dergisi*, *11*(2), 242-248. https://doi.org/10.58626/memba.1684785

Leadlab. (2025). *What are the 13 priority pollutant metals?* https://leadlab.com/what-are-the-13-priority-pollutant-metals/

Lyu, S., Wei, X., Chen, J., Wang, C., Wang, X., & Pan, D. (2017). Titanium as a beneficial element for crop production. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 597.

Macedo, F. G., dos Santos Vargas, E., Moreira, A. É. B., Montanha, G. S., & de Carvalho, H. W. P. (2024). Understanding the effects of lithium exposure on castor bean (Ricinus communis) plants, a potential bioindicator of lithium-contaminated areas. *Environmental Science and Pollution Research*, *31*(39), 51991-52000.

Mold, M., Cottle, J., King, A., & Exley, C. (2019). Intracellular aluminium in inflammatory and glial cells in cerebral amyloid angiopathy: a case report. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(8), 1459.

Mostofa, M. G., Rahman, M. M., Ghosh, T. K., Kabir, A. H., Abdelrahman, M., Rahman Khan, M. A., Mochida, K., & Tran, L. P. (2022). Potassium in plant physiological adaptation to abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, *186*, 279-289. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.07.011

Naegele, R. P., Londo, J. P., Zou, C., & Cousins, P. (2021). Identification of SNPs associated with magnesium and sodium uptake and the effect of their accumulation on micro and macro nutrient levels in Vitis vinifera. *PeerJ*, *9*, e10773.

Nassar, O. M., Nasr, H. A., El-Sayed, M. H., & Kobisi, A. E. N. (2018). Heavy metal levels in some popular vegetables from some selected markets in Saudi Arabia. *Egyptian Journal of Botany*, *58*(3), 627-638.

Niu, Q. (2018). Overview of the relationship between aluminum exposure and health of human being. *Neurotoxicity of Aluminum*, 1-31.

Ogori, B.O., Lubis, S., & Bakji, G. (2023). Determination of the concentrations of radionuclides and heavy metals and their transfer factor from soil to crops/vegetables in some agricultural soils in Barkin Ladi Area, Plateau State, Nigeria. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, *8*(5), 124-130.

Orellano, P., Reynoso, J., & Quaranta, N. (2021). Short-term exposure to sulphur dioxide (SO2) and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, *150*, 106434.

Osińska, E., Kanoniuk, D., & Kusiak, A. (2004, January). Aluminum hemotoxicity mechanisms. In *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska. Sectio D: Medicina* (Vol. 59, No. 1, pp. 411-416).

Ozkazanc, N. K., Ozay, E., Ozel, H. B., Cetin, M., & Sevik, H. (2019). The habitat, ecological life conditions, and usage characteristics of the otter (Lutra lutra L. 1758) in the Balikdami Wildlife Development Area. Environmental Monitoring and Assessment, 191(11), 645.

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.

Ozyurt, G., Ozel, H. B., & Sevik, H. (2024). Usability of Cedrus atlantica in Monitoring Changes and Reducing Airborne Palladium Pollution. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, *23*(1), 371-378.

Özdikmenli, G., Yiğit, N., Özel, H. B., & Şevik, H. (2024). Altitude-dependent Variations in Some Morphological and Anatomical Features of Anatolian Chestnut. *BioResources*, *19*(3), 4635-4651.

Payandeh, K., Nazarpour, A., & Velayatzadeh, M. (2021). Human health risk of some heavy metals accumulated in tomatoe, cucumber, potato, and onion grown in Dezful and Shushtar. *Archives of Hygiene Sciences*, *10*(4), 299-314.

Pramanik, P., Goswami, A. J., Ghosh, S., & Kalita, C. (2019). An indigenous strain of potassium-solubilizing bacteria Bacillus pseudomycoides enhanced potassium uptake in tea plants by increasing potassium availability in the mica waste-treated soil of North-east India. *Journal of Applied Microbiology*, *126*(1), 215-222.

Pravst, I. (2011). Risking public health by approving some health claims? - The case of phosphorus. *Food Policy*, *36*(5), 726-728.

Qi, J., Sun, S., Yang, L., Li, M., Ma, F., & Zou, Y. (2019). Potassium Uptake and Transport in Apple Roots Under Drought Stress. *Horticultural Plant Journal*, *5*(1), 10-16. https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.10.001

Rehman, A. U., Nazir, S., Irshad, R., Tahir, K., ur Rehman, K., Islam, R. U., & Wahab, Z. (2021). Toxicity of heavy metals in plants and animals and their uptake by magnetic iron oxide nanoparticles. *Journal of Molecular Liquids*, *321*, 114455.

Schachtman, D. P., Reid, R. J., & Ayling, S. M. (1998). Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology*, *116*(2), 447-453.

Sevik, H., Yahyaoglu, Z., & Turna, I. (2012). Determination of genetic variation between populations of Abies nordmanniana subsp. bornmulleriana Mattf according to some seed characteristics, genetic diversity in plants. Chapter, 12, 231-248.

Sevik, H., Cetin, M., Kapucu, O., Aricak, B., & Canturk, U. (2017). Effects of light on morphologic and stomatal characteristics of Turkish Fir needles (Abies nordmanniana subsp. Bornmulleriana Mattf.). *Fresenius Environmental Bulletin*, *26*(11), 6579-6587.

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.

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 Pollution*, *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.

Shah, S. H., Islam, S., & Mohammad, F. (2022). Sulphur as a dynamic mineral element for plants: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *22*(2), 2118-2143.

Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A. E., & Li, J. (2010). Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Journal of Plant Physiology*, *167*(15), 1248-1252.

Siddiqi, K. S., & Husen, A. (2016). Engineered gold nanoparticles and plant adaptation potential. *Nanoscale Research Letters*, *11*(1), 400.

Siddiqui, M. H., Mukherjee, S., Al-Munqedhi, B. M., Kumar, R., & Kalaji, H. M. (2023). Salicylic acid and silicon impart resilience to lanthanum toxicity in Brassica juncea L. seedlings. *Plant Growth Regulation*, *100*(2), 453-466.

Siyar, R., Doulati Ardejani, F., Norouzi, P., Maghsoudy, S., Yavarzadeh, M., Taherdangkoo, R., & Butscher, C. (2022). Phytoremediation potential of native hyperaccumulator plants growing on heavy metal-contaminated soil of Khatunabad copper smelter and refinery, Iran. *Water*, *14*(22), 3597.

Srivastava, A. K., Shankar, A., Nalini Chandran, A. K., Sharma, M., Jung, K. H., Suprasanna, P., & Pandey, G. K. (2020). Emerging concepts of potassium homeostasis in plants. *Journal of Experimental Botany*, *71*(2), 608-619.

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.

Takarina, N. D., & Pin, T. G. (2017). Bioconcentration factor (BCF) and translocation factor (TF) of heavy metals in mangrove trees of Blanakan fish farm. *Makara Journal of Science*, *21*(2), 77-81. https://doi.org/10.7454/mss.v21i2.7308

Tandoğan, M., Özel, H. B., Gözet, F. T., & Şevik, H. (2023). Determining the taxol contents of yew tree populations in western Black Sea and Marmara regions and analyzing some forest stand characteristics. *BioResources*, *18*(2), 3496-3508.

Taşpınar, F., & Bozkurt, Z. (2018). Heavy metal pollution and health risk assessment of road dust on selected highways in Düzce, Turkey. *Environmental Forensics*, *19*(4), 298-314.

Tian, X. Y., He, D. D., Bai, S., Zeng, W. Z., Wang, Z., Wang, M., ... & Chen, Z. C. (2021). Physiological and molecular advances in magnesium nutrition of plants. *Plant and Soil*, *468*(1), 1-17.

Uslu, S., & Yiğit, N. (2023). Determination of the Changes in Airborne Ba and Mn Concentrations in Düzce City Center in the Last 40 Years with the Help of Cedrus atlantica Annual Rings. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, *9*(2), 90-95.

Varol, T., Ozel, H. B., Ertugrul, M., Emir, T., Tunay, M., Cetin, M., & Sevik, H. (2021). Prediction of soil-bearing capacity on forest roads by statistical approaches. Environmental Monitoring and Assessment, 193(8), 527.

Vorland, C. J., Stremke, E. R., Moorthi, R. N., & Hill Gallant, K. M. (2017). Effects of excessive dietary phosphorus intake on bone health. *Current Osteoporosis Reports*, *15*, 473-482.

Wang, Y., Wu, B., Berns, A. E., Xing, Y., Kuhn, A. J., & Amelung, W. (2020). Magnesium isotope fractionation reflects plant response to magnesium deficiency in magnesium uptake and allocation: a greenhouse study with wheat. *Plant and Soil*, *455*(1), 93-105.

Wang, Z., Liu, X., & Qin, H. (2019). Bioconcentration and translocation of heavy metals in the soil-plants system in Machangqing copper mine, Yunnan Province, China. *Journal of Geochemical Exploration*, *200*, 159-166. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.02.005

Wei, J., Guo, T., Mu, Q., Alladassi, B. M., Mural, R. V., Boyles, R. E., ... & Yu, J. (2025). Genetic and environmental patterns underlying phenotypic plasticity in flowering time and plant height in sorghum. *Plant, Cell & Environment*, *48*(4), 2727-2738.

Xie, K., Cakmak, I., Wang, S., Zhang, F., & Guo, S. (2021). Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. *The Crop Journal*, *9*(2), 249-256. https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.10.005

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

Yigit, N., Cetin, M., Ozturk, A., Sevik, H., & Cetin, S. (2019). Varitation of Stomatal Characteristics in Broad Leaved Species Based on Habitat. *Applied Ecology and Environmental Research, 17*(6), 12859-12868.

Yiğit, N. (2024). Determination of sixteen woody species' ability to sequester Sr, Mo, and Sn pollutants. *BioResources, 19*(4), 7842-7855.

Yokel, R. A. (2025). Aluminum in beverages and foods: a comprehensive compilation of regulations; concentrations in raw, prepared, and stored beverages and foods; and intake. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, e70175. https://doi.org/10.1111/1541-4337.70175

Zeren Cetin, I., Ozel, H. B., Varol, T., Canturk, U., & Sevik, H. (2025a). Climate change impacts on Taxus baccata distribution and conservation. *Journal of Forestry Research*, *36*, 95. https://doi.org/10.1007/s11676-025-01893-0

Zeren Cetin, I., Ozel, H. B., Sevik, H., Canturk, U., Varol, T., Atesoglu, A., Kocan, N., & Zeren D. B. (2025b). Potential altitude change of oriental spruce in Türkiye due to global climate change. *Acta Geophysica*. https://doi.org/10.1007/s11600-025-01699-y

Zhang, H., Liu, W., Xiong, Y., Li, G., Cui, J., Zhao, C., & Zhang, L. (2024). Effects of dissolved organic matter on distribution characteristics of heavy metals and their interactions with microorganisms in soil under long-term exogenous effects. *Science of the Total Environment*, *947*, 174565.

Zhou, Y., Liu, X., Yang, X., Du Laing, G., Yang, Y., Tack, F. M., ... & Bundschuh, J. (2023). Effects of platinum nanoparticles on rice seedlings (Oryza sativa L.): Size-dependent accumulation, transformation, and ionomic influence. *Environmental Science & Technology*, *57*(9), 3733-3745.